

**T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GIDA BİLİMLERİ BİLİM DALI**

**DİYETİMİZDE YER ALAN BAZI SEBZELERDEKİ FENOLİK
BİLEŞİKLERİN *in vitro* SİNDİRİM UYGULAMASI İLE
BİYOYARARLILIKLARININ BELİRLENMESİ**

Merve ARSLAN

**Danışman
Prof. Dr. Neriman BAĞDATLIOĞLU**



MANİSA-2015

TEZ ONAYI

Merve ARSLAN tarafından hazırlanan "**Diyetimizde yer alan bazı sebzelerdeki fenolik bileşiklerin *in vitro* sindirim uygulaması ile biyoyararlılıklarının belirlenmesi**" adlı tez çalışması 24/08/2015 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Neriman BAĞDATLIOĞLU
Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Sedef Nehir EL
Ege Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇAĞINDI
Celal Bayar Üniversitesi

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Kenan DOST

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Merve ARSLAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Sindirim Sistemi	3
2.2. Sindirim Çalışmaları.....	4
2.2.1. Enzimler.....	5
2.2.1.1. Sık kullanılan enzimler	6
2.2.2. Sindirim Süresi	6
2.2.3. pH	7
2.3. Sindirim Modelleri	7
2.3.1. Statik Sindirim Modelleri	8
2.3.2. Dinamik Sindirim Modelleri.....	8
2.4. Fenolik Bileşikler Üzerine Yapılmış <i>in vitro</i> Sindirim Çalışmaları.....	9
2.5. Fenolik Bileşikler	10
2.5.1. Fenolik Asitler	11
2.5.2. Flavonoidler.....	12
2.6. Antioksidanlar	13
2.7. Antioksidan Kapasitesi Tayin Yöntemleri	14
2.8. Çalışma Kapsamında Kullanılan Sebzeler	15
2.8.1. Ispanak.....	15
2.8.2. Brokoli	17
2.8.3. Radika.....	18
2.8.4. Cibes	19
2.9. Fenolik Madde Çalışmaları	20
2.10. Tezin Amacı	26
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	27
3.1. Materyal.....	27
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Sebzeler.....	27
3.1.2. Kimyasal Malzemeler.....	27
3.1.3. Alet ve Cihazlar	28
3.2. Yöntem	29
3.2.1. Örnek Ekstraktlarının Hazırlanması	30
3.2.2. Sindirim Uygulaması.....	30
3.2.3. Nem Tayini	32
3.2.4. Toplam Fenolik Madde Tayini	32
3.2.5. Toplam Flavonoid Tayini	34
3.2.6. DPPH Yöntemi ile Toplam Antioksidan Madde Tayini.....	34
3.2.7. ABTS Yöntemi ile Toplam Antioksidan Madde Tayini.....	35
3.2.8. İstatistiksel Analizler	37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	38
4.1. Nem Tayini.....	38

4.2. Haşlama İşleminin Etkisi.....	39
4.2.1. Toplam Fenolik Madde Miktarı	39
4.2.2. Toplam Flavonoid Miktarı.....	41
4.2.3. DPPH Yöntemi ile Antioksidan Kapasitesi.....	43
4.2.4. ABTS Yöntemi ile Antioksidan Kapasitesi.....	46
4.3. Sindirim Uygulamasının Etkisi	49
4.3.1. Toplam Fenolik Madde Miktarı Üzerine Etkisi.....	49
4.3.2. Toplam Flavonoid Miktarı Üzerine Etkisi.....	54
4.3.3. DPPH Yöntemi ile Ölçülen Antioksidan Kapasitesi Üzerine Etkisi	58
4.3.4. ABTS Yöntemi ile Ölçülen Antioksidan Kapasitesi Üzerine Etkisi	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABTS	2,2'-azinobis (3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonat)
BİYO-U	Biyoulaşılabilirlik
BİYO-Y	Biyoyararlılık
°C	Celsius
dk.	Dakika
DPPH	1,1-difenil-2-pikrilhidrazil
FRAP	Ferric Reducing Ability of Plasma
GAE	Gallik Asit Eşdeğeri
g	Gram
Haş	Haşlanmış
kg	Kilogram
KAE	Kateşin Eşdeğeri
KM	Kuru madde
m	Metre
M	Molarite
mg	Miligram
mL	Mililitre
mM	Milimolar
mm	Milimetre
µg	Mikrogram
nm	Nanometre
PG	Post Gastrik
ROT	Reaktif Oksijen Türleri
STD	Standart Sapma
TA	Taze Ağırlık
Troloks	6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkromon-2-karboksilik asit
vb.	Ve Benzeri
vd.	Ve Diğerleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Ispanak	16
Şekil 2.2. Brokoli	17
Şekil 2.3. Radika	18
Şekil 2.4. Cibes	19
Şekil 3.1. Ultra saf su cihazı	29
Şekil 3.2. Tez çalışma planı	30
Şekil 3.3. Mide sindirimi sonrası alınan örnekler	31
Şekil 3.4. (a) Diyaliz tüpü (b) İnkübe edilen örnekler	32
Şekil 3.5. (a) Folin çözeltisi eklenmiş örnekler (b) Ölçüme hazır örnekler	33
Şekil 3.6. Gallik asit kalibrasyon eğrisi	33
Şekil 3.7. Flavonoid tayini için ölçüme hazır örnekler	34
Şekil 3.8. (a) Kör ve standart çözelti (b) Analize hazır çözelti	35
Şekil 3.9. ABTS çözeltisi	36
Şekil 4.1. Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g TA)	40
Şekil 4.2. Haşlama sonrası toplam fenolik madde miktarındaki kayıp	40
Şekil 4.3. Toplam flavonoid miktarı (mg KAE/100 g TA)	43
Şekil 4.4. Haşlama sonrası toplam flavonoid miktarındaki kayıp (%)	43
Şekil 4.5. DPPH yöntemi ile ölçülen antioksidan kapasitesi (% inhibisyon)	45
Şekil 4.6. Haşlama sonrası DPPH yöntemi ile ölçülen antioksidan miktarındaki kayıp	45
Şekil 4.7. ABTS yöntemi ile ölçülen antioksidan kapasitesi (% inhibisyon)	48
Şekil 4.8. Haşlama sonrası ABTS yöntemi ile ölçülen antioksidan miktarındaki kayıp	48
Şekil 4.9. Sindirimin toplam fenolik madde miktarı üzerine etkisi	52
Şekil 4.10. Sindirimin toplam flavonoid miktarı üzerine etkisi	55
Şekil 4.11. Sindirimin antioksidan kapasitesi üzerine etkisi (DPPH yöntemi)	59
Şekil 4.12. Sindirimin antioksidan kapasitesi üzerine etkisi (ABTS yöntemi)	62

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Fenolik bileşikler üzerine yapılan bazı <i>in vitro</i> sindirim çalışmaları.....	10
Tablo 2.2. Flavonoid çeşitleri ve özellikleri.....	12
Tablo 2.3. 100 g ıspanak bitkisinin içerdiği besin değerleri	16
Tablo 2.4. 100 g çiğ brokoli bitkisinin içerdiği besin değerleri	18
Tablo 2.5. 100 g radika bitkisinin içerdiği besin değerleri	19
Tablo 2.6. 100 g cibes bitkisinin mineral madde içeriği	20
Tablo 3.1. Sebzelere uygulanan haşlama süreleri	27
Tablo 4.1. Nem içeriği (%)	38
Tablo 4.2. Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g TA).....	40
Tablo 4.3. Toplam flavonoid miktarı (mg KAE/100 g TA).....	42
Tablo 4.4. DPPH yöntemi ile ölçülen antioksidan miktarı (mg Troloks/100 g TA)..	44
Tablo 4.5. DPPH yöntemi ile ölçülen antioksidan kapasitesi (% inhibisyon)	44
Tablo 4.6. ABTS yöntemi ile ölçülen antioksidan miktarı (mg Troloks/100 g TA)..	47
Tablo 4.7. ABTS yöntemi ile ölçülen antioksidan kapasitesi (% inhibisyon)	47
Tablo 4.8. Sindirimin toplam fenolik madde içeriği üzerine etkisi (%).....	52
Tablo 4.9. Sindirim sonrası toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g TA).....	53
Tablo 4.10. Sindirimin toplam flavonoid miktarı üzerine etkisi (%).....	55
Tablo 4.11. Sindirimin sonrası toplam flavonoid miktarı (mg KAE/100 g TA).....	56
Tablo 4.12. Sindirimin antioksidan kapasitesi üzerine etkisi (DPPH yöntemi) (%)..	59
Tablo 4.13. Sindirim sonrası toplam antioksidan miktarı (DPPH yöntemi) (mg Troloks/100 g TA)	60
Tablo 4.14. Sindirimin antioksidan kapasitesi üzerine etkisi (ABTS yöntemi).....	62
Tablo 4.15. Sindirim sonrası toplam antioksidan miktarı (ABTS yöntemi) (mg Troloks/100 g TA)	63

TEŞEKKÜR

Tezimin tüm aşamalarında ve lisansüstü eğitimim boyuncaengin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli danışman hocam Prof. Dr. Neriman BAĞDATLIOĞLU'na, laboratuvar çalışmalarım sırasında yardım ve desteğini benden esirgemeyen, her zaman yanımda olan dostum Gülşen DEMİR'e, çalışmalarım sırasında bilgilerini, arkadaşlıklarını ve desteklerini esirgemeyen Celal Bayar Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlilerine, bana her zaman destek olan hayatımdaki yol arkadaşım Bulut BERK'e, sonsuz sevgi ve sabırlarıyla her zaman arkamda olan canım ailem Namık ARSLAN, Nurten ARSLAN, Burak ARSLAN ve halam Işın ARSLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Merve ARSLAN
Manisa, 2015

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Diyetimizde yer alan bazı sebzelerdeki fenolik bileşiklerin *in vitro* sindirim uygulaması ile biyoyararlılıklarının belirlenmesi

Merve ARSLAN

**Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Neriman BAĞDATLIOĞLU

Diyetimizde önemli bir yere sahip olan brokoli, ıspanak, radika ve cibes gibi yeşil sebzeler, fenolik bileşikler ve antioksidanlar bakımından zengin sebzelerdir. Bu çalışmada, çiğ ve haşlanmış brokoli, ıspanak, radika ve cibesde bulunan fenolik bileşikler üzerine *in vitro* sindirim uygulamasının etkisi incelenmiştir. Çiğ ve haşlanmış sebzelere uygulanan *in vitro* mide ve bağırsak sindirimi sonucunda elde edilen post gastrik (PG), IN (İnce bağırsaktan absorbe olan) ve OUT (ince bağırsaktan absorbe olmayan) örneklerin toplam fenolik madde, toplam flavonoid ve toplam antioksidan kapasiteleri ölçülmüştür. Biyoyararlılık ve biyolaşılabilirlik değerleri tespit edilmiştir.

Çalışma sonucunda, sindirim uygulamasından önce çiğ ve haşlanmış sebze örneklerine ait toplam fenolik madde miktarları sırasıyla 110-143 ve 63-100 mg GAE/100 g TA aralığında, toplam flavonoid miktarları ise sırasıyla 22-35 ve 10-14 mg KAE/100 g TA aralığında bulunmuştur. Antioksidan kapasitesi, ABTS ve DPPH yöntemleri ile ölçülmüştür. Buna göre çiğ ve haşlanmış sebzeler için antioksidan kapasitesi sırasıyla DPPH yöntemi ile %51-54 ve %28-46, ABTS yöntemi ile %26-37 ve %18-30 aralığında bulunmuştur. Haşlama sonrası sebzelerin toplam fenolik, toplam flavonoid miktarı ve toplam antioksidan kapasitesi azalmıştır ($p<0,05$).

Sindirim uygulaması sonucunda, toplam fenolik madde miktarları mide sindirimi sonrasında artarken, bağırsak sindirimi sonrasında azalmıştır ($p<0,05$). Flavonoidler ise mide ve bağırsak koşullarında yüksek stabiliteye sahiptir. Antioksidan kapasite hem mide hem de bağırsak sindirimi sonrasında azalmıştır ($p<0,05$). Fenolik bileşikler, flavonoidler ve antioksidan maddeler için biyoyararlılık değerleri, başlangıçta bulunan değerlere oranla oldukça düşüktür ($p<0,05$). En düşük biyoyararlılık ise flavonoidlere aittir. Her ne kadar haşlama uygulaması sonucunda sebzelerin içerdikleri fenolik bileşik miktarında kayıp gözlenirse de, haşlama işlemi radika hariç sebzelerdeki fenolik bileşiklerin biyoyararlılıklarını artırmıştır ($p<0,05$).

Anahtar Kelimeler: biyolaşılabilirlik, antioksidan kapasitesi, flavonoid, yeşil sebzeler

2015, 72 sayfa

ABSTRACT

M.Sc Thesis

Assessing bioavailability of phenolic compounds in some vegetables using *in vitro* digestion methods

Merve ARSLAN

**Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Food Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Neriman BAĞDATLIOĞLU

Green vegetables such as broccoli, spinach, chicory and cibes, which have a special place in our diet, are good sources of phenolic compounds and antioxidants. In this study, the effect of *in vitro* digestion on the phenolic compounds in fresh and cooked broccoli, spinach, chicory and cibes. Total phenolics, flavonoids and antioxidant capacities of post gastric (PG), IN (fraction that can be absorbed into small intestine) and OUT (fraction that can't be absorbed into small intestine) samples, which were provided with the *in vitro* gastric and intestinal digestion, were measured. Bioavailability and bioaccessibility values were determined.

After this research, it was found out that the amount of total phenolics, which belongs to raw and cooked vegetable samples, was in range of 110-143 and 63-100 mg GAE/100 g TA, respectively. Also the amount of total flavonoid was in range of 22-35 and 10-14 mg KAE/100 g TA, respectively. The antioxidant capacity of samples was measured with the method of ABTS and DPPH. The antioxidant capacities of raw and boiled vegetables were in range of 54-51% and 46-28% with the method of DPPH, 37-26% and 30-18% with the method of ABTS. These results showed that conventional cooking caused considerable decrease in the amount of total phenolics, flavonoids and antioxidants ($p < 0,05$).

As a result of *in vitro* digestion, the amount of phenolic compounds increased after gastric digestion despite the fact that they decreased after intestinal digestion ($p < 0,05$). Flavonoids presented high stability in both gastric and intestinal conditions. The antioxidant capacity decreased both in stomach and intestinal digestion. Bioavailability of phenolic compounds, flavonoids and antioxidants were lower when it was compared with their initial values ($p < 0,05$). The lowest bioavailability is determined in flavonoids. Although phenolic compounds were lost considerably as a result of cooking, it was determined that the bioavailability values of phenolic compounds in cooked vegetables except chicory are higher than raw vegetables.

Keywords: bioaccessibility, antioxidant capacity, flavonoids, green vegetables

2015, 72 pages

1. GİRİŞ

“Beslenme, insanın büyümesi, gelişmesi, sağlıklı ve üretken olarak uzun süre yaşaması için gerekli olan öğeleri alıp vücudunda kullanmasıdır [1].”

Enfeksiyonlar ve kazalar hariç tüm hastalıkların %90'ının diyet ile ilgili olduğu düşünülürse, beslenmenin insan sağlığı üzerine önemi son derece açıktır. Milattan önce çok eski çağlarda bile bazı hastalıkların iyileştirilmesi için gıdalardan faydalandığı bilinmektedir. Beslenme bilimi ise Lavoisier tarafından besinlerin oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonları sonucu yakıldığının kanıtlanmasıyla başlamıştır [2].

Günümüzde sağlıklı beslenme bilincinin gelişmesi, tüketicilerde duyuşal kalite kadar sağlık üzerine faydalı olma beklentisini de doğurmuştur. Son yıllarda gıdaların sağlık üzerine etkilerini ortaya koyan bilimsel araştırmalar hız kazanmıştır [3].

Doğal antioksidan kaynağı olan meyve ve sebzelere duyulan ilgi günümüzde oldukça fazladır [3, 4, 5]. Meyve ve sebzelerin yapısında bulunan vitamin, karotenoid, flavonoid ve diğler fenolik bileşikler önemli antioksidan kaynaklarıdır [5]. Fenolik bileşiklerin antioksidan özellikleri içerdikleri -OH gruplarına bağlıdır [3]. Yapılan epidemiyolojik çalışmalar içerdikleri antioksidan maddelere bağlı olarak meyve ve sebze tüketiminin, kalp-damar hastalıklarına, kanser, şeker hastalığı, Alzheimer, katarakt ve yaşa bağlı fonksiyonel düşüş gibi kronik hastalıklara yakalanma riskini düşürdüğünü göstermektedir [6].

Meyve ve sebzelerin yapısında bulunan ve bitkilerin enfeksiyon, yaralanma gibi durumlarda sentezledikleri fenolik bileşikler, bitkilere kendine özgü renk, tat ve koku vermeleri, antimikrobiyal ve antioksidatif etki göstermeleri, fenoloksidaz enzimlerinin etkisiyle enzimatik renk esmerleşmelerine neden olmaları ve çeşitli gıdalarda saflık kontrol kriteri olmalarından dolayı son derece önemlidirler [7].

Meyve ve sebzelerin içerdikleri fenolik madde miktarları çeşit, hasat zamanı, çevresel faktörler, işleme yöntemi ve depolama koşullarına göre farklılık göstermektedir [8]. Fenolik bileşiklerin başlıca alım kaynakları meyve suları, çay,

kahve ve kırmızı şaraptır. Diğer önemli kaynaklar ise sebzeler, tahıllar, çikolata ve kuru baklagillerdir [9].

Polifenollerin alınması gereken miktarı 1 g/gün'dür. Bu miktar C vitamininin alınması gereken miktardan 10 kat, E vitamini ve karetonoidlerden ise 100 kat fazla olduğu düşünüldüğünde oldukça fazladır [9].

İnsan metabolizmasındaki önemli rollerinden dolayı fenolik bileşiklerin günlük alım miktarları önemlidir. Ancak bu miktarın doğru olarak tespit edilebilmesi için biyoyararlılık değerleri bilinmelidir [8]. Biyoyararlılık, maddenin gastrointestinal sistemden kan dolaşımına ulaşan kısmıdır. Yapılan çalışmalar, fenolik bileşiklerin biyoyararlılık değerlerinin farklılık gösterdiğini ve biyoyararlılığı etkileyen fiziksel ve kimyasal birçok faktörün bulunduğunu göstermektedir [10].

Fenolik bileşiklerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin net olarak anlaşılması, ancak bu bileşiklerin biyoyararlılıklarının ve metabolizmalarının farklı gıda matriksleri içinde incelenmesi ile mümkün olacaktır [10, 11]. Ancak hayvanlar ve insanlar üzerinde yapılması gereken bu çalışmalar maliyetli olmaları ve öncesinde de önemli hazırlık çalışmaları gerektirmeleri nedeniyle tercih edilmemekte ve araştırmalar çoğunlukla *in vitro* çalışmalarla yapılmaktadır. Ayrıca etik konuların gündeme gelmesi nedeniyle de araştırmacılar çoğunlukla insanlar üzerinde araştırma yapmaktan kaçınmaktadır [11, 12].

Fenolik bileşiklerin etkilerinin net olarak anlaşılabilmesi için *in vitro* biyoyararlılık çalışmalarının pek çok gıda için gerçekleştirilmesi ve biyoyararlılığı arttırmak için etkili faktörlerin tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır [3, 13].

Bu çalışmada, çiğ ve haşlanmış cibes, radika, brokoli ve ıspanak örneklerinin toplam fenolik madde miktarı, toplam flavonoid miktarı ve toplam antioksidan kapasitesi üzerine *in vitro* sindirim uygulamasının etkisi araştırılmıştır. Mide ve bağırsak koşulları simüle edilerek biyoyararlılık değerleri tespit edilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Sindirim Sistemi

Gıdaların insan metabolizmasında sindirimi 24-72 saat arasında gerçekleşmektedir [14]. Sindirim, tükürükte bulunan enzimler ve mekanik parçalanmayı sağlayan dişler ile ağızda başlamaktadır. Dişler ile ufak parçalara öğütülen gıdanın yüzey alanı genişlemektedir. Bu işlem, enzimlerin etkisini kolaylaştırarak enzimatik parçalanmayı hızlandırmaktadır. Günde 1500 mL kadar salgılanan tükürük salgısı, çiğneme, enzimatik parçalanma ve emilimi hızlandırmaktadır. Yutak ile yemek borusuna itilen gıda, yemek borusunda peristaltik hareketlerle ilerlemektedir. Mide salgısının içinde mide mukozasını asit tahrişinden koruyan mukus ve bikarbonat bulunmaktadır. Aynı zamanda mide salgısı proteinlerin sindiriminde rol oynayan HCl ve pepsinojeni de içermektedir. Proteinlerin sindirimini sağlayan pepsin, HCl varlığında pepsinojenden oluşmaktadır. Midedeki sindirimin ardından oluşan içeriğe kimus denilmektedir [2].

İnce bağırsağa geçen kimus, segmentasyon hareketleri ile karıştırılırken, peristaltik hareketlerle ileriye doğru itilmektedir. İnce bağırsak duodenum, jejunum ve ileum olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Duodenumdan salgılanan sekretin ve kolesistokinin adı verilen hormonlar, safra salgısının, pankreas dış salgısının salgılanmasında ve peristaltik hareketlerin düzenlenmesinde rol oynamaktadır. Duodenuma gelen kimus, pankreas salgısı tarafından nötralize edilmektedir. Pankreas salgısında bulunan enzimler, karbonhidrat, protein ve yağların sindirimini gerçekleştirmektedir [2]. Karaciğerde üretilen safra salgısı ise safra kesesinde gerektiğinde kullanılmak üzere depolanmaktadır [14]. Safra salgısı, yağların emülsifikasyonunu gerçekleştirmektedir. Ayrıca safra tuzları, parçalanmış yağ ürünleri ile birleşerek suda çözünemeyen yağ ürünlerini, ince bağırsakta çözünebilir ve emilime hazır halde tutmaktadır [2].

Ağızda başlayan karbonhidrat sindirimi ile midede başlayan protein sindirimi ince bağırsakta tamamlanırken, yağların sindirimi tamamen ince bağırsakta gerçekleşmektedir. 6,5 m uzunluğunda katlanmış bir biçimde olan ince bağırsak duvarları, villus adı verilen kılsı çıkıntılarla kaplanmıştır. Bu kılsı çıkıntılar ise mikrovilli adı verilen daha küçük çıkıntılara sahiptir. Bu çıkıntılar emilim için yeterli

bir zaman sağlayan 250 m²'lik geniş bir alan oluşturmaktadır. İnce bağırsaktan absorbe edilen besin öğeleri villi hücrelerine girerek buradan kan dolaşımı veya lenf sistemine verilmektedir. Yalnızca yağ ve yağda çözünen vitaminler lenf sistemi tarafından emilirken diğer besin öğeleri kan dolaşımına gönderilmektedir [2].

Yaklaşık 1,5 m uzunluğunda olan kalın bağırsak diğer adıyla kolon ise, ince bağırsaktan kalın bağırsağa ulaşan suyu ve mineralleri absorbe etmektedir. Kolon mikroorganizmaları ise burada diyet liflerinin sindiriminde rol oynamaktadır. Kalan atıklar rektumdan dışarıya atılmaktadır. Atığın %75'i su, geri kalanı ise üçte biri ölü bakterilerden oluşan katı maddedir [2,14].

2.2. Sindirim Çalışmaları

Latince "cam içinde" anlamına gelen *in vitro* terimi, insan vücudu dışında yapılan deneysel çalışmaları ifade etmektedir. *in vivo* terimi ise canlılar üzerinde yapılan çalışmalar için kullanılmaktadır [15].

İnsanlar ve hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar, kompleks ve pahalı olmalarının yanı sıra, çok uzun süreler de gerektirmektedir [16]. Ayrıca canlılar üzerinde yapılan çalışmalar belirli etik sınırlamalara sahiptir [11]. İlk *in vitro* sindirim çalışması demir biyolaşılabilirliği üzerine Miller ve ark., 1981 [17] tarafından yapılmıştır. Besin öğelerinin insan sağlığı üzerine olan yararlarının daha iyi anlaşılabilmesi için insan metabolizmasındaki akıbetlerinin ve biyoyararlılık değerlerinin bilinmesi gerekmektedir [11, 18].

