T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TURPGİLLERİN SÜLFORAFAN İÇERİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ

FURKAN TEK

KİMYA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
AĞUSTOS - 2024

T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TURPGİLLERİN SÜLFORAFAN İÇERİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ

FURKAN TEK
ORCID: 0009-0004-5049-7972

KİMYA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Prof. Dr. Şana SUNGUR
ORCID: 0000-0001-7370-8972

HATAY
AĞUSTOS - 2024

T.C.

HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TURPGİLLERİN SÜLFORAFAN İÇERİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ

FURKAN TEK

KİMYA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Şana SUNGUR danışmanlığında hazırlanan bu tez **08/08/2024** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Şana SUNGUR
Başkan

Prof. Dr. M. Kemal SANGÜN
Üye

Doç. Dr. Abdullah ÖZKAN
Üye

Kod No:

Prof. Dr. Cengiz KARACA
Enstitü Müdürü

Bu çalışma MKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir. Proje No:22.YL.026

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

08/08/2024

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

FURKAN TEK

ÖZET

TURPGİLLERİN SÜLFORAFAN İÇERİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ

Turpgiller familyası (Brassicaceae), brokoli, karnabahar, lahana, turp, şalgam gibi sebzeleri içermektedir. Bu sebzeler vitaminler, mineraller, eser elementler, polifenoller, çözünür lifler ve glikozinolatlar bakımından oldukça zengindir. Bunlar arasında, glukorafaninden türetilen sülforafan, sağlık üzerindeki olumlu etkileri ve yüksek biyoyararlılığı nedeniyle son yıllarda araştırmacılar tarafından büyük bir ilgi görmektedir. Sülforafanın sağlık üzerine etkisi, kanser ve otoimmün hastalıkları önleyen faz I ve faz II detoksifiye edici enzimleri modüle etme kapasitesi ile ilgilidir. Son çalışmalar, sülforafanın kardiyo koruyucu ve obeziteyi önleyici etkileri olduğunu da ortaya koymuştur. Bu çalışmada, öncelikle yerel pazarlardan temin edilen beyaz lahana, kırmızı lahana, Brüksel lahanası, karnabahar, brokoli, beyaz turp, kırmızı turp, küçük kırmızı turp ve siyah turbun çiğ olarak sülforafan içerkleri belirlenmiştir. Çiğ sebzeler arasında en yüksek sülforafan içerikleri ortalama olarak Brüksel lahanası (429.79 mg kg^{-1}), kırmızı lahana (339.26 mg kg^{-1}), beyaz lahana (331.28 mg kg^{-1}) ve karnabaharda (154.59 mg kg^{-1}) elde edilmiştir. Daha sonra bu 4 sebzenin sülforafan içeriği üzerine sıcak suda haşlama, buharda pişirme, tavada kavurma gibi farklı pişirme yöntemlerinin ve dondurma işleminin etkisi incelenmiştir. Uygulanan pişirme işlemlerinin tamamında sebzelerin sülforafan içeriklerinde ciddi azalmaların meydana geldiği görülmüştür. En fazla sülforafan kaybı tavada kavurma işlemi sonucunda (%80.02 - %92.12) meydana gelmiştir. Sıcak suda haşlama işlemi sonucunda önemli miktarlarda sülforafanın haşlama sularına geçtiği saptanmıştır. Dondurma işlemi sonucunda ise az miktarda da olsa tüm turpgil sebzelerinin sülforafan içeriklerinde (%0.9 - %2.1) artış gözlenmiştir.

2024, 43 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sülforafan, turpgiller, pişirme yöntemi, dondurma işlemi, HPLC.

ABSTRACT

DETERMINATION of the FACTORS AFFECTING the SULFORAPHONE CONTENT of BRASSICA VEGETABLES

The cruciferous family (Brassicaceae) includes vegetables such as broccoli, cauliflower, cabbage, radish and turnip. These vegetables are rich in vitamins, minerals, trace elements, polyphenols, soluble fibers and glucosinolates. Among them, sulforaphane derived from glucoraphanin has attracted great attention from researchers in recent years due to its positive effects on health and high bioavailability. The health effect of sulforaphane is related to its capacity to modulate phase I and phase II detoxifying enzymes, which prevent cancer and autoimmune diseases. Recent studies have also revealed that sulforaphane has cardioprotective and anti-obesity effects. In this study, the sulforaphane contents of raw white cabbage, red cabbage, Brussels sprouts, cauliflower, broccoli, white radish, red radish, small red radish and black radish, primarily obtained from local markets, were determined. Among raw vegetables, the highest sulforaphane contents were obtained on average in Brussels sprouts (429.79 mg kg^{-1}), red cabbage (339.26 mg kg^{-1}), white cabbage (331.28 mg kg^{-1}) and cauliflower (154.59 mg kg^{-1}). Then, the effects of different cooking methods such as boiling in hot water, steaming, pan-roasting, and freezing on the sulforaphane content of these 4 vegetables were examined. It was observed that the sulforaphane content of the vegetables decreased significantly in all cooking processes. The highest sulforaphane loss occurred as a result of pan roasting (80.02%- 92.12%). It has been determined that significant amounts of sulforaphane pass into the boiling water as a result of boiling in hot water. As a result of the freezing process, a small increase in the sulforaphane content of all cruciferous vegetables was observed (0.9%- 2.1%).

2024, 43 pages

Key Words: Sulforaphane, cruciferous vegetables, cooking method, freezing process, HPLC.

TEŞEKKÜR

Mesleki ve akademik hayatımda önemli kararlar almam gerektiğinde sürekli yanımda olan ve varlığı ile benim için önemli bir rol model oluşturan, gerek yüksek lisans tez konumunun belirlenmesinde gerek araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmalarıma ışık tutan ve yardımını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Şana SUNGUR'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi (HMKÜ) Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölüm Başkanlığı'na ve HMKÜ FBE Enstitüsü Müdürlüğü çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen, güvenen ve daima yanımda olan canım aileme sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ V
ŞEKİLLER DİZİNİ VI
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ VII
1. GİRİŞ 1
1.1. Sülforafan 1
1.2. Sülforafanın İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri 3
1.2.1. Kanser Üzerine Etkileri 3
1.2.2. Diyabet Üzerine Etkileri 5
1.2.3. Kalp Damar Sağlığı Üzerine Etkileri 6
1.2.4. Diğer Hastalıklar Üzerine Etkileri 7
1.2.5. Sülforafanın Klinik Açıdan Önemi 8
1.3. Sülforafanın Günlük Alımı ve Toksititesi 9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 10
3. MATERYAL ve YÖNTEM 18
3.1. Materyal 18
3.1.1. Kullanılan Kimyasallar 18
3.1.2. Kullanılan Cihazlar 18
3.2. Yöntem 18
3.2.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Çözeltiler 18
3.2.2. Örneklerin Temin Edilmesi 19
3.2.3. Sebze Örneklerine Uygulanan Pişirme Yöntemleri 19
3.2.3.1. Sıcak Suda Haşlama 19
3.2.3.2. Buharda Pişirme 19
3.2.3.3. Kavurma 20
3.2.4. Sebze Örneklerinin Analize Hazırlanması 20
3.2.5. Kalibrasyon Grafiklerinin Oluşturulması 20
3.2.6. HPLC Analizi 20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 22
4.1. Sülforafana Ait Kalibrasyon Grafiği 22
4.2. Sülforafana Ait LOD, LOQ Değerleri ve Alıkonma Süresi 22
4.3. Sebze Örneklerinde Tespit Edilen Sülforafan Miktarları 23
4.4. Uygulanan Pişirme Yöntemlerinin ve Dondurma İşleminin Turpgil Sebzelerinin Sülforafan İçeriklerine Etkisi 26
4.5. Uygulanan İşlemler Sonucunda Elde Edilen Sülforafan Miktarlarının Literatürdeki Verilerle Karşılaştırılması 31
5. SONUÇ ve ÖNERİLER 34
KAYNAKLAR 38
ÖZGEÇMİŞ 43

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasal Maddeler 18
Çizelge 3.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar 18
Çizelge 4.1. Sülforafana ait LOD, LOQ değerleri ve alıkonma süresi 22
Çizelge 4.2. Turpgil sebzelerinin sülforafan içerikleri (N=3) 24
Çizelge 4.3. Brüksel lahanasına uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan miktarları 27
Çizelge 4.4. Kırmızı lahanaya uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan miktarları 28
Çizelge 4.5. Beyaz lahanaya uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan miktarları 29
Çizelge 4.6. Karnabahara uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan miktarları 30
Çizelge 4.7. Uygulanan işlemler sonucunda sülforafan miktarlarında meydana gelen değişimler 33

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Sülforafana ait kalibrasyon grafiği.....22
Şekil 4.2. Sülforafana ait pik.....23
Şekil 4.3. Turpgil sebzelerinin sülforafan konsantrasyonları.....26
Şekil 4.4. Brüksel lahanasına uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan konsantrasyonları 27
Şekil 4.5. Kırmızı lahanaya uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan konsantrasyonları 28
Şekil 4.6. Beyaz lahanaya uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan konsantrasyonları 29
Şekil 4.7. Karnabahara uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan konsantrasyonları 30

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

°C	: Derece Celsius
µg	: mikrogram
µmol	: mikromol
W	: watt
m	: metre
µM	: mikrometre
s	: saniye
ng	: nanogram
mg	: miligram
g	: gram
kg	: kilogram
mL	: mililitre
µL	: mikrolitre
rpm	: rotation per minute (dakikadaki dönme sayısı)

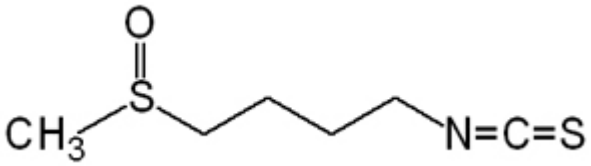
KISALTMALAR

HPLC	: High Performance Liquid Chromatography
UPLC	: Ultra Performance Liquid Chromatography
LOD	: Gözlenebilme Sınırı
LOQ	: Belirlenebilme Sınırı
DAD	: Diyot dizi dedektörü
LC-MS	: Liquid chromatography–mass spectrometry
HDL	: Yüksek yoğunluklu lipoprotein
CRP	: C reaktif protein
ACF	: Anormal kript odakları
AGE	: İleri glikasyon ürünleri
ESP	: Epitiyobelirleyici protein
EMT	: Epitelial mezenkimal geçiş
CSC	: Kanser kök hücresi
LD	: Letal doz

1. GİRİŞ

1.1. Sülforafan

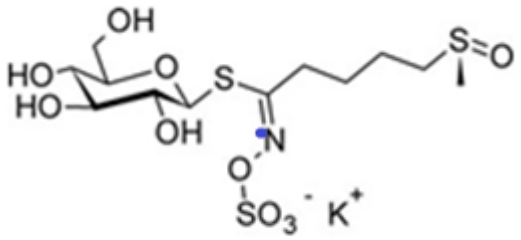
Sülforafan, 1-izotiyosiyanat-4-metilsülfinilbütan veya 4-metilsülfinilbütil izotiyosiyanat şeklinde adlandırılan bir organosülfür bileşiğidir. Suda çözünmemekte, bununla birlikte metanol, metilen klorür, asetonitril, etil asetat gibi organik çözücülerde kolayca çözünmektedir. Sülforafanın molekül ağırlığı 177.3 g/mol olup, molekül formülü $C_6H_{11}S_2NO$ şeklindedir (Gu ve ark., 2012).



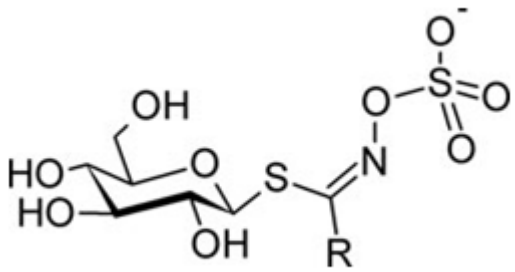
Şekil 1.1. Sülforafanın moleküler yapısı

Sülforafan, izotiyosiyanatlar içerisinde en çok çalışılan bileşiktir. Bitkilerde biyolojik inaktif öncü bir madde olan glukorafanin formunda oluşan bir fitokimyasaldır (Şekil 1.2). Glukorafanin, yapılarında bir şeker bileşeni (genellikle d-glikoz) bulunan fitokimyasallar grubuna (glikosinolatlar) aittir (Şekil 1.3) ve bunlar mirosinaz adı verilen enzim tarafından hızla uygun izotiyosiyanata dönüştürülürler (Şekil 1.4). Glukorafaninin mirosinaz enzim aktivitesiyle parçalanması nötür pH'ta ilerlediğinde ve epitiyobelirleyici protein (ESP) aktif olmadığında reaksiyonun ana ürünü sülforafan olur. Bununla birlikte, pH, sıcaklık, demir (II)'nin varlığı, ESP'nin varlığı ve aktivitesi gibi reaksiyon koşullarına bağlı olarak, tiyosiyanatlar ve nitriller de oluşabilmektedir (Gu ve ark., 2012). Karnabahar, brokoli, turp, lahana gibi turpgiller olarak adlandırılan sebzelerin çok sayıda hastalığın önlenmesinde etkili oldukları ve bu etkilerini de yapılarında bulunan glukosinolatların parçalanma ürünü olan izotiyosiyanatlar aracılığıyla gerçekleştirdikleri yapılan çalışmalar sonucunda ortaya konmuştur. Bitkilerin yapılarında 120'den fazla glukosinolat fraksiyonu bulunmakla birlikte, hala birçoğunun fonksiyonu tam olarak bilinmemektedir. Glukosinolatlar suda çözünen, anyonik karakterli, uçucu olmayan, ısıya dayanıklı maddelerdir. Normalde glukosinolatlar insan ve hayvanlarda biyoaktivite göstermemektedir. Ancak kesme,

doğrama, çiğneme, dondurma ve pişirme faliyetleri sonucunda, bitki yapılarının zarar görmesiyle birlikte mirosinaz enzimi devreye girerek glukosinolatların izotiyosiyanat, tiyosiyanat, nitril ve indol-3 karbinollere hidrolize olarak aktivite kazanmasına neden olmaktadır (Koçyiğit ve Köksal, 2019).



Şekil 1.2. Glukorafaninin kimyasal yapısı



Şekil 1.3. Glikosinolatın kimyasal yapısı



Şekil 1.4. Glukorafaninin sülforafana parçalanması

Sülforafanın en büyük avantajlarından biri, yapısının ve lipofilisitesinin bir sonucu olarak oldukça yüksek biyoyararlanıma sahip olmasıdır. Yaklaşık %80 civarında mutlak biyoyararlanıma sahip olduğu ve alımdan yaklaşık 1 saat sonra kan dolaşımında zirveye ulaştığı gösterilmiştir. Karşılaştırma yapmak açısından bakıldığında, büyük hacimli, yüksek molekül ağırlıklı, moleküler yapılara sahip olan polifenoller yaklaşık olarak %1-8 civarında biyoyararlanım sergilemektedirler (Houghton, 2019).

Gıda kaynaklı bir molekülün, gen ekspresyonunu etkilemek için yeterli hücre içi konsantrasyona ulaşabilmesi için, biyoyararlanımının, bağırsak epitelyumu ve bağırsak ile hedef hücre arasındaki diğer birkaç zar yoluyla emilebilecek kadar yüksek olması gerekir. Yüksek biyoyararlanıma sahip olan sülforafan günümüzde nutrasötik (gıdalar kullanılarak hazırlanan ancak hap, toz veya diğer tıbbi ilaçlar şeklinde tüketime sunulan ürün) olarak kullanılmaktadır.

1.2. Sülforafanın İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

1.2.1. Kanser Üzerine Etkileri

Diyetle alınan prokarsinojenlerin (kendileri kanserojen olmadığı halde metobolitleri kanserojen etki gösteren maddeler) DNA hasarı ya da kansere yol açabilmesi için metabolik aktivasyona gereksinimleri bulunmaktadır. Bu aktivasyon faz I enzimleri tarafından katalizlenmektedir. Dokuları koruyucu etki ya aktivasyon enzimlerinin inhibisyonu ya da kanserojenlerin atılmasını ve detoksifikasyonunu hızlandıran faz II enzimlerinin indüksiyonu yoluyla sağlanmaktadır. Yapılan çalışmalar, sülforafanın, faz I enzimlerinin inhibisyonunu hızlandırarak hücre hasarlarının önüne geçtiğini, vücutta farklı yolaklar ile kemopreventif etki (kanser oluşumunu önleyici, şiddetini veya tekrarlama riskini azaltan etki) gösterebildiğini ve insan doku hücrelerinde, kromatin ve DNA modifikasyonları gen diziliminin kontrolünü sağladığını göstermiştir (Cesare ve ark., 2009).

In vitro çalışmalar doza ve zamana bağlı sülforafan uygulamasının çeşitli meme kanseri hücrelerinde faz II enzim seviyelerini arttırdığını göstermiştir. Benzer olarak yapılan in vivo çalışmalarda, yüksek dozlarda (1000 mmol/kg/gün) sülforafan verilen

rat ve farelerin akciğer, karaciğer, meme bezi, pankreas, mide, ince ve kalın bağırsak hücrelerinde faz II enzim aktivitesinin arttığı görülmüştür (Li ve ark., 2010).

Sülforafan ve doksorubisin kombinasyonu, üçlü negatif meme kanseri hücrelerinin büyümesinde sinerjistik bir inhibisyon göstermiştir (Kaboli ve ark., 2020). Kolon kanserine karşı sülforafanın kemopreventif özelliklerini değerlendirmeyi amaçlayan bir çalışmada, azoksimetan kaynaklı kolon tümörlerinin fare modelinde, 8 veya 24 hafta boyunca sülforafan ile günlük tedavinin, anormal kript odakları (ACF) oluşumunda önemli bir azalmaya neden olduğu rapor edilmiştir (Suzuki ve ark., 2019). Deneysel olarak prostat kanseri oluşturulan farelerde, altı haftalıktan itibaren haftada üç kez oral sondayla verilen 6 μmol sülforafanın, prostat kanserinin yayılma hızını %50 oranında, yayılmasını da %63 oranında azalttığı saptanmıştır. Prostat doku örnekleri, kontrol fareleriyle karşılaştırıldığında hücresel çoğalmanın azaldığı ve apoptozun (programlanmış hücre ölümü) arttığı görülmüştür (Singh ve ark., 2009). Kim ve arkadaşları (2017) yapmış oldukları çalışmada, 10 μM konsantrasyonundaki sülforafanın, yumurtalık kanseri hücrelerinin büyümesini etkili bir şekilde engellediğini belirlemişlerdir. Sülforafanın hücre büyümesi üzerindeki etkilerinin, protein tiyol oksidasyonu veya hücresel redoks durumundaki değişiklik ile ilişkili olabileceğini, sülforafan kanseri tedavi etmek için kullanıldığında tiyol indirgeyici ajanlarla takviyeden kaçınılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Epitelial mezenkimal geçiş (EMT), epitelial hücrelerin farklı durum ve uyarılar sonucunda epitelial özelliklerini kaybederek mezenkimal özellikler kazanmaları durumudur. Bu durum, kanserin başlatılmasına, yayılmasına, metastazına ve ilaç direncine katkıda bulunmaktadır. Sülforafanın akciğer kanseri hücrelerinin EMT'si üzerinde inhibitör etki gösterdiği tespit edilmiştir (Chen ve ark., 2019). Ge ve arkadaşlarının (2019) yapmış oldukları çalışmada, sülforafan tedavisinden sonra mide kanseri kök hücreleri (CSC'ler) belirteçlerinin ekspresyon seviyelerinde önemli ölçüde azalma bulunmuştur. Ayrıca, sülforafanın gastrik CSC'lerde proliferasyonu baskılayarak ve apoptozu indükleyerek önleyici etkiler de gösterdiği saptanmıştır. Nitrik oksit (NO) metabolitleri H.pylori enfeksiyonunu tetikleyerek, gastrit ve gastrik kanser gelişiminde risk faktörü olarak değerlendirilmektedir. Standart tedaviye ek olarak sadece brokoli filizi tozu (6 g/gün) alan bireylerin 28. günün sonunda serum NO seviyelerinin azaldığı tespit edilmiştir (Mirmiran ve ark., 2017).

1.2.2. Diyabet Üzerine Etkileri

Antikanser özelliğine ek olarak sülforafanın diyabet üzerine etkileri insan ve hayvan çalışmalarıyla ortaya konmuştur. Diyabetlilerde sülforafan içeriği zengin brokoli filizi tozu tüketiminin lipid peroksidasyon ve oksidatif stres üzerine olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir (Bahadoran ve ark., 2011). Başka bir çalışmada, serum insülin seviyelerini azaltarak insülin direnci testinde iyileşme sağladığı ortaya konmuştur (Bahadoran ve ark., 2012). Diyabetik hayvan modellerinde ve hücre kültürlerinde diyabete bağlı gelişen vasküler hasarda olumlu sonuçlar verdiği, ileri glikasyon ürünlerini (AGE) inhibe ederek, AGE reseptörlerinde ve serum AGE seviyelerinde azalma sağladığı tespit edilmiştir (Kajikawa ve ark., 2015). Sağlıklı bireylerin 2 ay süre ile sülforafan içeriği yüksek brokoli (25 g/gün) tükettiklerinde, vücut ağırlığı, beden kütle indeksi, bel çevresi, glikozillenmiş hemoglobin ve total kolesterol seviyeleri ile diyastolik kan basıncında azalma olduğu görülmüştür (Yamagishi ve ark., 2015). Hayvan modellerinde sülforafanın diyabete bağlı gelişen nöropati, böbrek yetmezliği ve damar sertliğine karşı koruyucu görev üstlendiği de saptanmıştır (Miao ve ark., 2012). Mirmiran ve arkadaşlarının (2017) yaptığı araştırmada sülforafanın diyabetli bireylerde inflamatuvar belirteçlere etkisi incelenmiştir. 4 hafta süren çalışmada brokoli filizi tozu verilen gruplarda (5 g/gün ve 10 g/gün) serum C reaktif protein (CRP), interlökin-6 ve tümor nekrozis faktör alfa (TNF-α) seviyelerinin azaldığı tespit edilmiştir. Streptozotosin kullanılarak tip 1 diyabetik hale getirilen FVB fareleri üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada, farelere 3 ay boyunca haftanın 5 günü 0.5 mg kg^{-1} dozunda sülforafan deri altına enjekte edilmiştir. Çalışmanın sonunda sülforafanın aorttaki oksidatif stres ve inflamasyon belirteçlerini baskılayarak diyabetin neden olduğu aort hasarına karşı koruma sağladığı tespit edilmiştir (Miao ve ark., 2012). Wang ve arkadaşları da (2014), son derece benzer bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yüksek yağ içerikli bir diyet ve beraberinde streptozotosin kullanılarak tip 2 diyabetik hale getirilen C57BL/6 J farelerine 3 ay boyunca haftanın 5 günü 0.5 mg kg^{-1} dozunda sülforafanı deri altına enjekte etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda sülforafanın duvar kalınlığını ve yapısal bozukluğu azaltarak, fibroz belirteçlerini (bağ dokusu büyüme faktörü ve dönüştürücü büyüme faktörü), inflamasyonu ve oksidatif/ nitratifi azaltarak diyabetin neden olduğu aort hasarına karşı koruma sağladığını ortaya koymuşlardır.

1.2.3. Kalp Damar Sağlığı Üzerine Etkileri

Glukorafanin, antioksidan ve antiinflamatuvar özelliği ile kardiyovasküler hastalıklara karşı koruma sağlayarak oksidatif stres ve kan basıncını azaltmakta, lipid profilini iyileştirmektedir. İn vitro ve in vivo çalışmalarda sülforafanın süperoksit dismutaz ve heme oksijenaz 1 seviyelerini arttırarak (%66), reaktif oksijen türlerinde anlamlı azalma (%7) sağladığı, antitrombotik özellik gösterdiği saptanmıştır (Bonetto ve ark., 2016). Ratların aort hücrelerine farklı konsantrasyonlarda sülforafan uygulanmasının konsantrasyon dozuna bağlı olarak antioksidanların ve faz II enzimlerinin aktivitesini arttırdığı, hücre ölümlerini engellediği görülmüştür (Zhu ve ark., 2008). Çin'de 134796 bireyle yürütülen bir çalışmada özellikle turpgiller grubu sebze tüketiminin kardiyak sağlık ve yaşam süresindeki artışla anlamlı ilişki gösterdiği belirlenmiştir (Zhang ve ark., 2011). Sigara kullanan bireylerle yürütülen bir çalışmada bireyler 10 gün süre ile günlük beslenmelerine ek olarak 250 g/gün brokoli tükettiklerinde DNA oksidasyonunun azaldığı, peroksit radikallerine direncin arttığı gözlenmiştir (Riso ve ark., 2010). Noyan-Ashraf ve arkadaşları (2006), sülforafan içeriği yüksek brokoli filizleri içeren bir diyetin, spontan hipertansif felce eğilimli erkek sıçanlarda oksidatif stresi ve buna bağlı sorunları azalttığını, kan basıncını da iyileştirdiğini göstermişlerdir. Ayrıca, aynı diyeti uyguladıkları hamile sıçanların yavrularında da yetişkinlikte daha düşük kan basıncı ve daha az doku iltihabı görüldüğünü belirtmişlerdir. Kivela ve arkadaşları (2010), sülforafanın yüksek yoğunluklu lipoprotein (HDL) kolestrol düzeylerini düşürerek ateroskleroz (damar sertliği) riskini azalttığını saptamışlardır. Huang ve arkadaşları da (2013), sülforafanın oksitlenmiş düşük yoğunluklu lipoprotein kaynaklı reaktif oksijen türlerinin üretimini tersine çevirdiğini bildirmişlerdir. Mukherjee ve arkadaşları (2008), bir grup fareyi 30 gün boyunca oral sonda aracılığıyla brokoli ile beslemişlerdir. Ardından sıçanları öldürüp kalplerini 30 dakika süreyle iskemik hale getirmiş, sonrasında da 2 saat süreyle reperfüzyon uygulamışlardır. Brokoli tedavisinin, iskemik sonrası ventriküler fonksiyonun iyileşmesinde, miyokard enfarktüsü boyutunun, kardiyomiyosit apoptozunun, sitokrom c salınımının ve prokaspaz 3 aktivitesinin azalmasında etkili olduğunu ve önemli ölçüde kardiyo koruma sağladığını ileri sürmüşlerdir.

1.2.4. Diğer Hastalıklar Üzerine Etkileri

Sülforafan, zengin glukorafanin içeriği ile Helicobacter pylori (H.pylori) gelişimini inhibe eden izotiyosiyanatlardan bir tanesidir. Farelerde H.pylori enfeksiyonuna karşı bakteriyostatik ajan gibi davranırken, insan epitel hücrelerinde bakteriyosidal etki göstermektedir. Sülforafan açısından zengin brokoli filizi uygulamasının 2 ayın sonunda farelerde H.pylori kolonileşmesini azalttığı, fare ve insanlarda enfeksiyona bağlı doku bozukluklarını iyileştirerek inflamasyonu azalttığı belirtilmiştir (Fahey ve ark., 2002).

Son yıllarda sülforafanın doğal yapısı sayesinde pleyiotropik özellik (tek bir genin birden fazla fenotipik özelliği etkilemesi durumu) gösterdiği, çeşitli yolakları modüle ederek nöronlara etki ettiği ortaya konmuştur. Yapılan çalışmalar sülforafanın Alzheimerin temelinde yer alan amiloid beta (Aβ) peptid birikimini, nöronları oksidatif stres ve inflamasyondan koruyarak ve proteazom (büyük protein yapılardan oluşan molekül) aktivitesini indükleyip sitotoksisiteyi önleyerek dolaylı yoldan azalttığını göstermiştir (Kim ve ark., 2013). Parkinson hastalığında da, NQO1 enzim aktivitesi ve mRNA seviyesini arttırarak dopaminerjik hücreleri nörotoksisiteden koruduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda dopaminin otofosforilasyonu sonucu oluşan ve nöron hasarına neden olan dopamin kinon seviyelerini azaltarak hücre koruyucu özellik gösterdiği de saptanmıştır (Tarozzi ve ark., 2009).

Hayvan çalışmalarında, sülforafan uygulamasının retinal fotoreseptörleri koruduğu ve bu reseptörlerin morfolojik fonksiyonlarını iyileştirdiği bulunmuştur. Fare lenslerine uygulanan (5 μM) sülforafanın TrxR aktivitesini 18 kat arttırdığı, dokuları oksidatif strese karşı koruyarak katarakt gelişiminin önüne geçebileceği ileri sürülmektedir (Varma ve ark., 2013). Bunun yanında retina pigment epitel hücrelerinde gelişen foto-oksidatif hasarlara karşı koruyucu etkinlik göstererek yaşa bağlı gelişen görme merkezindeki dejenerasyonu önleyebileceği belirtilmektedir (Tanito ve ark., 2005).

Sülforafanın davranış, iletişim ve sosyal etkileşimde iyileşmeleri artırdığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Singh ve ark., 2014; Bent ve ark., 2018). Çin'de 108 otizmli çocuk üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada da, 12 haftalık sülforafan tedavisinin çocuklarda zeka seviyelerinde iyileşmeye neden olduğu saptanmıştır (Qu ve ark., 2024).

Sülforafanın kreatinin klirensini (böbreklerin kreatini kan dolaşımından ne kadar iyi filtrelediğini gösteren bir ölçü) arttırdığı, kreatinin ve üre seviyelerini azalttığı, böbrek lezyonlarını iyileştirdiği ve böbrek hasarı belirteçlerini azalttığı tespit edilmiştir (Monteiro ve ark., 2023).

1.2.5. Sülforafanın Klinik Açıdan Önemi

Sülforafanın klinik açıdan önemi aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- ✓ Kimyasal kanserojenleri aktive eden bazı Faz 1 detoksifikasyon enzimlerini inhibe eder. Bu, kanserojen potansiyele sahip toksik ara maddelerin seviyesini azaltır.
- ✓ Faz 2 detoksifikasyon enzimlerinin aktivitesini arttırır. Sülforafan, Faz 2'yi tetikleyen maddeler arasında en güçlü olarak kabul edilir.
- ✓ Büyük ölçüde glutatyon sentezini indükleme yeteneğinden dolayı önemli antioksidan aktivite sağlar. Glutatyon, organizmaları toksisiteye ve hastalığa karşı korumada kritik bir faktördür.
- ✓ Histon deasetilaz inhibitörü olarak görev yaparak DNA koruması sağlar.
- ✓ Apoptozu indükler, MMP-2'yi (metastaz) inhibe eder ve anjiyogenezi ve hücre döngüsü durmasını inhibe eder.
- ✓ ARE'nin bir parçası olarak tioredoksini (Trx) indükler.
- ✓ Helicobacter pylori'ye karşı bakteri öldürü rol oynar ve ayrıca hayvanlarda mide tümörü oluşumunu engeller.
- ✓ Dopaminerjik hücreleri sitotoksisiteden ve ardından gelen nöron ölümünden korur. Dopaminerjik nöronlar Parkinson hastalığıyla ilişkilidir.
- ✓ p-53'ü (tümör baskılanmasıyla ilişkili) ve bax protein ekspresyonunu artırır, böylece kansere karşı hücresel korumayı artırır. Sülforafan, p-53 mutasyonlu tümörler için önemli bir kemoterapötik ajandır.
- ✓ Aflatoksinin karaciğer hücresi üzerindeki etkisini sınırlar.
- ✓ Doğal öldürücü hücre aktivitesini ve gelişmiş bağışıklık fonksiyonunun diğer belirteçlerini geliştirir.
- ✓ Enflamasyonun önemli bir düzenleyicisi olan NF-κB'yi baskılar. NF-κB ekspresyonu sülforafan tarafından düzenlenir ve bu nedenle siklooksijenaz

(COX-2) ve NO sentaz (iNOS) gibi indüklenebilir proinflamatuar enzimleri düzenler.