Hur ve ark., 2011 [19] son 10 yılda yapılan 80 *in vitro* sindirim çalışmasını derleyerek incelemişlerdir. İncelenen sindirim modellerinde en yaygın ölçülen parametreler, sindirilebilirlik/bozulma > biyolaşılabilirlik > örnek stabilitesi > yapısal değişimler şeklinde belirtilmiştir. İncelenen 80 *in vitro* sindirim çalışmasında, kullanılan gıdaların dağılımları ise nişasta, çay, pirinç, ekmek gibi bitki kaynaklı gıdalar %45, etler %18, süt ürünleri %9, deniz ürünleri %9 ve emülsiyonlar %9 olarak bulunmuştur. Ayrıca yapılan bu çalışmada analiz edilen gıda bileşenine, gıda matriksinin yapısına, kullanılan *in vitro* sindirim modelinin kapsamlılığına bağlı olarak önemli farklılıklara dikkat çekilmiştir. Çalışmalar arasında görülen farklar; sindirime dâhil edilen basamak sayısı (ağız, mide, ince bağırsak vb.), sindirim

sıvılarının kompozisyonu (enzimler, safra, tampon çözeltiler, yüzey aktif bileşikler vd.), uygulanan kuvvetlerin büyüklükleri, akışkan profilleri ve akışkan geometrileri olarak belirtilmiştir. Örneğin; bazı çalışmalarda insanlardan elde edilen enzimler kullanılırken, bazılarında hayvanlardan elde edilen enzimler kullanılmıştır [19].

Sindirim uygulamalarına etki eden faktörler ise sindirim süresi, pH, sıcaklık, inkübasyon süresi, enzim çeşidi, konsantrasyonu ve sırası olarak belirtilmiştir [19].

2.2.1. Enzimler

Sindirim sisteminde en önemli faktör enzim özellikleridir. Konsantrasyon, sıcaklık, pH, stabilite, aktivatörler, inhibitörler ve inkübasyon süresi gibi çeşitli faktörler enzim aktivitesini etkilemektedir. Enzimlerin seçimi ve inkübasyon koşulları çalışmanın amacına bağlı olarak değişmektedir. Sindirim çalışmalarında kullanılan çoğu enzim, domuz, sıçan gibi her şeyi yiyen hayvanlardan ya da gönüllü insanlardan elde edilmektedir [11, 19].

Sindirim modellerinde en sık kullanılan enzimler ya da biyolojik moleküller; pepsin, pankreatin, tripsin, kimotripsin, peptidaz, α -amilaz, lipaz, safra tuzu ve müsindir. Kompleks gıda sistemleri üzerine yapılan sindirim çalışmalarında daha geniş kapsamlı sindirim enzimleri kullanılmaktadır [19].

Enzimlerin ilave sırası da önemlidir. Sindirim işleminin farklı adımlarını simüle etmek için enzimler aynı anda ilave edilmek yerine art arda ilave edilmelidir. Örneğin; birçok model, mide ve ince bağırsak sindirimini simüle etmek için pepsin ile pankreatinin ardışık inkübasyonuna dayanmaktadır. Diğer yandan belirli bir sindirim sıvısının enzim bileşimi ise saf enzimlerin uygun miktarlarda karıştırılmasıyla sağlanabilmektedir. Enzimlerin etkili bir şekilde çalışması için sindirim sıvısı içinde ek bileşenlere ihtiyaç duyulabilmektedir. Örneğin; pankreatik lipaz ve safra tuzları, kalsiyum varlığına ihtiyaç duyar. En önemlisi bir enzim aktivitesi zamanla azalabilir ve bu yüzden her bir çalışma için enzim çözeltisini yeniden hazırlamak önemlidir [19].

Sindirim modeli tasarlarırken dikkate alınması gereken bir diğer önemli faktör enzim konsantrasyonudur. Daha yüksek enzim konsantrasyonlarının kullanılması,

gıda bileşenlerinin sindirimi ya da parçalanmasını hızlandıracağı için enzim konsantrasyonlarının fizyolojik olarak uygun seviyelerde kullanılması önemlidir. İnsanlardaki enzim konsantrasyonu, kişinin ruhsal durumu, yaş ve sağlık durumu, gıdanın tüketilme zamanı, tüketilen gıdanın türüne ve miktarına bağlı olarak değişmektedir [19].

2.2.1.1. Sık kullanılan enzimler

Lipazlar, midede (gastrik lipaz) ve pankreasta (pankreatik lipaz) bulunmaktadır. Lipazlar, emülsifiye lipidlerin yüzeylerine absorbe olurlar ve triaçilgliserol ve diaçilgliseroller, monoaçilgliserollere ve serbest yağ asitlerine dönüştürürler [19].

Proteazlar, esas olarak midede (pepsin) ve ince bağırsakta (tripsin ve kimotripsin) bulunmaktadır. Protein ve peptidlerin daha küçük peptidlere ve aminoasitlere parçalanmasından sorumludurlar. Pepsin, ancak HCl varlığında pepsinojenden oluşmaktadır [19].

Amilazlar, esas olarak ağızda ve ince bağırsakta bulunmaktadır. Nişastanın oligosakkarit ve monosakkaritlere dönüştürülmesinden sorumludurlar. Karbonhidrat sindirimi ağızda amilazın nişastayı daha küçük parçalara ayırması ile başlamaktadır. Ağızda salgılanan α -amilaz, asit ortamda aktivitesini kaybettiği için gıda mideye geçtiği anda aktivitesini kaybetmektedir [19]. Ağızda sindirim simülasyonu genelde karbonhidratlarca zengin gıdalarda gerçekleştirilmektedir [11]. Pankreatik amilazın salgılandığı duodenumda karbonhidratların sindirimi devam etmektedir. Karbonhidratlar, monosakkaritler halinde emilir. Monosakkaritler, bağırsak mukozasından absorbe edildikten sonra, karaciğere taşınmaktadır. Kan glikoz düzeyi karaciğer tarafından sabit tutulmaktadır. Karbonhidratlar özellikle beyin, sinir sistemi, eritrositler olmak üzere tüm dokuların ana enerji kaynağını oluşturmaktadır [19].

2.2.2. Sindirim Süresi

Her bir adımdaki sindirim süresi (ağız, mide, ince bağırsak vb.), uygun bir sindirim modelinin tasarlanması için önemli bir faktördür. Canlılarda sindirim süresi, bireysel karakteristiklere (yaş, cinsiyet, sağlık durumu, zihinsel durum, gün içindeki

zaman dilimi) ve gıda karakteristiklerine (toplam miktar, kompozisyon, partikül büyüklüğü) bağlıdır ve önemli derecede değişebilmektedir [19].

Gıdanın ince bağırsaktan kısa sürede geçmesi, biyoaktif lipofilik bileşiklerin absorpsiyonunu kısıtlayabileceğinden dolayı biyoyararlılığı azaltabilmektedir. Genellikle lipidler fermente olmadığı için yağlar kalın bağırsaktan geçerken daha az etkilenebilir. Bu yüzden *in vitro* sindirim modellerinde geçiş süresi ve sindirim süresi bitki kaynaklı gıdalara göre lipid kaynaklı gıda örneklerinde daha kısadır [19].

Test edilen örneğin yapısı sindirim süresini etkileyen bir diğer önemli faktördür. Büyük gıda partiküllerinin küçük olanlara göre midede daha yavaş hareket ettiği bilinmektedir. Çünkü partiküller mide ve ince bağırsağı ayıran pilor valfinden geçecek kadar (<1 mm) küçük olmalıdır. Bu yüzden büyük partiküller içeren gıdalar midede daha uzun inkübasyon süresine ihtiyaç duymaktadır. Bu durumda *in vitro* bir sindirim modeli tasarlanırken nispeten büyük parçacıklar içeren gıdaları test etmek için en uygun sindirim süresi dikkate alınmalıdır [19].

2.2.3. pH

Mide pH'ı 1-2, ince bağırsak pH'ı 7-8 arasındadır. Mide sindirimi pH 2 civarlarında pepsin kullanımı ile simüle edilebilmektedir. Mide baş hücreleri tarafından üretilen proteaz ön maddeleri olan pepsinojenler optimum olarak 1,8 ve 3,2 arasında bir pH değerinde gastrik lümende aktif olmaktadır. Bu durum pH'daki herhangi bir artışın peptik bozulmaların sınırlanması ile sonuçlanabileceğini göstermektedir [19].

Safra tuzları pH 5,5'de lipolitik aktiviteyi inhibe etmemektedir. Ayrıca mide ya da bağırsaktaki pH değişimleri, test edilen örneğin başlangıç pH'ı ya da miktarından etkilenebilmektedir. Bu yüzden pH sindirim modelleri için önemli bir faktördür [19].

2.3. Sindirim Modelleri

Sindirim modelleri, gıdanın sindirim sisteminde karşılaştığı biyoreaktörleri içermektedir [20]. Modelin hareketli olup olmamasına göre iki çeşittir.

2.3.1. Statik Sindirim Modelleri

Statik sindirim modellerinde, sindirilen gıda sindirim işlemi boyunca hareket ettirilemeyeceği için *in vivo* çalışmalarda meydana gelen fiziksel olaylar (karıştırma, hidrasyon, zamanla ortam koşulların değiştirilmesi vb.) simüle edilememektedir. Statik modeller kompleks gıdaların sindirimi için uygun değildir. Basit gıdaların mide veya ince bağırsak ortamında sindirimi ya da alerjen maddeler, fonksiyonel bileşikler gibi izole edilmiş bileşiklerin biyolaşılabilirlik ve biyoyararlılık çalışmaları için kullanılmaktadır [12].

Biyoyararlılık, maddenin gastrointestinal sistemden dolaşım sistemine ulaşan kısmıdır. Biyoyararlılık üç aşamadan oluşmaktadır. İlk kısım maddenin gıda matriksinden bağırsak sisteminde salınması (biyolaşılabilirlik), ikinci kısım besin öğelerinin epitel hücrelerden dolaşım sistemine ulaşması ve son kısım ise karaciğerde besin öğelerinin parçalanması ve metabolize olmasıdır [10].

2.3.2. Dinamik Sindirim Modelleri

Dinamik sindirim modelleri, sindirim sistemindeki organları temsil eden farklı bölmeler içermektedir. Her bölme temsil ettiği organa ait sıcaklık, pH ve biyoreaktörleri (enzim, safra, mide ve pankreas sıvısı) içermektedir. Gıdanın hareketli akışı ve peristaltik hareketler, sistemdeki su basıncı ve pompalar ile sağlanmaktadır. Bölmelerdeki enzim konsantrasyonu, enzimin ilave edilme sırası ve süresi bilgisayar programı ile ayarlanmaktadır [11].

İnsanlardaki gastrointestinal sistem fiziksel koşullarına ulaşmak için çeşitli *in vitro* dinamik sindirim modelleri tasarlanmıştır. Piyasada en iyi bilinen dinamik sistemlerden biri TNO (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research/Hollanda Uygulamalı Bilimsel Araştırma Örgütü) ekibi tarafından tasarlanan TNO patentli TIM-1 ve TIM-2 isimli modellerdir [11]. TIM-1 ve TIM-2 cihazları ile sindirim sistemindeki peristaltik hareketler, sıcaklık, pH, elektrolit konsantrasyonu ve asitlik gibi faktörler dinamik olarak takip edilip ayarlanarak sindirim prosesi simüle edilmektedir. Ayrıca tükürük, gastrik salgılar, enzimler, pankreas salgısı ve safra tuzu gibi salgılarda aynı şekilde kontrol edilmektedir [11, 21].

TIM-1 cihazı mide-ince bağırsak sistemini temsil eden dört bölme (mide, duodenal, jejunal ve ileal kısım), TIM-2 ise mide-kalın bağırsak sistemini temsil eden iki bölme içermektedir. Bu cihazlar ile bir bileşiğin salınımı, çözünürlüğü, biyoulaşılabirliği tespit edilebilmektedir. Bu cihazlar genç, yaşlı, hasta gibi çeşitli populasyonların sindirim sistemlerine göre adapte edilebilmektedir. Ayrıca köpek ve domuz gibi çeşitli hayvanların sindirim sistemlerinin simülasyonu için de kullanılabilmektedir [11, 21].

En gelişmiş sürekli, anaerobik kolon modeli bilgisayar programlı TIM-2'dir. Bu cihaz peristaltik karıştırma, su absorpsiyonu ve fermente ürünlerin absorpsiyonunu gerçekleştirmektedir. Diyet lifleri ve fenolik bileşikler gibi yüksek yoğunluklu çeşitli ürünlerin fermentasyonu, amonyak oluşumu ve probiyotik bakteriler bu cihazla incelenebilmektedir [11, 21]. Bir diğer model ise TIM-1 modeli adapte edilerek üretilen Tiny-TIM isimli mide-ince bağırsak sistemini kapsayan iki kısımlı modeldir [11].

Ayrıca gastrointestinal sistemin simüle edildiği bir diğer bilgisayar kontrollü model IFR Model of Human Digestion'dır. Gönüllüler üzerinde yapılan çalışmaların biyokimyasal çalışmalar ile incelenmesi ve sonuçların simüle edilmesiyle kurulan sistem, mide, antrum (mide alt kısmı) ve ince bağırsak olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Mide kısmında karıştırma, difüzyon, enzim ve boşaltma döngüleri simüle edilmektedir. Antrumda daha büyük kuvvet uygulanarak mekanik parçalanma için zorlama olmaktadır. İnce bağırsakta ise difüzyon, karıştırma ve (fosfolipidler, sindirim enzimleri ve safra içeren) kompleks sindirim ortamı simüle edilmiştir [12].

Bunun dışında Gıda Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilen (Norwich, U.K.) DGM (Dynamic Gastric Model/Dinamik Mide Modeli) ve California-Davis Üniversitesi tarafından geliştirilen HGS (Human Gastric Model/İnsan Mide Modeli) gibi farklı dinamik sindirim sistemi modelleri bulunmaktadır [11].

2.4. Fenolik Bileşikler Üzerine Yapılmış *in vitro* Sindirim Çalışmaları

Yapılan sindirim çalışmalarında *in vitro-in vivo* korelasyonu çok önemli bir faktördür. İyi tanımlanmış sistemlerde *in vitro-in vivo* korelasyonunu gösteren çalışmalara açık bir şekilde ihtiyaç vardır. *in vitro-in vivo* korelasyonunun iyi olduğu

birçok gıda çalışması bugüne kadar yapılmış, elde edilen sonuçlar beslenme bilimine önemli katkılar sağlanmıştır.

Sindirimin fenolik bileşikler üzerine etkisini araştırmak üzere yapılmış *in vitro* sindirim çalışmalarından bazıları Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Fenolik bileşikler üzerine yapılan bazı *in vitro* sindirim çalışmaları

Çalışılan Gıda	Analiz edilen bileşikler	Referans
Portakal suyu	Flavonoid ve diğer fenolikler	[22]
Brokoli	Fenolik bileşikler, glukosinolat, vitamin C	[23]
Kakao	Flavan-3-ols	[24]
Lahana ve Karnabahar	Glukosinolat	[25]
Soğan ve elma	Kuersetin	[26]
Kuş kirazı	Polifenoller	[18]
Dut	Antosiyaninler	[27]
Kırmızı şarap	Polifenoller	[28]
Kırmızı lahana	Polifenoller	[29]
Üzüm	Polifenoller	[30]
Nar suyu	Fenolik bileşikler, antosiyaninler ve vitamin C	[31]
Elma	Toplam fenolik, flavonoid ve antosiyaninler	[20]
Vişne	Antioksidanlar	[32]
İşlenmiş domates ürünleri	Likopen, toplam fenolik, flavonoid ve antioksidan kapasitesi	[33]
Kuruyemişler	Fenolikler ve antioksidan kapasitesi	[34]
Portakal suyu, çilek ve çilek reçeli	Fenolik bileşikler	[35]
Ahududu	Antosiyaninler	[16]

2.5. Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler, meyve ve sebzelere kendilerine özgü buruk tadını veren sekonder metabolitlerdir. Bitkileri zararlılara karşı koruyan bu bileşikler, insan sağlığı üzerinde de pek çok olumlu etkiye sahiptir [36]. Bunlardan en önemlisi antioksidan özellik göstermeleri sebebiyle kardiyovasküler ve dejeneratif hastalıkları önlemede etkili olmalarıdır [37]. Antioksidan etki fenol halkasında bulunan –OH grubundan kaynaklanmaktadır. Yapısında bulunan –OH sayısı arttıkça antioksidan etki artmaktadır. Aynı bileşikte ise bulunduğu pozisyona göre meta-, orto-, para-sırası ile artmaktadır. En fazla antioksidan etkiyi gallik asit, floroglusik asit, kafeik asit ve gentisik asit göstermektedir [36]

Fenolik bileşikler, kılcal dolaşım sisteminde geçirgenliği düzenleme ve kan basıncını düşürme gibi insan sağlığına olan olumlu etkileri nedeniyle P faktörü (permeabilite faktörü) veya P vitamini olarak da adlandırılmaktadırlar [38]. Ayrıca tat, koku ve renk oluşumunda rol almaları, antimikrobiyal etki göstermeleri, enzim inhibisyonunu sağlamaları bu bileşikleri beslenme çalışmalarında önemli kılmaktadır [36]. Fenolik bileşikler, proteinlerle ve diğer bazı bileşiklerle kompleks oluşturmaları sebebiyle meyve sularının durultulmasında kullanılmaktadır.

Fenolik bileşiklerin oksidasyonu ile meydana gelen renk değişimleri ise istenmeyen enzimatik esmerleşmelerdir. Bu reaksiyonu polifenoloksidaz enzimi katalizlemektedir [36].

Bilinen 8000'den fazla fenolik bileşik çeşidi bulunmaktadır [3]. Fenolik bileşikler, meyve ve sebzelerde az veya çok miktarda bulunabilmektedir. Bitkilerde fenolik bileşik içeriğini etkileyen çok çeşitli fiziksel ve kimyasal faktörler vardır. Bunlardan bazıları mevsim, çevre koşulları, yetiştirme koşulları, bitki çeşidi, bitki hastalıkları, toprak tipi ve olgunluk durumudur [7].

Fenolik bileşikler, fenolik asitler ve flavonoidler olarak iki grupta incelenmektedir [38].

2.5.1. Fenolik Asitler

Fenolik asitler, hidroksisinamik asitler ve hidroksibenzoik asitler olarak iki alt gruba ayrılmaktadır [8]. Hidroksisinamik asitler bitkisel gıdalarda yaygın olarak bulunurken, hidroksibenzoik asitler gıdaların yapısında genelde iz miktarda (10 ppm kadar) bulunmaktadır veya hiç bulunmayabilirler [36,38]. En yaygın hidroksisinamik asitler, genellikle bitki hücre duvarlarında ve tahıl kepeklerinde bulunan ferulik asit ve kahvede yüksek miktarda bulunan kafeik asittir [37].

Fenolik asitler genellikle serbest halde bulunmamaktadır. Serbest halde bulunan fenolik asitler, ince ve kalın bağırsaktan absorbe edilmektedir. Ancak alkoller, şekerler veya organik asitler ile esterleşen, aktif hidroksil grubu içeren fenolik asitler ise ince bağırsakta esteraz enzimi bulunmamasından dolayı ince

bağırsak tarafından absorbe edilememektedir. Fakat kalın bağırsakta bulunan bazı bakteriler tarafından metabolize edilerek absorbe olmaktadır [23, 36].

2.5.2. Flavonoidler

Bitkilerde bulunan 4000'in üzerinde flavonoid çeşidi tespit edilmiştir [38]. Flavonoidler Tablo 2.2.'de görüldüğü gibi yapısal olarak altı alt gruba ayrılmaktadır. Naringin, hesperidin, naringenin gibi flavanon glikozidleri turuncgillerde sıklıkla bulunan flavonoidlerdir. Bunlar turuncgil sularına acımsı bir lezzet vermektedir. Flavanoller (kateşinler), gıdalarda en yaygın bulunan renksiz bir flavonoid grubudur [36]. Antosiyaninler, meyve ve sebzelere mavi, kırmızı ve mor renkleri vermektedir [3]. Antosiyaninlerin diyetteki ana kaynakları kırmızı sebze meyveler ve kırmızı şaraptır [16].

Tablo 2.2. Flavonoid çeşitleri ve özellikleri [8, 36]

Flavonoid Çeşitleri	Özellikleri
Antosiyanidinler	Kırmızı ve mavi renkli pigmentler
Flavonoller	Açık sarı renkli pigmentler
Flavonlar	Açık sarı renkli pigmentler
Flavanonlar	Bitter lezzetli bileşikler
Flavanoller	Buruk lezzetli bileşikler
İzoflavonoidler	Fitoöstrojen bileşikler

Serbest halde bulunan flavonoid aglikonlar, ince bağırsak hücre membranlarından geçebilmektedir. Flavonoid glikozitler ise yapısındaki glikozid bağlarını parçalayacak enzimlerin ince bağırsakta olmamasından dolayı kolon mikroflorası aracılığıyla kolonda absorbe olmaktadır [3, 8, 13, 39].

Ortalama yiyeceklerle günlük flavonoid alımı 26 mg'dır. %61 oranla en büyük kaynak çaydır, bunu %13 oranla soğan ve %10 oranla elma takip etmektedir. Kuersetin ise yiyeceklerde sık görülen bir flavonoiddir [40]. Bitkilerde bulunan flavonoid miktarını etkileyen faktörler ise bitki genetiği, olgunluk derecesi, çeşidi, çevresel koşullar, çimlenme, ışık, işleme yöntemleri ve depolama koşullarıdır.[13].

1960'ların sonlarında Macaristan'da üretilen ipriflavon sentetik bir flavonoiddir. Hayvan besinleri ile karıştırılması sonucunda kemikte toplam Ca^{+2}

miktarını arttırdığının görülmesiyle birlikte osteoporoz tedavisinde kullanılmıştır [40].

Tüm flavonoidler yapılarındaki 3'-4'dihidroksi konfigürasyonu ile antioksidan özellik göstermektedir [40]. Çay yapraklarının kateşin ve türevleri, kırmızı soğan kabuklarının kuersetin içerdiği ve buna bağlı olarak antioksidan özellik gösterdiği bilinmektedir. Günlük beslenmemizde sıklıkla tüketilen tatlı patates, yulaf, sarımsak, soya fasulyesi, pirinç, susam yağı, zeytin, kırmızı şarap gibi gıdalar ve adaçayı, kekik, biberiye ve karanfil gibi baharatlar antioksidan özellik göstermektedir [40].

2.6. Antioksidanlar

Serbest radikaller, bir veya daha fazla eşlenmemiş elektron taşıyan çok reaktif kimyasal maddelerdir. En basit serbest radikal bir elektron ve bir protonu olan hidrojen atomudur. Reaktif oksijen türleri (ROT) ise kimyasal olarak reaktif, bir veya daha fazla oksijen atomu içeren moleküller olarak tanımlanmaktadır [41].

Normalde serbest radikaller vücudumuzda bir denge içinde tutulmaktadır. Fakat bu dengenin bozulması sonucu insan vücudunda ve besinlerde bulunan lipidler, proteinler, karbonhidratlar, nükleik asitler, serbest radikaller ile oksidasyona uğrayabilmekte ve canlı organizması için zararlı olabilecek oksidasyon ürünleri oluşabilmektedir. Bu oksidatif hasar, birçok hastalığın başlangıcı ve ilerlemesinden sorumludur [42]. Serbest radikaller, vücudumuzda metabolik reaksiyonlar sonucu oluşabileceği gibi, ultraviyole ışınlar, hava kirliliği, sigara dumanına maruz kalma, alkol ve bazı ilaçların kullanımı gibi çeşitli dış faktörler nedeniyle de oluşabilmektedir.

Serbest radikalleri yakalayıp ve stabil hale getirerek serbest radikallerin neden olduğu oksidasyonları önleyen maddelere "antioksidan" adı verilmektedir [42]. Antioksidanlar çalışma mekanizmalarına göre, metabolizmadaki radikallerle reaksiyona girmesi sonucu serbest radikal oluşumuna engel olan birincil antioksidanlar ve oksijen radikalini yakalayıp stabilize eden ikincil antioksidanlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz ve

katalaz gibi enzimler birincil antioksidanlar iken C vitamini, E vitamini, ürik asit, bilirubin ve polifenoller gibi bileşikler ikincil antioksidanlara örnektir [41].

İnsan vücudu antioksidan enzimler (süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon peroksidaz) ve küçük moleküllü antioksidan bileşikleri (glutatyon, ubikinol, koenzim Q, ürik asit, melatonin, bilirubin) içeren antioksidan mekanizmaya sahiptir. Ancak bu sistem yaşa ya da çevresel etmenlere karşı artan serbest radikalleri karşılayamamaktadır. Bu duruma oksidatif stres denilmektedir. Bu sebeple diyetle alınan eksojen antioksidan maddeler oksidatif stresin sebep olabileceği dejeneratif bazı hastalıkların önlenmesinde gereklidir [43].