- ✓ HO-1'in (hem oksijenaz-1) güçlü indükleyicisidir. Hem oksijenaz-1, akciğerlerdeki oksidanların etkilerini modüle etmede önemli bir rol oynar.

1.3. Sülforafanın Günlük Alımı ve Toksititesi

Sülforafanın günlük alımı ile ilgili öneriler bulunmamaktadır. Takviye markalarının almayı önerdikleri miktarlar arasında da büyük farklılıklar görülmektedir. Sülforafan kan şekeri düzeylerini düşürebilmekte, dolayısıyla diyabet tedavisinde kullanılan insülin ve oral hipoglisemik ajanlar gibi ilaçların etkilerini arttırabilmektedir. Hayvanlarda sülforafanın LD50 değeri üzerine gerçekleştirilmiş sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bir çalışmada, farelerde sülforafanın akut oral LD50 değerinin 1000 mg/kg vücut ağırlığından daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Sülforafan takviyeleri için önerilen dozaj tipik olarak günlük 10 ile 100 mg arasında değişmektedir (Egner ve ark., 2011; Ogawa ve ark., 2019).

Toksitite çalışmaları, yüksek dozda sülforafanın farelerde sedasyona (150-300 mg kg^{-1}), hipotermiye (150-300 mg kg^{-1}), motor koordinasyonda bozulmaya (200-300 mg kg^{-1}), kas gücünde azalmaya (250–300 mg kg^{-1}) ve ölümlere (200–300 mg kg^{-1}) neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca 200 mg kg^{-1} sülforafan enjekte edilen farelerde lökopeni (beyaz kan hücrelerinin eksikliği) görülmüştür (Socala ve ark., 2017). İnsanlar üzerinde yapılan çalışmalarda herhangi bir zararlı etkiye rastlanmamıştır. Bununla birlikte, insanlara uygulanan en yüksek doz 200 μmol/gün sülforafan olarak sınırlandırılmıştır (Alumkal ve ark., 2015). En etkili dozun belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, oral yol ile alınan en uygun sülforafan dozunun 175 μmol/kg vücut ağırlığı, karın içine (intraperitoneal) uygulandığında da 113 μmol/kg vücut ağırlığı olduğu bulunmuştur (Mangla ve ark., 2021).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Matusheski ve arkadaşları (2004), brokolileri pişirmenin epitiyobelirleyici protein aktivitesi ve sülforafan oluşumu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Brokoli çiçeklerinin ve filizlerinin 60 ℃'ye kadar ısıtılmasının sülforafan oluşumunu arttırdığını, sülforafan nitril oluşumunu ve epitiyobelirleyici protein aktivitesini azalttığını belirlemişlerdir. 70 ℃ ve üzerindeki sıcaklıklarda ise sülforafan oluşumununda da azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Liang ve arkadaşları (2006), brokoli ve lahanada bulunan sülforafan miktarlarını araştırmışlardır. Sebzelerdeki sülforafan içeriğini metilen klorür ekstraksiyonu ve ardından HPLC kullanarak belirlemişlerdir. İncelemiş oldukları 18 adet brokoli örneğinin yenilebilir kısımlarında 1.4 ± 0.1 ile 32.9 ± 1.5 μg g^{-1} arasında, 18 adet lahana örneğinin yenilebilir kısımlarında ise 0.7 ± 0.1 ile 5.3 ± 1.8 μg g^{-1} arasında sülforafan tespit etmişlerdir. Brokolideki sülforafan içeriğinin yaklaşık olarak lahanadakinden beş kat daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca brokoli örneklerinin sap, çiçek ve yapraklarının sülforafan içeriklerini de incelemişler ve en yüksek sülforafan içeriğinin çiçeklerde (ortalama 12.9 μg g^{-1}), en düşük içeriğin ise yapraklarda (ortalama 1.5 μg g^{-1}) bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Brokoli saplarında da ortalama olarak 5.1 μg g^{-1} sülforafan saptamışlardır.

Cesare ve arkadaşları (2009), İtalya'da yetişen brokoli, karnabahar ve beyaz lahana örneklerinin sülforafan içeriklerinin sıcaklıkla değişimini incelemişlerdir. Bu amaçla sebzelere farklı pişirme teknikleri (kaynar suda haşlama, buharda pişirme, mikrodalgada pişirme, tavada pişirme) uygulamışlardır. Mikrodalgada pişirme yönteminde, kaba 300 g sebze, 800 ml su, %0.3 NaCl koymuşlar ve 5-6 dakika boyunca 900-1000 W'da tutmuşlardır. Kaynar suda haşlama yönteminde, tencereye 300 g sebze, 1300 ml su ve %0.3 NaCl koyarak 6-8 dakika boyunca haşlamışlardır. Buharda pişirme yönteminde, buharlı pişiriciye 300 g sebze, 1500 ml su koyarak 20-25 dakika süreyle pişirmişlerdir. Tavada pişirme işleminde de, tavaya 300 g sebze, 15-20 g zeytinyağı, 3 g NaCl koyup 18-22 dakika boyunca pişirmişlerdir. Çiğ, mikrodalgada pişirilen, kaynar suda haşlanan, buharda pişirilen ve tavada pişirilen brokolilerin sülforafan içeriklerini sırasıyla 24.62, 17.98, 12.26, 9.87 ve 5.93 μmol g^{-1} olarak bulmuşlardır. Karnabaharın 5 farklı cinsi ile çalışmışlardır. Çiğ karnabaharların sülforafan içeriğini 0.25 – 14.76 μmol g^{-1} arasında, mikrodalgada pişirilenlerinkini 0.17 - 10.13 μmol g^{-1} arasında, kaynar suda

haşlananlarınkini 0.09 – 5.77 μmol g^{-1} arasında, buharda pişirilenlerinkini 0.05 – 6.42 μmol g^{-1} arasında ve tavada pişirilenlerinkini 0.12 - 5.17 μmol g^{-1} arasında saptamışlardır. Çiğ, mikrodalgada pişirilen, kaynar suda haşlanan, buharda pişirilen ve tavada pişirilen beyaz lahanaların sülforafan içeriklerini de sırasıyla 0.89, 0.67, 0.41, 0.41 ve 0.23 μmol g^{-1} olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak, sülforafan içeriğinin en az etkilendiği tekniğin buharda pişirme olduğunu belirtmişlerdir.

Farag ve Motaal (2010), turpgil sebzelerinin sülforafan içeriklerini incelemişlerdir. En yüksek sülforafan içeriğini beyaz lahanada 540 μg g^{-1} olarak belirlemişlerdir. İnceledikleri diğer sebzelerdeki sülforafan miktarlarını da, brokolide 220 μg g^{-1}, Brüksel lahanasında 120 μg g^{-1}, turpta 60 μg g^{-1}, kırmızı lahanada 48 μg g^{-1} olarak saptamışlardır.

Okçu (2010), turpgil sebzelerinin sülforafan içeriği üzerine teknolojik işlemlerin etkisini incelemiştir. Bu amaçla, önce brokoli, karnabahar, lahana, kırmızı lahana, turp ve şalgamın taze haldeki sülforafan içeriklerini, ardından da doğrama, rendeleme, buharda ve suda haşlama işlemleri uygulandıktan sonraki sülforafan içeriklerini belirlemiştir. En yüksek sülforafan miktarını brokolide 5180 μg/100 g olarak tespit etmiştir. Bunu sırasıyla lahana 2509.8 μg/100 g, kırmızı lahana 2136.1 μg/100 g, turp 1270.3 μg/100 g ve karnabahar 546 μg/100 g olarak izlemiştir. Şalgamda sülforafan hiç bulamamıştır. Brokoli ve karnabaharda rendelemenin, kırmızı lahana ve turpta ise doğramanın sülforafan artışına yol açtığını, lahanada uygulanan işlemlerin böyle bir etkisinin olmadığını belirtmiştir. Suda haşlanan ve pişirilen sebzelerde ise sülforafan kalmamıştır.

Koo ve arkadaşları (2011), kırmızı lahananın sülforafan içeriğinin basınç ve sıcaklığa bağlı olarak değişimini incelemişlerdir. Bu amaçla, Koredeki yerel marketlerden aldıkları kırmızı lahanalardan 50'şer gram tartarak vakum torbalarına koyup yüksek basınçlı kaplara yerleştirmişlerdir. 10 dakika süreyle 4 farklı yüksek hidrostatik basınç (100, 200, 300, 400 MPa) uygulamışlardır. Kapların 25 °C'de kalmasını sağlamışlardır. Ardından vakumlu örnek torbalarını 1 saat boyunca 4 farklı sıcaklıkta (20, 40, 60, 80 °C) inkübe etmişlerdir. Sonrasında da 3 dakika süreyle 100 °C'de haşlamışlardır. Soğuttuktan sonra örnekleri ev tipi öğütücü aracılığıyla öğütmüşlerdir. Sülforafan içeriklerini LC/MS aracılığıyla belirlemişlerdir. En yüksek sülforafan içeriğini 99.7 μmol kg^{-1} olarak 400 MPa hidrostatik basınç uygulamasının

ardından 60 ℃'de inkübe edilen örnekte elde etmişlerdir. Hidrostatik basınç uygulamasının turpgil sebzelerinin sülforafan içeriğinde artışa neden olduğunu ifade etmişlerdir.

Totušek ve arkadaşları (2011), turpgil sebzelerinden (beyaz lahana, kırmızı lahana, Brüksel lahanası, brokoli, karnabahar) elde edilen suların sülforafan içeriklerini incelemişlerdir. Bu amaçla, önce sebzelerin sularını çıkartıp pH'larını sitrik asit ilavesiyle 4'e ayarlamışlardır. Ardından 20 ℃'de 60 dakika bekletip, süzmüşlerdir. Brokoli suyunu farklı sürelerde bekleterek sülforafan içeriklerini HPLC aracılığıyla tespit etmişlerdir. Hiç bekletilmeyen brokoli suyunun sülforafan içeriğini 35.75 μg ml^{-1}, 30, 60 ve 90 dakika bekletilenlerinkini de sırasıyla 40.51, 45.81 ve 34.07 μg ml^{-1} olarak belirlemişlerdir. Sebze sularının bir bölümüne yüksek basınç (10 dakika süreyle 500 MPa), bir bölümüne sıcaklık (20 dakika süreyle 80°C) uygulamışlar, bir bölümünü de dondurmuşlardır. Dondurulan, basınç uygulanan ve sıcaklık uygulanan beyaz lahanaların sülforafan içeriklerini sırasıyla 2.77, 2.54, 2.70 μg ml^{-1} olarak, aynı sıra ile kırmızı lahanaların sülforafan içeriklerini 8.94, 7.99, 10.47 μg ml^{-1} olarak, Brüksel lahanalarınınkileri 4.74, 4.38, 4.90 μg ml^{-1} olarak, brokolilerinkileri 7.77, 8.87, 8.24 μg ml^{-1} olarak ve karnabaharlarınkileri 0.66, 0.69, 0.64 μg ml^{-1} olarak belirlemişlerdir. Uygulanan işlemlerin sebzelerin sülforafan içerikleri üzerinde önemli farklılıklar oluşturmadığını ifade etmişlerdir.

Dosz ve Jeffery (2013), ticari olarak dondurulmuş brokolilerin sülforafan oluşturma potansiyellerini incelemişlerdir. Öncelikle dondurularak kurutulmuş brokolilerden 0.1'er gram alarak pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 aralığında değişen 1.5 ml Mcllvaine tamponunda (sitrat-fosfat tamponu olarak da bilinen sitrik asit ve disodyum hidrojen fosfattan oluşan bir tampon çözelti) 20 dakika boyunca hidrolize etmişlerdir. Maksimum sülforafan oluşumunun meydana geldiği pH değerini 5-6 olarak belirledikten sonra, farklı sıcaklıklarda (4, 14, 25, 34, 44, 54 ve 64 ℃) bir dizi hidroliz denemesinde kullanmışlardır. Maksimum sülforafan oluşumunun meydana geldiği sıcaklık aralığını da 14 – 25 ℃ olarak belirlemişlerdir. Ardından sülforafan oluşumunu ticari olarak dondurulmuş üç brokoli örneğinde pişirme öncesinde ve sonrasında incelemişlerdir. Pişirmeden önce 20 dakika süreyle hidroliz ettiklerinde sülforafan miktarlarını iki dondurulmuş brokoli örneğinde < 0.42 μmol g^{-1}, bir örnekte de 0.68 μmol g^{-1} olarak tespit etmişlerdir. Sonra hidroliz süresini 24 saate çıkarmışlar ve < 0.42

μmol g^{-1} olarak belirledikleri sülforafan miktarının 2.55 μmol g^{-1} değerine, 0.68 μmol g^{-1} olarak belirledikleri sülforafan miktarının da 1.94 μmol g^{-1} değerine yükseldiğini görmüşlerdir. Numuneleri daha sonra iki farklı mikrodalga ısıtma yöntemine tabi tutmuşlardır. Ya gevşek bir şekilde kapatılmış bir kapta ya da bir mikrodalga buharlı pişirme torbasında 20 dakika süreyle pişirmişler ve sonuçta her iki yöntemde de sülforafan oluşmadığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, bu ürünlerde pişirme öncesinde sülforafan oluşturma potansiyelinin çok az olduğunu ve pişirme yöntemi uygulandıktan sonra da sülforafanın oluşmadığını belirtmişlerdir.

Ghawi ve arkadaşları (2013), hardal tohumları kullanarak pişirilen brokolilerin sülforafan içeriklerini incelemişlerdir. Bu amaçla, 100'er gram brokoli tartarak düşük yoğunluklu polietilen torbalara koymuşlar ve 100 °C'deki su banyosuna daldırarak 3 farklı sürede (4, 8, 12 dakika) tutmuşlardır. Su banyosundan aldıkları örnekleri sıvı azot aracılığıyla dondurmuşlardır. Tüm numuneler liyofilize edilmiş, bir kahve değirmeni kullanılarak öğütülmüş ve 30 meshlik elekten geçirilmiştir. Sonra hardal tohumlarından 10'ar gram tartıp, aynı tür torbalara koyup, su banyosunda 5 ve 10 dakika boyunca bekletmişlerdir. Ardından örnekleri soğutmak için buzlu suya daldırmışlar ve sonrasında da 30 meshlik elekten geçirmişlerdir. Öğütülmüş hardal tohumlarını brokoli ile %1 ve %2 (a/ıslak ağırlık) oranında birleştirmek amacıyla, 150 mg öğütülmüş brokoli tozuna sırasıyla 13 ve 25 mg hardal tohumu ilave etmişlerdir. Farklı süreler göz önüne alındığında, suda kaynatma sonucunda brokolilerdeki sülforafan miktarlarının oldukça az olduğunu, ancak ısıl işlem görmüş brokoliye toz hardal tohumu eklenmesinin sülforafan oluşumunu önemli ölçüde arttırdığını belirtmişlerdir. 8 dakika kaynatılan brokoli örneklerine hardal tohumlarının eklenmesi sonucunda sülforafan içeriğinin üç kattan daha fazla, 12 dakika kaynatılan brokolilere hardal tohumlarının eklenmesi sonucunda da sülforafan içeriğinin 5 kattan daha fazla arttığını ifade etmişlerdir. Hardal tohumu seviyelerinin ise (%1 veya %2 a/a) önemli bir fark oluşturmadığını belirtmişlerdir.

Çelik ve arkadaşları (2014), brokoli ve kırmızı lahananın sülforafan içeriklerinin pişirme tekniklerine bağlı olarak değişimini araştırmışlardır. Bu amaçla farklı denemeler gerçekleştirmişlerdir. Birinci denemede, 400 g brokoliyi kaynar suda 6 dakika boyunca haşlamışlar, 30 dakika bekletmişler ve süzüp sulu kısmı alarak liyofilize etmişlerdir. İkinci denemede, birinci denemedeki brokolileri alıp küçük parçalara bölüp liyofilize

etmişlerdir. Üçüncü denemede, 400 g brokoliyi küçük parçalara bölüp 135 ℃'deki fırında 45 dakika pişirmişlerdir. Pişen brokolileri 35 ℃'de 600 ml diklorometan ile manyetik karıştırıcı kullanarak ekstrakte etmişlerdir. Ardından süzüp, süzüntüyü evaporatörde kuruluğa kadar buharlaştırmışlardır. Dördüncü denemede, üçüncü denemede ekstraksiyon sonrasında kalan brokolilere 500 ml su ile ekstraksiyon uygulamışlar ve süzüntüyü alarak liyofilize etmişlerdir. Beşinci denemede, 400 g brokoliyi küçük parçalara bölüp 200 ml su içinde 1 saat bekletmişler ve ardından mikrodalga fırında 45 dakika boyunca pişirmişlerdir. Soğuttuktan sonra brokolilere 3. denemedeki ekstraksiyon işlemini uygulamışlardır. Altıncı denemede mikrodalgada pişirme sonrasındaki sulu kısmı liyofilize etmişlerdir. Yedinci denemede 400 g brokoliyi blenderdan geçirip sulu kısmını liyofilize etmişlerdir. Sekizinci denemede, 7. denemede ezilen brokolilere 3. denemedeki ekstraksiyon işlemini uygulamışlardır. Dokuzuncu denemede 400 g brokoliyi 30 dakika süreyle buharda pişirmişlerdir. Soğuttuktan sonra brokolilere 3. denemedeki ekstraksiyon işlemini uygulamışlardır. Onuncu denemede buharda pişirme sonrasındaki sulu kısmı liyofilize etmişlerdir. Onbirinci denemede 400 g kırmızı lahanayı 800 ml diklorometan ile manyetik karıştırıcı kullanarak 35 ℃'de ekstrakte etmişlerdir. Onikinci denemede de ekstraksiyon sonrasındaki sulu kısmı liyofilize etmişlerdir. İlk iki deneme sonucunda sülforafan tespit edememişlerdir. Diğer denemelerin sonucunda sırasıyla 36.2, 80.1, 32.2, 73.5, 88.1, 55.7, 65.1, 25.2, 107.6 ve 125.8 ng ml^{-1} sülforafan saptamışlardır.

Lekcharoenkul ve arkadaşları (2014), hibrit kurutma tekniğini ve kurutma sıcaklığının kademeli olarak değiştirilmesi yöntemini kullanarak lahananın dış yapraklarındaki sülforafan içeriğini arttırmaya çalışmışlardır. Çiğ lahanaların sülforafan içeriklerini 40.99 ile 139.05 mg kg^{-1} arasında bulmuşlardır. 45 ℃'de 105 dakika sıcak havayla kurutma sonucunda sülforafan miktarında 24.1 mg kg^{-1}'lık bir artış, 60 ℃'de 15 dakika sıcak havayla kurutma sonucunda 27.98 mg kg^{-1}'lık bir artış, 60 °C'de 10 dakika ve ardından 45 °C'de 65 dakika sıcak havayla kurutma sonucunda 36.21 mg kg^{-1} lık bir artış, 60 °C'de 15 dakika vakumlu kurutma sonucunda 18.19 mg kg^{-1}'lık bir artış, 60 °C'de 10 dakika düşük basınçlı kızgın buharlı kurutma ve ardından 45 °C'de 20 dakika vakumla kurutma sonucunda 56.79 mg kg^{-1}'lık bir artış elde etmişlerdir.

Mahn ve arkadaşları (2016), sülforafan açısından zengin bir bitki olan brokolinin kurutulması sonucunda sülforafan içeriğinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir.

Kurutma deneylerini, 60, 70 ve 80 ℃ sıcaklıklarda, 2 m s^{-1} sabit hava akış hızında ve %40-60 aralığında bağıl hava nemi ile, numune sabit nem içeriğine ulaşana kadar gerçekleştirmişlerdir. Numunenin sıcaklığı, brokoli yatağına yerleştirilen K tipi bir termokupl kullanılarak ölçülmüştür. Sülforafan içerikleri diyot dizi dedektörlü (DAD) HPLC aracılığıyla tespit edilmiştir. En yüksek sülforafan içeriğini 70 ℃ kurutma havası sıcaklığında 67.6 mg / 100 g kuru ağırlık şeklinde elde etmişlerdir. Bu değerin taze brokolide bulunandan 4 kat daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Tabart ve arkadaşları (2018), farklı pişirme yöntemlerinin (kaynar suda haşlama, buharda pişirme, mikrodalgada pişirme) brokoli ve kırmızı lahananın sülforafan içeriği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kaynar suda haşlama işleminde, sebzelerden 200 g tartıp, ağzı kapalı kaynar su içeren tencerelerde 20 dakika boyunca haşlamışlardır. Buharda pişirme yönteminde, buharlı pişiriciye 200 g sebze koyarak 15 dakika süreyle pişirmişlerdir. Mikrodalgada pişirme yönteminde, 200 g sebze örneğini mikrodalga fırında 950 W güç uygulayarak 19 dakika boyunca pişirmişlerdir. Pişirme işlemlerinden sonra örnekleri sıvı azot aracılığıyla kurutup ardından toz haline getirmişlerdir. Sülforafan miktarlarını UPLC aracılığıyla belirlemişlerdir. Çiğ brokolide 16.64 μg g^{-1}, çiğ kırmızı lahanada 18.39 μg g^{-1} sülforafan saptamışlardır. Bununla birlikte pişirme işlemleri sonucunda sebze örneklerinde hiç sülforafan tespit edememişlerdir. Mikrodalgada pişirme sırasında ilk 1 dakika içinde brokolilerin sülforafan içeriğinin 4 katına, kırmızı lahanaların sülforafan içeriğinin de 6 katına çıktığını, ancak pişirmeye devam ettikçe giderek azaldığını, brokolilerde 3 dakikanın sonunda, kırmızı lahanalarda da 10 dakikanın sonunda tüm sülforafanın kaybolduğunu belirtmişlerdir.

Zhang ve arkadaşları (2020) ısıl işlemlerin, pH'ın ve yağ ilavesinin brokolilerin sülforafan içeriklerine etkisini araştırmışlardır. Isıl işlemlerin etkisiyle ilgili olarak 3 farklı deneme gerçekleştirmişlerdir. I. denemede, 1.24 kg suyu 65 °C'ye kadar ısıtıp 621 g brokoli çiçeklerini eklemişler ve 30 dakika süreyle 65 °C'de veya 5 dakika süreyle 70 °C'de tutmuşlardır. Ardından brokolileri düşük hızda bir el blenderi ve yüksek kesmeli bir karıştırıcı aracılığıyla püre haline getirmişlerdir. II. denemede, buharlı fırın önceden 70 °C'ye ısıtılmış ve brokoliler fırına yerleştirilmiştir. Brokoliler 68 - 75 °C, 69 - 79 °C ve 68 - 87 °C arasındaki sıcaklıklarda altışar dakika tutulmuşlardır. Numuneler fırından çıkarıldıktan sonra hızlıca soğumaları için buzlu suya daldırılmıştır. Ardından bir mutfak robotu aracılığıyla püre haline getirilmişlerdir. I. ve II. denemeler sonunda elde

edilen püreleri dondurarak kurutmuşlardır. Kurutulmuş tozları da bir kahve değirmeni kullanarak öğütüp elekten (300 µm elek boyutu) geçirmişler ve analize kadar 4 °C'de saklamışlardır. III. denemede, buharlı fırın önceden 90 °C'ye ısıtılmış ve brokoliler fırına yerleştirilmiştir. Brokoliler 85 °C'de 2 dakika tutulmuşlardır. Numuneler bir blender aracılığıyla püre haline getirilmişlerdir. 4 saat 25 °C'de tutulduktan sonra dondurularak kurutulmuşlardır. Kontrol için ham brokoli çiçeklerini ısıl işlem uygulamadan dondurarak kurutmuşlardır. Kontrol grubundaki brokolilerin sülforafan içeriğini 0.19 µmol g^{-1} olarak bulmuşlardır. I. deneme sonucunda 30 dakika süreyle 65 °C'de tutulan brokolilerin sülforafan içeriğini 0.96 µmol g^{-1}, 5 dakika süreyle 70 °C'de tutulanlarınkini de 1.10 µmol g^{-1} olarak tespit etmişlerdir. II. deneme sonucunda 68 - 75 °C arasında 6 dakika tutulan brokolilerin sülforafan içeriklerini 1.66 µmol g^{-1}, 69 - 79 °C arasında 6 dakika tutulanlarınkini 1.96 µmol g^{-1}, 68 - 87 °C arasında 6 dakika tutulanlarınkini 1.50 µmol g^{-1} olarak belirlemişlerdir. III. deneme sonunda 85 °C'de 2 dakika tutulan brokolilerin sülforafan içeriklerini de < 0.01 µmol g^{-1} olarak saptamışlardır. pH'ın ve yağ ilavesinin brokolilerin sülforafan içeriklerine etkisini belirlemek amacıyla, brokolileri 60 °C'de buharlı fırında 5 dakika süreyle tutmuşlardır. Numuneleri fırından çıkardıktan sonra hızlıca soğumaları için buzlu suya daldırmışlardır. Ardından üzerlerine farklı pH'larda (4, 5, 6) su ilave ederek 25 °C'de 4 saat boyunca bekletmişlerdir. Suyun pH'ını 4 ve 5 yapmak için asetik asit kullanmışlardır. Bekletme aşaması öncesinde, örnekleri ikiye ayırarak bir tanesine %5 (a/a) tuna yağı eklemişlerdir. pH 4'de yağ eklenen örnekte 3.62 µmol g^{-1}, sadece suda bekletilen brokolilerde 0.39 µmol g^{-1}; pH 5'de yağ eklenen örnekte 4.09 µmol g^{-1}, sadece suda bekletilenlerde 0.73 µmol g^{-1}; pH 6'da yağ eklenen örnekte 3.85 µmol g^{-1}, sadece suda bekletilenlerde 0.59 µmol g^{-1} sülforafan tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, en yüksek sülforafan içeriğinin pH 5'de elde edildiğini ve dondurarak kurutma öncesinde yağ eklemenin sülforafanın bozunma hızını geciktirdiğini ifade etmişlerdir.

Lu ve arkadaşları (2020), mikrodalgada ve düşük sıcaklıklarda pişirmenin brokolilerin sülforafan içeriğine etkilerini incelemişlerdir. Pişirme işlemlerinden önce 10'ar gram olarak tarttıkları brokolileri 500'er ml suda bekletmişlerdir. Sonra brokolileri kapalı tencerelerdeki suya ekleyerek 40, 50, 60, 70 °C'ye ısıtmışlardır. Ayrıca su içindeki brokolileri mikrodalga fırında yüksek (959 W) ve düşük güç (475 W) uygulayarak yine 40, 50, 60, 70 °C'ye ısıtmışlardır. Isıtma işlemlerinden sonra örnekleri

sıvı azot aracılığıyla kurutup ardından toz haline getirmişlerdir. Sülforafan miktarlarını UHPLC-ESI/ITMS aracılığıyla belirlemişlerdir. Düşük sıcaklıklarda pişirme işlemleri sonucunda tespit edilen sülforafan miktarlarının 40 °C'de oldukça düşük olduğunu, 40 °C'den 60 °C'ye kadar önemli ölçüde arttığını, ancak 70 °C'de hiç tespit edilemediğini belirtmişlerdir. Geleneksel ısıtmayla karşılaştırıldığında mikrodalgada ısıtma sonucunda, sülforafan veriminin 50 ve 60 °C'de yaklaşık %80 arttığını ifade etmişlerdir. Mikrodalga güç seviyesinin de aynı zamanda sülforafan içeriğini etkilediğini vurgulamışlardır. 50 ve 60 °C'de, yüksek güçlü mikrodalgada kısa sürede, düşük güçlü mikrodalga işleminden %40 daha fazla sülforafan saptadıklarını belirtmişlerdir.

Liu ve arkadaşları (2022), Çin'de yetişen 47 adet farklı gen profiline sahip brokolilerin yaprak, gövde ve çiçek kısımlarının sülforafan içeriklerini ayrı ayrı incelemişlerdir. Yapraklardaki sülforafan miktarlarını 0.02 – 249.95 μg g^{-1} arasında, gövde kısımlarındaki sülforafan miktarlarını 6.14 – 429.27 μg g^{-1} arasında, çiçek kısımlarındaki sülforafan miktarlarını da 6.19 – 478.08 μg g^{-1} arasında bulmuşlardır. Yaprak, gövde ve çiçek tomurcuklarındaki genel ortalama sülforafan içeriklerini de sırasıyla 56.17, 67.55 ve 136.06 μg g^{-1} olarak tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, çiçek kısımlarının gövde ve yapraklara kıyasla daha yüksek sülforafan içeriğine sahip olduğunu ve sülforafan içeriklerinin brokolilerin gen profillerine bağlı olarak oldukça değişkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir.

Mahn ve arkadaşları (2022), suda pişirme koşullarının, brokoli filizlerinin sülforafan içeriğine etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, brokoli filizlerini (20 g) farklı sıcaklıklarda (32, 40, 60, 80, 88 °C) ve farklı sürelerde (3.4, 5, 7.5, 10, 11 dak) termostatik su banyosunda tutmuşlardır. Sülforafan içeriklerini HPLC aracılığıyla 16.6 - 57.7 μmol g^{-1} arasında tespit etmişlerdir. En yüksek sülforafan içeriklerini (57.7, 55.6 ve 54.8 μmol g^{-1}) 60 °C'de 3.4 ve 7.5 dakika sürelerde tuttukları brokoli filizlerinde elde etmişlerdir. Sonuç olarak optimum suda pişirme koşullarının 60 °C'de 8 dakikanın altında olduğunu belirtmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan Kimyasallar

Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal maddeler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasal Maddeler

Kimyasal Madde Adı	Üretici Firma	Katalog No
Anhidrit sodyum sülfat	Merck	106639
Asetonitril	Merck	100003
Metilen klorür	Merck	106054
L-Sulforafan	Sigma	S6317

3.1.2. Kullanılan Cihazlar

Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar

Cihaz	Marka	Model
Saf su cihazı	New Human Power	New Human Power I
Hassas terazi	Radwag	AS 220/C/2
Rotary Evaporatör	Buchi	R serisi
Çalkalayıcı	Edmund Bühler	TYP KS-15 A
HPLC cihazı	Shimadzu	LC20A

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Çözeltiler

Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan çözeltiler aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır.

- **200 ppm'lik sülforafan çözeltisi :** 5 mg sülforafan referans standardı alınıp 25 ml asetonitrilde çözülerek hazırlanmıştır.