Bitkiler (yağlı tohumlar, tahıllar, sebzeler, meyveler, baharatlar ve çay), hayvansal ürünler (peptitler, aminoasitler ve karotenoidler), enzimler (glutatyon peroksidaz, süperoksit dismutaz ve katalaz) ve bazı mikroorganizmalar en önemli doğal antioksidan kaynakları arasında yer almaktadır. Bunların antioksidan kapasiteleri, C vitamini, fenolik bileşikler, karotenoidler ve E vitamini gibi bileşiklerden kaynaklanmaktadır [44]. Yapılan çalışmalarla antioksidan etkisi kanıtlanan gıdalardan bazıları üzüm, greyfurt, domates, portakal ve elma suyu, yeşil çay, kırmızı şarap, çilek, ahududu, böğürtlen ve brokolidir [38].

Bütillendirilmiş hidroksianisol, bütillendirilmiş hidroksitoluen ve propil gallat ise yapay antioksidan maddeler olup, fazla kullanımları toksik etki gösterdiği için kullanım miktarları yasalarla sınırlanmıştır. Endüstriyel üretimlerde gıdaların oksidasyonunu önlemek ve raf ömrünü uzatmak için kullanılmaktadırlar [45].

2.7. Antioksidan Kapasitesi Tayin Yöntemleri

Antioksidan kapasitesi tayin yöntemleri, elektron transferine (ET) dayanan yöntemler ve hidrojen atom transferine (HAT) dayanan yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Oksijen radikali absorbans kapasitesi (ORAC), toplam radikal yakalayıcı antioksidan parametre (TRAP) ve krosin beyazlatma yöntemleri HAT'a dayanan yöntemlerdir. Troloks eşdeğeri antioksidan kapasite (TEAC), ferrik indirgeme gücü (FRAP), oksijen radikali emme kapasitesi (CUPRAC) ve 1,1–difenil–2–pikrilhidrazil (DPPH) yöntemleri ise ET'ye dayanan yöntemlerdir [46].

TEAC yöntemi, ABTS katyonunun antioksidanlar tarafından indirgenmesine dayanan bir metottur. Toplam antioksidan kapasitesi, bir E vitamini analogu olan Troloks cinsinden verilmektedir. Renkte meydana gelen azalmanın spektrofotometrik yöntemlerle tayin edilmesi prensibine dayanan bir yöntemdir. Fakat ABTS katyonunun biyolojik sistemlerde bulunmaması yani yapay bir molekül olması sebebiyle tam anlamıyla gerçek bir sistemi temsil etmemektedir [47].

FRAP yöntemi ile ferrik tripyridyltriazine kompleksi, demir kompleksine indirgenmektedir. Oluşan mavi renkli çözeltilerin spektrofotometrik olarak tayin edilmesi prensibine dayanmaktadır [47].

DPPH yöntemi, serbest radikal giderme kapasitesini ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. Mor renkli DPPH radikali rengi analiz sonunda açılarak sarı renk almaktadır. Renkteki azalma antioksidan kapasitesi ile doğru orantılı olduğu için spektrofotometrik yöntemlerle tayin edilmektedir. Oluşan sarı renkli çözeltilerin 517 nm’de absorbanı ölçülmesi prensibine dayanmaktadır [47].

ORAC yönteminde ise hidroksil veya peroksil radikale karşı antioksidanların sağladığı koruma yetenekleri ölçülmektedir. Bu yöntemde farklı serbest radikal üreticileri veya oksidanlar kullanılabilir. Peroksil radikali, en sık kullanılan ve vücutta yaygın olarak bulunan bir radikaldir. Bu yöntemin diğer yöntemlerden farkı, serbest radikallerin antioksidanlar tarafından hem inhibisyon süresi hem de inhibisyon derecesi saptanabilmektedir. Diğer yöntemler, belli bir inhibisyon derecesindeki inhibisyon süresini veya belli bir inhibisyon süresindeki inhibisyon derecesini vermektedir [47].

2.8. Çalışma Kapsamında Kullanılan Sebzeler

2.8.1. Ispanak

Amaranthaceae familyasının bir üyesi olan ıspanak (*Spinacia oleracea* L.) güçlü bir kök yapısına sahiptir. Serin iklim sebzesi olan ıspanak ülkemizde kış ve ilkbahar aylarında üretilmektedir. Ispanak, ülkemizde aşırı yağış alan Doğu Karadeniz bölgesinde çok sınırlı üretilse de, gerekli koşullar sağlandığında diğer bütün bölgelerimizde kolaylıkla yetiştirilebilen bir sebzedir [48]



Şekil 2.1. Ispanak [48]

Ispanak tohumunun çimlenmesi için 5°C sıcaklık gereklidir. Sıcaklığın yükselmesi çimlenmeyi hızlandırarak çimlenme süresini kısaltsa da toprak sıcaklığı 30°C'yi bulursa tohum çimlenememektedir. Ispanak yetiştiriciliğinde ideal sıcaklık ise 15–18°C'dir [48]. Yüksek besin değeri ve antioksidan kapasitesi nedeni ile günümüzün sık tüketilen sebzelerinden biridir. Tablo 2.3.'de ıspanak sebzesine ait besin değeri verilmektedir.

Tablo 2.3. 100 g ıspanak bitkisinin içerdiği besin değerleri [48]

İçerik	Besin değeri
Enerji	25 kalori
Protein	3 g
Karbonhidrat	3,6 g
Kolesterol	0
Yağ	0,3 g
Lif	2,1 g
Fosfor	38 mg
Kalsiyum	170 mg
Demir	2,2 mg
Sodyum	50 mg
Potasyum	500 mg
A vitamini	8.100 IU
B1 vitamini	0,07 mg
B2 vitamini	0,14 mg
C vitamini	28 mg
E vitamini	1,7 mg

2.8.2 Brokoli

Lahanagiller (*Brassicaceae*) familyasına ait olan brokoli (*Brassica oleracea*), ülkemizde kışın yetişen bir serin iklim sebzesidir [49]. Brokoli, karnabahar, brüksel lahanası, karalahana ve beyaz lahana başlıca lahanagiller familyası çeşitleridir [3]. Brokoli yetiştiriciliği için ideal hava sıcaklığı 15–17°C olup maksimum 24°C 'ye kadar yetişmektedir [49]. Brokoli, gelişmiş Avrupa ülkeleri, Amerika ve Asya'da çok miktarda yetiştiriciliği yapılan ve severek tüketilen bir sebzedir [3]. Beslenme ve sağlık yönünden olumlu etkilerinin bilinmesi ile birlikte ülkemizde de bu sebzeye olan ilgi artmıştır.



Şekil 2.2. Brokoli [49]

Brokoli, fenolik bileşikler ve glukosinolatlar gibi biyoaktif bileşikler bakımından zengin bir sebzedir [23]. Birçok çalışma brokoli, karnabahar, çin brokolisi, hardal otu, turp gibi sebzelerin düzenli tüketiminin kansere karşı koruyucu etkisinin olduğunu göstermiştir [6]. Tablo 2.4.'de görüldüğü gibi A, C vitaminleri ile potasyum, magnezyum, kalsiyum ve demir mineralleri bakımından zengin olan brokoli, yüksek oranda lif içerdiği için kalori değeri oldukça düşüktür.

Tablo 2.4. 100 g çiğ brokoli bitkisinin içerdği besin değerleri [50]

İçerik	Besin değeri
Enerji	34 kalori
Protein	2,5 g
Karbonhidrat	2,9 g
Yağ	0,2 g
Fosfor	76 mg
Kalsiyum	100 mg
Demir	0,8 mg
Sodyum	10 mg
Potasyum	336 mg
Magnezyum	24 mg
Çinko	0,6 mg
B1 vitamini	0,10 mg
B2 vitamini	0,20 mg
C vitamini	87 mg
E vitamini	1,3 mg
Lif	Yüksek miktarda
A vitamini ve β -karoten	Az miktarda

2.8.3 Radika

Papatyagiller (*Asteraceae*) familyasına ait olan radika (*Taraxacum officinale*), vitamin A ve C, fenolik maddeler ve K, Ca ve P minerallerince zengindir.



Şekil 2.3. Radika

Abbas ve ark., 2015 [51] tarafından yapılan çalışmada radika Mg and Zn minerallerince zengin bulunmuştur. 100 g radika içeriği, Ca %3,50, Mg %0,28, Na

%0,08, Cu 32 ppm, Zn 47,2 ppm, Mn 71 ppm ve Se 0.32 µg/g olarak tespit edilmiştir. Tablo 2.5.'de radika bitkisine ait besin değerleri verilmiştir.

Tablo 2.5. 100 g radika bitkisinin içerdiği besin değerleri [51]

İçerik	100 g örnekte bulunan miktar
İnülin	%68
Sukroz	%14
Selüloz	%5
Protein	%6
Kül	%4
Diğer maddeler	%3

2.8.4 Cibes

Hasat edilen lahanaların üretim alanlarında bırakılan köklü gövdeleri zarar görmez veya üretim alanı sürülmezse, üzerinde bulunan yaprak izlerinin koltuklarından Aralık ve Ocak ayları içinde yeni sürgünler oluşmaya başlamaktadır. Hasat edilen 4-6 yapraklı lahana sürgünleri, cibes olarak adlandırılmaktadır [52].



Şekil 2.4. Cibes

Ülkemizde genellikle haşlanıp salata olarak tüketilen cibes, besin değerinin zengin olması nedeniyle son zamanların popüler sebzelerindendir. Tablo 2.6.'da cibes sebzmesine ait besin değerleri verilmiştir. Gerekli koşullar sağlandığında ülkemiz koşullarında kolay yetişen bir sebzedir. Lahananın yetiştirilmesi için optimum sıcaklık 15-20 °C'dir [52].

Tablo 2.6. 100 g cibes bitkisinin mineral madde içeriği [52]

İçerik	100 g'da bulunan miktar
N	% 3,67
P	% 0,46
K	% 2,69
Ca	% 0,95
Mg	% 0,13
Na	126 ppm
Fe	57 ppm
Cu	3,9 ppm
Zn	39,23 ppm
Mn	15,3 ppm
NO ₃	282 ppm
NO ₂	0,029 ppm
C Vitamini	90 mg

2.9. Fenolik Madde Çalışmaları

Zhang ve ark., 2004 tarafından yapılan çalışmada, pişirme işleminin brokolinin antioksidan kapasitesi üzerine etkisi incelenmiştir [6]. Brokoli çiçek ve saplarına 30, 60, 90, 120 ve 300 saniye mikrodalga ve kaynatma yöntemleriyle ısıtıl işlem uygulanmış bunun sonucunda toplam fenolik miktarında en fazla kayıp 300 saniyede görülmüştür. Isıl işlem sonucunda çiçek kısmında sap kısmına göre daha fazla kayıp olmuştur. Çiçek ve sap kısmında 30, 60, 90, 120 ve 300 saniye için kayıplar sırasıyla %31,6, %47,5, %55, %61,7, %71,9 ve %13,3, %22,2, %26,7, %28, %42,2 olarak bulunmuştur. Toplam fenolik madde miktarı çiçek ve sap kısımlarında çiğ halde sırasıyla 34,5 ve 4,5 mg GAE/100 g TA'dır. 5 dak. haşlama işlemi sonrasında bu miktar 9,7 ve 2,6 mg/100 g TA olarak bulunmuştur. Antioksidan kapasite ise DPPH metoduyla tespit edilmiştir. Çiçek ve sap kısmında sırasıyla %60,5 ve %62,8 olan antioksidan kapasite, haşlama sonrası sırasıyla %21,2 ve %21,8'e düşmüştür.

Koh ve ark., 2009 tarafından yapılan çalışmada, brokoli iki yıl boyunca seçilmiş aylarda satın alınmıştır [53]. Seçilen zamanlarda beş farklı marketten ticari ve organik brokoliler satın alınarak, mevsim faktörünün brokolinin fenolik bileşik miktarı üzerine etkisi araştırılmıştır. Toplam fitokimyasal madde içeriklerinin mevsime ve yıla göre yüksek farklılık gösterdiği belirtilmiştir. Toplam fenolik aktivite 48,15–157,77 mg GAE/100 g TA arasında değişiklik göstermiştir. 100 g taze

örnekteki kuersetin içeriği 0,03-10,85 mg, kaempferol içeriği ise 0,24-13,20 mg bulunmuştur. Brokolinin içerdiği flavonoid miktarının, çeşit, çevresel şartlar, tarımsal üretim yöntemleri, hasat sonrası ulaşım, taşıma, genotip gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterdiği belirtilmiştir.

Keçebaş, 2007 tarafından yapılan tez çalışmasında, farklı haşlama uygulamaları ile saklamanın kurutulmuş brokolinin renk ve toplam antioksidan kapasitesi üzerine etkisi araştırılmıştır [54]. Depolama öncesinde kurutulmuş brokolilerin toplam fenolik madde miktarları 12121,2-7087,3 mg GAE/kg aralığında bulunmuştur. DPPH yöntemi ile antioksidan kapasitesi tayini sonucunda, depolama öncesi kurutulmuş brokolilerin toplam antioksidan kapasitesi %55,32-95,66 olarak bulunmuştur.

Turkmen ve ark., 2005 tarafından yapılan çalışmada, biber, balkabağı, yeşil fasulye, bezelye, brokoli ve pırasadaki fenolik bileşikler ve antioksidan kapasitesi üzerine ısıtıl işlemin etkisi araştırılmıştır [5]. Çiğ brokolideki toplam fenolik madde miktarı 1204,29 mg GAE/100 g KM bulunmuştur. Haşlama, mikrodalga ve buharda pişirme sonrası brokolinin toplam fenolik madde miktarında artış meydana gelmiştir. Isıl işlemin serbest flavonollerini arttırdığı belirtilmiştir. DPPH yöntemi ile antioksidan kapasitesi tayini sonucunda ise sebzeler arasında en fazla antioksidan kapasite çiğ brokolide bulunmuştur. Çiğ halde toplam antioksidan kapasite %78,17 iken kaynatma, buharda pişirme ve mikrodalga ile pişirme işlemi sonrası sırasıyla %90,6, %91,3 ve %91,2 olarak tespit edilmiştir.

Vallejo ve ark., 2003 tarafından yüksek basınçlı kaynama, düşük basınçlı kaynatma, buharda ve mikrodalgada pişirme yöntemlerinin brokolide bulunan fenolik bileşikler üzerine etkisi araştırılmıştır [55]. Mikrodalga %97 oranla flavonoidlerde en fazla kayba neden olmuştur. Bunu %66 oranla konvensiyonel kaynatma takip etmiştir. Buharda pişirme yöntemiyle ise en az kayıp tespit edilmiştir.

Gawlik-Dziki ve ark., 2008 tarafından yapılan çalışmada, hidrotermal işlemlerin brokolinin antioksidan kapasitesi üzerine etkisi incelenmiştir [56]. Çiğ brokolide toplam polifenol miktarı 270 mg GAE/100 g TA olarak tespit edilmiştir. Dondurulmuş brokolide ise 100 mg GAE/100 g TA olarak tespit edilmiştir.

Kaynatma işleminin taze brokolideki fenolik madde içeriğinde önemli bir azalmaya sebep olduğu belirtilmiştir (160 mg GAE/100 g TA).

Bunea ve ark., 2008 tarafından yapılan çalışmada, depolanmış, dondurulmuş, haşlanmış ıspanaktaki karotenoidler ve fenolik asitler incelenmiştir [57]. HPLC ile yapılan analiz sonunda major karotenoidler, lutein (37–53 µg/kg), β-karoten (18–31 µg/kg), violaksantin (9–23 µg/kg) ve neoxanthin (10–22 µg/kg) olarak tespit edilmiştir. Yapılan tüm işlemlerin karotenoid miktarını etkilediği görülmüştür. En iyi muhafazanın +4°C’de 1 gün süre ile sağlandığı belirtilmiştir. Taze ıspanakta toplam fenolik miktarı 208,8 mg GAE/100 g TA olarak tespit edilmiştir. LC-MS ile yapılan analiz sonunda ise major fenolik asitler, orto-kumarik asit (28–60 mg/kg TA), ferulik asit (10–35 mg/kg) ve para-kumarik asit (1–30 mg/kg TA) olarak tespit edilmiştir. Yapılan tüm işlemler toplam fenolik madde miktarında azalmaya sebep olmuştur. Diğer yandan bu işlemlerin, bireysel olarak incelendiğinde orto-kumarik asit, ferulik asit ve para-kumarik asit miktarında artışa sebep olduğu belirtilmiştir.

Howard ve ark., 2002 tarafından yapılan çalışmada, mevsimsel ve genetik faktörlerin ıspanakta bulunan fenolik bileşikler ve antioksidan kapasite üzerine etkisi araştırılmıştır [58]. Sonbahar başında ekilip sonbahar sonunda hasat edilen ıspanakların (Eylül-Aralık), sonbahar sonunda ekilip ilkbaharda hasat edilen ıspanaklardan (Ekim-Mart) toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasitesi olarak daha zengin olduğu tespit edilmiştir.

Karaca, 2010 tarafından yapılan tez çalışmasında, ozonlamanın marul, ıspanak ve maydanozlarda mikrobiyal inaktivasyon ve raf ömrü üzerine etkisi araştırılmıştır [59]. Ozonlu su ve distile su ile yıkama fenolik bileşiklerde bir kayba yol açmamıştır. Klorlu su ile yıkama ise ıspanakta bulunan toplam fenolik madde miktarının azalmasına sebep olmuştur. Ayrıca toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasitesi değerleri depolama süresince azalmıştır.

Sinkoviç ve ark., 2015 tarafından yapılan çalışmada, farklı gübre uygulamalarının farklı radika türlerinin içerdiği fenolik bileşik miktarı üzerine etkisi incelenmiştir [60]. Toplam fenolik miktarının 58-403 mg GAE/100 g TA arasında değiştiği görülmüştür. ‘Treviso’ türü radikanın en fazla fenolik madde,

‘Castelfranco’ türünün ise en az fenolik madde içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca gübre kullanılmadan yetiştirilen radikaların, gübre uygulaması ile yetiştirilen radikalara göre daha yüksek fenolik madde içerdiği belirtilmiştir.

L.C.R. dos Reis ve ark., 2015 tarafından yapılan çalışmada fenolik madde miktarları brokoli ve karnabahar için sırasıyla şöyle bulunmuştur [61]; taze 987 ve 1750 mg/100 g KM, kaynatılmış 824 ve 1226 mg/100 g KM, buharda pişirilmiş 997 ve 1525 mg/100 g KM, mikrodalga ile pişirilmiş 1152 ve 1792 mg/100 g KM olarak tespit edilmiştir. Kuersetin miktarları ise brokoli ve karnabahar için sırasıyla; taze 237 ve 2514 mg/100 g KM, kaynatılmış 315 ve 651 mg/100 g KM, buharda pişirilmiş 225 ve 1862 mg/100 g KM, mikrodalga ile pişirilmiş 221 ve 2328 mg/100 g KM olarak tespit edilmiştir.

Vaishnav ve ark., 2015 tarafından yapılan çalışmada radyasyon uygulamasının karnabaharın raf ömrü ve kalite özellikleri üzerine olan etkisi araştırılmıştır [62]. Taze karnabaharda DPPH yöntemi ile ölçülen antioksidan kapasitesi 5,03 mg Troloks/100 g TA olarak bulunmuştur. Radyasyon uygulaması sonrası bu değer 17,64 mg Troloks/100 g TA olarak tespit edilmiştir. Fenolik madde içeriği kontrol grubunda 42,86 mg GAE/100 g TA, ışınlama uygulanmış karnabaharda ise 50,49 mg GAE/100 g TA olduğu tespit edilmiştir. Depolama işlemi boyunca kontrol örneğinin toplam fenolik madde miktarı azalırken, ışınlama uygulanmış karnabaharda değişme gözlenmemiştir.

Dalar ve ark., 2014 tarafından yapılan çalışmada toplam fenolik madde miktarı radikanın çiçeklerinde 22,6 mg GAE/g KM, yapraklarında ise 22,4 mg GAE/g KM olarak tespit edilmiştir [63].

Vallejo ve ark., 2004 çiğ brokoli çiçeklerinde bulunan fenolik bileşikler, glukosinolatlar ve vitamin C üzerine *in vitro* sindirim uygulamasının etkisini araştırmışlardır [23]. Çiğ halde toplam flavonoid miktarı 18 mg kuersetin/100 g TA olarak bulunmuştur. Araştırma sonucunda gastrik ortamda fenolik maddelerin yüksek stabilite gösterdikleri, flavonoidlerde ise hiç kayıp olmadığı tespit edilmiştir. İntestinal ortamda ise flavonoidlerde IN fazında %94,1, OUT fazında ise %89,7

kayıp olduğu ve fenolik bileşiklerin intestinal ortamda düşük stabilite gösterdikleri belirtilmiştir.

Toydemir ve ark., 2013 tarafından vişne nektarı üretiminin vişnedeki antioksidan kapasitesi ve biyoyararlılık üzerine etkisi araştırılmıştır [32]. Antioksidan kapasitenin >%50 fazla oranla antosiyaninlerden kaynaklandığı belirtilmiştir. Vişne nektarının IN fazında (%39), taze vişne meyvesine (<%20) göre daha fazla oranda antosiyanin bulunmuştur. Mide sindirimi toplam fenolik madde içeriği üzerinde önemli bir etkiye sebep olmamıştır. Toplam fenolik madde biyoyararlılıkları, taze vişne meyvesinde (%20), vişne nektarına kıyasla (%17) daha fazla bulunmuştur. Bunun nedeni ise nektar üretimi sırasında eklenen sakaroz olarak belirtilmiştir.

Bouayed ve ark., 2012 farklı elma çeşitlerindeki polifenollerin biyoyararlılığı üzerine yaptığı çalışma sonucunda, gastrik fazdaki polifenollerin miktarında önemli bir kayıp bulmazken, intestinal fazda önemli miktarda azalma tespit etmiştir. Bunun nedeni flavan-3-ol'lerin pH nedeniyle intestinal ortama dayanıksız olmaları olarak gösterilmiştir. Elmadaki major hidroksisinamik asit olan klorojenik asit biyotransformasyonu ise %41–77 olarak bulunmuştur [20].

Kamiloğlu, 2012 tarafından yapılan tez çalışmasında taze Bursa siyahı incir çeşidinde bulunan toplam fenolik miktarda *in vitro* mide ortamında önemli bir kayıp görülmezken, taze Sarılop incir çeşidinde ise %16 artış görülmüştür [64]. Sarılop ve Bursa siyahı incir çeşitlerinde sırasıyla toplam fenolik madde biyoyararlılıkları %22 ve %32 bulunmuştur. Kurutulmuş Bursa Siyahı incirde toplam fenolik madde biyoyararlılığında %28 azalma görülürken, Sarılop da %30 artma görülmüştür. Ayrıca Sarılop ve Bursa siyahı incir çeşitlerinde sırasıyla toplam flavonoid biyoyararlılıkları %17 ve %32 olarak bulunmuştur. Kurutulmuş Bursa Siyahı incir biyoyararlılığında %67 kayıp, Sarılop'ta ise %181 artış olmuştur. Her iki incir türünde de *in vitro* mide sindirimden sonra toplam antioksidan kapasitesi değerlerinde artış görülmüştür. Bağırsak sindiriminden sonra toplam antioksidan kapasitesi biyoyararlılıkları, Sarılop ve Bursa siyahı incir çeşitlerinde %80 ve %86 bulunmuştur. Kurutma işlemi, Sarılop ve Bursa siyahı incir çeşitlerinin biyoyararlılıklarında sırasıyla %17 ve %30 azalmaya sebep olmuştur.

Gil-Izquierdo ve ark., 2002 tarafından yapılan çalışmada çilek ve çilek reçelinde bulunan fenolik maddelerinin biyoyararlılıkları araştırılmıştır [35]. Çalışma sonucunda çilek reçelinin diyalize olan fazın, taze çileğin diyalize olan fazından daha az fenolik bileşik içerdiği bulunmuştur. Eklenen şekerin diyalize olan su hacmini azalttığı buna bağlı olarak daha az fenolik bileşiğin diyalize olduğu belirtilmiştir.

Girgin ve ark., 2015 tarafından yapılan çalışmada karnabaharda bulunan önemli bir glukosinolat olan sinigrin'in biyolaşılabilirliği üzerine haşlama ve buharda pişirme işlemlerinin etkisi incelenmiştir [25]. Buharda pişirme ve haşlama işlemleri sinigrin içeriğinde sırasıyla %9,6 ve %29,1 azalmaya sebep olmuştur. Çiğ karnabaharda sindirim uygulaması sonrası sinigrin içeriği %26,4 azalmıştır. Buharda pişmiş ve haşlanmış karnabaharda ise sindirim uygulaması sonrası sinigrin içeriği sırasıyla %29,5 ve %114,7 artmıştır.