- **100 ppm'lik sülforafan çözeltisi :** 200 ppm'lik sülforafan çözeltisinden 12.5 ml alınıp 25 ml'ye asetonitril ile seyreltilerek hazırlanmıştır.
- **50 ppm'lik sülforafan çözeltisi :** 100 ppm'lik sülforafan çözeltisinden 12.5 ml alınıp 25 ml'ye asetonitril ile seyreltilerek hazırlanmıştır.
- **20 ppm'lik sülforafan çözeltisi :** 50 ppm'lik sülforafan çözeltisinden 10 ml alınıp 25 ml'ye asetonitril ile seyreltilerek hazırlanmıştır.
- **10 ppm'lik sülforafan çözeltisi :** 20 ppm'lik sülforafan çözeltisinden 12.5 ml alınıp 25 ml'ye asetonitril ile seyreltilerek hazırlanmıştır.

3.2.2. Örneklerin Temin Edilmesi

Sebze örnekleri (beyaz lahana, kırmızı lahana, Brüksel lahanası, karnabahar, brokoli, beyaz turp, kırmızı turp, küçük kırmızı turp, siyah turp) yerel pazarlardan temin edilmiştir.

3.2.3. Sebze Örneklerine Uygulanan Pişirme Yöntemleri

3.2.3.1. Sıcak Suda Haşlama

Sebze örnekleri bıçak aracılığıyla küçük parçalara bölünüp her birinden 100 g tartılmıştır. 500 ml kaynar su içeren tencereye konarak 20 dakika boyunca haşlanmışlardır. Soğutulduktan sonra hem sebze örneklerinin hem de haşlama sularının sülforafan içerikleri belirlenmiştir.

3.2.3.2. Buharda Pişirme

Bıçak aracılığıyla küçük parçalara bölünen sebze örneklerinden 100'er gram tartılarak buharda pişirme aparatına yerleştirilmiş ve 20 dakika boyunca pişirilmişlerdir. Soğutulan sebze örneklerinin sülforafan içerikleri tespit edilmiştir.

3.2.3.3. Kavurma

Bıçak yardımıyla küçük parçalara bölünen sebze örneklerinden 100'er gram alınarak 10 gram zeytinyağı eklenen tavada 20 dakika boyunca kavrulmuşlardır. Soğutulan sebze örneklerinin sülforafan içerikleri belirlenmiştir.

3.2.4. Sebze Örneklerinin Analize Hazırlanması

Soğutulan sebze örnekleri ezilerek püre haline getirildikten sonra 5'er gram alınarak üzerlerine 50 ml metilen klorür eklenmiştir. 10 dakika boyunca 200 rpm'de çalkalayarak ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır. Ekstraksiyon işlemi 3 kez tekrarlanmıştır. Sulu fazlar birleştirildikten sonra 5 g anhidrit sodyum sülfat eklenerek çözeltinin berraklaşması sağlanmıştır. Ardından süzme işlemi uygulanmıştır. Süzüntü 38 ℃'de rotary evaporatörde kuruluğa kadar buharlaştırılmıştır. Kalıntı alınarak 2 ml asetonitrilde çözülmüştür. 0.22 µm'lik membran filtreden geçirildikten sonra HPLC cihazına verilmiştir (Liu ve ark., 2022).

3.2.5. Kalibrasyon Grafiklerinin Oluşturulması

Sülforafan referans standardından 10 - 200 mg L^{-1} konsantrasyonları arasında standart çözeltiler hazırlanmıştır. Bu çözeltilerden yararlanılarak kalibrasyon grafikleri oluşturulmuştur.

3.2.6. HPLC Analizi

HPLC analizi Shimadzu LC20A cihazında gerçekleştirilmiştir. Tüm analizler üçer kez tekrarlanmıştır. HPLC çalışma koşulları şu şekildedir:

Kolon: C18 ters faz kolonu (5 um, 250 x 4.6 mm)
Kolon Sıcaklığı: 30 ℃
Enjeksiyon Hacmi: 10 µL
Hareketli Faz: %20 asetonitril + %80 ultra saf su
Akış Hızı: 1 ml dak^{-1}

Dedektör: UV dedektör

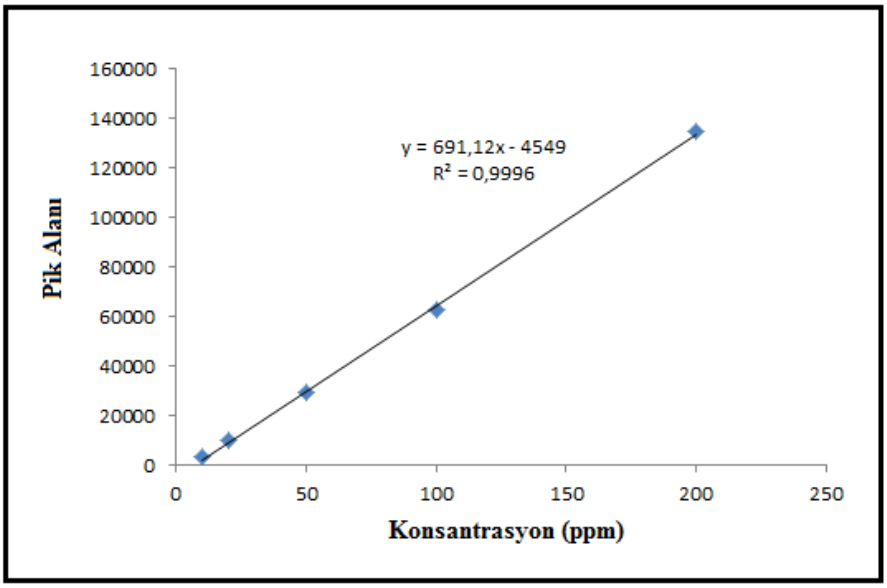
Dalga boyu: 202 nm

Analiz Süresi: 10 dakika

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Sülforafana Ait Kalibrasyon Grafiği

Sülforafana ait kalibrasyon grafiği Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



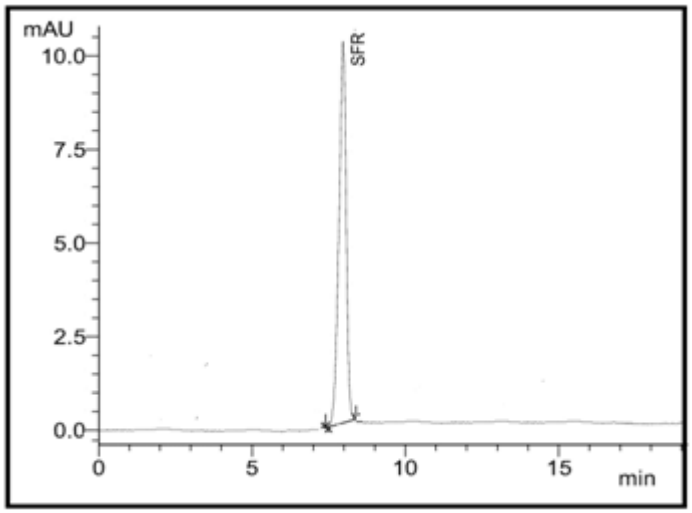
Şekil 4.1. Sülforafana ait kalibrasyon grafiği

4.2. Sülforafana Ait LOD, LOQ Değerleri ve Alıkonma Süresi

Sülforafana ait LOD, LOQ değerleri ve alıkonma süresi Çizelge 4.1'de verilmiştir. Materyal ve Yöntem Kısmında tanımlanan HPLC analiz koşullarında hazırlanan standart sülforafan çözeltileri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada sülforafanın 8.01 dakikada geldiği belirlenmiştir. Sülforafana ait pik Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Sülforafana ait LOD, LOQ değerleri ve alıkonma süresi

	Alıkonma Süresi (dak)	**LOD (mg L^{-1})**	**LOQ (mg L^{-1})**
Sülforafan	8.01	0.78	2.57



Şekil 4.2. Sülforafana ait pik

4.3. Sebze Örneklerinde Tespit Edilen Sülforafan Miktarları

Öncelikle yerel pazarlardan temin edilen beyaz lahana, kırmızı lahana, Brüksel lahanası, karnabahar, brokoli, beyaz turp, kırmızı turp, küçük kırmızı turp ve siyah turbun çiğ olarak sülforafan içerkleri belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 4.2'de verilmiştir. Sebzelerin sülforafan içerikleri arasındaki farkların daha net görülmesi amacıyla elde edilen değerler sütun grafik ile de gösterilmiştir (Şekil 4.3).

Çiğ sebzeler arasında en yüksek sülforafan içerikleri ortalama olarak Brüksel lahanası (429.79 mg kg^{-1}), kırmızı lahana (339.26 mg kg^{-1}), beyaz lahana (331.28 mg kg^{-1}) ve karnabaharda (154.59 mg kg^{-1}) elde edilmiştir. Turp çeşitlerinin ortalama sülforafan içerikleri 26.39 ile 93.23 mg kg^{-1} arasında bulunmuştur. Brokoli örneklerinin ortalama sülforafan içeriği de 78.39 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir.

Literatürde brokolilerin sülforafan içerikleri ile ilgili olarak yapılan çalışmalara bakıldığında, Çin'de yetişen brokolilerin 1.4 ile 32.9 µg g^{-1} arasında, yine Çin'de farklı genotipteki brokolilerin 6.19 ile 478.08 µg g^{-1} arasında, İtalya'da yetişenlerin 24.62 µmol g^{-1}, Belçika'da yetişenlerin 16.64 µg g^{-1}, Mısır'da yetişenlerin 220 µg g^{-1} ve Erzurum'da yetişenlerin 51.80 µg g^{-1} sülforafan içerdikleri görülmektedir. Bu çalışmada da Hatay'da yetişen brokolilerin 78.39 mg kg^{-1} sülforafan içerdiği belirlenmiş olup, literatürdeki değerlerle karşılaştırıldığında ortalama bir değerde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Turpgil sebzelerinin sülforafan içerikleri (N=3)

Turpgil Sebzeleri	**Sülforafan İçerikleri (mg kg^{-1})**
$Brokoli_1$	78.04 ± 0.2
$Brokoli_2$	80.05 ± 0.2
$Brokoli_3$	77.08 ± 0.2
$Karnabahar_1$	150.32 ± 0.3
$Karnabahar_2$	160.19 ± 0.3
$Karnabahar_3$	153.26 ± 0.3
Beyaz $lahana_1$	340.06 ± 0.5
Beyaz $lahana_2$	323.15 ± 0.5
Beyaz $lahana_3$	330.62 ± 0.5
Kırmızı $lahana_1$	342.18 ± 0.5
Kırmızı $lahana_2$	334.34 ± 0.5
Kırmızı $lahana_3$	341.26 ± 0.5
Brüksel $lahanası_1$	400.44 ± 0.6
Brüksel $lahanası_2$	452.47 ± 0.6
Brüksel $lahanası_3$	436.45 ± 0.6
Beyaz $turp_1$	44.03 ± 0.1
Beyaz $turp_2$	42.05 ± 0.1
Beyaz $turp_3$	46.08 ± 0.1
Kırmızı $turp_1$	92.24 ± 0.2
Kırmızı $turp_2$	94.42 ± 0.2
Kırmızı $turp_3$	93.04 ± 0.2
Küçük kırmızı $turp_1$	26.07 ± 0.1
Küçük kırmızı $turp_2$	28.02 ± 0.1
Küçük kırmızı $turp_3$	25.08 ± 0.1
Siyah $turp_1$	87.10 ± 0.2
Siyah $turp_2$	85.42 ± 0.2
Siyah $turp_3$	90.08 ± 0.2

Beyaz lahanaların sülforafan içerikleri ile ilgili olarak Çin'de yapılan bir çalışmada 0.7 ile 5.3 μg g^{-1} arasında, Tayland'da yapılan bir çalışmada 40.99 ile 139.05 mg kg^{-1} arasında, Mısır'da yapılan bir çalışmada 540 μg g^{-1}, İtalya'da yapılan bir

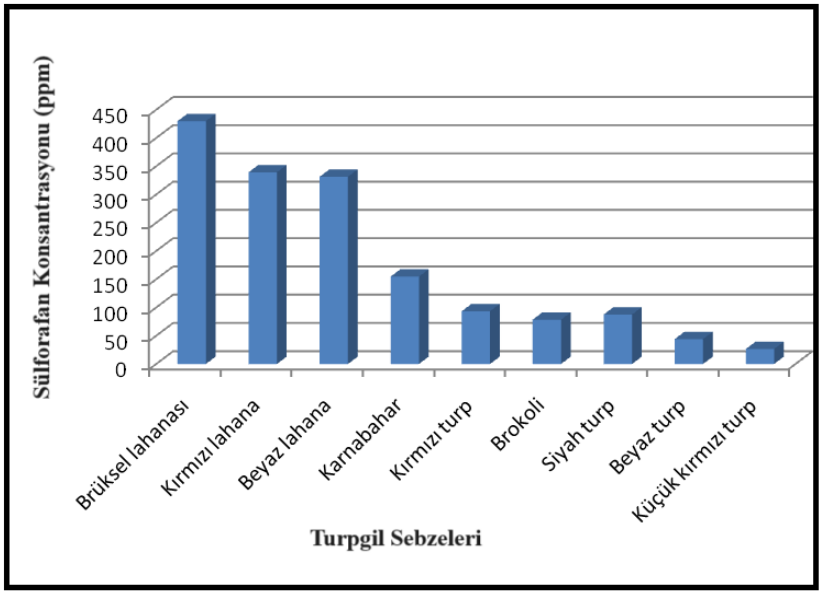
çalışmada 0.89 µmol g^{-1} ve Erzurum'da yapılan bir çalışmada 25.10 µg g^{-1} sülforafan tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise beyaz lahanada 331.28 mg kg^{-1} sülforafan belirlenmiş olup, elde edilen sonucun Mısır ve Tayland'da gerçekleştirilen çalışmalardakine daha benzer olduğu görülmektedir.

Kırmızı lahanaların sülforafan içeriklerinin araştırıldığı çalışmalardan elde edilen sonuçlara bakıldığında 18.39 µg g^{-1} (Belçika), 48 µg g^{-1} (Mısır) ve 21.36 µg g^{-1} (Erzurum) gibi değerlerin saptandığı görülmektedir. Bu çalışmada ise kırmızı lahananın sülforafan içeriği 339.26 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir. Bu değerin literatürdeki değerlerden çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

Karnabaharların sülforafan içerikleri ile ilgili olarak İtalya'da gerçekleştirilen bir çalışmada 0.25 ile 14.76 µg g^{-1} arasında, Erzurum'da yapılan bir çalışmada da 5.46 µg g^{-1} sülforafan bulunmuştur. Bu çalışmada bulunan 154.59 µg g^{-1} sülforafan içeriğinin literatürdeki değerlere kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir.

Literatürde Brüksel lahanası ve turpların sülforafan içerikleri ile ilgili çok daha az sayıda çalışma bulunmaktadır. Mısır'da yapılan bir çalışmada Brüksel lahanasında 120 µg g^{-1}, turpta 60 µg g^{-1} sülforafan tespit edilmiştir. Erzurum'da yapılan çalışmada ise turpta 12.70 µg g^{-1} sülforafan saptanmıştır. Bu çalışmada Brüksel lahanasında 429.79 µg g^{-1}, beyaz turpta 44.05 µg g^{-1}, kırmızı turpta 93.23 µg g^{-1}, küçük kırmızı turpta 26.39 µg g^{-1}, siyah turpta 87.53 µg g^{-1} sülforafan belirlenmiştir. Turplar açısından literatürdeki değerlere benzer olmakla birlikte, Brüksel lahanasının sülforafan içeriği çok daha yüksek bulunmuştur.

İncelenen turpgil sebzeerinin sülforafan içeriklerine bakıldığında kendi aralarında uyumlu oldukları ancak literatürdeki değerlerle farklılılar gösterdikleri görülmektedir. Turpgil sebzelerinin sülforafan içeriklerine etki eden çok sayıda faktör bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları, iklim, sıcaklık, ışık, toprak türü, uygulanan gübre çeşidi (azotlu, sülfatlı gibi) ve hasat zamanıdır (Fenwick ve ark., 1983). Bu bağlamda, literatürde yer alan çalışmalar farklı ülkelere ait oldukları için sonuçların farklılık göstermesi de doğaldır. Türkiye'de yapılan çalışma da Erzurum'da gerçekleştirildiği için iklim yapısı Hatay'dan büyük farklılıklar göstermektedir.



Şekil 4.3. Turpgil sebzelerinin sülforafan konsantrasyonları

4.4. Uygulanan Pişirme Yöntemlerinin ve Dondurma İşleminin Turpgil Sebzelerinin Sülforafan İçeriklerine Etkisi

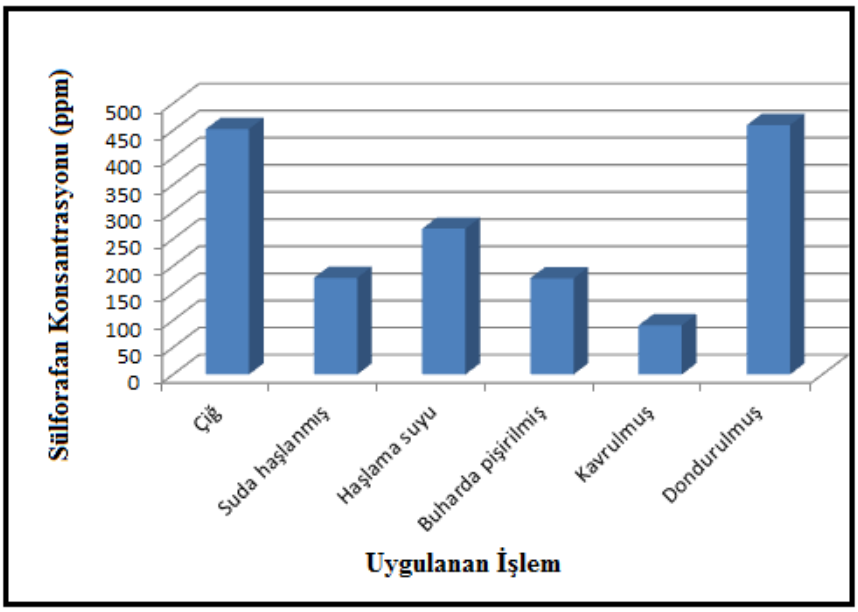
Uygulanan pişirme yöntemlerinin turpgil sebzelerinin sülforafan içeriklerine etkisini belirlemek amacıyla, incelenen 9 çeşit sebzeden sülforafan içerikleri en fazla olan 4 tanesi seçilerek çalışmaya devam edilmiştir. Seçilen Brüksel lahanası, kırmızı lahana, beyaz lahana ve karnabahar örneklerine farklı pişirme yöntemleri (sıcak suda haşlama, buharda pişirme, kavurma) uygulanmıştır. Sıcak suda haşlama işeminden sonra suların da sülforafan içerikleri tespit edilmiştir. Ayrıca, bu 4 sebze örneği -20 °C'de dondurulup 5 gün bekletilmiş ve ardından çözdürülüp sülforafan içerikleri belirlenmiştir.

Brüksel lahanasına uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan miktarları Çizelge 4.3'de gösterilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi, en fazla sülforafan kaybı (%80.02) ile kavurma sonucunda karşılaşılmıştır. Buharda pişirme işlemi sonucunda %60.84'lük sülforafan kaybı meydana gelmiştir. Sıcak suda haşlama sonucunda da sülforafan miktarında benzer bir azalma meydana gelmekle birlikte (%60.64), sülforafanın %59.35'inin haşlama suyuna geçtiği görülmüştür. Dondurma işleminden sonra ise az da olsa (yaklaşık %1.5) sülforafan miktarında bir artış tespit

edilmiştir. Elde edilen sonuçların daha rahat karşılaştırılabilmesi amacıyla sonuçlar sütun grafik ile de gösterilmiştir (Şekil 4.4).

Çizelge 4.3. Brüksel lahanasına uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan miktarları

İşlem	**Sülforafan Miktarı (mg kg^{-1})**
Çiğ	452.47 ± 0.6
Suda haşlanmış	178.09 ± 0.3
Haşlama suyu	268.55 ± 0.4
Buharda pişirilmiş	177.20 ± 0.3
Kavrulmuş	90.39 ± 0.2
Dondurulmuş	459.40 ± 0.6



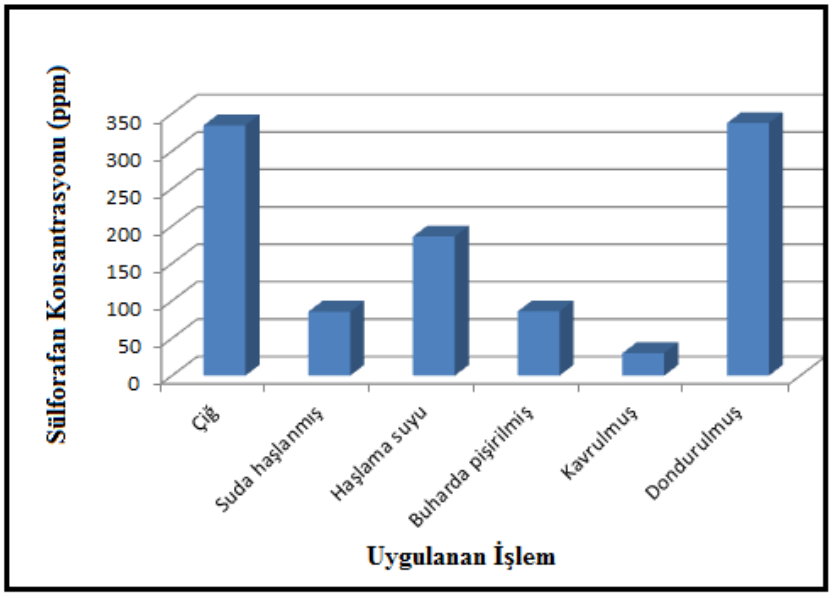
Şekil 4.4. Brüksel lahanasına uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan konsantrasyonları

Kırmızı lahanaya uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan miktarları Çizelge 4.4'de gösterilmiştir. Brüksel lahanasına benzer şekilde, kırmızı lahanada da en fazla sülforafan kaybı (%91.06) kavurma işlemi sonrasında oluşmuştur. Buharda pişirilmiş kırmızı lahanada %74.36 sülforafan kaybı tespit edilmiştir. Sıcak suda haşlama sonucunda oluşan sülforafan kaybı (%74.47) yine buharda pişirme sonucunda

belirlenen kayba benzer bulunmuştur. Sülforafanın %55.57'sinin haşlama suyuna geçtiği belirlenmiştir. Dondurma işlemi sonucunda ise sülforafan miktarında %0.9'luk bir artış tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar sütun grafik ile de gösterilmiştir (Şekil 4.5).

Çizelge 4.4. Kırmızı lahanaya uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan miktarları

İşlem	**Sülforafan Miktarı (mg kg^{-1})**
Çiğ	334.34 ± 0.5
Suda haşlanmış	85.36 ± 0.2
Haşlama suyu	185.78 ± 0.3
Buharda pişirilmiş	85.73 ± 0.2
Kavrulmuş	29.90 ± 0.1
Dondurulmuş	337.39 ± 0.5



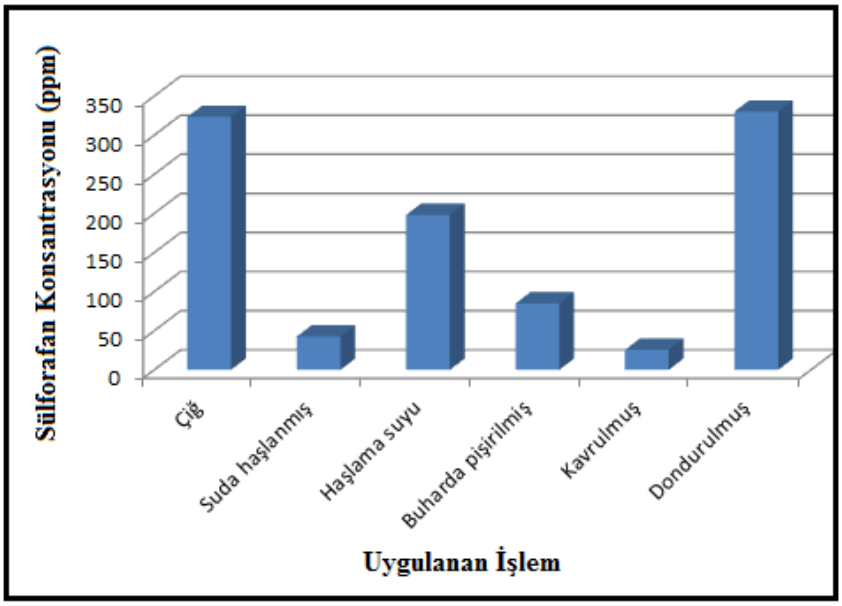
Şekil 4.5. Kırmızı lahanaya uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan konsantrasyonları

Beyaz lahanaya uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan miktarları Çizelge 4.5'de gösterilmiştir. Diğer elde edilen sonuçlara benzer şekilde, beyaz lahanada da en fazla sülforafan kaybı (%92.12) kavurma işlemi sonrasında oluşmuştur.

Buharda pişirme işlemi sonucunda beyaz lahanada %73.77 sülforafan kaybı tespit edilmiştir. Sıcak suda haşlama sonucunda oluşan sülforafan kaybı %86.86 olarak, haşlama suyuna geçen miktar ise %61.25 olarak belirlenmiştir. Dondurma işlemi sonucunda ise sülforafan miktarında %2.1'lik bir artış tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar sütun grafik ile de gösterilmiştir (Şekil 4.6).

Çizelge 4.5. Beyaz lahanaya uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan miktarları

İşlem	**Sülforafan Miktarı (mg kg^{-1})**
Çiğ	323.15 ± 0.5
Suda haşlanmış	42.45 ± 0.1
Haşlama suyu	197.94 ± 0.3
Buharda pişirilmiş	84.77 ± 0.2
Kavrulmuş	25.46 ± 0.1
Dondurulmuş	330.03 ± 0.5



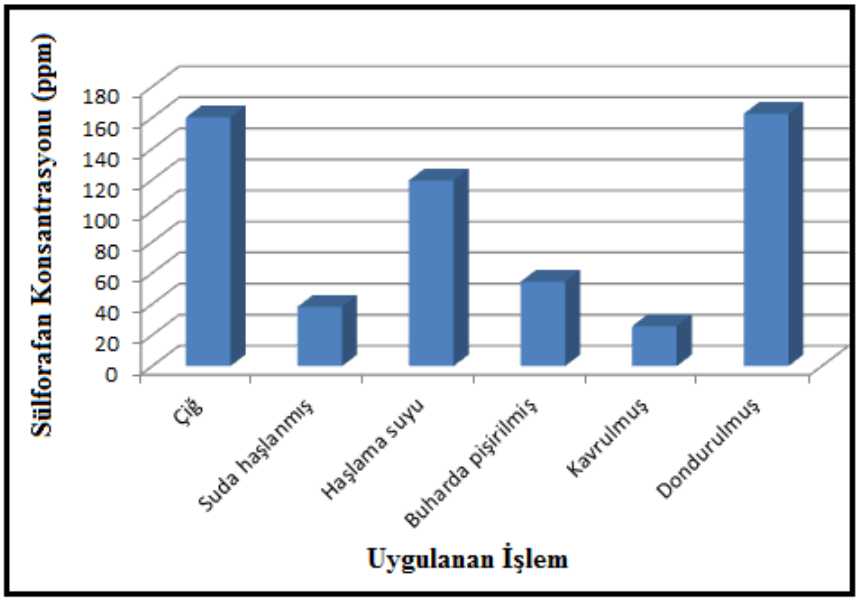
Şekil 4.6. Beyaz lahanaya uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan konsantrasyonları

Karnabahara uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan miktarları Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Diğer elde edilen sonuçlara benzer şekilde, karnabaharda

da en fazla sülforafan kaybı (%83.97) kavurma işlemi sonrasında oluşmuştur. Buharda pişirme işlemi sonucunda karnabaharda %66.06 sülforafan kaybı tespit edilmiştir. Sıcak suda haşlama sonucunda oluşan sülforafan kaybı %76.19 olarak, haşlama suyuna geçen miktar ise %74.64 olarak belirlenmiştir. Dondurma işlemi sonucunda ise sülforafan miktarında %1.4'lük bir artış tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar sütun grafik ile de gösterilmiştir (Şekil 4.7).

Çizelge 4.6. Karnabahara uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan miktarları

İşlem	**Sülforafan Miktarı (mg kg^{-1})**
Çiğ	160.19 ± 0.3
Suda haşlanmış	38.14 ± 0.1
Haşlama suyu	119.57 ± 0.3
Buharda pişirilmiş	54.37 ± 0.2
Kavrulmuş	25.67 ± 0.1
Dondurulmuş	162.48 ± 0.3



Şekil 4.7. Karnabahara uygulanan işlemler sonucunda elde edilen sülforafan konsantrasyonları

Sonuç olarak, turpgil sebzelerine ne tür pişirme işlemi uygulanırsa uygulansın, sebzelerin sülforafan içeriklerinde ciddi azalmaların meydana geldiği görülmüştür.

Sıcak suda haşlama işlemi sonucunda önemli miktarlarda sülforafanın haşlama sularına geçtiği saptanmıştır. Literatürde, glukozinolatların kaynatma sırasında önemli kayıplara uğradığı ve bu kayıpların büyük bir kısmının glukozinolatların pişirme suyuna geçmesinden kaynaklandığı belirtilmektedir (Song ve Thornalley, 2007). Glukozinolatlar suda çözünür bileşikler oldukları için kolayca pişirme suyuna geçebilmektedirler (Higdon ve ark., 2007). Dondurma işlemi sonucunda ise az miktarda da olsa tüm turpgil sebzelerinin sülforafan içeriklerinde artış gözlenmiştir. Literatürde, bitki dokusu bozulduğunda, örneğin sebzelerin dondurulması ve çözülmesi, pişirmeye hazırlanırken doğranması ve parçalanması gibi durumlarda mirosinaz enziminin aktivitesinde artışın meydana geldiği belirtilmektedir.