Bermudez-Soto ve ark., 2007 tarafından yapılan çalışmada kuş kirazı polifenollerini üzerin *in vitro* sindirimin etkisi araştırılmıştır [18]. Buna göre mide sindirimi sonrasında antosiyaninler, flavan-3-ol, flavonoller and kafeik asit türevlerinin miktarında önemli bir değişiklik olmamıştır. İnce bağırsak sindirimi sonrasında ise flavan-3-ol ve flavonoller sırasıyla, %26 ve %19 azalmıştır. Klorojenik asit %24 artarken, neoklorojenik asit %28 oranında azalmıştır. Bunun nedeni ise polifenollerin midedeki asit ortama dayanıklı olmasına rağmen, ince bağırsaktaki alkali koşullara dayanıksız olması olarak belirtilmiştir.

Kamiloğlu ve ark., 2013 tarafından yapılan çalışmada kuru meyve ve kabuklu yemişlerin birlikte tüketiminin polifenollerin sindirilebilirliği üzerine etkisi araştırılmıştır [34]. IN fazındaki polifenol miktarı %7-69 aralığında bulunmuştur. Kuru meyve ve kabuklu yemişlerin birlikte tüketimi antagonistik etki göstererek yalnız olarak tüketilmelerine kıyasla, polifenollerin sindirilebilirliğini, %22-77 azaltmıştır. Buna karşın kuru incir-ceviz, kuru kayısı-ceviz ve kuru kayısı-fındık karışımları ise sinerjistik etki göstererek antioksidan kapasiteyi artırmıştır. DPPH yöntemi ile ölçülen antioksidan kapasitenin %35-107 arttığı belirtilmiştir. FRAP yöntemi kullanılarak değerlendirilen antioksidan kapasite ise %10-74 artmıştır.

Liang ve ark., 2012 tarafından yapılan çalışmada dutta bulunan antosiyaninlerin biyolaşılabilirlikleri araştırılmıştır. Buna göre antosiyaninlerin sindirim öncesi miktarlarına göre bağırsak sindirimi sonrasında IN fazında %0,34, OUT fazında ise %4,58 oranında bulunduğu tespit edilmiştir [27].

Gil-Izquierdo ve ark., 2002 portakal suyunun flavanonlar bakımından zengin bir kaynak olmasına rağmen, flavanonların ancak %11-39'unun ince bağırsak tarafından absorblanabildiğini belirtilmiştir [22].

Kamiloğlu ve ark., 2013 salça ve kurutma prosesinin, taze domates ile kıyaslandığında biyolaşılabilirlik değerlerini artırdığını belirtmiştir. Salça ve kurutma prosesi sırasıyla, likopen biyolaşılabilirliğini 2,2 ve 3,8 kat, toplam fenolik madde biyolaşılabilirliğini 2,3 ve 2 kat, toplam flavonoid madde biyolaşılabilirliğini 9 ve 2,5 kat, DPPH yöntemi ile ölçülen toplam antioksidan kapasitesi biyolaşılabilirliğini 6,3 ve 8 kat, CUPRAC yöntemi ile ölçülen toplam antioksidan kapasitesi biyolaşılabilirliğini ise 26 ve 33 kat artırmıştır[33].

2.10. Tezin Amacı

Bu çalışmada, çiğ ve haşlanmış cibes, radika, brokoli ve ıspanakta bulunan fenolik bileşiklerin ve flavonoidlerin biyoyararlılıkları *in vitro* sindirim uygulanarak tespit edilmiştir. Ayrıca örneklerdeki toplam antioksidan kapasite sindirim öncesi ve sonrasında (DPPH ve ABTS yöntemleri ile) ölçülmüştür.

3. MATERİYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışmada Kullanılan Sebzeler

Çalışmamızda materyal olarak, 2015 yılı Ocak ayında İzmir ili Bornova semt pazarından satın alınan brokoli, ıspanak, radika ve cibes örnekleri kullanılmıştır.

Sebzeler çeşme suyu ile yıkanıp yenilebilen kısımları ayıklandıktan sonra ikiye ayrılmış ve yarısı haşlama işlemine tabi tutulmuştur. Sebzelere uygulanan haşlama süreleri Tablo 3.1.'de gösterilmiştir. Haşlanmış ve çiğ sebzeler, blenderde öğütüldükten sonra bir kısmı ile ekstrakt hazırlanmıştır. Diğer kısmı ise *in vitro* sindirim uygulanmak üzere -20°C'de muhafaza edilmiştir.

Tablo 3.1. Sebzelere uygulanan haşlama süreleri

Sebze	Haşlama süresi (dak.)
Brokoli	5
Ispanak	3
Radika	1
Cibes	3

3.1.2. Kimyasal Malzemeler

Ekstraktların hazırlanması için kullanılan kimyasallar;

- Metanol ($\geq 99.9\%$), Merck
- Formik asit ($\geq 98\%$), Merck

Toplam fenolik madde tayini için kullanılan kimyasallar;

- Folin-Ciocalteu çözeltisi, Merck
- Sodyum karbonat (Na_2CO_3), Sigma-Aldrich
- Gallik asit ($\geq 98\%$), Merck

Toplam flavonoid tayini için kullanılan kimyasallar;

- Sodyum nitrit (NaNO_2), Merck
- Alüminyum klorid (AlCl_3), Merck
- Sodyum hidroksit (NaOH), Merck
- Kateşin ($\geq 98\%$), Sigma-Aldrich

ABTS yöntemi ile toplam antioksidan kapasitesi tayini için kullanılan kimyasallar;

- 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) (ABTS), Sigma-Aldrich
- Potasyum persülfat ($K_2S_2O_8$), Sigma-Aldrich
- Potasyum dihidrojen fosfat (KH_2PO_4), Sigma-Aldrich
- Dipotasyum hidrojen fosfat (K_2HPO_4), Sigma-Aldrich
- Troloks, Sigma-Aldrich

DPPH yöntemi ile toplam antioksidan kapasitesi tayini için kullanılan kimyasallar;

- 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH), Sigma-Aldrich

Sindirim uygulaması için kullanılan kimyasallar;

- Hidroklorik asit (%37), Merck
- Pepsin (P7000), Sigma-Aldrich
- Pankreatin (P1750), Sigma-Aldrich
- Safra ekstraktı (B8631), Sigma-Aldrich
- Spectra/Por dialysis membrane (MWCO:12000-14000), *in vitro* sindirimde diyaliz için kullanılmış ve Spectrum Laboratories, Inc., Rancho Dominguez, USA'dan satın alınmıştır.

3.1.3. Alet ve Cihazlar

Analizlerde kullanılan alet ve cihazlar aşağıda belirtilmiştir.

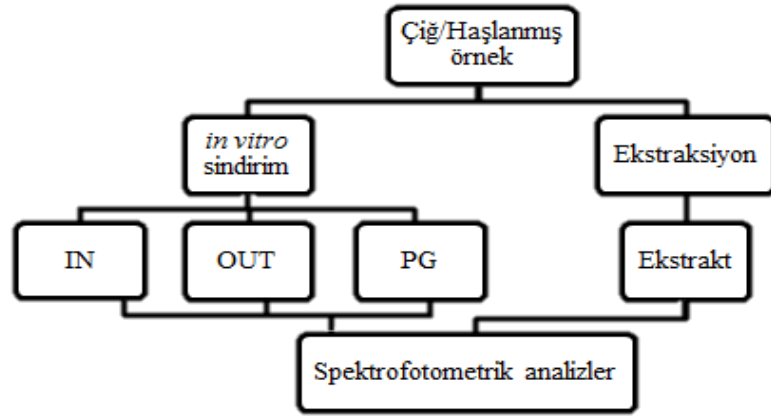
- Laboratuvar tipi pH metre (WTW Marka PH 7110 Model)
- Dijital ayarlanabilir otomatik mikropipet seti (Brand Marka)
- Cam termometre
- Santrifüj, 12000 rpm (Daihan Scientific, WiseSpin CF-10 centrifuge, Seoul, Korea)
- Soğutmalı santrifüj, 6000 rpm (Hettich EBA 85, Zentrifugen, Germany)
- Spektrofotometre (Shimadzu UV-1601, Australia)
- Ultra saf su cihazı (Smart2Pure) (Şekil 3.1.)
- Çalkalamalı inkübatör (IKA KS 4000 İ Control)



Şekil 3.1. Ultra saf su cihazı

3.2. Yöntem

Çiğ ve haşlanmış sebzelerin bir kısmına, sebze örneklerindeki analizleri yapmak üzere ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır. Örneklerin diğer kısmına ise *in vitro* sindirim uygulanmıştır. Mide sindirimi uygulaması sonunda mide örneği (PG/Post Gastrik) ve ince bağırsak sindirim uygulaması sonunda ise IN ve OUT örnekler elde edilmiştir. IN, diyaliz tüpü içindeki örnek olup ince bağırsaktan dolaşım sistemine geçen fazı, OUT ise diyaliz tüpü dışındaki örnek olup ince bağırsakta kalan fazı temsil etmektedir. Ekstraktlarda, PG, IN ve OUT örneklerinde, toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde, DPPH yöntemi ile toplam antioksidan kapasitesi ve ABTS yöntemi ile toplam antioksidan kapasitesi analizleri yapılmıştır. Tüm analizler iki tekerrür üç paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada planı Şekil 3.2.'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Tez çalışma planı

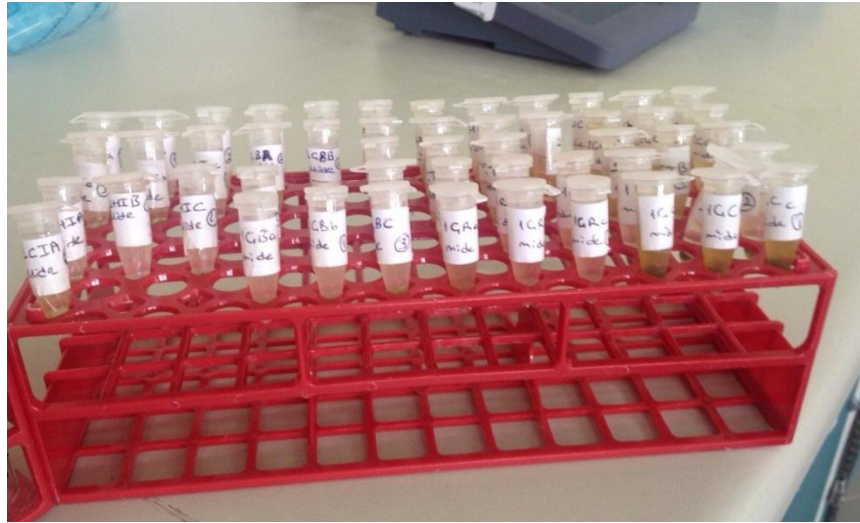
3.2.1. Örnek Ekstraktlarının Hazırlanması

Örnek ekstraktlarının hazırlanması Bino ve ark., 2005 tarafından uygulanan yöntemle yapılmıştır [65]. Bunun için 2 g öğütülmüş örnek santrifüj tüpüne konularak üzerine %0,01 formik asit içeren %75 metanol çözeltisinden 5 mL eklenmiştir. Ultrasonik su banyosunda 15 dak. bekletildikten sonra 10 dak. 2700 rpm’de santrifüj edilerek üst faz alınmıştır. Ekstraksiyon işlemi, pellet için iki kez daha tekrar edilmiş ve tüm üst fazlar birleştirildikten sonra son hacim 15 mL’ye tamamlanmıştır. Ekstraktlar filtre edildikten sonra, analizlerde kullanılmak üzere -20 °C’de muhafaza edilmiştir.

3.2.2. Sindirim Uygulaması

Haşlanmış ve çiğ sebzeler için mide ve bağırsak sindirimi laboratuvar koşullarında simüle edilmiştir. Sindirim işleminin modellenmesi için McDougall ve ark., 2005 tarafından önerilen yöntem modifiye edilerek uygulanmıştır [16].

Mide sindirimi için 250 mL hacimli bir beher içine blendırda parçalanmış 5 g örnek konularak üzerine 20 mL saf su ilave edilmiştir. Ön denemelerde belirlenen miktarda 5 M HCl eklenerek karışımın pH’sı 1,7’ye düşürülmüştür. Daha sonra karışıma 1,5 mL pepsin çözeltisi (315 units/mL) eklenmiştir. Beher, Şekil 3.4.’de görüldüğü gibi parafilm ile kapatılarak çalkalamalı inkübatörde 37°C’de 100 rpm hızda karıştırılarak iki saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda Şekil 3.3.’de görüldüğü gibi 2 mL PG kısım ayrılarak analizlerde kullanılmak üzere -20°C’de muhafaza edilmiştir.





Şekil 3.4. (a) Diyaliz tüpü (b) İnkübe edilen örnekler

3.2.3. Nem Tayini

Nem tayini için 2 g öğütülmüş örnek, önceden darası alınan alüminyum nem kabına konulmuştur. 104°C’de sabit tartıma gelinceye kadar etüvde tutulan örnekler [66], 15-20 dak. desikatörde bekletildikten sonra, soğuyan nem tayini kapları hassas terazide tartılmıştır. % Nem, Formül 3.4 ile hesaplanmıştır.

$$\%Nem = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \times 100 \quad (3.2)$$

m = Örnek miktarı

m₁ = Örnek miktarı + Dara

m₂ = Kurutulmuş örnek miktarı + Dara

3.2.4. Toplam Fenolik Madde Tayini

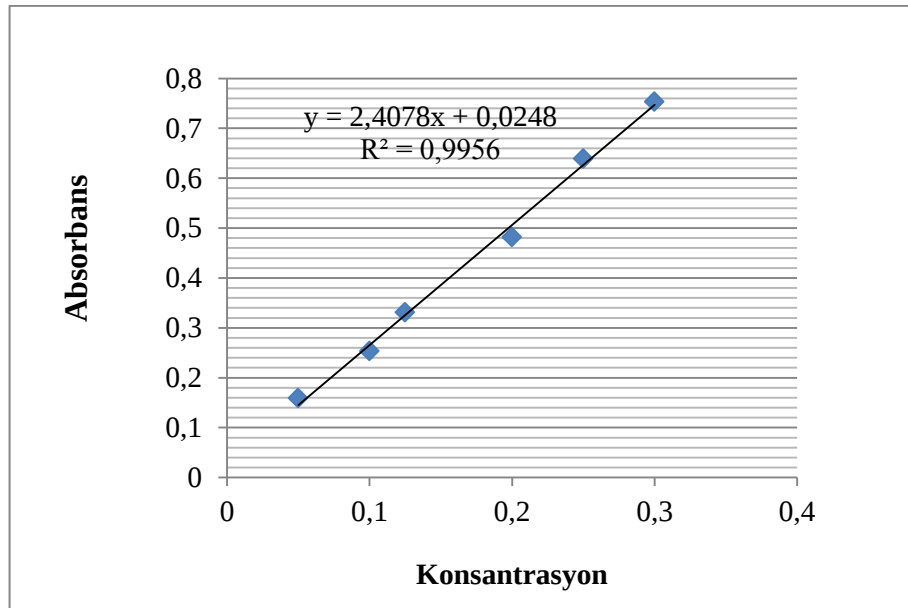
Toplam fenolik madde miktarı tayini, Velioğlu ve ark., 1998 tarafından kullanılan yöntemin modifiye edilmesiyle yapılmıştır [67]. Buna göre 100 µL analiz örneği üzerine 750 µL %10’luk Folin-Ciocalteau çözeltisi ve 750 µL Na₂CO₃ çözeltisi (60 g/L) ilave edilip, tüpler vortekste karıştırılmıştır. Aynı işlem örnek yerine su kullanılarak hazırlanan kör çözelti için de yapılmıştır. Çözelti hacimleri ultra saf su ile 5 mL’ye tamamlandıktan sonra tüpler tekrar vortekste karıştırılmıştır. Hazırlanan çözeltiler oda sıcaklığında karanlık bir ortamda 1,5 saat bekletilmiştir. Süre sonunda oluşan mavi renkli çözeltilerin (Şekil 3.5.) absorbanası,

spektrofotometrede (Shimadzu UV-Vis 160A, Japonya) 725 nm’de köre karşı ölçülmüştür.



Şekil 3.5. (a) Folin çözeltisi eklenmiş örnekler (b) Ölçüme hazır çözeltiler

0,025-0,4 mg/mL konsantrasyon aralığında gallik asit standartları kullanılarak Şekil 3.6.’da görüldüğü şekilde gallik asit kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Örneklerin toplam fenolik madde miktarları, spektrofotometrede okunan absorbans değerlerinin gallik asit kalibrasyon eğrisinde yerine konulmasıyla mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/100 g Taze Ağırlık (TA) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.6. Gallik asit kalibrasyon eğrisi

3.2.5. Toplam Flavonoid Tayini

Toplam flavonoid madde tayini, Martos ve ark., 2011 tarafından önerilen yöntemin modifikasyonu ile yapılmıştır [68]. Deney tüpüne analiz örneğinden 1 mL alınarak, üzerine sıfırıncı dak.'da 0,3 mL %5'lik sodyum nitrit, 5. dak.'da 0,3 mL %10'luk Alimünyum klorür, 6. dak.'da 2 mL 1 M NaOH ve sonrasında 2,4 mL ultra saf su eklenmiştir. Aynı işlem örnek yerine su kullanılarak hazırlanan kör çözelti için de yapılmıştır. Tüpler vortekste karıştırılmış ve kiremit rengi çözeltilerin (Şekil 3.7.) absorbansı spektrofotometrede (Shimadzu UV-Vis 160A, Japonya) 510 nm'de köre karşı ölçülmüştür.



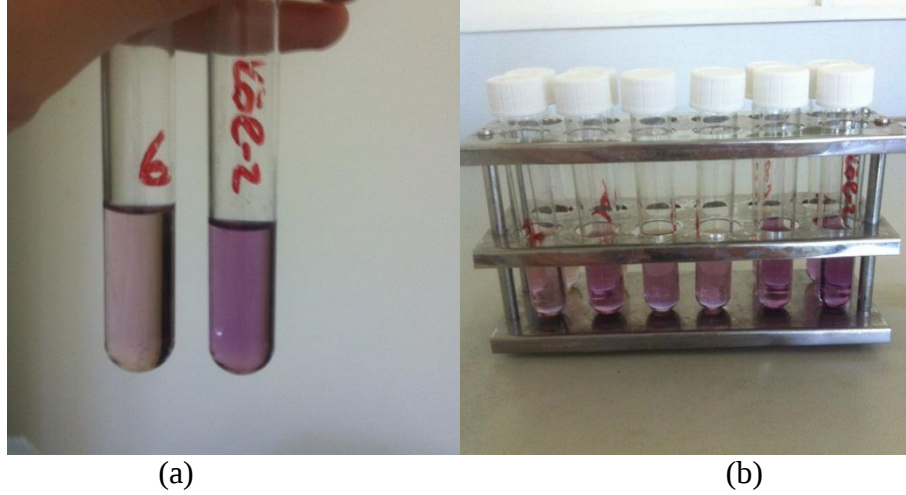
Şekil 3.7. Flavonoid tayini için ölçüme hazır çözeltiler

0,0025-0,125 mg/mL konsantrasyon aralığında hazırlanan kateşin standart çözeltileri kullanılarak kateşin kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Örneklerin toplam flavonoid miktarları spektrofotometrede okunan absorbans değerlerinin, kateşin kalibrasyon eğrisinde yerine konulmasıyla mg kateşin eşdeğeri (KE)/100 g TA olarak hesaplanmıştır.

3.2.6. DPPH Yöntemi ile Toplam Antioksidan Madde Tayini

DPPH metodu ile toplam antioksidan kapasitesi Martos ve ark., 2011 tarafından kullanılan yöntemin modifiye edilmesi ile ölçülmüştür [68]. %100 metanol çözeltisi kullanılarak 0,1 mM DPPH çözeltisi hazırlanmıştır. 100 µL analiz

örneği üzerine 2 mL koyu mor renğinde DPPH çözeltisi eklendikten sonra %100 metanol ile 5 mL'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan örnekler, yarım saat oda sıcaklığında karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Süre sonunda oluşan açık sarı-pembe renkli çözeltilerin (Şekil 3.10.) absorbans değerleri, 517 nm'de saf metanole karşı okunmuştur.



Şekil 3.8. (a) Kör ve standart çözeltiler (b) Analize hazır çözeltiler

0,0025-0,225 mg/mL konsantrasyon aralığında hazırlanan Troloks standart çözeltileri kullanılarak Troloks kalibrasyon eğrisi hazırlanmıştır. Sonuçlar mg Troloks eşdeğeri (TE)/100 g TA olarak ifade edilmiştir. Kontrol çözeltisi için ekstrakt yerine 100 µL saf su kullanılmıştır.

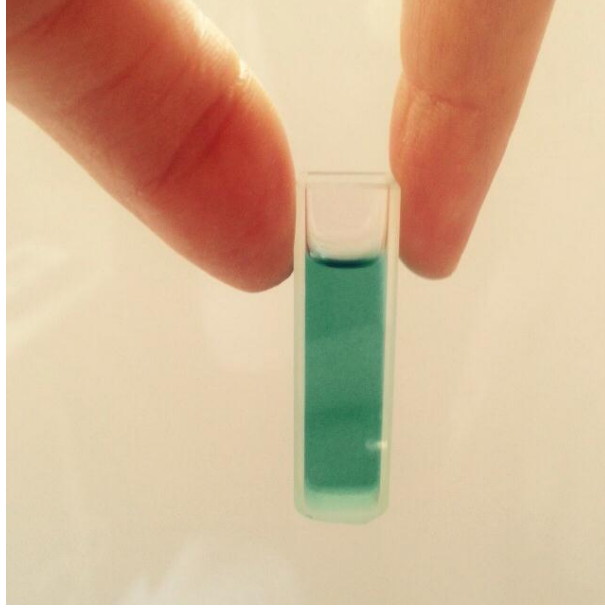
Ayrıca DPPH radikalini indirgeme aktivitesi aşağıdaki Formül 3.3. ile hesaplanmıştır:

$$\%DPPH \text{ radikalini indirgeme aktivitesi} = \frac{(A_{kontrol} - A_{örnek})}{A_{kontrol}} \times 100 \quad (3.3)$$

3.2.7. ABTS Yöntemi ile Toplam Antioksidan Madde Tayini

ABTS metodu, Miller ve ark, 1997 tarafından önerilen yöntemin modifikasyonu ile gerçekleştirilmiştir [69]. Buna göre 200 mg ABTS alınarak, 200 mL suda çözülmüştür. 38 mg potasyum persülfat ise 2 mL suda çözülmüştür. Bu iki çözelti karıştırılıp karanlıkta 12-16 saat bekletilerek yeşil renkli ABTS çözeltisi hazırlanmıştır. Ayrıca 0,05 M tampon çözeltisi, 0,05 M KH_2PO_4 ve 0,05 M K_2HPO_4

çözeltilerinin karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. ABTS çözeltisi, absorbansı 734 nm’de $0,900 \pm 0,05$ olacak şekilde fosfat tampon çözeltisi ile seyreltilmiştir (Şekil 3.8.). ABTS çözeltisinin absorbansı, fosfat tampon çözeltisine karşı okunmuştur. 100 µL örnek ve farklı konsantrasyonlarda hazırlanan Troloks standart çözeltileri üzerine 1 mL ABTS çözeltisi eklenerek, 15 saniye vorteks ile karıştırılmıştır. 45 saniye bekletildikten sonra 734 nm’de ultra saf suya karşı absorbans değerleri ölçülmüştür.



Şekil 3.9. ABTS çözeltisi

0,0025-0,125 mg/mL konsantrasyon aralığında hazırlanan Troloks standart çözeltileri kullanılarak Troloks kalibrasyon eğrisi hazırlanmıştır. Sonuçlar mg Troloks eşdeğeri (TE)/100 g TA olarak ifade edilmiştir. Kontrol çözeltisi için ekstrakt yerine 100 µL saf su kullanılmıştır.

Ayrıca ABTS radikalini indirgeme aktivitesi aşağıdaki Formül 3.2 ile hesaplanmıştır:

$$\%ABTS \text{ radikalini indirgeme aktivitesi} = \frac{(A_{kontrol} - A_{örnek})}{A_{kontrol}} \times 100 \quad (3.4)$$

3.2.8. İstatistiksel Analizler

Çalışma sonuçları, SAS Version 8.0 programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışma, Tamamen Rastgele Desen olarak planlanmıştır. PROC GLM prosedürü kullanılarak ortalamalar değerlendirilmiştir. Örnekler arasındaki farklılığın önemli olup olmadığı LSD testi ile belirlenmiştir. Güven aralığı %95 olarak kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Nem Tayini

Cibes, radika, ıspanak ve brokoli örneklerine ait nem içerikleri Tablo 4.1.'de verilmiştir. Nem içerikleri %89-92 arasında bulunmuştur. Sebzelerin haşlama sonrası nem içeriğinde meydana gelen artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Çiğ sebzeler arasında en düşük nem içeriği çiğ brokoli örneklerine (%88,94±0,28), en yüksek nem içeriği ise çiğ radika örneklerine (%90,82±1,52) aittir. Haşlanmış sebzeler arasında benzer şekilde en düşük nem içeriği haşlanmış brokoli örneklerine (%91,01±0,19), en yüksek nem içeriği ise haşlanmış radika örneklerine (%92,20±0,51) aittir.

Keçebaş, 2007 tarafından yapılan tez çalışmasında, taze brokolilerin nem içeriği %85,66-90,53 arasında değişmiştir [54]. Bu değer, yaptığımız çalışmada brokoli için verdiğimiz değer ile (%88,94±0,28) uyum göstermektedir.

Bastin ve ark., 1997 tarafından yapılan çalışmada ise taze brokoli ve ıspanak örneklerine ait nem içeriği sırasıyla %91 ve %92 bulunmuştur [70]. Uyar ve ark., 2013 tarafından yapılan çalışmada, radika nem içeriği %96,94 ve tere nem içeriği %93,03 bulunmuştur [71]. Elde edilen bu sonuçlar, radika ve brokoli için bulduğumuz değerlere yakındır. Yetiştirme koşulları, genotip, depolama koşulları gibi faktörlere bağlı olarak, sebzelerin nem içeriğinin sebze türüne göre ve aynı tür içinde sebzeden sebzeye farklılık göstermesi olağandır.

Tablo 4.1. Nem içeriği (%) (n=6)

Sebzeler	Çiğ	Haşlanmış
Brokoli	88,94±0,28 ^{a*}	91,01±0,19 ^a
Ispanak	90,37±0,19 ^a	91,38±0,31 ^a
Cibes	90,27±1,07 ^a	91,26±1,18 ^a
Radika	90,82±1,52 ^a	92,20±0,51 ^a

*Aynı harfler, aynı satırdaki değerler arasındaki farkın $p>0,05$ düzeyinde önemli olmadığını ifade etmektedir.

4.2. Haşlama İşleminin Etkisi

4.2.1 Toplam Fenolik Madde Miktarı

Çiğ ve haşlanmış sebze örneklerine ait toplam fenolik madde miktarları Tablo 4.2. ve Şekil 4.1.'de verilmiştir. Haşlama sonrası toplam fenolik madde miktarlarında meydana gelen kayıp grafiksel olarak Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.

Çalışma sonucunda, çiğ ve haşlanmış sebze örneklerine ait toplam fenolik madde miktarları sırasıyla 110-143 ve 63-100 mg GAE/100 g TA aralığında bulunmuştur. Sebzelerin içerdiği fenolik madde miktarının, bitkinin olgunluğu, bitkinin türü, çevresel koşullar, depolama ve saklama koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği bilinmektedir [66].

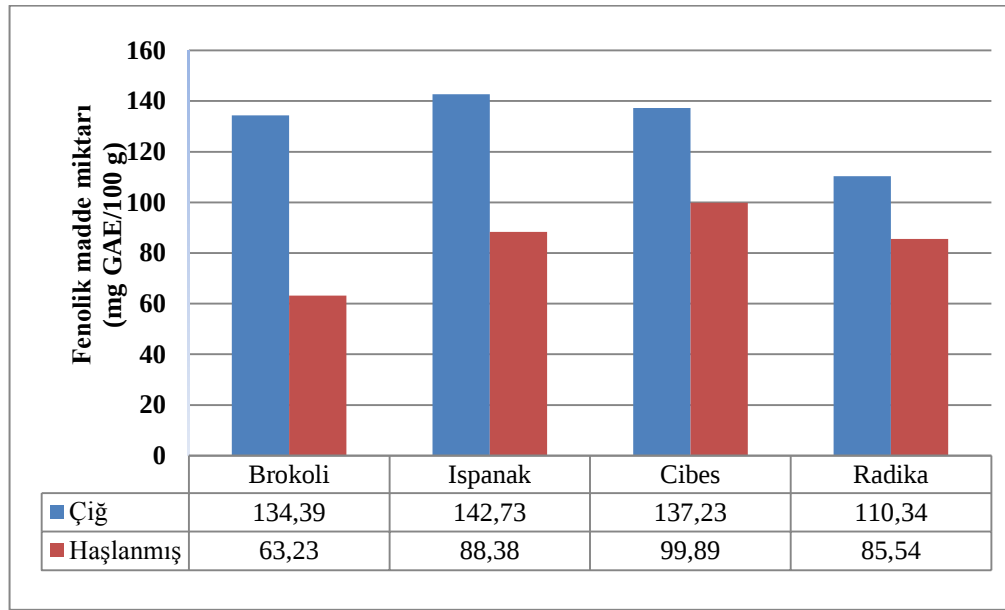
Çiğ sebzeler arasında, en az toplam fenolik maddeyi radika ($110,34 \pm 1,77$ mg GAE/100 g TA), en fazla fenolik maddeyi ise çiğ ıspanak ($142,73 \pm 1,22$ GAE/100 g TA) içermektedir. Haşlanmış sebzeler arasında ise en az fenolik madde miktarı brokoli örneklerinde ($63,23 \pm 1,84$), en yüksek fenolik madde miktarı ise cibes örneklerinde ($99,89 \pm 3,52$) bulunmuştur.

Haşlama sonrası, toplam fenolik madde miktarında önemli miktarda kayıp meydana gelmiştir ($p < 0,05$). Haşlama sonucu meydana gelen kayıp oranları %22-53 arasında değişmektedir. En fazla kayıp %53 oranla brokoli örneklerinde meydana gelmiştir. Bunu sırasıyla ıspanak (%38), cibes (%27) ve radika (%22) takip etmiştir. En fazla kaybın brokolide, en az kaybın ise radikada meydana gelmesinin haşlama süresine bağlı olduğu düşünülmektedir [6]. Radika 1 dak., brokoli ise 5 dak. haşlanmıştır. Zhang ve ark., 2004 tarafından yapılan çalışmada, fenolik madde kaybının haşlama süresi arttıkça arttığı belirtilmiştir [6]. Brokolinin çiçek ve sap kısmında 30, 60, 90, 120 ve 300 saniye haşlama işlemi için kayıplar sırasıyla %31,6, %47,5, %55, %61,7, %71,9 ve %13,3, %22,2, %26,7, %28, %42,2 olarak tespit edilmiştir[6].

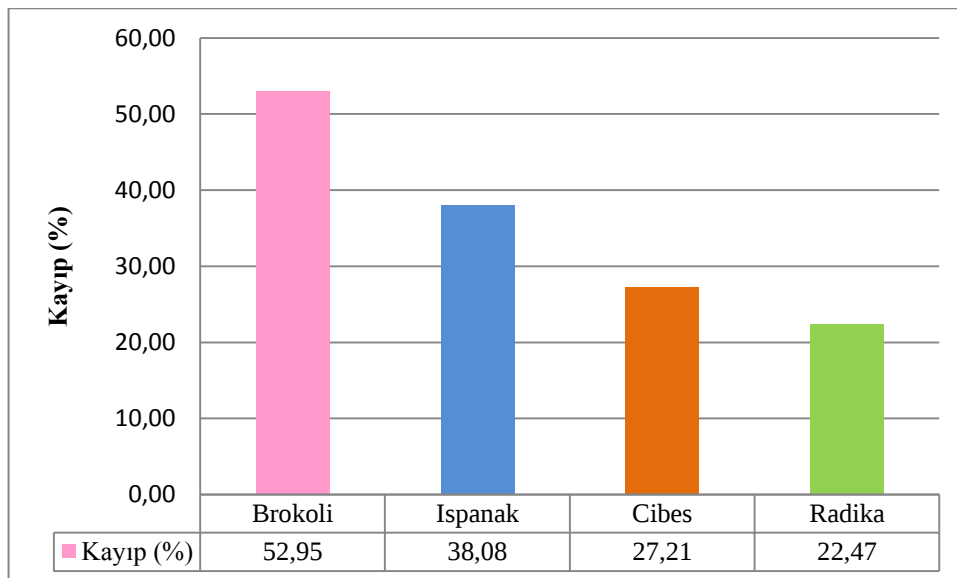
Tablo 4.2. Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g TA) (n=6)

Sebzeler	Çiğ	Haşlanmış	%Kayıp
Brokoli	134,39±1,60 ^{a*}	63,23±1,84 ^b	52,95
Ispanak	142,73±1,22 ^a	88,38±2,99 ^b	38,08
Cibes	137,23±2,17 ^a	99,89±3,52 ^b	27,21
Radika	110,34±1,77 ^a	85,54±2,82 ^b	22,47

* Aynı satırdaki farklı harfler, değerler arasındaki farkın p<0,05 düzeyinde önemli olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.1. Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g TA)



Şekil 4.2. Haşlama sonrası toplam fenolik madde miktarındaki kayıp (%)

Gawlik-Dziki ve ark., 2008 tarafından yapılan çalışmada, kaynatma işleminin taze brokolideki fenolik madde içeriğinde önemli bir azalmaya sebep olduğu belirtilmiştir [56]. Yaptıkları çalışmada kaynatma işlemi sonrasında toplam fenolik madde miktarı 270 mg/100 g TA'dan 160 mg/100 g TA'ya düşmüştür [56].

Bunea ve ark., 2008 tarafından yapılan çalışmada ise kaynatma işlemi ıspanaktaki toplam fenolik madde miktarında azalmaya sebep olmuştur [57]. Kaynatma öncesi taze ıspanakta 208,8 mg GAE/100 g TA olarak tespit edilen toplam fenolik madde miktarı, kaynatma sonrası 191,16 mg/100 mg TA olarak tespit edilmiştir.

Girgin ve ark., 2015 tarafından yapılan çalışmada, buharda pişirme işlemi sonrasında karnabaharın toplam fenolik madde içeriği %14,3 artmıştır. Haşlama işlemi sonrasında ise toplam fenolik madde içeriği %1,8 azalmıştır [25].

Koh ve ark., 2009 tarafından yapılan çalışmada brokoli örneklerinin toplam fenolik madde içeriği 48,15–157,77 mg GAE/100 g TA aralığında değişiklik göstermiştir [53]. Dalar ve ark., 2014 tarafından yapılan çalışmada, toplam fenolik madde miktarı radikanın çiçeklerinde 22,6 mg GAE/g KM, yapraklarında ise 22,4 mg GAE/g KM olarak tespit edilmiştir [63]. Sinkoviç ve ark., 2015 tarafından yapılan çalışmada, farklı gübre uygulamalarının farklı radika türlerinin içerdiği fenolik madde miktarı üzerine etkisi incelenmiştir [60]. Buna göre toplam fenolik madde miktarı 58-403 mg GAE/100 g TA aralığında değişmiştir [60]. Tez kapsamında kullanılan brokoli, ıspanak ve radika örneklerine ait değerler verilen bu aralıklar ile uyumludur. Cibes ile ilgili bir çalışma literatürde bulunamamıştır. Sonuçların literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

4.2.2. Toplam Flavonoid Miktarı

Çiğ ve haşlanmış örneklerle ait toplam flavonoid miktarları Tablo 4.3. ve Şekil 4.3.'de verilmiştir. Haşlama sonrası toplam flavonoid miktarlarında meydana gelen kayıp grafiksel olarak Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

Çalışma sonucunda, çiğ ve haşlanmış sebze örneklerine ait toplam flavonoid miktarları sırasıyla 22-35 ve 10-14 mg KAE/100 g TA aralığında bulunmuştur. Çiğ

sebzeler arasında en fazla toplam flavonoid içeriği ıspanak örneklerine ($35,34 \pm 1,84$ mg /100 g TA), en az toplam flavonoid içeriği ise radika örneklerine ($22,44 \pm 1,08$ mg /100 g TA) aittir. Haşlanmış sebzeler arasında en az flavonoid içeriği brokoli örneklerine ($10,26 \pm 1,50$ mg/100 g TA), en yüksek flavonoid miktarı ise ıspanak örneklerine ($14,46 \pm 1,65$ mg /100 g TA) aittir.

Haşlama sonrası, toplam flavonoid miktarında önemli derecede kayıp meydana gelmiştir ($p < 0,05$). Haşlama sonrası toplam fenolik madde miktarında meydana gelen kayıp oranları, %38-59 aralığındadır. En fazla kayıp ıspanakta (%59) olmuştur, bunu brokoli (%56), cibes (%39) ve radika (%38) takip etmiştir.

Vallejo ve ark., 2003 tarafından yüksek basınçlı kaynama, düşük basınçlı kaynama, buharda ve mikrodalgada pişirme yöntemlerinin brokolinin fenolik bileşik içeriği üzerine etkisi araştırılmıştır [55]. Mikrodalga %97 oranla flavonoidlerde en fazla kayba neden olmuştur. Bunu %66 oranla konvensiyonel kaynama takip etmiştir. En az kayıp, buharda pişirme yöntemiyle meydana gelmiştir.

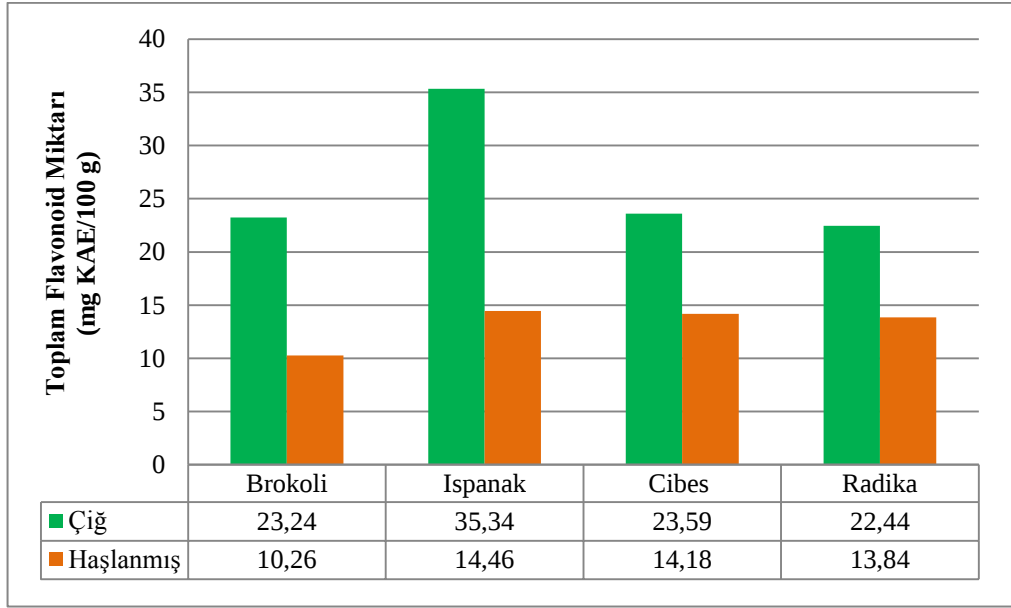
Koh ve ark., 2009 tarafından yapılan çalışmada, taze brokoli örnekleri için kuersetin içeriği 0,03-10,85 mg/100 g TA, kaempferol içeriği ise 0,24-13,20 mg/100 g TA bulunmuştur [53]. Vallejo ve ark., 2004 tarafından yapılan çalışmada ise çiğ brokoli çiçeklerinde toplam flavonoid miktarı 18 mg kuersetin/100 g TA olarak bulunmuştur [23].

Sebzelerin içerdiği flavonoid miktarının, çeşit, çevresel şartlar, tarımsal üretim yöntemleri, hasat sonrası taşıma, genotip gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği bilinmektedir [53].

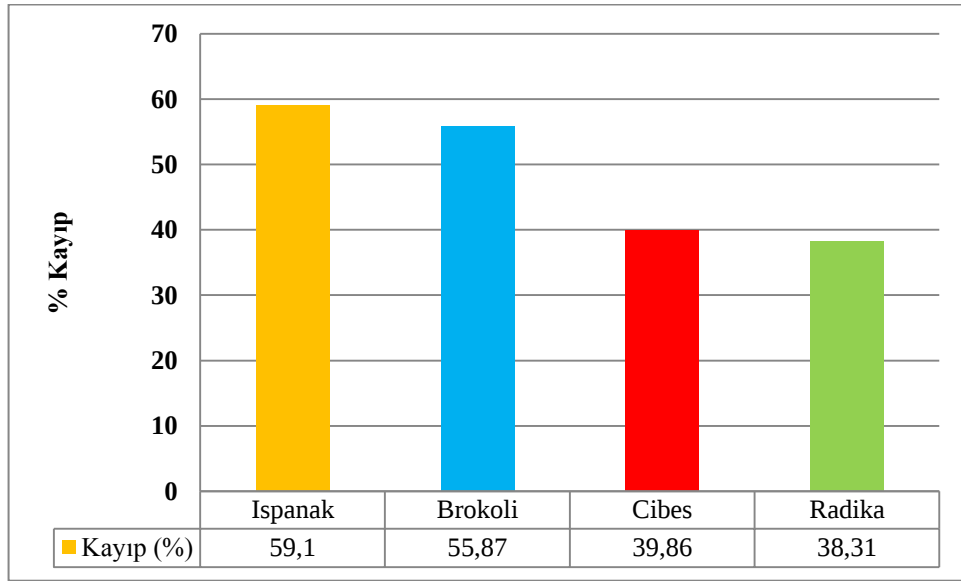
Tablo 4.3. Toplam flavonoid miktarı (mg KAE/100 g TA) (n=6)

Sebzeler	Çiğ	Haşlanmış	%Kayıp
Brokoli	$23,24 \pm 1,23^{a*}$	$10,26 \pm 1,50^b$	55,87
Ispanak	$35,34 \pm 1,84^a$	$14,46 \pm 1,65^b$	59,10
Cibes	$23,59 \pm 1,42^a$	$14,18 \pm 1,00^b$	39,86
Radika	$22,44 \pm 1,08^a$	$13,84 \pm 1,48^b$	38,31

* Aynı satırdaki farklı harfler, değerler arasındaki farkın $p < 0,05$ düzeyinde önemli olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.3. Toplam flavonoid miktarı (mg KAE/100 g TA)



Şekil 4.4. Haşlama sonrası toplam flavonoid miktarındaki kayıp (%)

4.2.3. DPPH Yöntemi ile Antioksidan Kapasitesi

Toplam antioksidan kapasitesi tayini amacıyla kullanılan çeşitli yöntemler olmakla birlikte bu çalışma kapsamında DPPH ve ABTS yöntemleri tercih edilmiştir. Sonuçlar hem Troloks eşdeğeri hem de % inhibisyon cinsinden verilmiştir. Çiğ ve haşlanmış sebze örneklerine ait toplam antioksidan miktarları Troloks cinsinden Tablo 4.4.'de, % inhibisyon cinsinden ise Tablo 4.5.'de ve Şekil 4.5'de verilmiştir.

Haşlama sonrası toplam antioksidan miktarlarında meydana gelen kayıp grafiksel olarak Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

Çalışma sonucunda, çiğ ve haşlanmış sebze örneklerine ait toplam antioksidan kapasiteleri sırasıyla %51-54 ve %28-46 aralığında bulunmuştur. Troloks cinsinden ise çiğ ve haşlanmış sebze örneklerine ait toplam antioksidan miktarları sırasıyla 78-83 ve 43-70 mg Troloks/100 g TA bulunmuştur.

Çiğ örnekler arasında en yüksek antioksidan kapasite ıspanak örneklerine (%54) aittir. En az antioksidan kapsite ise radikaya (%51) aittir. Haşlanmış sebzeler arasında ise en düşük antioksidan kapasitesi brokoli örneklerine (%28), en yüksek antioksidan kapasitesi ise ıspanak örneklerine (%46) aittir.

Haşlama sonrası sebzelerin antioksidan içeriğinde önemli miktarda kayıp meydana gelmiştir ($p<0,05$). Haşlama sonrası meydana gelen kayıplar %13-47 arasında değişmektedir. Sebzeler arasında en fazla kayıp sırasıyla %47 oranla brokoli örneklerinde meydana gelmiştir. Bunu cibes (%21), ıspanak (%16) ve radika (%13) takip etmiştir.

Tablo 4.4. DPPH yöntemi ile ölçülen antioksidan miktarı (mg Troloks/100 g TA)

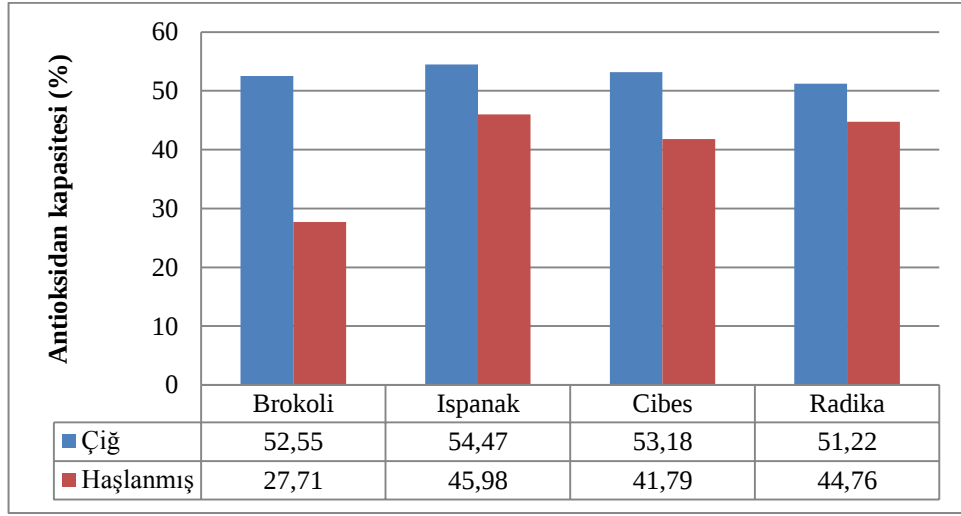
Sebzeler	Çiğ	Haşlanmış	Kayıp (%)
Brokoli	80,48±0,39 ^{a*}	42,82±1,33 ^b	47
Ispanak	83,37±0,55 ^a	70,33±1,44 ^b	16
Cibes	81,25±0,56 ^a	63,92±1,16 ^b	21
Radika	78,49±0,52 ^a	68,46±1,09 ^b	13

* Aynı satırdaki farklı harfler, değerler arasındaki farkın $p<0,05$ düzeyinde önemli olduğunu ifade etmektedir. (n=6)

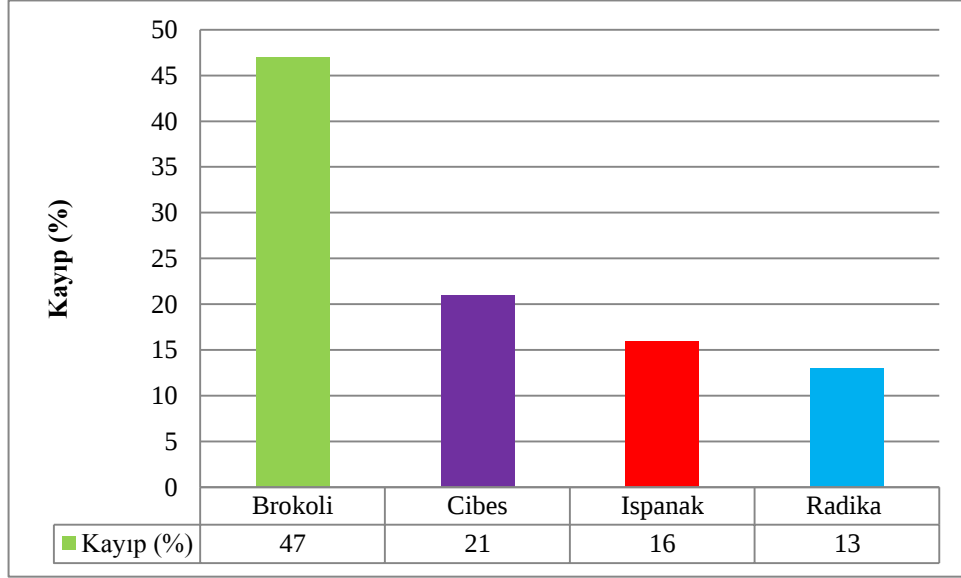
Tablo 4.5. DPPH yöntemi ile ölçülen antioksidan kapasitesi (% inhibisyon)

Sebzeler	Çiğ	Haşlanmış
Brokoli	52,55±0,25 ^{a*}	27,71±0,55 ^b
Ispanak	54,47±0,36 ^a	45,98±0,94 ^b
Cibes	53,18±0,37 ^a	41,79±0,76 ^b
Radika	51,22±0,34 ^a	44,76±0,71 ^b

* Aynı satırdaki farklı harfler, değerler arasındaki farkın $p<0,05$ düzeyinde önemli olduğunu ifade etmektedir. (n=6)



Şekil 4.5. DPPH yöntemi ile ölçülen antioksidan kapasitesi (% inhibisyon)



Şekil 4.6. Haşlama sonrası DPPH yöntemi ile ölçülen antioksidan miktarındaki kayıp

Zhang ve ark., 2004 tarafından yapılan çalışmada pişirme işleminin brokolinin antioksidan kapasitesi üzerine etkisi incelenmiştir [6]. Antioksidan kapasitesi DPPH yöntemiyle tespit edilmiştir. Haşlama süresi arttıkça antioksidan miktarındaki kayıp artmıştır. Çiçek ve sap kısmında sırasıyla %60,5 ve %62,8 olan antioksidan kapasitesi, 5 dak. haşlama sonrası sırasıyla %21,2 ve %21,8'e düşmüştür. Çalışmamızda ise taze brokoli örneklerinde %52 olarak tespit edilen antioksidan kapasite %28'e düşmüştür.

Keçebaş, 2007 tarafından yapılan tez çalışmasında kurutulmuş brokolilerin DPPH yöntemi ile antioksidan kapasitesi ölçülmüş, sonuçlar %55,32-95,66 aralığında bulunmuştur [54].

Turkmen ve ark., 2005 tarafından yapılan çalışmada, DPPH yöntemi ile antioksidan kapasitesi tayini sonucunda, çiğ brokolinin antioksidan kapasitesi %78,17 iken kaynatma, buharda pişirme ve mikrodalga ile pişirme sonrası antioksidan kapasite sırasıyla %90,6, %91,3 ve %91,2 olarak tespit edilmiştir [5]. Bu çalışmada, bizim çalışmamızın aksine haşlama sonucunda antioksidan kapasitesi artmıştır.

Vaishnav ve ark., 2015 tarafından yapılan çalışmada radyasyon uygulamasının karnabaharın raf ömrü ve kalite özellikleri üzerine olan etkisi araştırılmıştır [62]. Taze karnabaharda DPPH yöntemi ile ölçülen antioksidan kapasitesi 5,03 mg Troloks/100 g TA olarak bulunmuştur. Radyasyon uygulaması sonrası bu değer 17,64 mg Troloks/100 g TA olarak tespit edilmiştir.

Girgin ve ark., 2015 tarafından yapılan çalışmada 10 dakika haşlama işlemi sonrasında karnabaharın antioksidan kapasitesi DPPH yöntemi ile ölçülmüş ve çiğ karnabahara göre %8 azalma tespit edilmiştir [25].

4.2.4 ABTS Yöntemi ile Antioksidan Kapasitesi

ABTS yöntemi ile antioksidan kapasitesi tayini sonuçları hem Troloks hem de % inhibisyon değerleri cinsinden verilmiştir. Çiğ ve haşlanmış örnekler için toplam antioksidan miktarları Troloks cinsinden Tablo 4.6.'da, % inhibisyon cinsinden ise Tablo 4.7. ve Şekil 4.7.'de verilmiştir. Haşlama sonrası toplam antioksidan miktarlarında meydana gelen kayıp grafiksel olarak Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Çalışma sonucunda çiğ ve haşlanmış sebze örneklerine ait toplam antioksidan kapasiteleri sırasıyla %26-37 ve %18-30 aralığında bulunmuştur. Troloks cinsinden ise çiğ ve haşlanmış sebze örneklerine ait toplam antioksidan miktarları sırasıyla 150-210 ve 100-170 mg Troloks/100 g TA aralığında bulunmuştur.

Çiğ sebze örnekleri arasında en fazla antioksidan kapasitesi ıspanağa (%37) aittir. En az antioksidan kapasitesi ise radikaya (%26) aittir. Haşlanmış sebze örnekleri arasında ise en az antioksidan kapasitesi brokoli örneklerine (%18), en yüksek antioksidan kapasitesi ise ıspanak örneklerine (%30) aittir.

Tüm örneklerde haşlama sonrası toplam antioksidan miktarında önemli miktarda kayıp meydana gelmiştir ($p<0,05$). Meydana gelen kayıplar ise %20-41 arasında değişmektedir. En fazla kayıp %41 oranla brokoli örneklerinde meydana gelmiştir. Bunu cibes (%27), ıspanak (%23) ve radikanın (%20) takip ettiği görülmüştür.

Tablo 4.6. ABTS yöntemi ile ölçülen antioksidan miktarı (mg Troloks/100 g TA)

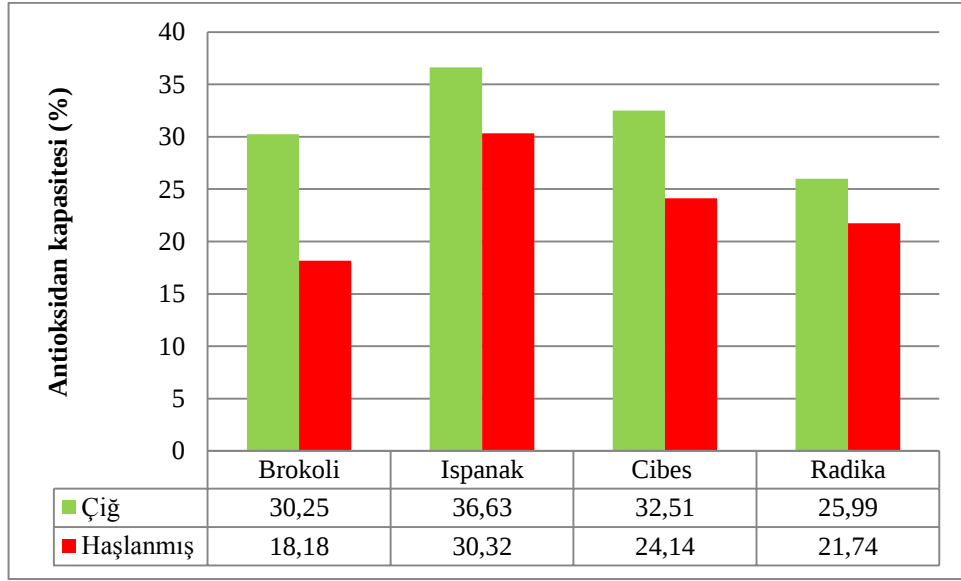
Sebzeler	Çiğ	Haşlanmış	Kayıp (%)
Brokoli	170,55±0,51 ^{a*}	100,45±0,46 ^b	41
Ispanak	210,36±0,58 ^a	170,55±0,94 ^b	23
Cibes	180,90±0,49 ^a	130,90±0,58 ^b	27
Radika	150±0,89 ^a	120,46±0,29 ^b	20

* Aynı satırdaki farklı harfler, değerler arasındaki farkın $p<0,05$ düzeyinde önemli olduğunu ifade etmektedir. (n=6)

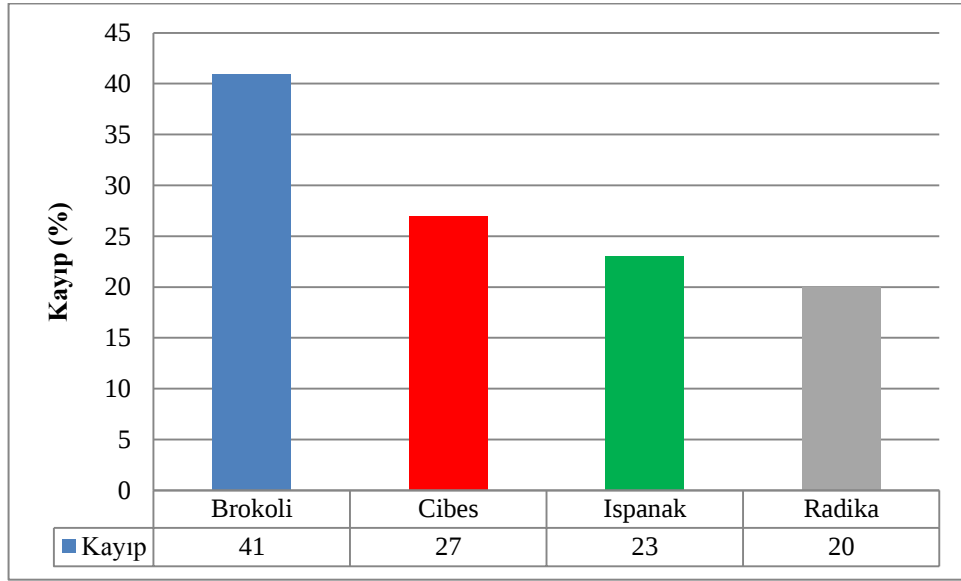
Tablo 4.7. ABTS yöntemi ile ölçülen antioksidan kapasitesi (% inhibisyon)

Sebzeler	Çiğ (%)	Haşlanmış (%)
Brokoli	30,25±0,85 ^{a*}	18,18±0,77 ^b
Ispanak	36,63±0,97 ^a	30,32±1,58 ^b
Cibes	32,51±0,82 ^a	24,14±0,96 ^b
Radika	25,99±1,48 ^a	21,74±0,48 ^b

* Aynı satırdaki farklı harfler, değerler arasındaki farkın $p<0,05$ düzeyinde önemli olduğunu ifade etmektedir. (n=6)



Şekil 4.7. ABTS yöntemi ile ölçülen antioksidan kapasitesi (% inhibisyon)



Şekil 4.8. Haşlama sonrası ABTS yöntemi ile ölçülen antioksidan miktarındaki kayıp

Sebzelerin antioksidan içeriği, mevsim, çevre koşulları, genotip, hasat zamanı, saklama ve depolama koşulları gibi faktörlere göre sebzeden sebzeye farklılık göstermektedir. Howard ve ark., 2002 tarafından yapılan çalışmada mevsimsel ve genetik faktörlerin ıspanakta bulunan fenolik maddeler ve antioksidan kapasite üzerine etkisi araştırılmıştır [58]. Sonbahar başında ekilip sonbahar sonunda hasat edilen ıspanakların (Eylül-Aralık), sonbahar sonunda ekilip ilkbaharda hasat edilen ıspanaklardan (Ekim-Mart) fenolik madde ve antioksidan kapasitesi olarak daha zengin olduğu tespit edilmiştir [58].

Sikora ve ark., 2008 tarafından yapılan çalışmada, turpgiller familyasına ait bazı sebzelerin antioksidan kapasiteleri üzerine suda haşlama işleminin etkisi incelenmiştir [72]. Bu amaçla turp, Brüksel lahanası, brokoli ve karnabahar 12-15 dak. haşlanmıştır. Karnabahar ve brokolinin antioksidan kapasitesi, haşlama işleminden, diğer sebzelere kıyasla daha az etkilenmiştir. Antioksidan kapasitede en az kayıp turpta gözlenmiştir. Haşlama sırasında C vitamininin büyük oranda kayba uğradığı ve buna bağlı olarak antioksidan kapasitesindeki kaybın C vitamini içeriğine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Gliszczynska-Swiglo ve ark., 2006 tarafından yapılan çalışmada, suda haşlama işleminin brokolinin antioksidan kapasitesinde azalmaya sebep olduğu belirtilmiştir [73]. Haşlama işlemi sonrasında %13 kayıp meydana gelmiştir. Buharda pişirme işlemi ise brokolilerin antioksidan kapasitesinde %21 artışa neden olmuştur. Bunun nedeninin, buharda pişirme işlemi sonrasında fenolik bileşiklerin gıda matriksinden salınımının artmasına bağlı olabileceği belirtilmiştir.

Volden ve ark., 2009 tarafından yapılan çalışmada, 3 dak. haşlama sonucunda karnabaharın antioksidan kapasitesinde %22 azalma meydana gelmiştir [74].

4.3. Sindirim Uygulamasının Etkisi

Sindirim sonrası elde edilen PG, IN ve OUT örneklerinin toplam fenolik madde, toplam flavonoid miktarları ve antioksidan kapasiteleri ölçülmüştür. Ayrıca sonuçlardaki artma ve azalma oranlarının daha iyi değerlendirilmesi için önceki bölümlerde çiğ ve haşlanmış örneklerle ait sindirime uğramamış ekstraktlarda verilen değerler %100 kabul edilerek de sonuçlar yorumlanmıştır.

4.3.1. Toplam Fenolik Madde Miktarı Üzerine Etkisi

Çiğ ve haşlanmış sebze örneklerine ait sindirim boyunca meydana gelen toplam fenolik madde değişimleri ve miktarları Tablo 4.8. ve Tablo 4.9.'da verilmiştir. Ayrıca sindirim öncesi miktarları ile kıyaslanarak hesaplanan bu değişimler grafiksel olarak Şekil 4.9.'da gösterilmiştir.

Tüm haşlanmış ve çiğ sebze örneklerinde mide sindirimi sonrasında elde edilen (PG) fazlarında toplam fenolik madde miktarında artış meydana gelmiştir

($p<0,05$). Artış oranları %5-53 arasında değişmektedir. Mide sindirimi sonrasında aynı sebze türünde haşlanmış örneğin çiğ örneğe göre toplam fenolik madde miktarında daha fazla oranda artma olmuştur ($p<0,05$). Fakat haşlanmış sebzelerde daha fazla oranda artış olmasına rağmen mide ortamında 100 g çiğ sebze 100 g haşlanmış sebzeden fazla fenolik maddeye sahiptir. ($p<0,05$)

Mide sindirimi sonrası ince bağırsağa geçen ve ince bağırsakta stabil olan (biyoulaşılabilirlik) toplam fenolik madde miktarının, tüm örneklerde azaldığı görülmüştür ($p<0,05$). Biyoulaşılabilirlik değerleri %60-80 arasında değişmektedir. Aynı sebze türünde haşlanmış örneğin çiğ örneğe göre biyoulaşılabilirlik değerleri daha fazladır. En yüksek biyoulaşılabilirlik değeri haşlanmış cibese (%80), en düşük biyoulaşılabilirlik değeri ise çiğ radikaya (%60) aittir. Fakat haşlanmış sebzelerde daha fazla oranda artış olmasına rağmen bağırsak ortamında 100 g çiğ sebze 100 g haşlanmış sebzeden fazla fenolik maddeye sahiptir. ($p<0,05$)

Bağırsak sindirimi sonrasında diyalize olan kısma ait örneklerde (IN) toplam fenolik madde miktarları başlangıç değerlerine göre oldukça düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Buna göre sebze örneklerine ait biyoyararlılık değerleri (BİYO-Y) %11-32 arasında değişmektedir. Radika hariç olmak üzere aynı sebze türünde haşlanmış örneğin çiğ örneğe göre biyoyararlılık değerleri daha fazladır ($p<0,05$). Radikada ise haşlanmış ve çiğ örneklerin biyoyararlılıkları arasında önemli bir fark yoktur ($p>0,05$). Haşlamanın radikadaki toplam fenolik madde biyoyararlılığı üzerine bir etkiye sebep olmaması, haşlama süresine (1 dak.) bağlı olduğu düşünülmektedir. En düşük biyoyararlılık çiğ radikaya (%11), en yüksek biyoyararlılık ise en uzun süre haşlanan haşlanmış brokoliye (%32) aittir. Bunun gıda matriksinden salınan fenolik madde miktarının artmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Bağırsak sindirimi sonrasında diyalize olmayan kısma ait örneklerde (OUT) ise toplam fenolik madde miktarı başlangıç değerlerine göre azalmıştır ($p<0,05$). OUT değerleri başlangıç değerlerine göre %32-56 arasında değişmektedir. Aynı sebze türünde haşlanmış örneğin çiğ örneğe göre biyoulaşılabilirlik değerleri daha fazladır ($p<0,05$).

Sonuç olarak, haşlama işlemi fenolik bileşik miktarında kayba yol açsa da biyoyararlılık (radika hariç) ve biyoulaşılabilirlik değerlerinde artışa neden olmuştur. Fenolik bileşikler, mide ortamında yüksek stabilite gösterse de bağırsak ortamında düşük stabiliteye sahiptirler. Ayrıca başlangıç miktarları ile kıyaslandığında fenolik maddelerin biyoyararlılık değerlerinin bir hayli düşük olduğu görülmektedir. Günlük alım miktarları değerlendirilirken, biyoyararlılıklarının sindirim öncesi değerlere göre önemli miktarda düşük olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

Vallejo ve ark., 2004 tarafından yapılan çalışmada, yaptığımız çalışma sonuçlarına benzer olarak çiğ brokoli çiçeklerinde bulunan fenolik maddelerin gastrik ortamda yüksek stabilite gösterdikleri, intestinal ortamda ise düşük stabilite gösterdikleri belirtilmiştir [23].

Toydemir ve ark., 2013 tarafından vişne nektarı üretiminin, vişnedeki toplam fenolik ve biyoyararlılık üzerine olan etkisi araştırılmıştır [32]. Mide sindirimi toplam fenolik miktarında önemli bir etkiye sebep olmazken, bağırsak sindirimi sonrasında elde edilen IN fazında önemli bir azalma görülmüştür. Ayrıca taze vişne meyvesine ait IN fazında (%20), vişne nektarının IN fazına (%17) göre daha fazla toplam fenolik bulunmuştur. Bunun nedeni ise nektar üretimi sırasında eklenen sakaroz olarak gösterilmiştir.

Bouayed ve ark., 2012 farklı elma çeşitlerindeki polifenollerin biyoyararlılığı üzerine yaptığı çalışma sonucunda mide fazındaki polifenollerin miktarında önemli bir kayıp bulmazken intestinal fazda önemli miktarda azalma olduğunu belirtmiştir. Flavan-3-ol'lerin pH nedeniyle intestinal ortama dayanıklı olmadıkları ve elmadaki major hidroksisinamik asit olan klorojenik asitin biyoulaşılabilirliğinin %41–77 olarak tespit edildiği belirtilmiştir [20].

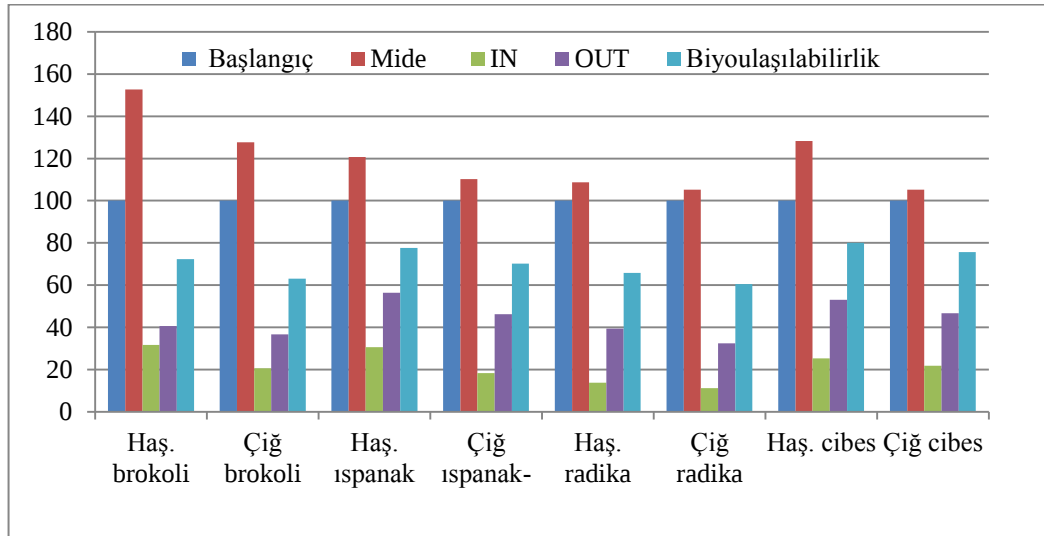
Tablo 4.8. Sindirimin toplam fenolik madde içeriği üzerine etkisi (%)

	Başlangıç	Mide	BİYO-Y (IN)	OUT	BİYO-U
Haş. Brokoli	100 ^{a,A*}	152,65 ^{b,A}	31,72 ^{c,A}	40,58 ^{d,A}	72,24 ^{e,A}
Çiğ Brokoli	100 ^{a,A}	127,61 ^{b,B}	20,54 ^{c,B}	36,63 ^{d,B}	63,11 ^{e,B}
Haş. Ispanak	100 ^{a,A}	120,65 ^{b,A}	30,60 ^{c,A}	56,30 ^{d,A}	77,57 ^{e,A}
Çiğ Ispanak	100 ^{a,A}	110,21 ^{b,B}	18,27 ^{c,B}	46,28 ^{d,B}	70,10 ^{e,B}
Haş. Radika	100 ^{a,A}	108,64 ^{b,A}	13,82 ^{c,A}	39,44 ^{d,A}	65,84 ^{e,A}
Çiğ Radika	100 ^{a,A}	105,16 ^{b,B}	11,12 ^{c,A}	32,43 ^{d,B}	60,50 ^{e,B}
Haş. Cibes	100 ^{a,A}	128,31 ^{b,A}	25,26 ^{c,A}	52,98 ^{d,A}	80,07 ^{e,A}
Çiğ Cibes	100 ^{a,A}	105,16 ^{b,B}	21,85 ^{c,B}	46,63 ^{d,B}	75,59 ^{e,B}

*Sindirim öncesi toplam fenolik madde içerikleri (başlangıç) 100 kabul edilmiştir.

*Aynı satırdaki farklı harfler (a-e) p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır (n=3).

**Her sebze kendi içinde, aynı sütundaki farklı harfler (A-B) p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır (n=6).



*Sindirim öncesi toplam fenolik içerikleri (başlangıç) 100 kabul edilmiştir.

Şekil 4.9. Sindirimin toplam fenolik madde miktarı üzerine etkisi

Tablo 4.9. Sindirim sonrası toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/ 100 g TA)

	Başlangıç	Mide	IN	OUT	Biyoulaşılabilirlik
Haş. Brokoli	63,23±1,84 ^{a,A*}	96,5±0,57 ^{b,A}	20,04±1,45 ^{c,A}	25,63±1,20 ^{d,A}	45,68±1,16 ^{e,A}
Çiğ Brokoli	134,39±1,60 ^{a,B}	171,49±1,77 ^{b,B}	27,6±0,33 ^{c,B}	49,21±0,51 ^{d,B}	84,81±1,35 ^{e,B}
Haş. Ispanak	88,38±2,99 ^{a,A}	106,58±0,69 ^{b,A}	27,03±0,39 ^{c,A}	49,73±0,21 ^{d,A}	68,55±1,60 ^{e,A}
Çiğ Ispanak	142,73±1,22 ^{a,B}	157,29±1,06 ^{b,B}	26,07±0,93 ^{c,A}	66,03±3,11 ^{d,B}	100,04±0,48 ^{e,B}
Haş. Radika	85,54±2,82 ^{a,A}	92,93±2,72 ^{b,A}	11,81±1,40 ^{c,A}	33,78±2,72 ^{d,A}	56,34±2,53 ^{e,A}
Çiğ Radika	110,34±1,77 ^{a,B}	116,03±1,23 ^{b,B}	12,27±0,60 ^{c,A}	35,75±2,71 ^{d,A}	66,76±1,19 ^{e,B}
Haş. Cibes	99,89±3,52 ^{a,A}	128,14±3,26 ^{b,A}	25,22±0,61 ^{c,A}	52,87±0,75 ^{d,A}	79,96±2,47 ^{e,A}
Çiğ Cibes	137,23±2,17 ^{a,B}	165,47±2,84 ^{b,B}	29,99±0,62 ^{c,B}	63,81±,55 ^{d,B}	103,72±1,56 ^{e,B}

*Aynı satırdaki farklı harfler (a-e) p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır.

** Her sebze kendi içinde, aynı sütundaki farklı harfler (A-B) p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır (n=6).

Kamiloğlu, 2012 tarafından yapılan tez çalışmasında Bursa siyahi incir çeşitinde bulunan toplam fenolik miktarında mide ortamında önemli bir kayıp görülmezken, Sarılop da %16 artış görülmüştür [64]. Sarılop ve Bursa siyahi incir çeşitlerinde sırasıyla %22 ve %32 toplam fenolik madde IN’de kalmıştır. Kurutma işleminden sonra IN fazındaki toplam fenolik miktarında %28 azalma görülürken, Sarılop da %30 artma görülmüştür [64].

McDougal ve ark., 2005 ahududunda bulunan fenolik bileşikler ve antosiyaninlerin mide ortamında tamamen stabil kaldıklarını belirtmişlerdir. Fakat antosiyaninlerin ancak %5’i IN’de bulunmuştur. IN ve OUT’da ise toplam %70 oranda antosiyanin tespit edilmiştir [16]. Bu çalışmalarda bulduğumuz sonuçlara paralel olarak fenolik bileşikler mide ortamında yüksek stabiliteye, bağırsak ortamında ise düşük stabiliteye sahiptirler.

4.3.2. Toplam Flavonoid Miktarı Üzerine Etkisi

Çiğ ve haşlanmış sebze örneklerine ait sindirim boyunca toplam flavonoid madde değişimleri ve miktarları Tablo 4.10. ve Tablo 4.11.’de verilmiştir. Ayrıca sindirim öncesi miktarları ile kıyaslanarak hesaplanan bu değişimler grafiksel olarak Şekil 4.10.’da gösterilmiştir.

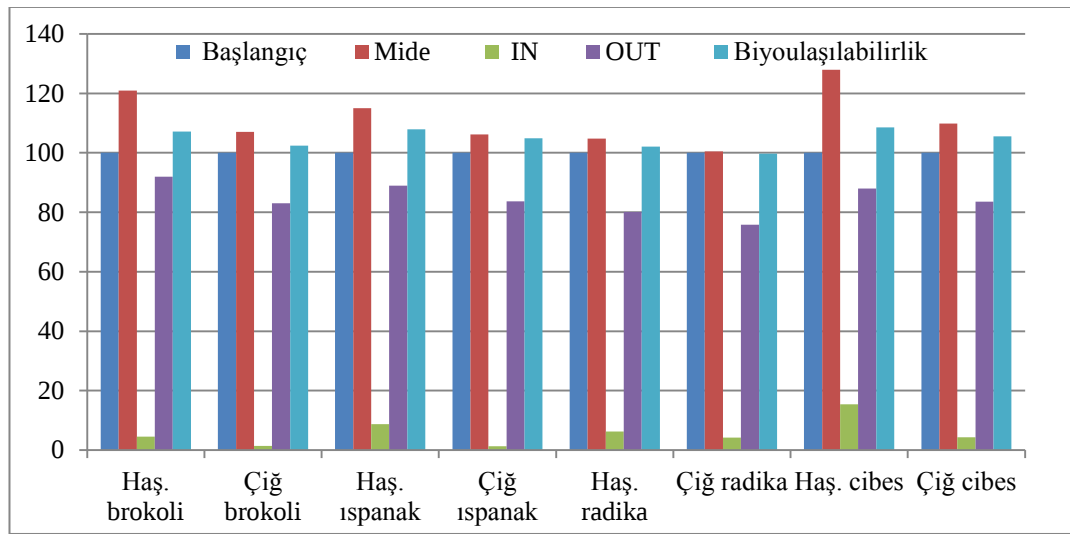
Flavonoidler mide ortamında yüksek stabilite göstermiştir. Mide sindirimi sonrasında radika hariç tüm sebzelere ait PG fazlarının flavonoid içerikleri artmıştır ($p<0,05$).

Cibes hariç, çiğ sebzelere ait toplam flavonoid biyolaşılabilirliklerinde başlangıç değerlerine göre önemli bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Çiğ cibeste %5, haşlanmış cibeste %8 artış meydana gelmiştir ($p<0,05$). Haşlamanın biyolaşılabilirlik değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisi yoktur ($p>0,05$). Buna göre en fazla biyolaşılabilirlik haşlanmış brokolide (%108), en düşük biyolaşılabilirlik çiğ radikaya (%99) ait bulunmuştur.

Bağırsak sindirimi sonrasında, IN fazında, toplam flavonoid miktarları başlangıç değerlerine göre çok düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Buna göre örneklerle ait biyoyararlılıklar (BİYO-Y) %1,29-15,36 arasında değişmektedir. En yüksek

biyoyararlılık haşlanmış cibese (%15), en düşük biyoyararlılık çiğ ıspanağa (%1) aittir. Radika ve brokoli hariç, tüm sebzelerde haşlama işlemi flavonoidlerin biyoyararlılık değerlerini artırmıştır. Fakat haşlama sonrası meydana gelen artış brokoli ve radikada istatistiksel olarak önemli değildir ($p<0,05$)

Bağırsak sindirimi sonrasında tüm sebzeler için OUT fazındaki toplam flavonoid miktarı başlangıç miktarlarına göre azalmıştır ($p<0,05$). OUT fazına ait flavonoid oranları %75,36-91,93 arasında değişmektedir.



Şekil 4.10. Sindirimin toplam flavonoid miktarı üzerine etkisi

Tablo 4.10. Sindirimin toplam flavonoid miktarı üzerine etkisi (%)

	Başlangıç	Mide	BİYO-Y (IN)	OUT	BİYO-U
Haş. Brokoli	100 ^{a,A*}	120,96 ^{b,A}	4,57 ^{c,A}	91,93 ^{d,A}	107,16 ^{e,A}
Çiğ Brokoli	100 ^{a,A}	107,06 ^{b,B}	1,43 ^{c,A}	83,02 ^{d,B}	102,38 ^{a,b,A}
Haş. Ispanak	100 ^{a, A}	115,02 ^{b, A}	8,68 ^{c, A}	88,92 ^{d, A}	107,88 ^{e,A}
Çiğ Ispanak	100 ^{a, A}	106,19 ^{b, B}	1,29 ^{c, B}	83,66 ^{d, B}	104,89 ^{a,b,A}
Haş. Radika	100 ^{a, A}	104,76 ^{a, A}	6,29 ^{b, A}	80,07 ^{c, A}	102,13 ^{a,A}
Çiğ Radika	100 ^{a, A}	100,51 ^{a, A}	4,16 ^{b, A}	75,86 ^{c, A}	99,71 ^{a,b,A}
Haş. Cibes	100 ^{a,A}	127,95 ^{b,A}	15,36 ^{c,A}	87,94 ^{d,A}	108,51 ^{e,A}
Çiğ Cibes	100 ^{a,A}	109,86 ^{b,B}	4,33 ^{c,B}	83,52 ^{d,A}	105,53 ^{b,A}

*Sindirim öncesi değerleri 100 kabul edilmiştir.

*Aynı satırdaki farklı harfler (a-e) $p<0,05$ düzeyinde birbirinden farklıdır.

**Her sebzede kendi içinde, aynı sütundaki farklı harfler (A-B) $p<0,05$ düzeyinde birbirinden farklıdır (n=6).

Tablo 4.11. Sindirimin sonrası toplam flavonoid miktarı (mg KAE/100 g TA)

	Başlangıç	Mide	IN	OUT	Biyoulaşılabilirlik
Haş. Brokoli	10,26±1,50 ^{a,A*}	12,41±1,80 ^{a,A}	0,45±0,16 ^{b,A}	9,45±1,55 ^{c,A}	10,98±1,42 ^{a,c,A}
Çiğ Brokoli	23,24±1,23 ^{a,B}	24,89±2,31 ^{a,B}	0,33±0,08 ^{b,A}	19,29±1,18 ^{c,B}	23,79±1,12 ^{a,B}
Haş. Ispanak	14,46±1,65 ^{a,A}	16,59±1,24 ^{a,A}	1,26±0,43 ^{b,A}	12,84±1,18 ^{c,A}	15,57±1,27 ^{a,A}
Çiğ Ispanak	35,34±1,84 ^{a,B}	37,5±1,42 ^{a,B}	0,45±0,28 ^{b,A}	29,54±1,14 ^{c,B}	37,07±1,64 ^{a,B}
Haş. Radika	13,84±1,48 ^{a,A}	14,49±1,41 ^{a,A}	0,86±0,40 ^{b,A}	11,02±0,88 ^{c,A}	14,13±1,46 ^{a,A}
Çiğ Radika	22,44±1,08 ^{a,B}	22,57±1,50 ^{a,B}	0,94±0,28 ^{b,A}	16,99±0,57 ^{c,B}	22,38±0,98 ^{a,B}
Haş. Cibes	14,18±1,00 ^{a,A}	18,15±0,32 ^{b,A}	2,19±0,89 ^{c,A}	12,48±0,70 ^{a,d,A}	15,39±0,33 ^{a,e,A}
Çiğ Cibes	23,59±1,42 ^{a,B}	26,46±0,75 ^{b,B}	1,02±0,48 ^{c,A}	19,70±0,36 ^{d,B}	24,87±1,19 ^{a,b,B}

*Aynı satırdaki farklı harfler p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır.

** Her sebze de kendi içinde aynı sütundaki farklı harfler p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır (n=6)

Vallejo ve ark., 2004 tarafından yapılan çalışma sonucunda çiğ brokoli çiçeklerinde mide ortamında flavonoidlerde hiç kayıp olmadığını tespit edilmiştir. İntestinal ortamda ise flavonoidlerde IN fazında %94,1, OUT fazında ise %89,7 kayıp olduğu tespit edilmiştir [23].

Liang ve ark., 2012 tarafından yapılan çalışmada dutta bulunan antosiyaninlerin IN fazında ancak %0,34 ve OUT fazında ise %4,58'inin bulunduğu belirtilmiştir [27].

Tagliazucchi ve ark., 2010 tarafından yapılan çalışmada, *in vitro* mide sindirimi sonrasında üzümde bulunan toplam fenolik bileşikler, flavonoidler ve antosiyaninlerde artış meydana gelmiştir. Bağırsak sindirimi sonrasında fenolik bileşikler ve flavonoidlerde artış olurken, antosiyaninlerde azalma meydana gelmiştir [30].

Toydemir ve ark., 2013 tarafından vişne nektarı üretiminin vişnedeki toplam fenolik madde ve biyoyararlılık üzerine olan etkisi araştırılmıştır [32]. *In vitro* mide sindirimi flavonoid miktarında önemli bir etkiye sebep olmazken, *in vitro* bağırsak sindirimi sonrasında elde edilen IN fraksiyonunda önemli bir azalma görülmüştür. Taze vişne meyvesine ait IN fraksiyonunda vişne nektarının IN fraksiyonuna göre daha fazla flavonoid bulunmuştur. Bunun nedeninin nektar üretimi sırasında eklenen sakaroz olabileceği belirtilmiştir.

Kamiloğlu, 2012 tarafından yapılan tez çalışmasında Bursa siyahi ve sarılop incir çeşitinde toplam flavonoid miktarlarında *in vitro* mide sindirimden sonra artış görülmüştür. IN fraksiyonunda ise sırasıyla toplam flavonoid miktarı başlangıç miktarının %17 ve %32'si olarak bulunmuştur [64].

Gil-Ízquierde ve ark., 2001 tarafından yapılan çalışmada ise portakal suyunun flavanonlar bakımından zengin olmasına rağmen ancak %11-36 arasında biyoyararlılığa sahip olduğu, mide ortamında ise tamamen stabil oldukları belirtilmiştir. [22].

Perez-Vicente ve ark., 2002 tarafından yapılan çalışmada nar suyunda bulunan antosiyaninlerin mide ortamında %10 arttığını, bağırsak ortamında ise %80 stabil olduğunu belirtilmiştir [31].

4.3.3. DPPH Yöntemi ile Ölçülen Antioksidan Kapasitesi Üzerine Etkisi

Çiğ ve haşlanmış sebze örneklerine ait sindirim boyunca meydana gelen toplam antioksidan kapasitesi değişimleri ve miktarları Tablo 4.12. ve Tablo 4.13.'de verilmiştir. Ayrıca sindirim öncesi miktarları ile kıyaslanarak hesaplanan bu değişimler grafiksel olarak Şekil 4.11.'da gösterilmiştir.

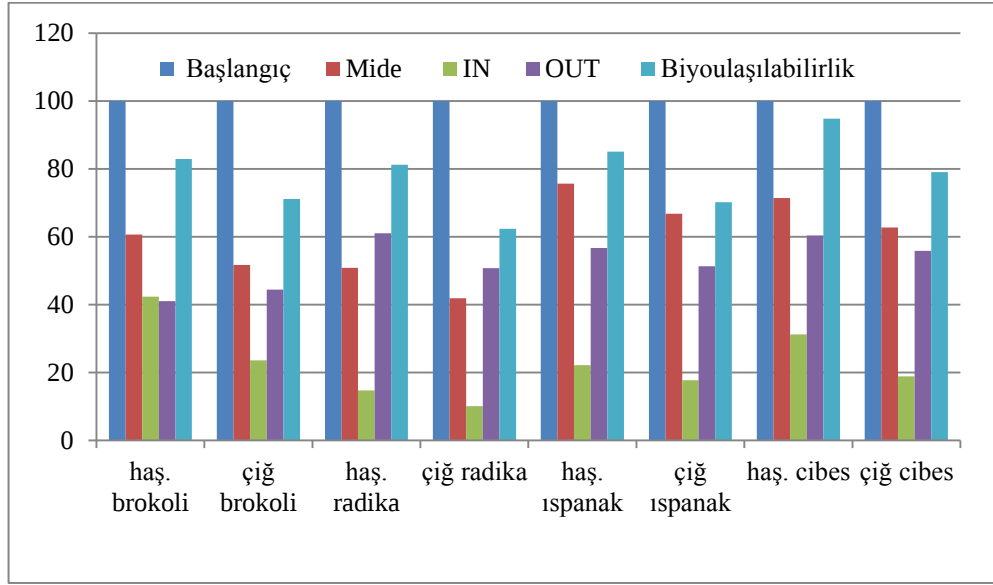
Mide sindirimi sonrasında elde edilen tüm örneklerin (PG) antioksidan miktarında azalma meydana gelmiştir ($p<0,05$). Mide fazındaki antioksidan kapasitesi başlangıç değerlerine göre %42-76 aralığında değişmektedir. Aynı sebze türünde haşlanmış örnek çiğ örneğe göre mide ortamında daha stabildir ($p<0,05$).

Bağırsak sindirimi sonrası ise tüm örneklerin antioksidan miktarı azalmıştır ($p<0,05$). Biyoulaşılabilirlik değerleri %62-94 arasında değişmektedir. En fazla biyoulaşılabilirlik haşlanmış cibesde, en düşük biyoulaşılabilirlik ise çiğ radikada bulunmuştur. Aynı sebze türünde haşlanmış örneğin biyoulaşılabilirlik değeri çiğ örneğe göre daha fazladır ($p<0,05$).

Biyoyararlılık değerleri ise tüm sebzeler için oldukça düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Buna göre sebze örneklerine ait biyoyararlılık değerleri %10-42 arasında değişmektedir. Haşlama uygulamasının biyoyararlılık değerlerini artırdığı görülmüştür ($p<0,05$). En yüksek biyoyararlılık haşlanmış brokoliye, en düşük ise çiğ radikaya aittir. Diyalize olmayan kısma ait örneklerde (OUT) ise toplam antioksidan kapasite başlangıç değerlerine göre azalmıştır ($p<0,05$). OUT fazında %40-61 arasında değişmektedir.

Kamiloğlu, 2012 tarafından yapılan tez çalışmasında, Bursa siyahi incir çeşitinde mide sindirimden sonra toplam antioksidan kapasitesinde artış görülmüştür. Bağırsak sindirimden sonra toplam antioksidan kapasite için biyoyararlılıklar, Sarılop ve Bursa siyahi incir çeşitlerinde %80 ve %86 bulunmuştur. Kurutma işlemi ise biyoyararlılıklarda sırasıyla %17 ve %30 azalmaya sebep olmuştur [64].

Kamiloğlu ve ark., 2013 tarafından yapılan çalışmada, salça prosesi ve kurutma prosesi, likopen biyolaşılabilirliğini sırasıyla 2,2 ve 3,8 kat, toplam fenolik madde biyolaşılabilirliğini 2,3 ve 2 kat, toplam flavonoid biyolaşılabilirliğini 9 ve 2,5 kat ve antioksidan kapasitesi biyolaşılabilirliğini DPPH yöntemi için 6,3 ve 8 kat, CUPRAC yöntemi için 26 ve 33 kat artırmıştır.



*Sindirim öncesi değerleri 100 kabul edilmiştir.

Şekil 4.11. Sindirimin antioksidan kapasite üzerine etkisi (DPPH yöntemi)

Tablo 4.12. Sindirimin antioksidan kapasite üzerine etkisi (DPPH yöntemi) (%)

Dpph	Başlangıç	Mide	BİYO-Y (IN)	OUT	BİYO-U
Haş. Brokoli	100 ^{a,A*}	60,64 ^{b,A}	42,30 ^{c,A}	40,97 ^{c,A}	82,86 ^{d,A}
Çiğ Brokoli	100 ^{a,A}	51,68 ^{b,B}	23,58 ^{c,B}	44,41 ^{d,B}	71,10 ^{e,B}
Haş. Radika	100 ^{a,A}	50,79 ^{b,A}	14,71 ^{c,A}	61,02 ^{d,A}	81,20 ^{e,A}
Çiğ Radika	100 ^{a,A}	41,85 ^{b,B}	10,10 ^{c,B}	50,71 ^{d,B}	62,33 ^{e,B}
Haş. Ispanak	100 ^{a,A}	75,67 ^{b,A}	22,10 ^{c,A}	56,65 ^{d,A}	85,02 ^{e,A}
Çiğ Ispanak	100 ^{a,B}	66,78 ^{b,B}	17,69 ^{c,B}	51,30 ^{d,B}	70,12 ^{e,B}
Haş. Cibes	100 ^{a,A}	71,43 ^{b,A}	31,17 ^{c,A}	60,39 ^{d,A}	94,78 ^{e,A}
Çiğ Cibes	100 ^{a,B}	62,70 ^{b,B}	18,82 ^{c,B}	55,77 ^{d,B}	79,05 ^{e,B}

*Sindirim öncesi değerleri 100 kabul edilmiştir.

*Aynı satırdaki farklı harfler (a-e) p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır.

**Her sebze kendi içinde, aynı sütundaki farklı harfler (A-B) p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır (n=6).

Tablo 4.13. Sindirim sonrası antioksidan miktarı (DPPH yöntemi) (mg Troloks/100 g TA)

	Başlangıç	Mide	IN	OUT	Biyoulaşılabilirlik
Haş. Brokoli	42,82±1,33 ^{a,A*}	25,71±1,05 ^{b,A}	17,93±0,22 ^{c,A}	17,36±0,75 ^{c,A}	35,13±0,70 ^{d,A}
Çiğ Brokoli	80,48±0,39 ^{a,B}	41,54±1,94 ^{b,B}	18,95±0,60 ^{c,A}	35,68±0,75 ^{d,B}	57,18±0,51 ^{e,B}
Haş. Radika	68,46±1,09 ^{a,A}	34,77±1,18 ^{b,A}	10,07±0,99 ^{c,A}	41,77±1,59 ^{d,A}	55,59±1,37 ^{e,A}
Çiğ Radika	78,49±0,52 ^{a,B}	32,78±1,73 ^{b,B}	7,91±1,29 ^{c,B}	39,72±1,12 ^{d,B}	48,83±1,00 ^{e,B}
Haş. Ispanak	70,33±1,44 ^{a,A}	53,20±0,19 ^{b,A}	15,54±0,65 ^{c,A}	39,84±0,44 ^{d,A}	59,78±0,95 ^{e,A}
Çiğ Ispanak	83,37±0,55 ^{a,B}	55,63±1,49 ^{b,B}	14,74±0,92 ^{c,A}	42,74±0,77 ^{d,B}	58,42±1,10 ^{e,A}
Haş. Cibes	63,92±1,16 ^{a,A}	45,65±0,78 ^{b,A}	19,92±0,49 ^{c,A}	38,59±0,97 ^{d,A}	60,58±1,01 ^{e,A}
Çiğ Cibes	81,25±0,56 ^{a,B}	50,99±1,01 ^{b,B}	15,30±0,63 ^{c,B}	45,36±0,99 ^{d,B}	64,30±0,60 ^{e,B}

*Aynı satırdaki farklı harfler p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır.

** Her sebze de kendi içinde aynı sütundaki farklı harfler p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır (n=6).

4.3.4. ABTS Yöntemi ile Ölçülen Antioksidan Kapasitesi Üzerine Etkisi

Çiğ ve haşlanmış sebze örneklerine ait sindirim boyunca meydana gelen toplam antioksidan kapasitesi değişimleri ve miktarları Tablo 4.14. ve Tablo 4.15.'de verilmiştir. Ayrıca sindirim öncesi miktarları ile kıyaslanarak hesaplanan bu değişimler grafiksel olarak Şekil 4.12.'de gösterilmiştir.

Mide sindirimi sonrasında elde edilen tüm örneklerin (PG) antioksidan miktarında azalma meydana gelmiştir ($p<0,05$). Mide fazında kalan antioksidan kapasiteleri başlangıç miktarına göre %47-83 aralığında değişmektedir. Aynı sebze türünde haşlanmış örnek, çiğ örneğe göre mide ortamında daha stabildir ($p<0,05$).

Bağırsak ortamında ise tüm örneklerin antioksidan kapasiteleri başlangıç miktarına azalmıştır ($p<0,05$). Biyoulaşılabilirlik değerleri %64-93 arasında değişmektedir. En fazla biyoulaşılabilirlik haşlanmış cibesde, en düşük biyoulaşılabilirlik ise çiğ radikada bulunmuştur. Aynı sebze türünde haşlanmış örneğin biyoulaşılabilirlik değeri çiğ örneğe göre daha fazladır ($p<0,05$).

Biyoyararlılık değerleri ise tüm sebzeler için oldukça düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Buna göre sebze örneklerine ait biyoyararlılık değerleri %20-48 arasında değişmektedir. En yüksek biyoyararlılık haşlanmış brokoliye, en düşük biyoyararlılık çiğ radikaya aittir. OUT fazında ise toplam antioksidan kapasitesi başlangıç miktarına göre düşmüştür ($p<0,05$). OUT fazında toplam antioksidan kapasite başlangıç miktarına göre %35-63 aralığındadır.

Tagliazucchi ve ark., 2010 tarafından yapılan çalışmada *in vitro* sindirimin üzümün antioksidan kapasitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. ABTS yöntemiyle yapılan ölçümler sonrasında antioksidan kapasitenin mide ve bağırsak ortamında düştüğü tespit edilmiştir [30].

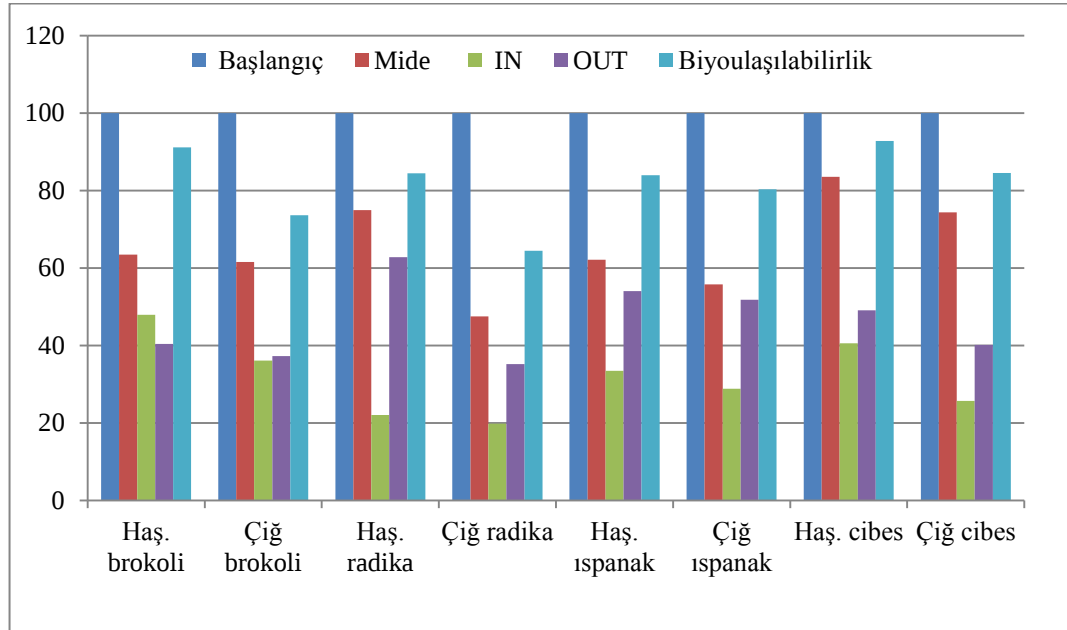
Tablo 4.14. Sindirimin antioksidan kapasitesi üzerine etkisi (ABTS yöntemi)

	Başlangıç	Mide	BİYO-Y (IN)	OUT	BİYO-U
Haş. Brokoli	100 ^{a,A*}	63,44 ^{b,A}	47,88 ^{c,A}	40,38 ^{d,A}	91,18 ^{e,A}
Çiğ Brokoli	100 ^{a,A}	61,52 ^{b,A}	36,11 ^{c,B}	37,24 ^{c,A}	73,65 ^{d,B}
Haş. Radika	100 ^{a,A}	74,91 ^{b,A}	22,04 ^{c,A}	62,79 ^{d,A}	84,44 ^{e,A}
Çiğ Radika	100 ^{a,A}	47,48 ^{b,B}	19,81 ^{c,A}	35,17 ^{d,B}	64,47 ^{e,B}
Haş. Ispanak	100 ^{a,A}	62,15 ^{b,A}	33,48 ^{c,A}	54,06 ^{d,A}	83,96 ^{e,A}
Çiğ Ispanak	100 ^{a,A}	55,73 ^{b,A}	28,82 ^{c,A}	51,76 ^{b,A}	80,35 ^{d,A}
Haş. Cibes	100 ^{a,A}	83,51 ^{b,A}	40,56 ^{c,A}	49,06 ^{d,A}	92,77 ^{e,A}
Çiğ Cibes	100 ^{a,B}	74,35 ^{b,B}	25,70 ^{c,B}	40,16 ^{d,B}	84,53 ^{e,B}

*Sindirim öncesi değerleri 100 kabul edilmiştir.

*Aynı satırdaki farklı harfler (a-e) p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır.

**Her sebze kendi içinde, aynı sütundaki farklı harfler (A-B) p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır (n=6).



*Sindirim öncesi değerleri 100 kabul edilmiştir.

Şekil 4.12. Sindirimin antioksidan kapasite üzerine etkisi (ABTS yöntemi)

Tablo 4.15. Sindirim sonrası antioksidan miktarı (ABTS yöntemi) (mg Troluks/100 g TA)

	Başlangıç	Mide	IN	OUT	Biyoulaşılabilirlik
Haş. Brokoli	100,45±0,46 ^{a,A*}	60,65±1,16 ^{b,A}	50,02±1,88 ^{c,A}	40,22±0,65 ^{c,A}	90,53±0,56 ^{a,A}
Çiğ Brokoli	170,55±0,51 ^{a,B}	100,80±0,90 ^{b,B}	60,32±0,83 ^{c,B}	60,53±0,52 ^{c,B}	120,92±0,47 ^{d,B}
Haş. Radika	120,46±0,29 ^{a,A}	90,33±0,25 ^{b,A}	20,75±0,47 ^{c,A}	70,83±0,42 ^{d,A}	100,52±0,52 ^{b,A}
Çiğ Radika	150±0,89 ^{a,B}	70,13±0,78 ^{b,B}	20,96±0,65 ^{c,A}	50,27±0,27 ^{d,B}	90,70±1,35 ^{e,A}
Haş. Ispanak	170,55±0,94 ^{a,A}	100,89±0,44 ^{b,A}	50,86±0,97 ^{c,A}	90,46±0,60 ^{b,A}	140,73±1,21 ^{d,A}
Çiğ Ispanak	210,36±0,58 ^{a,B}	120,13±0,71 ^{b,B}	60,28±0,62 ^{c,A}	110,26±0,64 ^{b,B}	170,49±0,72 ^{d,B}
Haş. Cibes	130,90±0,58 ^{a,A}	110,59±0,88 ^{b,A}	50,64±1,54 ^{c,A}	60,82±0,81 ^{c,A}	120,89±0,71 ^{a,A}
Çiğ Cibes	180,90±0,49 ^{a,B}	140,05±0,41 ^{b,B}	40,85±0,40 ^{c,A}	70,57±0,58 ^{d,A}	150,97±0,45 ^{e,B}

*Aynı satırdaki farklı harfler p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır (n=6).

** Her sebze de kendi içinde aynı sütundaki farklı harfler p<0,05 düzeyinde birbirinden farklıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda, çiğ sebzeler arasında en az toplam fenolik maddeyi (110,34±1,77 mg GAE/100 g TA) çiğ radika, en fazla toplam fenolik maddeyi ise çiğ ıspanak (142,73±1,22 mg/100 g TA) içermektedir. Haşlanmış sebzeler arasında ise en az toplam fenolik bileşik miktarı brokoli örneklerinde (63,23±1,84 mg/100 g TA), en fazla toplam fenolik bileşik miktarı ise cibes örneklerinde (99,89±3,52 mg/100 g TA) bulunmuştur.

Toplam fenolik madde miktarında, haşlama sonrası önemli miktarda kayıp meydana gelmiştir ($p<0,05$). En fazla kayıp %53 oranla brokoli örneklerinde meydana gelmiştir. Bunu sırasıyla ıspanak (%38), cibes (%27) ve radika (%22) takip etmiştir.

Çiğ sebzeler arasında en fazla toplam flavonoid içeriği ıspanak örneklerine (35,34±1,84 mg KAE/100 g TA), en düşük toplam flavonoid içeriği radikaya (22,44±1,08 mg/100 g TA) aittir. Haşlanmış sebzeler arasında ise en düşük flavonoid içeriği brokoli örneklerinde (10,26±1,50 mg/100 g TA), en yüksek flavonoid içeriği ise ıspanak örneklerinde (14,46±1,65 mg/100 g TA) bulunmuştur.

Toplam flavonoid miktarında, haşlama sonrası önemli miktarda kayıp meydana gelmiştir ($p<0,05$). En fazla kayıp ıspanakta (%59) olmuştur, bunu brokoli (%56), cibes (%39) ve radika (%38) takip etmiştir.

Antioksidan kapasite DPPH ve ABTS yöntemleri ile ölçülmüştür. Buna göre DPPH yöntemi ile ölçülen toplam antioksidan kapasitesi sonucunda, çiğ örnekler arasında en yüksek antioksidan kapasitesi ıspanak örneklerine (%54), en düşük antioksidan kapasitesi ise radikaya (%51) aittir. Haşlanmış sebzeler arasında ise en düşük antioksidan kapasitesi brokoli örneklerinde (%28), en yüksek antioksidan kapasitesi ise ıspanak örneklerinde (%46) bulunmuştur.

DPPH yöntemi ile ölçülen antioksidan kapasitesinde haşlama sonrası önemli miktarda kayıp meydana gelmiştir ($p<0,05$). Sebzeler arasında en fazla kayıp sırasıyla %47 oranla brokoli örneklerinde meydana gelmiştir. Bunu cibes (%21), ıspanak (%16) ve radika (%13) takip etmiştir.

ABTS yöntemi ile ölçülen antioksidan kapasitesi tayini sonucunda, çiğ sebze örnekleri arasında en fazla antioksidan kapasitesi ıspanağa (%37), en düşük antioksidan kapasitesi ise radıkaya (%25) aittir. Haşlanmış sebze örnekleri arasında ise en düşük antioksidan kapasitesi brokoli örneklerinde (%18), en yüksek antioksidan kapasitesi ise ıspanak örneklerinde (%30) bulunmuştur.

ABTS yöntemi ile ölçülen toplam antioksidan kapasitesinde, haşlama sonrası önemli oranda kayıp meydana gelmiştir ($p<0,05$). En fazla kayıp %41 oranla brokoli örneklerinde meydana gelmiştir. Bunu cibes (%27), ıspanak (%23) ve radikanın (%20) takip etmiştir.

Sindirim uygulaması sonucunda, toplam fenolik bileşik miktarları mide ortamında artış gösterirken, bağırsak ortamında azalmıştır. Fenolik bileşikler için biyoyararlılık değerleri %11-32, biyolaşılabilirlik değerleri %60-80 aralığındadır. Flavonoidler, mide koşullarında yüksek stabilite göstermiştir. Ancak en düşük biyoyararlılık flavonoidlere (%1,29-15,36) aittir. Antioksidan kapasitesi, hem mide hem de bağırsak koşullarında başlangıç miktarına göre önemli oranda azalmıştır ($p<0,05$). DPPH ve ABTS yöntemleri ile ölçülen antioksidan kapasitesi için biyoyararlılıklar sırasıyla %10-42 ve %20-48 aralığındadır.

Her ne kadar haşlama uygulaması ile fenolik bileşik miktarında kayıp gözlenirse de, haşlama uygulaması radika hariç sebzelerdeki fenolik bileşiklerin biyoyararlılıklarını artırmıştır ($p<0,05$). Ancak radika için çiğ ve haşlanmış sebzelerin biyoyararlılıkları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamıştır ($p>0,05$). Haşlamanın radıkaya ait toplam fenolik madde biyoyararlılığı üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmamasının, haşlama süresine bağlı olduğu (1 dak.) düşünülmektedir.

Sonuç olarak, sebzelerin içerdiği fenolik madde miktarının, bitkinin olgunluğu, bitkinin türü, çevresel koşullar, depolama ve saklama koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Brokoli, ıspanak, cibes ve radika sebzeleri farklı miktarlara sahip olsa da fenolik bileşikler bakımından oldukça zengin

bulunmuştur. Ancak fenolik bileşikler bakımından zengin olmalarına rağmen, biyoyararlılıklarının bu değerlerden oldukça düşük olduğu dikkate alınmalıdır.

Metabolizmamız, stres, hava kirliliği, radyasyon gibi etkenler sebebiyle artan serbest radikallerle savaşmak için yetersiz kalmaktadır. Oksidatif hasarları önlemek için gıdalarla antioksidan maddelerin gerekli miktarlarda alımı büyük önem arz etmektedir. Antioksidan etkileri sebebiyle fenolik bileşiklerin yeterli miktarda alınması sağlığımızın korunmasında rol oynamaktadır. Fenolik bileşiklerin günlük alım miktarlarının belirlenmesi için biyoyararlılık değerleri bilinmelidir. Çalışmamızda belirlenen brokoli, cibes, radika ve ıspanak sebzelerine ait toplam fenolik madde, toplam flavonoid, toplam antioksidan kapasitesi ve biyoyararlılık değerlerinin literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Baysal, A. Genel Beslenme. Hatiboğlu Yayınları, Ankara, 2013, 280 s.
2. Tayar, M., Korkmaz N.H., Özkeleş E. Beslenme İlkeleri. Dora Yayınları, Bursa, 2011, 374 s.
3. Cartea, M.E., Francisco, M., Soengas, P., Velasco, P. Phenolic compounds in Brassica vegetables. *Molecules*. 2011, 16(1), 251–280.
4. Bresciani, L., Calani, L., Cossu, M., Mena, P., Sayegh, M., Ray, S., Del Rio, D. (Poly)phenolic characterization of three food supplements containing 36 different fruits, vegetables and berries. *PharmaNutrition*. 2015, 3, 11–19.
5. Turkmen, N., Sari, F., Velioglu, Y.S. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*. 2005, 93, 713–718.
6. Zhang, D., Hamauzu, Y. Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking. *Food Chemistry*. 2004, 88, 503–509.
7. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. Fenolik Bileşikler ve Doğal Renk Maddeleri. T.C Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2006, 27 s.
8. Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., Jiménez, L. Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2004, 79, 727–747.
9. Scalbert, A., Johnson, I.T., Saltmarsh, M. Polyphenols: antioxidants and beyond. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2005, 81, 215–217.
10. Versantvoort, C. H. M., Oomen, A. G., Van De Kamp, E., Rompelberg, C. J. M., Sips, A.J.M. Applicability of an *in vitro* digestion model in assessing the bioaccessibility of mycotoxins from food. *Food and Chemical Toxicology*, 2005, 43, 31–40.
11. Alminger, M., Aura, A.M., Bohn, T., Dufour, C., El, S.N., Gomes, A., Karakaya, S., Martinez-Cuesta M.C., McDougall. M.C., Requena, T., Santos, C. N. In vitro models for studying secondary plant metabolite digestion and bioaccessibility. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2014, 13(4), 413–436.
12. Wickham, M., Faulks, R., Mills C. In vitro digestion methods for assessing the effect of food structure on allergen breakdown. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2009, 53(8), 952–958.
13. Güven, E.Ç., Otkun, G.T., Boyacıoğlu, D. Flavonoidlerin biyoyararlılığını etkileyen faktörler. *Gıda*. 2010, 35(5), 387–394.
14. Demirci, M. Beslenme. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, İstanbul, 2011, 370 s.
15. Vücut Dışında Kullanılan (*in vitro*) Tıbbi Tanı Cihazları Yönetmeliği <http://www.mevzuat.gov.tr/> Ulaşım Tarihi: 05.07.2015
16. McDougall, G.J., Dobson, P., Smith, P., Blake, A., Stewart, D. Assessing potential bioavailability of raspberry anthocyanins using an *in vitro* digestion system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005, 53(15), 5896–5904.
17. Miller, D. D., Schriker, B. R., Rasmussen, R. R., Van Campen, D. An *in vitro* method for the estimation of iron from meals. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1981, 34, 2248–2256.
18. Bermúdez-Soto, M.J., Tomás-Barberán, F.A., García-Conesa, M.T. Stability of polyphenols in chokeberry (*Aronia melanocarpa*) subjected to *in vitro* gastric and pancreatic digestion. *Food Chemistry*. 2007, 102, 865–874.

19. Hur, S.J., Lim, B.O., Decker, E.A., McClements, D.J. *In vitro* human digestion models for food applications. *Food Chemistry*. 2011, 125, 1–12.
20. Bouayed, J., Deußer, H., Hoffmann, L., Bohn, T. Bioaccessible and dialysable polyphenols in selected apple varieties following *in vitro* digestion vs. their native patterns. *Food Chemistry*. 2012, 131, 1466–1472.
21. https://www.tno.nl/media/4057/tim_gastrointestinal_systems.pdf Ulaşım Tarihi: 10.07.2015
22. Gil-Izquierdo, A., Gil, M.I., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F.A. *In vitro* availability of flavonoids and other phenolics in orange juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001, 49, 1035–1041.
23. Vallejo, F., Gil-Izquierdo, A., Pérez-Vicente, A., García-Viguera, C. *In vitro* gastrointestinal digestion study of broccoli inflorescence phenolic compounds, glucosinolates, and vitamin C. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004, 52, 135–138.
24. Zhu, Q. Y., Holt, R. R., Lazarus, S. A., Ensunsa, J. L., Hammerstone, J. F., Schmitz, H. H. Stability of the flavan-3-ols epicatechin and catechin and related dimeric procyanidins derived from cocoa. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2002, 50, 1700–1705.
25. Girgin, N., El, S.N. Effects of cooking on *in vitro* sinigrin bioaccessibility, total phenols, antioxidant and antimutagenic activity of cauliflower (*Brassica oleraceae* L. var. *Botrytis*). *Journal of Food Composition and Analysis*. 2015, 37, 119–127.
26. Boyer, J., Brown, D., Liu, R. H. *In vitro* digestion and lactase treatment influence uptake of quercetin and quercetin glucoside by the Caco-2 cell monolayer. *Nutrition Journal*. 2005, 4(1).
27. Liang, L., Wu, X., Zhao, T., Zhao, J., Li, F., Zou, Y., Mao, G., Yang, L. *In vitro* bioaccessibility and antioxidant activity of anthocyanins from mulberry (*Morus atropurpurea* Roxb.) following simulated gastro-intestinal digestion. *Food Research International*. 2012, 46, 76–82.
28. McDougall, G. J., Fyffe, S., Dobson, P., Stewart, D. Anthocyanins from red wine – Their stability under simulated gastrointestinal digestion. *Phytochemistry*. 2005, 66, 2540–2548.
29. McDougall, G.J., Fyffe, S., Dobson, P., Stewart, D. Anthocyanins from red cabbage - Stability to simulated gastrointestinal digestion. *Phytochemistry*. 2007, 68(9), 1285–1294.
30. Tagliazucchi, D., Verzelloni, E., Bertolini, D., Conte, A. *In vitro* bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*. 2010, 120, 599–606.
31. Pérez-Vicente, A., Gil-Izquierdo, A., García-Viguera, C. *In vitro* gastrointestinal digestion study of pomegranate juice phenolic compounds, anthocyanins, and vitamin C. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002, 50(8), 2308–2312.
32. Toydemir, G., Capanoglu, E., Kamiloglu, S., Boyacioglu, D., de Vos, R.C.H., Hall, R.D., Beekwilder, J. Changes in sour cherryvite (*Prunus cerasus* L.) antioxidants during nectar processing and *in vitro* gastrointestinal digestion. *Journal of Functional Foods*. 2013, 5, 1402–1413.
33. Kamiloglu, S., Demirci, M., Selen, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D., Capanoglu, E. Home processing of tomatoes (*Solanum lycopersicum*): effects on *in vitro* bioaccessibility of total lycopene, phenolics, flavonoids, and antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014, 94, 2225–2233.

34. Kamiloglu, S., Pasli, A.A., Ozcelik, B., Capanoglu, E. Evaluating the *in vitro* bioaccessibility of phenolics and antioxidant activity during consumption of dried fruits with nuts. *LWT - Food Science and Technology*. 2014, 56, 284–289.
35. Gil-Izquierdo, A., Zafrilla, P., Tomás-Barberán, F.A. An *in vitro* method to simulate phenolic compound release from the food matrix in the gastrointestinal tract. *European Food Research and Technology*. 2002, 214, 155–159.
36. Acar, J., Gökmen, V. Fenolik Bileşikler ve Doğal Renk Maddeleri. In *Gıda Kimyası*, Ed: İlbilge Saldamlı, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, 1998, 463-496 s.
37. Karakaya, S. Bioavailability of phenolic compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2004, 44(6), 453–464.
38. Nizamlioğlu, N.M., Nas, S. Meyve ve sebzelerde bulunan fenolik bileşikler; yapıları ve önemleri. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 2010, 5(1), 20–35.
39. Tarko, T., Duda-Chodak, A., Sroka, P., Satora, P., Michalik, P. Transformations of phenolic compounds in an *in vitro* model simulating the human alimentary tract. *Food Technology Biotechnology*. 2009, 47(4), 456-463.
40. Çimen, M.B.Y. Flavonoidler ve antioksidan özellikleri. *Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri*. 1999, 19, 296-304.
41. Koca, N., Karadeniz, F. Serbest radikal oluşum mekanizmaları ve vücuttaki antioksidan savunma sistemleri. *Gıda Mühendisliği Dergisi*. 2003, 16, 32-37.
42. Uylaşer, V., İnce, K. Şaraptaki Antioksidanlar ve Fenolik Bileşikler. *Türkiye 10. Gıda Kongresi*. 21-23 Mayıs, 2008, Erzurum (Bildiri Özetleri Kitabı, 1151-1154)
43. Hu, H.L., Forsey, R.J., Blades, T.J., Barratt, M.E.J., Parmar, P., Powell, J.R. Antioxidants may contribute in the fight against ageing: an *in vitro* model. *Mechanisms of Ageing and Development*. 2000, 121, 217–230.
44. Turhan, S., Üstün, N.Ş. Doğal Antioksidanlar ve Gıdalarda Kullanımları. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*. 24-26 Mayıs, 2006, Bolu (Bildiri Özetleri Kitabı, 273-276)
45. Erbas, M., Gül, S., Şekerci, H. Fonksiyonel Gıda Bileşeni Olarak Diyetel Antioksidanlar. *Türkiye 10. Gıda Kongresi*. 21-23 Mayıs, 2008, Erzurum (Bildiri Özetleri Kitabı, 1053-1056)
46. Albayrak, S., Sağdıç, O. Aksoy, A. Bitkisel ürünlerin ve gıdaların antioksidan kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2010, 26(4), 401–409.
47. Becker, E.M., Nissen, L.R., Skibsted, L.H. Antioxidant evaluation protocols: Food quality or health effects. *European Food Research and Technology*. 2004, 219, 561–571.
48. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. Ispanak Yetiştiriciliği. T.C Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2009, 28 s.
49. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. Brokoli Yetiştiriciliği. T.C Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2011, 36 s.
50. Saraçoğlu İ.A. Bitkilerdeki Sağlık Mucizesi. Boyut Matbaacılık, İstanbul, 2002,
51. Abbas, Z.K., Saggu, S., Sakeran, M.I., Zidan, N., Rehman, H., Ansari, A.A. Phytochemical, antioxidant and mineral composition of hydroalcoholic extract of chicory (*Cichorium intybus L.*) leaves. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2015, 22(3), 322-326.
52. Eşiyok, D., Yağmur, B., Kaygısız, T. Cibes. *Gıda*. 2007, 3, 92-94.
53. Koh, E., Wimalasiri, K.M.S., Chassy, A.W., Mitchell, A.E. Content of ascorbic acid, quercetin, kaempferol and total phenolics in commercial broccoli. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2009, 22, 637–643.

54. Keçebaş, T. Farklı Haşlama Uygulamalar İle Saklamanın Kurutulmuş Brokkolinin Renk ve Antioksidan Aktivitesi Üzerine Etkileri. ukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 2007, 76 s. (Yüksek Lisans Tezi).
55. Vallejo, F., Tomás-Barberán, F.A., García-Viguera, C. Phenolic compound contents in edible parts of broccoli inflorescences after domestic cooking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2003, 83, 1511–1516.
56. Gawlik-Dziki, U. Effect of hydrothermal treatment on the antioxidant properties of broccoli (*Brassica oleracea* var. *botrytis italica*) florets. *Food Chemistry*. 2008, 109, 393–401.
57. Bunea, A., Andjelkovic, M., Socaciu, C., Bobis, O., Neacsu, M., Verhé, R., Camp, J.V. Total and individual carotenoids and phenolic acids content in fresh, refrigerated and processed spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Food Chemistry*. 2008, 108, 649–656.
58. Howard, L.R., Pandjaitan, N., Morelock, T., Gil, M.I. Antioxidant capacity and phenolic content of spinach as affected by genetics and growing season. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002, 50, 5891–5896.
59. Karaca, H. Ozonlamanın Marul, Ispanak ve Maydanozlarda Mikrobiyel İnaktivasyon ve Raf Ömrü Üzerine Etkisi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2010, 91 s. (Doktora Tezi).
60. Sinkoviç, L., Demřar, L., Źnidari, D., Vidrih, R., Hribar, J., Treutter, D. Phenolic profiles in leaves of chicory cultivars (*Cichorium intybus* L.) as influenced by organic and mineral fertilizers. *Food Chemistry*. 2015, 166, 507–513.
61. dos Reis, L.C.R., de Oliveira, V.R., Hagen, M.E.K., Jablonski, A., Flôres, S.H., de Oliveira Rios, A. Carotenoids, flavonoids, chlorophylls, phenolic compounds and antioxidant activity in fresh and cooked broccoli (*Brassica oleracea* var. Avenger) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. Alphina F1). *LWT - Food Science and Technology*. 2015, 63, 177–183.
62. Vaishnav, J., Adiani, V., Variyar, P.S. Radiation processing for enhancing shelf life and quality characteristics of minimally processed ready-to-cook (RTC) cauliflower (*Brassica oleracea*). *Food Packaging and Shelf Life*. 2015, 50–55.
63. Dalar, A., Konczak, I. *Cichorium intybus* from Eastern Anatolia: Phenolic composition, antioxidant and enzyme inhibitory activities. *Industrial Crops and Products*. 2014, 60, 79–85.
64. Kamiloğlu, S. Effect of Sun-drying on Polyphenols and *In Vitro* Bioavailability of Sarılop and Bursa Siyahi Figs (*Ficus Carica* L.). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2012, 107 s. (Yüksek Lisans Tezi).
65. Bino, R.J., vos, C.H.R.D., Lieberman, M., Hall, R. D., Bovy, A., Jonker, H.H., Tikunov, Y., Lommen, A., Moco, S., Levin, I. The light hyperresponsive high pigment-2^{dg} mutation of tomato: alterations in the fruit metabolome. *New Phytologist*. 2005, 166, 427–438.
66. Association of Official Analytical Chemists. 15th ed., Washington, DC, 1990, 1058–1059.
67. Velioglu, Y.S., Mazza, G., Gao, L., Oomah, B.D. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1998, 46, 4113–4117.
68. Martos, M. V., Navajas, Y. R., Lopez, J. F., Sendra, E., Barbera, E. S., Alvarez, J.A.P. Antioxidant properties of pomegranate (*Punica granatum* L.) bagasses

obtained as co-product in the juice extraction. Food Research International. 2011,44, 1217-1223.

69. Miller, N.J., Rice-Evans, C.A. Factors influencing the antioxidant activity determined by the ABTS^{•+} radical cation assay. Free Radical Research. 1997, 26, 195–199.

70. Bastin, S., Henken, K. Water Content of Fruits And Vegetables. Cooperative Extension Service University of Kentucky. ABD, 1997.

71. Uyar, B.B., Gezmen-Karadağ, M. Toplumumuzda sıklıkla kullanılan bazı bitkilerin toplam fenolik madde miktarlarının saptanması. Gıda. 2013, 38(1), 23–29.

72. Sikora, E., Cieslik, E., Leszczynska, T., Filipiak-Florkiewicz, A., Pisulewski, P. The antioxidant activity of selected cruciferous vegetables subjected to aquathermal processing. Food Chemistry. 2008, 107, 55-59.

73. Gliszczyńska-Swigło, A., Ciska, E., Pawlak-Lemanska, K., Chmielewski, J., Borkowski, T., Tyrakowska, B. Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing, Food Additives and Contaminants. 2006, 23, 1088-1098.

74. Volden, J., Bengtsson, G., Wicklund, T. Glucosinolates, L-ascorbic acid, total phenols, anthocyanins, antioxidant capacities and colour in cauliflower (*Brassica oleracea* L. ssp. *botrytis*); effects of long-term freezer storage. Food Chemistry. 2009, 112, 967-976.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve ARSLAN
Doğum Yeri ve Yılı : Dursunbey, 1989
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : arslanmerve1989@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Fatma Emin Kutvar Anadolu Lisesi, 2007
Lisans : Ege Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 2012
Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 2015

Mesleki Deneyim

System Audit and Inspection (SAI)	04.2012-09.2012
Leatherhead Food Research	06.2014-09.2014