4.5. Uygulanan İşlemler Sonucunda Elde Edilen Sülforafan Miktarlarının Literatürdeki Verilerle Karşılaştırılması

Uygulanan işlemler sonucunda sülforafan miktarlarında meydana gelen değişimler Çizelge 4.7.'de özetlenmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi, sıcak suda haşlama, buharda pişirme ya da tavada kavurma gibi hangi ısıl işlem uygulanırsa uygulansın sülforafan miktarlarında azalma görülmüş, hatta birçok örnekte uygulanan işlem sonucunda hiç sülforafan tespit edilememiştir. Cesare ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada da, bu çalışmaya benzer olarak en fazla sülforafan kaybı tavada kavurma işlemi (brokolide %75.91, beyaz lahanada %74.16 ve karnabaharda %64.97) sonrasında görülmüştür. Sıcak suda haşlama sonucunda sülforafan kaybı brokolide %50.20, beyaz lahanada %53.93 ve karnabaharda %60.91 olarak belirlenmiştir. Buharda pişirme işlemi sonucunda da brokolide %59.91, beyaz lahanada %53.93 ve karnabaharda %56.50'lik sülforafan miktarında azalma saptanmıştır. Tabart ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, hem sıcak suda haşlama hem de buharda pişirme işlemleri sonucunda hiç sülforafan tespit edilememiştir. Okçu'nun yapmış olduğu çalışmada da, incelediği örneklerin hiçbirinde sıcak suda haşlama işleminden sonra sülforafan belirlenememiştir. Buharda pişirme işleminden sonra ise, sülforafan miktarlarında brokolide %91.16, kırmızı lahanada %77.52, beyaz lahanada %83.17'lik azalma tespit edilmiştir. Bu çalışmada, kavurma işleminden sonra kırmızı lahana, beyaz lahana ve karnabaharda tespit edilen sülforafan miktarlarındaki azalmalar sırasıyla %91.06, %92.12 ve %83.97'dir. Sıcak suda haşlama işleminden sonra kırmızı lahanada

%74.47, beyaz lahanada %86.86 ve karnabaharda %76.19'luk sülforafan kaybı görülmüştür. Buharda pişirme işleminden sonra da sülforafan miktarlarında kırmızı lahanada %74.36, beyaz lahanada %73.77 ve karnabaharda %66.06'lık azalma saptanmıştır. Tüm pişirme işlemleri sırasında uygulanan sıcaklık ve süreler sülforafan miktarları üzerinde önemli etkiye sahip oldukları için, gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen sülforafan kayıpları arasında farklılıklar bulunmaktadır.

Çizelge 4.7. Uygulanan işlemler sonucunda sülforafan miktarlarında meydana gelen değişimler

Sebze	Uygulanan İşlem	Sülforafan Miktarı	Kaynak
Brokoli	Çiğ	24.62 μmol g^{-1}	Cesare ve arkadaşları, 2009
	Sıcak suda haşlama	12.26 μmol g^{-1}	
	Buharda pişirme	9.87 μmol g^{-1}	
	Tavada kavurma	5.93 μmol g^{-1}	
Brokoli	Çiğ	16.64 μg g^{-1}	Tabart ve arkadaşları, 2018
	Sıcak suda haşlama	nd	
	Buharda pişirme	nd	
Brokoli	Çiğ	93.12 μg g^{-1}	Okçu, 2010
	Sıcak suda haşlama	nd	
	Buharda pişirme	8.23 μg g^{-1}	
Kırmızı lahana	Çiğ	18.39 μg g^{-1}	Tabart ve arkadaşları, 2018
	Sıcak suda haşlama	nd	
	Buharda pişirme	nd	
Kırmızı lahana	Çiğ	34.92 μg g^{-1}	Okçu, 2010
	Sıcak suda haşlama	nd	
	Buharda pişirme	7.85 μg g^{-1}	
Beyaz lahana	Çiğ	0.89 μmol g^{-1}	Cesare ve arkadaşları, 2009
	Sıcak suda haşlama	0.41 μmol g^{-1}	
	Buharda pişirme	0.41 μmol g^{-1}	
	Tavada kavurma	0.23 μmol g^{-1}	
Beyaz lahana	Çiğ	54.44 μg g^{-1}	Okçu, 2010
	Sıcak suda haşlama	nd	
	Buharda pişirme	9.16 μg g^{-1}	
Karnabahar	Çiğ	0.25 - 14.76 μmol g^{-1}	Cesare ve arkadaşları, 2009
	Sıcak suda haşlama	0.09 - 5.77 μmol g^{-1}	
	Buharda pişirme	0.05 - 6.42 μmol g^{-1}	
	Tavada kavurma	0.12 – 5.17 μmol g^{-1}	
Karnabahar	Çiğ	11.44 μg g^{-1}	Okçu, 2010
	Sıcak suda haşlama	nd	
	Buharda pişirme	nd	

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Son yıllarda, insanlar sağlıklı ve dengeli beslenmeye özen gösterdikleri için lif oranı yüksek, kalorisi düşük gıdaların tüketimi artmıştır. Bu nedenle, sebze ağırlıklı beslenme tüm dünyada önem kazanmıştır. Bilimsel araştırmalar, Brassicceae familyasında yer alan sebzelerin tip-2 diyabet, osteoporoz, obezite, kardiyovasküler hastalıklar ve kanser gibi birçok kronik hastalığın görülme sıklığının azaltılmasıyla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Vücudu destekleyen temel besin maddelerinin yanı sıra, turpgillerden oluşan sebzeler aynı zamanda karotenoidler, antosiyaninler, flavonoidler, antioksidan enzimler, kükürt içeren glukozinolatlar, kumarinler, tokoferoller ve terpenoidler gibi sağlık açısından son derece yararlı fitokimyasal bileşikleri de içermektedir. Bu bileşiklerin antiinflamatuar, antimikrobiyal, antioksidan, antiobezite, kardiyoprotektif ve mide koruyucu aktiviteleri olduğu bilinmektedir. Bu yüzden de, Brassicaceae familyasındaki bitkilerin popülaritesi her geçen gün artmaktadır.

Turpgil sebzelerine bu üstün özellikleri sağlayan sülforafanın emilimini ve biyoyararlılığını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Mirosinaz enzimi ısıya duyarlı bir enzim olduğundan pişirme yöntemleri enzim aktivitesini 3 kata kadar azaltabilmektedir. Bunun sonucu olarak glukozinolatlar izotiyosiyanatlara dönüşmeden sindirim sistemine geçtiğinde, sülforafanın biyoyararlılığı 6 kata kadar azalabilmektedir. Glukozinolatlar suda çözünen bileşikler olduğundan 9-15 dakikalık kaynatma sürecinde %18-59 oranında değişen kayıplar görülebilmektedir (Higdon ve ark., 2007). Ayrıca, turpgil sebzelerinin sülforafan içerikleri de iklim, sıcaklık, ışık, toprak türü, uygulanan gübre çeşidi (azotlu, sülfatlı gibi) ve hasat zamanı gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Fenwick ve ark., 1983). Bütün bu nedenlerden dolayı, sağlık açısından son derece faydalı olan sülforafandan daha fazla yararlanabilmek amacıyla tüm dünyada yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir bölümünde farklı ülkelerde yetişen turpgil sebzelerinin sülforafan içerikleri belirlenmiş, bir bölümünde de farklı pişirme metotlarının sebzelerin sülforafan içeriklerine etkisi araştırılmıştır. Ülkemizde bu konuda yapılmış sadece iki çalışma bulunmaktadır. Bir tanesinde Erzurumda yetişen turpgil sebzelerinin sülforafan içerikleri belirlenmiş ve ardından doğrama, rendeleme, buharda ve suda haşlama işlemlerinin sülforafan miktarına etkileri araştırılmıştır. Diğer

çalışmada ise, İstanbuldan alınan brokoli ve kırmızı lahananın sülforafan içeriklerinin pişirme tekniklerine bağlı olarak değişimi araştırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, öncelikle Hataydaki yerel pazarlardan temin edilen beyaz lahana, kırmızı lahana, Brüksel lahanası, karnabahar, brokoli, beyaz turp, kırmızı turp, küçük kırmızı turp ve siyah turbun çiğ olarak sülforafan içerikleri incelenmiştir. Turpgil sebzelerinin sülforafan içerikleri en yüksekten en düşüğe doğru ortalama olarak Brüksel lahanası (429.79 mg kg^{-1}), kırmızı lahana (339.26 mg kg^{-1}), beyaz lahana (331.28 mg kg^{-1}), karnabahar (154.59 mg kg^{-1}), kırmızı turp (93.23 mg kg^{-1}), siyah turp (87.53 mg kg^{-1}), brokoli (78.39 mg kg^{-1}), beyaz turp (44.05 mg kg^{-1}), küçük kırmızı turp (26.39 mg kg^{-1}) olarak belirlenmiştir.

Çalışmaya sülforafan içerikleri en yüksek bulunan Brüksel lahanası, kırmızı lahana, beyaz lahana ve karnabahar seçilerek devam edilmiştir. Seçilen turpgil sebzelerine farklı pişirme yöntemleri (sıcak suda haşlama, buharda pişirme, tavada kavurma) ve dondurma işlemi (-20°C'de 5 gün) uygulanmıştır.

Çiğ haldeyken 452.47 ± 0.6 mg kg^{-1} sülforafan içeriğine sahip olan Brüksel lahanasının 20 dakika süreyle kaynar suda haşlanması sonucunda sülforafan içeriğinin 178.09 ± 0.3 mg kg^{-1} değerine düştüğü, 268.55 ± 0.4 mg kg^{-1} ının ise kaynayan suya geçtiği görülmüştür. Bu işlem sonucunda sülforafan miktarında %60.64'lük bir azalma meydana gelmiş olup, sülforafanın %59.35'i suya geçmiştir. 20 dakikalık buharda pişirme işlemi sonucunda sülforafan içeriği 177.20 ± 0.3 mg kg^{-1} değerine, tavada kavurma işlemi sonucunda da 90.39 ± 0.2 mg kg^{-1} değerine kadar düşmüştür. Buharda pişirme sonucunda sülforafan miktarında %60.84'lük bir azalma gözlenirken, tavada kavurma sonucunda da %80.02'lik bir azalma saptanmıştır. -20°C'de 5 gün bekletilen Brüksel lahanasının sülforafan miktarının 459.40 ± 0.6 mg kg^{-1} değerine yükseldiği ve %1.5'luk bir artış meydana geldiği görülmüştür.

334.34 ± 0.5 mg kg^{-1} sülforafan içeren çiğ haldeki kırmızı lahananın 20 dakika kaynar suda haşlanması sonucunda %74.47'lik kayıpla sülforafan içeriğinin 85.36 ± 0.2 mg kg^{-1} seviyesine düştüğü ve 185.78 ± 0.3 mg kg^{-1} ının kaynama suyuna geçtiği tespit edilmiştir. 20 dakika süreyle buharda pişirilme sonucunda sülforafan miktarının 85.73 ± 0.2 mg kg^{-1} a düştüğü ve %74.36'lık bir azalmanın oluştuğu, tavada kavurma sonucunda da %91.06'lık bir azalma ile 29.90 ± 0.1 mg kg^{-1} değerine kadar düştüğü

görülmüştür. -20°C'de 5 gün bekletilen kırmızı lahananın sülforafan içeriğinde de %0.9'luk bir artış meydana gelmiş ve 337.39 ± 0.5 mg kg^{-1} değerine ulaşmıştır.

Çiğ haldeyken 323.15 ± 0.5 mg kg^{-1} sülforafan içeriğine sahip olan beyaz lahananın 20 dakika süreyle kaynar suda haşlanması sonucunda sülforafan içeriğinin 42.45 ± 0.1 mg kg^{-1} değerine düştüğü, 197.94 ± 0.3 mg kg^{-1} ının ise kaynayan suya geçtiği görülmüştür. Bu işlem sonucunda sülforafan miktarında %86.86'lık bir azalma meydana gelmiş olup, sülforafanın %61.25'i suya geçmiştir. 20 dakikalık buharda pişirme işlemi sonucunda sülforafan içeriği 84.77 ± 0.2 mg kg^{-1} değerine, tavada kavurma işlemi sonucunda da 25.46 ± 0.1 mg kg^{-1} değerine kadar düşmüştür. Buharda pişirme sonucunda sülforafan miktarında %73.77'lik bir azalma gözlenirken, tavada kavurma sonucunda da %92.12'lik bir azalma saptanmıştır. -20°C'de 5 gün bekletilen beyaz lahananın sülforafan miktarının 330.03 ± 0.5 mg kg^{-1} değerine yükseldiği ve %2.1'lik bir artış meydana geldiği görülmüştür.

160.19 ± 0.3 mg kg^{-1} sülforafan içeren çiğ haldeki karnabaharın 20 dakika kaynar suda haşlanması sonucunda %76.19'luk kayıpla sülforafan içeriğinin 38.14 ± 0.1 mg kg^{-1} seviyesine düştüğü ve 119.57 ± 0.3 mg kg^{-1} ının kaynama suyuna geçtiği tespit edilmiştir. 20 dakika süreyle buharda pişirilme sonucunda sülforafan miktarının 54.37 ± 0.2 mg kg^{-1} a düştüğü ve %66.06'lık bir azalmanın oluştuğu, tavada kavurma sonucunda da %83.97'lik bir azalma ile 25.67 ± 0.1 mg kg^{-1} değerine kadar düştüğü görülmüştür. -20°C'de 5 gün bekletilen karnabaharın sülforafan içeriğinde de %1.4'lük bir artış meydana gelmiş ve 162.48 ± 0.3 mg kg^{-1} değerine ulaşmıştır.

Uygulanan her üç pişirme yöntemi (sıcak suda haşlama, buharda pişirme, tavada kavurma) soucunda da turpgil sebzelerinin sülforafan içeriklerinde ciddi azalmalar meydana gelmiştir. En fazla azalma tavada kavurma işlemi sonucunda (%80.02 - %92.12) oluşmuştur. Sıcak suda haşlama ya da buharda pişirme sonucunda meydana gelen sülforafan kayıpları arasında önemli farklar bulunmamıştır. Sıcak suda haşlama işlemi sonucunda önemli miktarlarda sülforafanın haşlama suyuna geçtiği (%55.57 - %74.64) görülmüştür. Bu nedenle, haşlama sularının sos ya da çorba yapılarak değerlendirilmesi son derece önemlidir. Dondurma işlemi sonucunda ise sülforafan miktarlarında az da olsa bir artış (%0.9 - %2.1) elde edilmiştir.

Literatürde yer alan benzer çalışmalara da bakıldığında uygulanan pişirme işlemleri sonucunda sebzelerin sülforafan içeriklerinde önemli azalmaların meydana

geldiği, hatta birçok çalışmada hiç sülforafan tespit edilemediği görülmektedir. Pişirme sırasında uygulanan sıcaklık ve süre gibi faktörler sülforafan miktarları üzerinde etkili olduğu için, çalışmalarda elde edilen sonuçlar arasında farklılıklar bulunmaktadır.

Sonuç olarak, turpgil sebzelerinin sülforafan içerikleri iklim, sıcaklık, ışık, toprak türü, uygulanan gübre çeşidi ve hasat zamanı gibi faktörlerden etkilendiği için, farklı bölgelerde yetişen sebzelerin sülforafan içeriklerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde bu konuda sadece Erzurum'da yapılmış bir çalışma bulunduğu için farklı bölgelerde de benzer çalışmaların yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmada, turpgil sebzelerinin sülforafan içerikleri Erzurumdaki çalışmaya kıyasla çok daha yüksek bulunmuştur. Bu da, Hatay bölgesindeki turpgil sebzelerinin sağlık açısından son derece faydalı sülforafan bakımından oldukça zengin olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

Alumkal, J.J., Slottke, R., Schwartzman, J., et al. 2015. A phase II study of sulforaphane-rich broccoli sprout extracts in men with recurrent prostate cancer. **Investigational New Drugs,** 33(2), 480-489.

Bahadoran, Z., Mirmiran, P., Hosseinpanah, F., Hedayati, M., Hosseinpour-Niazi, S., Azizi, F., 2011. Broccoli sprouts reduce oxidative stress in type 2 diabetes: a randomized double-blind clinical trial. **European Journal of Clinical Nutrition**, 65(8), 972-977.

Bahadoran, Z., Tohidi, M., Nazeri, P., Mehran, M., Azizi, F., Mirmiran, P., 2012. Effect of broccoli sprouts on insulin resistance in type 2 diabetic patients: a randomized double-blind clinical trial. **International Journal of Food Sciences and Nutrition,** 63(7), 767-771.

Bent, S., Lawton, B., Warren, T., Widjaja, F., Dang, K., Fahey, J.W., Cornblatt, B., Kinchen, J.M., Delucchi, K., Hendren R.L., 2018. Identification of urinary metabolites that correlate with clinical improvements in children with autism treated with sulforaphane from broccoli. **Molecular Autism**, 9, 35.

Bonetto, J.H.P., Fernandes, R.O., Seolin, B.G.L., Müller, D.D., Teixeira, R.B., Araujo, A.S., Vassallo, D., Schenkel, P.C., Klein, A.B., 2016. Sulforaphane improves oxidative status without attenuating the inflammatory response or cardiac impairment induced by ischemia–reperfusion in rats. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology,** 94(5), 508-516.

Cesare, L.F., Migliori, C., Viscardi, D., Ferrari, V., 2009. Influence of heat treatments on sulforaphane in Italian brassica cultivars. **Progress in Nutrition,** 11(2), 100-109.

Chen, Y., Chen, J.Q., Ge, M.M., Zhang, Q., Wang, X. Q., Zhu, J.Y., Xie, C.F., Li, X.T., Zhong, C.Y., Han, H.Y., 2019. Sulforaphane inhibits epithelial-mesenchymal transition by activating extracellular signal-regulated kinase 5 in lung cancer cells**. The Journal of Nutritional Biochemistry**, 72, 108219.

Çelik, H., Ariburnu, E., Baymak, M.Ş., Yesilada, E., 2014. A rapid validated HPLC method for determination of sulforaphane and glucoraphanin in broccoli and red cabbage prepared by various cooking techniques. **Analytical Methods**, 6, 4559-4566.

Dosz, E.B., Jeffery, E.H., 2013. Modifying the processing and handling of frozen broccoli for increased sulforaphane formation **Journal of Functional Foods,** 78(9), H1459.

Egner, P. A., Chen, J. G., Wang, J. B., et al., 2011. Bioavailability of sulforaphane from two broccoli sprout beverages: results of a short-term, cross-over clinical trial in Qidong, China. **Cancer Prevention Research,** 4(3), 384–395.

Fahey, J. W., Haristoy, X., Dolan, P. M., Kensler, W. T., Scholtus, I., Stephenson, K. K., Talalay, P., Lozniewski, A., 2002. Sulforaphane inhibits extracellular, intracellular, and antibiotic-resistant strains of Helicobacter pylori and prevents benzo[a]pyreneinduced stomach tumors. **Proceedings of the National Academy of Sciences,** 99(11), 7610-7615.

Farag, M.A., Motaal, A.A., 2010. Sulforaphane composition, cytotoxic and antioxidant activity of crucifer vegetables. **Journal of Advanced Research,** 1, 65-70.

Fenwick, G.R., Haney, R.K., Mullin, W.J., 1983. Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 18, 123-201.

Ge, M., Zhang, L., Cao, L., Xie, C., Li, X., Li, Y., Meng, Y., Chen, Y., Wang, X., Chen, J., Zhang, Q., Shao, J., Zhong, C., 2019. Sulforaphane inhibits gastric cancer stem cells via suppressing sonic hedgehog pathway. **International Journal of Food Sciences and Nutrition,** 70(5), 570-578.

Ghawi, S.K., Methven, L., Niranjan, K., 2013. The potential to intensify sulforaphane formation in cooked broccoli (*Brassica oleracea var. italica*) using mustard seeds (*Sinapis alba*). **Food Chemistry**, 138, 1734-1741.

Gu, Z.X., Guo, Q.H., Gu, Y.J., 2012. Factors influencing glucoraphanin and sulforaphane formation in brassica plants: A review. **Journal of Integrative Agriculture**, 11(11), 1804-1816.

Higdon, J.V., Delage, B., Williams, D.E., Dashwood, R.H. 2007. Cruciferous vegetables and human cancer risk: epidemiologic evidence and mechanistic basis. **Pharmacological Research**, 55(3), 224-236.

Houghton, C.A., 2019. Sulforaphane: Its "coming of age" as a clinically relevant nutraceutical in the prevention and treatment of chronic diseas. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity,** Volume 2019, Article ID 2716870, 27 pages.

Huang, C.S., Lin, A.H., Liu, C.T., Tsai, C.W., Chang, I.S., Chen, H.W., Lii, C.K., 2013. Isothiocyanates protect against ox idized LDL-induced endothelial dysfunction by upregulating Nrf2-dependent antioxidation and suppressing NFκB activation. **Molecular Nutrition & Food Research**, 57, 1918-1930.

Kaboli, P.J., Khoshkbejarid, M.A., Mohammadie, M., Abirif, A., Mokhtarianc, R., Vazifemandg, R., Amanollahic, S., Sanic, S.Y., Lia, M., Zhaoa, Y., Wua, X., Shena, J., Choa, C.H., Xiaoa, Z., 2020. Targets and mechanisms of sulforaphane derivatives obtained from cruciferous plants with special focus on breast cancer–contradictory effects and future perspectives. **Biomedicine & Pharmacotherapy,** 121, 109635.

Kajikawa, M., Nakashima, A., Fujimura, N., Maruhashi, T., Iwamoto, Y., Iwamoto, A., et al.. 2015. Ratio of Serum levels of AGEs to soluble form of RAGE is a predictor of endothelial function. **Diabetes Care,** 38(1), 119-125.

Kim, H.V., Kim, H.Y., Ehrlich, H.Y., Choi, S.Y., Kim, D.J., Kim, Y., 2013. Amelioration of alzheimer's disease by neuroprotective effect of sulforaphane in animal model. **Amyloid**, 20(1), 7-12.

Kim, S.C., Choi, B., Kwon, Y., 2017. Thiol-reducing agents prevent sulforaphane-induced growth inhibition in ovarian cancer cells. **Food & Nutrition Research**, 61(1), 1368321.

Kivela, A.M., Makinen, P.I., Jyrkkanen, H.K., Mella-Aho, E., Xia, Y., Kansanen, E., Leinonen, H., Verma, I. M., Yla-Herttuala, S., Levonen, A. L., 2010. Sulforaphane inhibits endothelial lipase expression through NFκB in endothelial cells. **Atherosclerosis**, 213, 122-128.

Koçyiğit, E., Köksal, E., 2019. Sülforafan, potansiyel etki mekanizması ve hastalıklarla ilişkisi. **Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi**, 6(1), 153-160.

Koo, S.Y., Cha, K.H., Song, D.G., Chung, D., Pan, C.H., 2011. Amplification of sulforaphane content in red cabbage by pressure and temperature treatments. **Journal of the Korean Society of Applied Biological Chemistry**, 54(2), 183-187.

Lekcharoenkul, P., Tanongkankit, Y., Chiewchan, N., Devahastin, S., 2014. Enhancement of sulforaphane content in cabbage outer leaves using hybrid drying technique and stepwise change of drying temperature. **Journal of Food Engineering**, 122, 56- 61.

Li, Y., Zhang, T., Korkaya, H., Liu, S., Lee, H.F., Newman, B., 2010. Sulforaphane, a dietary component of broccoli/broccoli sprouts, inhibits breast cancer stem cells. **Clinical Cancer Research**, 16(9), 2580-2590.

Liang, H., Yuan, Q. P., Dong, H. R., Liu, Y. M., 2006. Determination of sulforaphane in broccoli and cabbage by high performance liquid chromatography. **Journal of Food Composition and Analysis,** 19, 473-476.

Liu, S.H., Wu, Q.Y., Xu, T., Wang, H.C., Wang, J.W., Zhang, Z.L., Liu, M.Y., Huang, K., 2022. Profiling of sulforaphane content in forty-seven Chinese broccoli germplasms. **Agronomy Journal**, 114, 1599-1614.

Lu, Y., Pang, X., Yang, T., 2020. Microwave cooking increases sulforaphane level in broccoli. **Food Science & Nutrition,** 8, 2052-2058.

Mahn, A., Martin, C., Reyes, A., Saavedra, A., 2016. Evolution of sulforaphane content in sulforaphane-enriched broccoli during tray drying. **Journal of Food Engineering**, 186, 27-33.

Mahn, A., Ferez, C.E., Zambrano, V., Barrientos, H., 2022. Maximization of sulforaphane content in broccoli sprouts by blanching. **Foods,** 11, 1906.

Mangla, B., Javed, S., Sultan, M.H., et al. 2021. Sulforaphane: A review of its therapeutic potentials, advances in its nanodelivery, recent patents, and clinical trials. **Phytotherapy Research**, 35(10), 5440-5458.

Matusheski, N.V., Juvik, J.A., Jeffery, E.H., 2004. Heating decreases epithiospecifier protein activity and increases sulforaphane formation in broccoli. **Phytochemistry,** 65, 1273 – 1281.

Miao, X., Bai, Y., Sun, W., Cui, W., Xin, Y., Wang, Y., Tan, Y., Miao, L., Fu, Y., Su, G., Cai, L., 2012. Sulforaphane prevention of diabetesinduced aortic damage was associated with the up-regulation of Nrf2 and its down-stream antioxidants. **Nutrition & Metabolism**, 9, 84.

Mirmiran, P., Bahadoran, Z., Ghasemi, A., Jeddi, S., Azizi, F., 2017. High-sulforaphane broccoli sprout powder reduces serum nitric oxide metabolites in helicobacter pylori infected patients. **Journal of Functional Foods**, 34, 356-358.

Monteiro, E. B., Ajackson, M., Stockler-Pinto, M. B., Guebre-Egziabher, F., Daleprane, J.B., Soulage C.O., 2023. Sulforaphane exhibits potent renoprotective effects in preclinical models of kidney diseases: A systematic review and meta-analysis. **Life Sciences,** 322, 121664.

Mukherjee, S., Gangopadhyay, H., Das, D. K., 2008. Broccoli: a unique vegetable that protects mammalian hearts through the redox cycling of the thioredoxin superfamily. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** 56(2), 609- 617.

Noyan-Ashraf, M.H., Wu, L., Wang, R., Juurlink, B.H., 2006. Dietary approaches to positively influence fetal determinants of adult health. **FASEB Journal,** 20, 371-373.

Okçu, Z., 2010. Bazı teknolojik işlemlerin turpgil sebzelerinin sülforafan içeriklerine etkisi. **Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Erzurum, 77 sayfa.

Ou, J., Smith, R.C., Tobe, R.H., Lin, J., Arriaza, J., Fahey, J.W., Liu, R., Zeng, Y., Liu, Y., Huang, L., Shen, Y., Li, Y., Cheng, D., Cornblatt, B., Davis, J.M., Zhao, J.,

Wu, R., Jin, H., 2024. Efficacy of sulforaphane in treatment of children with autism spectrum disorder: a randomized double-blind placebo-controlled multi-center trial. **Journal of Autism and Developmental Disorders**, 54(2), 628-641.

Riso, P., Martini, D., Møller, P., Loft, S., Bonacina, G., Moro, M., Porrini, M., 2010. DNA damage and repair activity after broccoli intake in young healthy smokers. **Mutagenesis**, 25(6), 595-602.

Singh, S.V., Warin, R., Xiao, D., et al., 2009. Sulforaphane inhibits prostate carcinogenesis and pulmonary metastasis in TRAMP mice in association with increased cytotoxicity of natural killer cells. **Cancer Research,** 69, 2117-2125.

Singh, K., Connors, S.L., Macklin, E.A., Smith, K.D., Fahey, J.W., Talalay, P., Zimmerman, A.W., 2014. Sulforaphane treatment of autism spectrum disorder (ASD). **Proceedings of the National Academy of Sciences,** 111(43), 15550-15555.

Socała, K., Nieoczym, D., Kowalczuk-Vasilev, E., et al. 2017. Increased seizure susceptibility and other toxicity symptoms following acute sulforaphane treatment in mice. **Toxicology and Applied Pharmacology**, 326, 43-53.

Song, L., Thornalley, P. J., 2007. Effect of storage, processing and cooking on glucosinolate content of brassica vegetables. **Food and Chemical Toxicology,** 45, 216-224.

Suzuki, H., Mutoh, M., Kamoshida, T., Kakinoki, N., Yoshida, S., Ebihara, T., et al.. 2019. Chemoprevention against colon cancer by dietary intake of sulforaphane. **Functional Foods in Health and Disease,** 9, 392-411.

Tabart, J., Pincemail, J., Kevers, C., Defraigne, J.O., Dommes, J., 2018. Processing effects on antioxidant, glucosinolate, and sulforaphane contents in broccoli and red cabbage. **European Food Research and Technology**, 244, 2085-2094.

Tanito, M., Masutani, H., Kim, Y.C., Nishikawa, M., Ohira, A., Yodoi, J., 2005. Sulforaphane induces thioredoxin through the antioxidant-responsive element and attenuates retinal light damage in mice. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, 46(3), 979-987.

Tarozzi, A., Morroni, F., Merlicco, A., Hrelia, S., Angeloni, C., Cantelli-Forti, G., Hrelia, P., 2009. Sulforphane as an inducer of glutathione prevents oxidative stress-induced cell death in dopaminergic-like neuroblastoma cell line. **Journal of Neurochemistry,** 111, 1161-1171.

Totušek, J., Tříska, J., Lefnerová, D., Strohalm, J., Vrchotová, N., Zendulka, O., Průchová, J., Chaloupková, J., Novotná, P., Houška, M., 2011. Contents of sulforaphane and total isothiocyanates, antimutagenic activity, and inhibition of clastogenicity in pulp juices from cruciferous plants. **Czech Journal of Food Sciences,** 29(5), 548-556.

Varma, S.D., Chandrasekaran, K., Kovtun, S., 2013. Sulforaphane-induced transcription of thioredoxin reductase in lens: possible significance against cataract formation. **Clinical Ophthalmology**, 7, 2091.

Wang, Y., Zhang, Z., Sun, W., Tan, Y., Liu, Y., Zheng, Y., Liu, Q., Cai, L., Sun, J., 2014. Sulforaphane attenuation of type 2 diabetes-induced aortic damage was associated with the upregulation of Nrf2 expression and function. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity,** 2014, 123963.

Yamagishi, S., Nishino, Y., Ojima, A., Matsui, T., Nishi, H., 2015. Oral consumption of sulforaphane precursor-rich broccoli supersprouts decreases serum levels of

advanced glycation end products in humans. **Diabetes Frontier Online**, 2, e1-e011.

Zhang, X., Shu, X.O., Xiang, Y.B., Yang, G., Li, H., Gao, J., Cai, H., Gao, Y.T., Zheng, W., 2011. Cruciferous vegetable consumption is associated with a reduced risk of total and cardiovascular disease mortality. **The American Journal of Clinical Nutrition,** 94(1), 240-246.

Zhang, S., Yingb, D.Y., Chengb, L.J., Bayrakb, M., Jegasothyb, H., Sanguansrib, L., Augustinb, M.A., 2020. Sulforaphane in broccoli-based matrices: Effects of heat treatment and addition of oil. **LWT - Food Science and Technology,** 128, 109443.

Zhu, H., Jia, Z., Strobl, J.S., Ehrich, M., Misra, H.P., Li, Y., 2008. Potent induction of total cellular and mitochondrial antioxidants and phase 2 enzymes by cruciferous sulforaphane in rat aortic smooth muscle cells: cytoprotection against oxidative and electrophilic stress. **Cardiovascular Toxicology,** 8(3), 115-125.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, ilkokul öğrenimini Mardin, ortaokul öğrenimini Konya, ve liseyi Kırıkkalede tamamladı. Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fen Bilgisi Öğretmenliği bölümünü 2015 yılında kazandı. 2016 yılında Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilgisi Öğretmenliğine yatay geçiş yaptı. Üniversiteden 2019 yılında mezun oldu. 2021 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı.