

**RESVERATROL VE TAURİNİN OKSİDATİF SAÇ HASARINA
ETKİSİ**

BELİND A ÖNEN

MAYIS 2025

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RESVERATROL VE TAURİNİN OKSİDATİF SAÇ HASARINA
ETKİSİ**

BELİNDİ ÖNEN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
KİMYA ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

MAYIS 2025

DİYARBAKIR

RESVERATROL VE TAURİNİN OKSİDATİF SAÇ HASARINA ETKİSİ

Belinda ÖNEN tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Kimya Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Göksel KIZIL
Danışman, **Kimya Bölümü, Dicle Üniversitesi**

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Berrin ZİYADANOĞULLARI (*)
Kimya Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Göksel KIZIL (**)
Kimya Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. İhsan ALACABEY
Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü,
Mardin Artuklu Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 27 / 05 / 2025

(*) Jüri Başkanı.

(**) Tez Danışmanı.

Aileme ve Eşime...



Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Belinda ÖNEN

İmza:

TEŞEKKÜR

Öncelikle, akademik yolculuğum boyunca bilgi ve deneyimiyle yolumu aydınlatan, her zaman sabırla rehberlik eden, bilimsel yaklaşımıyla bana ilham veren değerli tez danışmanım Prof. Dr. Göksel KIZIL'a teşekkürlerimi sunuyorum. Onun yapıcı eleştirileri ve yönlendirmeleri bu çalışmanın sağlam temeller üzerine kurulmasını sağladı.

Bilimsel gelişimimde her daim yanımda olan, fikirleriyle beni motive eden ve bakış açımı zenginleştiren Prof. Dr. Murat KIZIL'a da yönlendirmeleri ve desteği için ayrıca teşekkür ederim.

Bu süreçte nazik yaklaşımı ve içtenliğiyle manevi desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Berrin ZİYADANOĞULLARI'na gönülden teşekkür ederim.

Çalışmamın özellikle deneysel süreçlerinde desteğini esirgemeyen, titiz yaklaşımı ve katkılarıyla büyük fark yaratan Dr. Nesrin İNCEÖREN'e teşekkürü bir borç bilirim. Laboratuvar sürecindeki yardımseverliği ve çözüm odaklı yaklaşımı, çalışmamın ilerlemesine önemli katkı sağlamıştır.

Hayatım boyunca beni yüreklendiren, her başarımda en az benim kadar sevinen ve varlığıyla güç bulduğum aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Onların sevgisi ve desteği, bu yolculukta en büyük dayanağım olmuştur.

Ve elbette, her adımında yanımda olan, en yoğun anlarda bile sabrını ve desteğini eksik etmeyen sevgili eşime; varlığımla bu süreci daha anlamlı kıldığın, her zorlukta elimi tuttuğun için teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Lila Kozmetik'in değerli katkıları ve Üniversite-Sanayi iş birliği kapsamında sağladığı destek ile yürütülmüştür. Sağladıkları bilimsel ve teknik katkılar için kendilerine içten teşekkür ederim.

Yazar, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (DÜBAP), bu tez çalışması için sağladıkları finansal destek için (Proje No: DÜBAP-FEN.24.008) için teşekkürü bir borç bilir.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 İnsan Saçı	2
1.1.1 Saçın kimyasal yapısı.....	2
1.1.2 Saçın morfolojik ve makromoleküler yapısı.....	7
1.2 Saçta Oksidatif Hasar	12
1.2.1 Saç üzerinde etkisi olan oksidatif stres kaynakları	14
1.2.2 Oksidatif hasar tespit yöntemleri	15
1.3 Oksidatif Stres Kimyasında Antioksidanların Rolü.....	21
1.3.1 Doğal antioksidanlar	22
1.3.2 Sentetik antioksidanlar	25
1.4 Saç Kozmetik Ürünleri.....	26
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	28
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	32
3.1 Malzeme.....	32
3.1.1 Saç örneklerinin toplanması.....	32
3.1.2 Kullanılan cihazlar	32
3.2 Yöntem.....	32
3.2.1 Resveratrol ve taurinin DPPH (1,1-difenil-2-pikril-hidrazil) radikal söndürme aktivitesi	32

3.2.2	İnsan saçından keratin proteini izolasyonu	33
3.2.3	Protein miktar tayini.....	34
3.2.4	SDS-PAGE (Sodyum Dodesil Sülfat-Poliakrilamid Jel Elektroforezi) analizi.....	34
3.2.5	Resveratrol ve taurinin saç keratinine bağlanma yeteneği.....	35
3.2.6	Ağartma solüsyonu ile parçalanmış saç keratininin elektroforez ile analizi.....	35
3.2.7	Resveratrol ve taurin içeren saç bakım toniğinin formüle edilmesi.....	36
3.2.8	Saç ağartma solüsyonuna maruz bırakıldıktan sonra salınan sistein miktarlarının analizi	37
3.2.9	Saç örneklerinin ağartılması ve saç bakım toniği uygulamaları	37
3.2.10	İnsan saçından lipit ekstraksiyonu	37
3.2.11	MDA (Malondialdehit) tayini ile lipit peroksidasyonunun değerlendirilmesi.....	38
3.2.12	Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi.....	38
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	40
4.1	Resveratrol ve Taurinin DPPH (1,1-difenil-2-pikril-hidrazil) Radikal Söndürme Aktivitesi.....	40
4.2	İnsan Saçından Keratin Proteini Ekstraksiyonu.....	42
4.2.1	İnsan saçı delipidizasyonu.....	42
4.2.2	Proteini ekstraksiyonu.....	43
4.2.3	Keratin protein ekstraktının diyalizi.....	43
4.3	Protein Miktar Tayini.....	44
4.4	SDS-PAGE Analizi (Sodyum Dodesil Sülfat-Poliakrilamid Jel Elektroforezi)	45
4.5	Resveratrol ve Taurinin Saç Keratinine Bağlanma Yeteneği	46
4.6	Ağartma Solüsyonu ile Parçalanmış Saç Keratininin Elektroforez ile Analizi.....	47
4.7	Resveratrol ve Taurin İçeren Saç Bakım Toniğinin Formüle Edilmesi.....	48

4.8	Saç Ağartma Solüsyonuna Maruz Bırakıldıktan Sonra Salınan Sistein Miktarlarının Analizi.....	49
4.9	Saç Örneklerinin Ağartılması ve Saç Bakım Toniği Uygulamaları.....	51
4.10	İnsan Saçından Lipit Ekstraksiyonu.....	52
4.11	MDA (Malondialdehit) Tayini ile Lipit Peroksidasyonunun Değerlendirilmesi.....	54
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	58
5.1	Sonuçlar.....	58
5.2	Öneriler	68
	KAYNAKLAR	71
	ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 2020–2023 arasında Türkiye'deki saç bakım ürünleri pazarına ait grafik	1
Şekil 1.2 Sistin dimeri	3
Şekil 1.3 Saç yapısında bulunan bağlar ve etkileşimler	4
Şekil 1.4 Saç lipit kompozisyonu	6
Şekil 1.5 Feomelanin ve Eumelaninin kimyasal yapıları	6
Şekil 1. 6 Saçın yapısı	8
Şekil 1. 7 Saçın hiyerarşik yapısı	9
Şekil 1. 8 İnsan saçı kütikülünün sublameller yapısı ve TEM (geçirimli elektron mikroskobu) görüntüsü	10
Şekil 1. 9 İnsan saçının korteks katmanı ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüsü.....	10
Şekil 1. 10 İnsan saçının medulla katmanı ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüsü.....	11
Şekil 1. 11 Kütikül ve β --- β tabakalı hücre zarı kompleksini gösteren bir saçın SEM görüntüsü.....	12
Şekil 1. 12 Oksijenden ROT üretiminin basitleştirilmiş mekanizması	13
Şekil 1. 13 Protein oksidasyonu mekanizması.....	16
Şekil 1. 14 Lipit peroksidasyon yollarının ve başlıca son ürünlerinin şematik diyagramı	19
Şekil 1. 15 Antioksidan aktivitesinin mekanizması	22
Şekil 1. 16 Sınıflara ayrılmış doğal antioksidanlar. Yeşil kelimeler ekzojen antioksidanları temsil ederken, sarı olanlar endojen antioksidanları temsil eder.....	23
Şekil 1. 17 Resveratrolün kimyasal yapısı	24
Şekil 1. 18 Taurinin kimyasal yapısı.....	25
Şekil 4. 1 Resvertrol, taurin, BHA (Bütillenmiş hidroksi anisol) ve BHT'nin (Bütillenmiş hidroksi tolueen) DPPH radikal söndürme grafiği.....	41
Şekil 4. 2 İnsan saçı örneği ve delipidizasyon işlemi.....	43
Şekil 4. 3 Delipidize edilmiş saç örneği ve protein ekstraksiyon işlemi.....	43
Şekil 4. 4 Keratin proteininin diyaliz işlemi	44
Şekil 4. 5 Protein miktar tayini	44

Şekil 4. 6 İzole edilen proteinin SDS-PAGE jeli	45
Şekil 4. 7 Resveratrol ve taurinin keratine bağlanma sonucu pelet oluşumu.....	47
Şekil 4. 8 Resveratrol ve taurinin oksidatif hasarla saç keratin bozulmasına karşı koruyucu etkisi.....	48
Şekil 4. 9 Saç açma solüsyonuna maruz bırakılan saçlardan salınan sistein miktarının analizi	50
Şekil 4. 10 Saç yüzeylerinin SEM görüntüleri. A, İşlem görmemiş saç (UT), derece 0: sağlam saç, düzenli kütikül kaplaması. B, Ağartılmış saç (B), derece: 3, kütikülün kısmi kaybı, kütikülde delikler, çatlak (+). C, Ağartılmış ve sonrasında tonik uygulanmış saç (BT), özellikle hasarlı bölgelerde tonik birikimi, derece 1: düzensiz kütikül kaplaması. D, Tonik uygulanmış ve sonrasında ağartılmış saç (TB), derece 1: kütikülün kısmi kaybı.....	52
Şekil 4. 11 İnsan saçından lipit ekstraksiyon işleminin şematik gösterimi.....	53
Şekil 4. 12 Saç yüzeylerinin SEM görüntüleri. A, Referans saç (UT). B, Lipitleri çıkarılmış saç.....	54
Şekil 4. 13 Lipit peroksidasyonu sonrası MDA'nın (Malondialdehit) tespiti için önerilen reaksiyon	54
Şekil 4. 14 MDA (Malondialdehit) standartlarına dayalı olarak kalibrasyon eğrisi ..	55
Şekil 4. 15 MDA (Malondialdehit) tayini	55
Şekil 4. 16 Ekstrakte edilen lipitlerdeki MDA (Malondialdehit) oluşumu.....	56

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 İnsan saçının kimyasal bileşimi	2
Tablo 1.2 İnsan saçında bulunan aminoasitlerin bileşimi	3
Tablo 1. 3 Saç telinin durumunu etkileyen faktörler.....	12
Tablo 4. 1 Resveratrol, taurin, BHA (Bütillenmiş hidroksi anisol) ve BHT'nin (Bütillenmiş hidroksi tolüen)DPPH radikal söndürme inhibisyon değerleri	40
Tablo 4. 2 Resveratrol, taurin, BHA (Bütillenmiş hidroksi anisol) ve BHT'nin (Bütillenmiş hidroksi tolüen) IC ₅₀ değerleri	41
Tablo 4. 3 Resveratrol ve taurin içeren saç bakım toniği formülasyon içeriği	49
Tablo 4. 4 UT (herhangi bir işleme tabi tutulmamış, doğal saç) örneğine göre lipid peroksidasyonundaki artış ve azalış yüzdeleri	56

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge

Açıklama

μL	Mikrolitre
μm	Mikrometre
μg	Mikrogram
mL	Mililitre
mm	Milimetre
cm	Santimetre
mg	Miligram
mM	Milimolar
M	Molar
g	Yerçekimi kuvveti
rpm	Dakika başına devir sayısı
Da	Dalton
kDa	Kilodalton

Kısaltma

Açıklama

ROT	Reaktif Oksijen Türleri
LPO	Lipit Peroksidasyonu
BSA	Sığır Serum Albumini (Bovine Serum Albumin)
KAP	Keratinle İlişkili Proteinler (Keratin-Associated Proteins)
UV	Ultra Viyole
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscopy)
TEM	Geçirimli Elektron Mikroskobu (Transmission Electron Microscope)
CMC	Hücre Zarı Kompleksi (Cell Membran Complex)
SDS-PAGE	Sodyum Dodesil Sülfat Poliakrilamid Jel Elektrophorezi (Sodium Dodecyl-Sulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis)
18-MEA	18-Metileikosanik Asit
MDA	Malondialdehit
PUFA	Çoklu Doymamış Yağ Asitleri (Polyunsaturated Fatty Acid)
DNA	Deoksiribonükleik Asit
TBA	Tiyobarbütirik Asit
NADPH	Nikotinamid Adenin Dinükleotid Fosfat
BHA	Bütillenmiş Hidroksi Anisol

BHT	Bütillenmiş Hidroksi Toluen
TBARS	Tiyobarbitürik Asit Reaktif Maddeleri (Thiobarbituric Acid Reactive Substances)
EPS	Ekzopolisakkaritler
DSC	Diferansiyel Taramalı Kolorimetre (Differential Scanning Calorimetry)
Dk	Dakika
CBB	Coomassie Parlak Mavi (Coomassie Brilliant Blue)
MWCO	Moleküler Ağırlık Kesin Değeri (Molecular Weight Cut Off)
DPPH	1,1-Difenil-2-Pikrilhidrazil
EDTA	Etilendiamintetraasetik Asit
DTNB	5,5'-Ditiyobis(2-Nitrobenzoik Asit)
IC ₅₀	Yarı Maksimal İnhibitör Konsantrasyon (Half Maximal Inhibitory Concentration)

ÖZET

RESVERATROL VE TAURİNİN OKSİDATİF SAÇ HASARINA ETKİSİ

ÖNEN, Belinda

Yüksek Lisans, Kimya Bölümü

Danışman: Prof. Dr. Göksel KIZIL

Mayıs 2025, 96 sayfa

Saç, günlük yaşamda maruz kaldığı çevresel faktörlerin yanı sıra, özellikle ağartma, boya ve perma gibi kimyasal işlemler nedeniyle oksidatif stresin etkilerine açık hale gelir. Bu durum, saç telinde yer alan keratin proteinleri, disülfid bağları ve lipit bileşenlerin yapısal bütünlüğünü bozarak saç sağlığını olumsuz yönde etkiler. Bu tez çalışmasında, insan saçında ağartma işlemi kaynaklı oksidatif hasarın biyokimyasal ve morfolojik olarak değerlendirilmesi ve bu hasara karşı koruyucu/onarıcı etkiye sahip bir saç bakım toniğinin geliştirilmesi amaçlandı. Çalışmanın ilk aşamasında, resveratrol ve taurinin antioksidan özellikleri DPPH (1,1-Difenil-2-pikrilhidrazil) serbest radikal söndürme yöntemiyle analiz edildi. Resveratrol 95 ± 0.6 , taurin 38 ± 2.0 , BHA (bütillenmiş hidroksi anisol) 97 ± 0.7 ve BHT (bütillenmiş hidroksi tolüen) 96 ± 0.6 inhibisyon gösterdi. IC_{50} değerleri sırasıyla BHT için 10.3 ± 0.6 $\mu\text{g/mL}$, BHA için 6.1 ± 0.4 $\mu\text{g/mL}$, resveratrol için 23.5 ± 1.2 $\mu\text{g/mL}$ ve taurin için >1000 $\mu\text{g/mL}$ olarak hesaplandı. İnsan saçından keratin proteinini izole edilerek 0.265 mg/mL total protein miktarı tayin edildi. Resveratrol ve taurinin saç keratiniyle bağlanma kapasitesi santrifüj çökelti yöntemiyle test edildi, resveratrol ve taurinin keratinle bağlanarak belirgin bir pelet oluşturduğu belirlendi. Ağartma solüsyonuna maruz bırakılan keratin proteinleri SDS-PAGE ile analiz edildiğinde, yalnızca ağartma solüsyonuna maruz kalan grupta keratin bandının tamamen kaybolduğu, resveratrol ve taurin ile muamele edilen gruplarda ise keratin bandının bütünlüğünün korunduğu gözlemlendi. Sistein tayininde hasarlı saç grubundaki 100 'lük sistein salınımı, resveratrol ve taurin içeren saç bakım toniği uygulaması ile yaklaşık 39.4 oranında azaldığı belirlendi. Lipit ekstraksiyonu ile izole edilen lipitlerde malondialdehit (MDA) seviyeleri spektrofotometrik olarak tayin edildi. Hasarsız saçlarda MDA düzeyi 1.54 ± 0.48 $\mu\text{M/mg}$ olarak belirlenirken, ağartma sonrası bu değer 1619.1 artışla 26.51 $\mu\text{M/mg'ye}$ ulaştığı gözlemlendi. Toniğin ağartma öncesi uygulanmasıyla MDA düzeyi 89.93 azalarak 2.67 $\mu\text{M/mg'ye}$, ağartma sonrası uygulanmasıyla ise 97.28 azalarak 0.72 $\mu\text{M/mg'ye}$ düştüğü belirlendi. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülemelerinde; işlem görmemiş saçta düzenli kütikül dizilimi, ağartılmış saçta ciddi kütikül hasarı, toniğin ağartma sonrası uygulandığı grupta hasarlı bölgelerde iyileşme ve düzenlenmiş yapı gözlemlendi. Elde edilen bulgular, geliştirilen resveratrol ve taurin bazlı saç bakım toniğinin hem koruyucu hem de onarıcı etkilere sahip olma potansiyelini ortaya koymaktadır. Tonik uygulama sırası açısından da anlamlı farklar belirlenmiş, ağartma öncesi ve sonrası uygulamaların her ikisinin de etkili olduğu, ancak hasar sonrası uygulamanın daha yüksek oranda onarım sağladığı belirlendi. Bu çalışmanın, saç kozmetikğinde bilimsel temelli ürün geliştirme sürecine katkı sağlayabileceği öngörülmekte; biyokimyasal analizlerin kozmetik Ar-Ge süreçlerine entegre edilerek daha etkin formülasyonların geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Oksidatif stres, Saç ağartma, Keratin, Resveratrol, Taurin, SDS-PAGE

ABSTRACT

EFFECT OF RESVERATROL AND TAURINE ON OXIDATIVE HAIR DAMAGE

ÖNEN, Belinda

Master of Science in Department of Chemical

Supervisor: Prof. Dr. Göksel KIZIL

May 2025, 96 pages

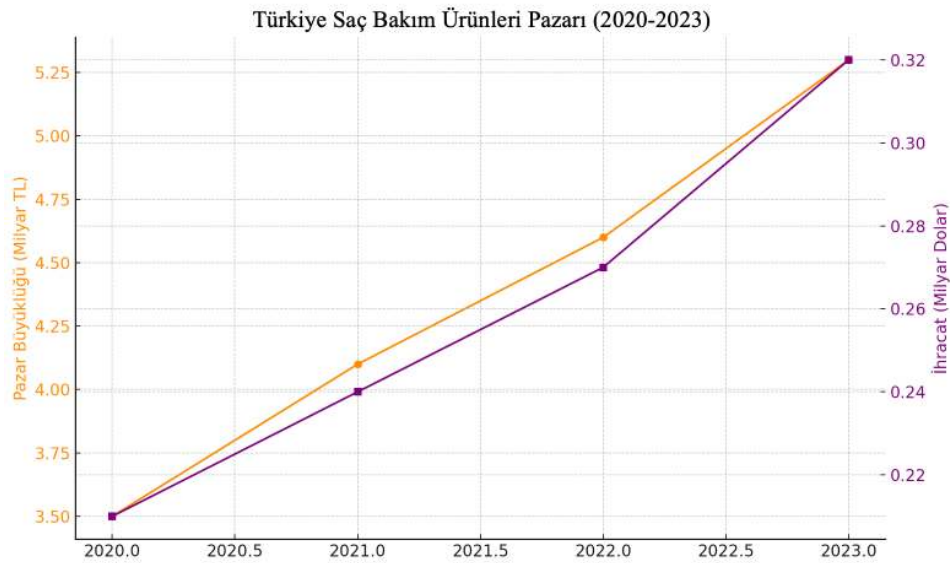
Hair becomes vulnerable to the effects of oxidative stress due to environmental factors it is exposed to in daily life, especially due to chemical processes such as bleaching, dyeing and perming. This situation disrupts the structural integrity of keratin proteins, disulfide bonds and lipid components in the hair shaft and negatively affects hair health. In this thesis study, it was aimed to evaluate the oxidative damage caused by bleaching process in human hair biochemically and morphologically and to develop a hair care tonic with a protective/repairing effect against this damage. In the first stage of the study, the antioxidant properties of resveratrol and taurine were analyzed by DPPH (1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl) free radical scavenging method. Resveratrol showed $95\pm0.6\%$, taurine $38\pm2.0\%$, BHA (butylated hydroxy anisole) $97\pm0.7\%$ and BHT (butylated hydroxy toluene) $96\pm0.6\%$ inhibition. IC_{50} values were calculated as 10.3 ± 0.6 $\mu\text{g/mL}$ for BHT, 6.1 ± 0.4 $\mu\text{g/mL}$ for BHA, 23.5 ± 1.2 $\mu\text{g/mL}$ for resveratrol and >1000 $\mu\text{g/mL}$ for taurine, respectively. Keratin protein was isolated from human hair and 0.265 mg/mL total protein was determined. Binding capacity of resveratrol and taurine with hair keratin was tested by centrifugal sedimentation method, and it was determined that resveratrol and taurine bound with keratin and formed a distinct pellet. When keratin proteins exposed to bleaching solution were analyzed by SDS-PAGE, it was observed that the keratin band completely disappeared in the group exposed only to bleaching solution, while the integrity of the keratin band was preserved in the groups treated with resveratrol and taurine. In the determination of cysteine, it was determined that 100% cysteine release in the damaged hair group decreased by approximately 39.4% with the application of hair care tonic containing resveratrol and taurine. Malondialdehyde (MDA) levels in lipids isolated by lipid extraction were determined spectrophotometrically. While the MDA level was determined as 1.54 ± 0.48 $\mu\text{M/mg}$ in undamaged hair, it was observed that after bleaching this value increased by 1619.1% to 26.51 $\mu\text{M/mg}$. It was determined that with the application of the tonic before bleaching, the MDA level decreased by 89.93% to 2.67 $\mu\text{M/mg}$, and with the application after bleaching, it decreased by 97.28% to 0.72 $\mu\text{M/mg}$. In scanning electron microscope (SEM) imaging; Regular cuticle alignment in untreated hair, severe cuticle damage in bleached hair, and healing and organized structure in damaged areas were observed in the group where the tonic was applied after bleaching. The findings obtained revealed the potential of the developed resveratrol and taurine-based hair care tonic to have both protective and restorative effects. Significant differences were also determined in terms of the order of tonic application, and it was determined that both pre- and post-bleaching applications were effective, but the post-damage application provided a higher rate of repair. It is anticipated that this study may contribute to the scientifically based product development process in hair cosmetics; it is thought that more effective formulations can be developed by integrating biochemical analyses into cosmetic R&D processes.

Keywords: Oxidative stress, Hair bleaching, Keratin, Resveratrol, Taurine, SDS-PAGE

1. GİRİŞ

Saç, yalnızca biyolojik işlevlere sahip bir yapı olmanın ötesinde, insan yaşamında çok yönlü ve önemli bir role sahiptir. Isı yalıtımı sağlaması, duyuşal reseptör olarak işlev görmesi ve mekanik aşınma ile güneş ışınlarına karşı koruma sağlaması gibi çeşitli biyolojik görevlerinin yanı sıra (Robbins, 2001), saç aynı zamanda önemli bir psikososyal unsurdur. Kimlik ve toplumsal kabulün bir sembolü olmanın yanı sıra, bireyin öz saygısını etkileyen bir unsur olarak da değerlendirilir. Ayrıca, davranış değişikliği, güç gösterisi, bireysel ifade biçimi ve kültürel direncin bir göstergesi olarak da işlev görmektedir (Gomes, 2002). Saç, uzunluğu, rengi veya şekli açısından kolayca değiştirilebilen fiziksel özelliklerden biri olduğu için, birçok tüketici idealize ettiği saç stiline ulaşmak ister. Bu arayış, geniş ve küresel bir kozmetik endüstrisini besler (Cruz vd., 2016).

Piyasa verilerine göre, Türkiye’deki ekonomik gelişmeye bağlı olarak, kozmetik ve kişisel bakım ürünleri pazarı her yıl ortalama %10 büyümektedir. Pazarda doğal kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinin payının %5 civarında olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 1.1). Bu durum dünya pazarıyla paralellik göstermektedir. Saç bakım ürünleri, sektör ürünleri içinde en büyük paya sahiptir. Bu nedenle antioksidanlar ve kozmetiklerle etkileşimi üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda giderek artan bir ilginin hedefi haline gelmiştir (TÜİK, 2024).



Şekil 1.1 2020–2023 arasında Türkiye'deki saç bakım ürünleri pazarına ait grafik (TÜİK, 2024)

1.1 İnsan Saçı

Saç, vücudu soğuk veya sıcak, güneş ışığı ve ıslaklık gibi çevresel etkenlere karşı korumaya yarayan, karmaşık yapıya sahip proteinli bir biyomalzemedir (Antunes vd., 2015).

1.1.1 Saçın kimyasal yapısı

Saç lifleri, neme bağlı olarak ağırlıkça %65-95 protein ve %15-35 kadar su içerir; geri kalanı lipit pigmentleri ve diğer bileşenlerdir (Velasco vd., 2009) (Tablo 1.1).

Tablo 1.1 İnsan saçının kimyasal bileşimi (Velasco vd., 2009)

Bileşenler	Yüzde (%)
Protein	65-95
Su	15-35
Lipit	1-9
Pigmentler	0,1-5
İz elementler	<1

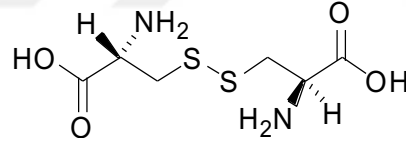
1.1.1.1 Saç proteinleri

Proteinler, yirmi farklı amino asidin birleşmesiyle oluşan polimerik yapılarıyla karakterize edilirler. Bu özellikleri, bir araya geldiklerinde yapısal olarak son derece çeşitli moleküller oluşturmalarına olanak tanır. Sentetik polimerler ve diğer biyolojik polimerlerle karşılaştırıldığında ise bu çeşitlilik daha da belirgindir (Areas, 1990).

Keratin, helikoidal kompleksler oluşturabilen, sistein açısından zengin lifli bir yapısal proteindir ve saçın ana bileşenidir (Mitsui, 1997; Draelos, 2004). Saçta bulunan keratin kompleksleri, bozulmaya karşı yüksek dirençleri nedeniyle genellikle sert keratinler olarak sınıflandırılır (Draelos, 2004). Saç keratininde bulunan yirmi amino asit arasında (Tablo 1.2), sistein özel bir öneme sahiptir. Bunun nedeni, iki kükürt atomu arasında oluşan ve sistin dimerini meydana getiren disülfid bağı oluşturmasıdır (Şekil 1.2) (Robbins, 2001; Miranda-Vilela, 2014). Yüksek sistein içeriği, çok sayıda disülfid bağının oluşmasını sağlayarak güçlü ve dayanıklı bir lif yapısı oluşturur. Bu yapı saça kimyasal, termal ve mekanik deformasyona karşı yüksek dayanıklılık kazandırır (Bouillon ve Wilkinson 2005; Cruz vd., 2016).

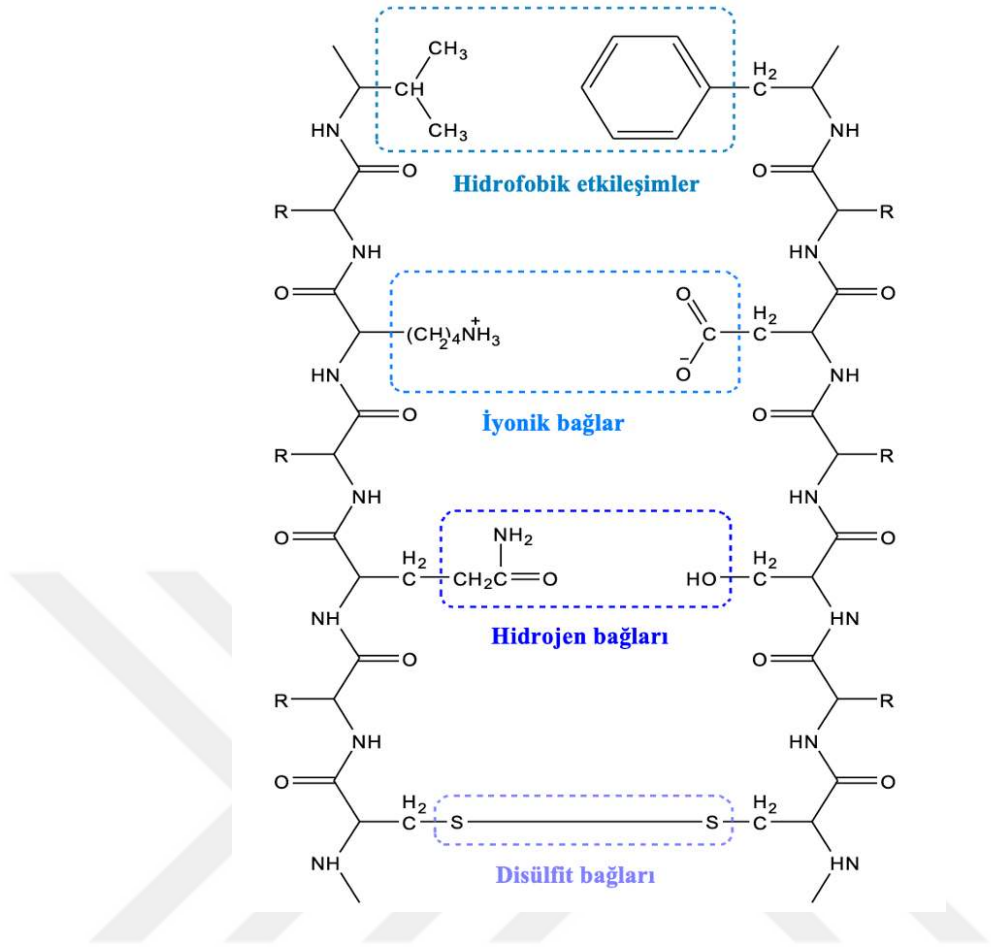
Tablo 1.2 İnsan saçında bulunan aminoasitlerin bileşimi (Popescu ve Höcker, 2007)

Aminoasitler	Saçta (μmol/g)
Aspartik asit / Asparagin	399
Treonin	554
Serin	967
Glutamik asit / Glutamin	916
Prolin	588
Glisin	437
Alanin	347
Valin	405
½ Sistin	1435
Metiyonin	13
İzolösin	174
Lösin	457
Tirozin	158
Fenilalanin	124
Lizin	196
Histidin	62
Arginin	466
Triptofan	40



Şekil 1.2 Sistin dimeri

Disülfid bağları, lifin orijinal şeklini korumasına yardımcı olurken, diğer zayıf bağlar ve etkileşimler polipeptit zincirlerini bir arada tutar. Bu etkileşimler arasında hidrojen bağları, iyonik bağlar ve hidrofobik etkileşimler yer alır (Şekil 1.3) (Urry vd., 2009; Richena, 2011).



Şekil 1.3 Saç yapısında bulunan bağlar ve etkileşimler (Shavandi vd., 2017)

İnsan saçı keratinleri, esas olarak α -heliks yapısında organize olmuştur ve yüklerine göre iki ana aileye ayrılır (Shavandi vd., 2017; Keller vd., 2018). Tip I keratinler, genellikle 44 ila 46 kDa arasında değişen daha küçük molekül ağırlıklarına sahiptir ve 4.5-5.5 arasındaki asidik izoelektrik noktaları nedeniyle asidik keratinler olarak bilinir. Tip II keratinler ise 6.5-7.5 arasında izoelektrik noktaya sahiptir ve moleküler ağırlıkları 50 ila 60 kDa arasında değişen daha büyük proteinlerden oluşur (Cruz vd., 2016). Olgunlaşmış Tip I keratinlerin daha yüksek oranda bulunması, saçın çoğu pH koşulunda negatif yüklü olmasına neden olur, bu da çeşitli saç bakım ve şekillendirme işlemlerini etkiler (Wilkerson, 1935).

Keratinlerle birlikte keratinle ilişkili proteinler (KAP), saç lifinin ana yapısal bileşenlerini oluşturur. KAP'lar, hidrofobik özelliklere sahip nispeten küçük proteinlerdir ve keratinle ilişkili filamentleri çevreleyen matriste yer alır. Bu

proteinler, saç şaftının sertliğinden ve geniş çaplı disülfid bağı çapraz bağlanması nedeniyle keratin filamentlerinin dayanıklılığından sorumlu olabilir (Shimomura ve Ito, 2005). Keratinin son derece organize yapısı, saça çevresel etkenlere karşı önemli bir direnç kazandırır. Sürtünme, gerginlik, perma, tarama, kimyasal işlemler, günlük kozmetik uygulamalar ve UV radyasyonu gibi faktörlere karşı saçın dayanıklılığını artırır (Bouillon ve Wilkinson 2005; Cruz vd., 2016).

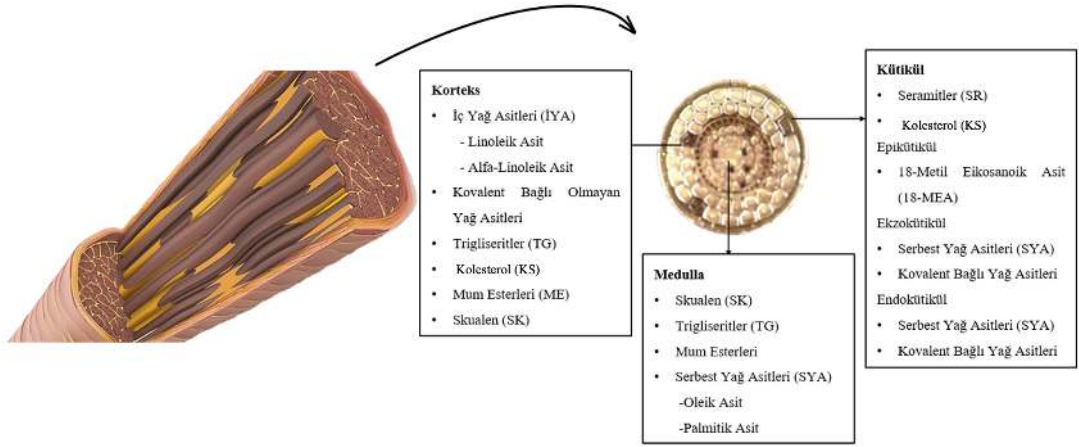
1.1.1.2 Su içeriği

Su, protein yapısının stabilizasyonu için önemli bir faktördür (Bouillon ve Wilkinson 2005). Bu nedenle, saçın su içeriği fiziksel ve kozmetik özellikleri açısından önemli bir parametredir. Keratin liflerinin su içeriği, lifin kuruluk koşullarına ve havanın bağıl nemine bağlıdır. Saç higroskopiktir ve büyük miktarda suyu emebilir (Robbins, 2002). Bu durum, suyun mikrofibrillerin yapısını hafifçe bozmasına yol açabilir; matrisin uzunlamasına şişmesine karşı koyarak saç lifinin hacminin çapraz şişme ile artmasına neden olur.

Keratinde, peptid bağları ve asidik ile bazik yan zincirler dahil olmak üzere çok sayıda su bağlama noktası bulunur. Su saça kolayca nüfuz etmesine rağmen, saç korteksinin moleküler yapısında bir miktar bağlanma seçiciliği vardır. Ayrıca, su emilimi saçtaki lipid miktarı ve pH seviyesi ile de ilişkilidir (Bouillon ve Wilkinson 2005).

1.1.1.3 Saç lipidleri

Saç lipidleri saç lifi boyunca dağılmıştır ve ortalama içeriği lif ağırlığının %4'ü kadardır. Bunlar dış veya iç lipidler olabilir ve iç lipidler serbest olabilir veya CMC yapısının bir parçası olabilir emebilir (Robbins, 2002). İç lipidlerin, β -tabakalarının bir parçası olarak hücreler arası boşluklarda yer aldığı düşünülmektedir. Lipitlerin çoğunluğu kolesterol, kolesterol esterleri, kolesterol sülfat, serbest yağ asitleri, trigliseritler, parafinler, skualen ve seramidlerdir (Şekil 1.4) (Bouillon ve Wilkinson 2005).

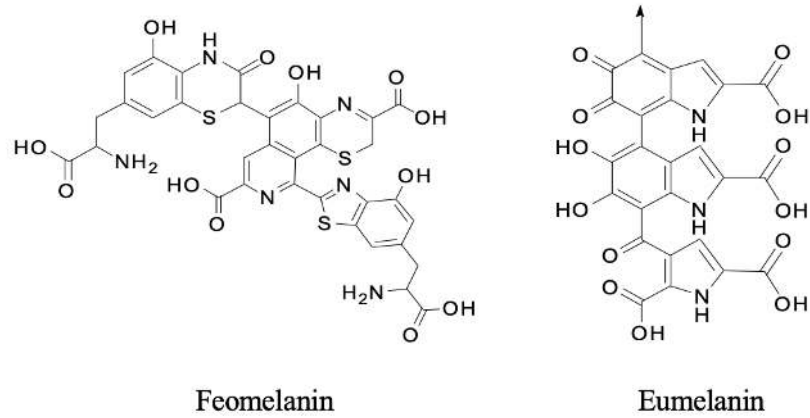


Şekil 1.4 Saç lipit kompozisyonu

Ekzogen lipitlerin önemli bir bileşeni, kütikül yüzeyine kovalent olarak bağlı olan 18-MEA'dır. Bu lipit, saç lifleri arasındaki sürtünmeyi azaltan bir yağlayıcı olarak işlev görür ve yokluğu, kuru saç veya tarama zorluğu gibi saçın duyuşsal algısını etkiler (Tanamachi vd., 2010). Lipit içeriği, etnik köken, cinsiyet ve yaş gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir (Breakspear vd., 2005).

1.1.1.4 Saç pigmentleri

Saç rengi foliküler melanositlerde sentezlenen ve keratinositlere aktarılan melaninlerin miktarı ve kalitesi tarafından belirlenir (Ozeki vd., 1996). Kimyasal olarak farklı iki melanin pigmenti türü vardır: eumelanin ve feomelanin (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 Feomelanin ve Eumelaninin kimyasal yapıları

Bu pigmentlerin sınıflandırılması çoğunlukla renge, çözünürlük özelliklerine ve izole melaninin kükürt içeriğine bağlıdır. Eumelanin, asit ve alkalide çözünmeyen koyu kahverengi ile siyah bir pigmenttir ve azot (%6-9) içerir ancak kükürt (%0-1) içermez. Öte yandan, feomelanin alkalide çözünen sarı ile kırmızımsı kahverengi bir pigmenttir ve hem azot (%8-11) hem de kükürt (%9-12) içerir (Ito ve Jimbow, 1983). Pigmentler arasındaki farklılıklara rağmen, her ikisi de aynı öncül madde olan dopakinondan sentezlenir. Dopakinon, bir dizi redoks reaksiyonu geçirdiğinde eumelanin molekülü oluşur. Ancak dopakinon, sülfidril bileşikleriyle temas ederse, feomelanin sentezi için bir öncü görevi görebilir (Ozeki vd., 1996).

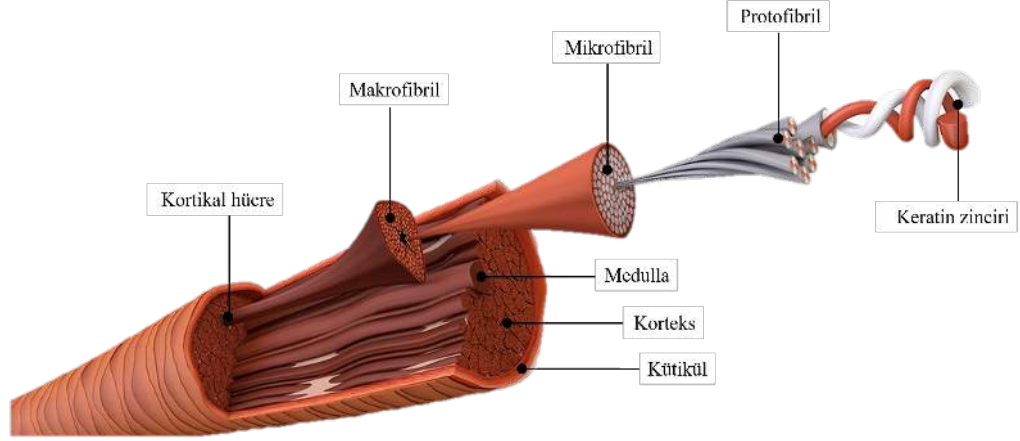
1.1.1.5 İz elementler

Saç, proteinler, lipitler ve suyun yanı sıra farklı miktarlarda inorganik elementler de içerir. Bu elementler genellikle saçın kuru ağırlığının %1'inden daha azını oluşturur (Cruz vd., 2016). Saçta en yaygın bulunan metaller arasında alkali metaller (Na ve K), alkali toprak metaller (Ca, Mg ve Sr) ve diğer metaller (Ca, Pb, Fe, Hg, Cd, Se, Zn, Mn, As) ile birlikte metaloidler (Si ve P) yer alır (Bouillon ve Wilkinson, 2005)

İz elementler, kökenlerine göre endojen veya ekzojen olarak sınıflandırılabilir. Endojen elementler, insan vücudundan gelir ve saç folikülündeki sentez sürecinde saç yapısına dahil olur (Saber-Tehrani ve Tadayon, 2009). Ekzojen elementler ise genellikle atmosferik toz ve kirleticiler, su ve kozmetik ürünler gibi dış kaynaklardan saç yapısına geçer (Bouillon ve Wilkinson, 2005; Saber-Tehrani ve Tadayon, 2009)

1.1.2 Saçın morfolojik ve makromoleküler yapısı

Saç lifi, esas olarak keratin adı verilen lifli yapısal proteinlerden oluşan, fiziksel ve kimyasal açıdan karmaşık, çok hücreli bir yapıdır (Nakano, 2006) ve saç folikülü adı verilen yapılardan büyür (Şekil 1.6). Saçın gelişimi ve keratinizasyonu, yani sülfidril gruplarının disülfür bağlarına dönüşmesi süreci bu folikül içerisinde gerçekleşir (Moita, 1989).



Şekil 1. 7 Saçın hiyerarşik yapısı (Goldwell, 2025)

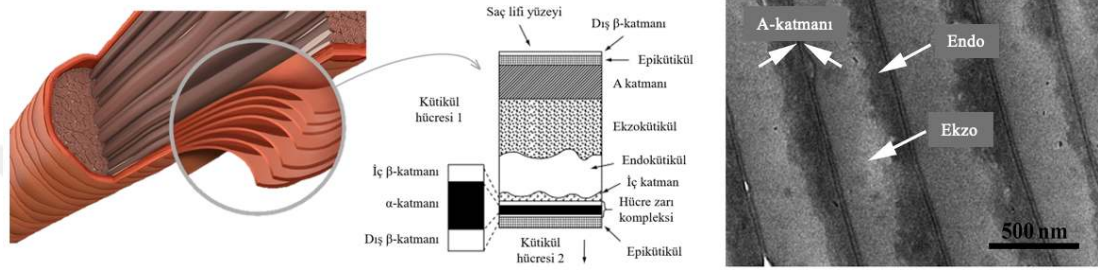
1.1.2.1 Kütikül

Kütikül, saçın kökten uca kadar tüm yüzeyini kaplar ve kimyasal ile fiziksel bir bariyer görevi görerek iç korteksi dış kaynaklı kimyasal ve çevresel hasarlardan korur (Antunes vd., 2015). Bu tabaka, her biri 0.5–1.0 μm kalınlığında olan ve yaklaşık 45 μm uzunluğa sahip, 6–10 katmanlı üst üste binmiş keratinize pullardan oluşur (Sinclair, 2003). Kütikül hücreleri, pul benzeri yapılarıyla üst üste sıralanır; bu hücrelerin proksimal uçları kortekse bağlıyken, serbest kenarları saç telinin ucuna doğru yukarı yönelmiştir (Harrison ve Sinclair, 2003; Cruz vd., 2017).

Keratinize pulların şekli ve yönelimi, saç telleri arasındaki sürtünmeyi azaltmakla kalmaz; aynı zamanda saçın parlaklığı ve dokusu üzerinde de belirleyici bir etkiye sahiptir. Ancak kütikül pulları; tarama, fırçalama, şampuanlama, fön çekme gibi mekanik işlemlere bağlı sürtünme kuvvetlerine karşı hassastır. Ayrıca çeşitli kozmetik işlemlerde kullanılan alkali bileşikler de kütikül bütünlüğünü bozabilir (Harrison ve Sinclair, 2003).

Kütikül hücresi, epikütikül, A tabakası, ekzokütikül ve endokütikül olmak üzere dört alt lameller tabakadan oluşur (Şekil 1.8) (Kutlubay ve Serdaroğlu, 2017). En dışta yer alan epikütikül, saçın kayganlığına katkı sağlayan ve saç dökülmesine karşı bariyer oluşturan lipid bazlı bir tabakadır; aynı zamanda çevresel faktörlere ve kimyasal bileşiklerin saç yapısına nüfuz etmesine karşı koruyucu bir işlev görür (Cruz vd.,

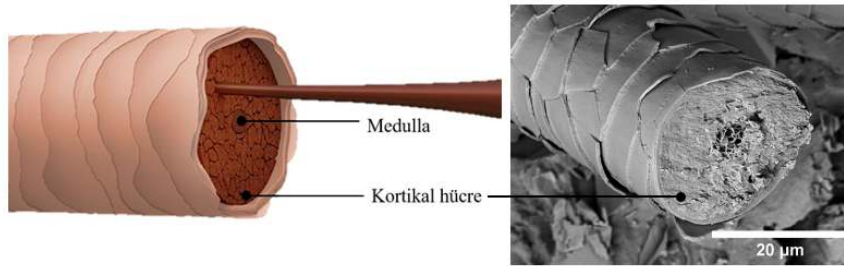
2017). Hidrofobik özellik taşıyan epikütikül, saç yüzeyinin fiziksel özelliklerinden sorumludur (Powell ve Rogers, 1997). Epikütikülün hemen altında yer alan A tabakası, saçın toplam sistin içeriğinin yaklaşık %30'unu içerir ve saçın kimyasal, fiziksel ve çevresel etkilere karşı korunmasında önemli bir rol oynar (Dorelos, 2004). Aynı zamanda yüksek oranda çapraz bağlara sahip olan bu yapı, kütikülün mekanik dayanıklılığını ve sertliğini sağlar (Cruz vd., 2016).



Şekil 1. 8 İnsan saç kütikülünün sublameller yapısı ve TEM (geçirimli elektron mikroskobu) görüntüsü (Popescu ve Höcker, 2007)

1.1.2.2 Korteks

Korteks, insan saç telinin ana bileşeni olup, lifin eksenine paralel bir yönde uzanır ve saç kütlesinin yaklaşık %90'ını oluşturur (Dawber, 1996). Yapısı ve organizasyonu, saç liflerinin mekanik dayanıklılığından sorumludur (Dorelos, 2004). Korteks, hücre zar kompleksiyle (CMC) çevrili, uzun ve silindirik şekilde düzenlenmiş kortikal hücrelerden oluşur (Şekil 1.9) (Antunes vd., 2015).



Şekil 1. 9 İnsan saçının korteks katmanı ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüsü

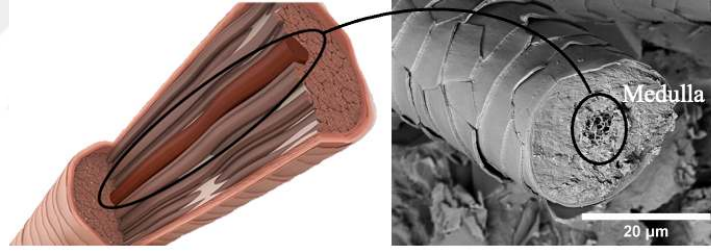
Bu kortikal hücreler, intermakrofibriler matriks ve melanozomlarla çevrili makrofibriller içerir (Antunes vd., 2016). Her makrofibril, birden fazla mikrofibrilden

oluşur ve bu mikrofibriller, keratin ara filamentlerinden meydana gelir. Keratin filamentleri, kükürt açısından zengin, KAP (keratinle ilişkili proteinler) içeren bir matrise spiral bir biçimde yerleşmiştir (Cruz vd., 2016; Kutlubay ve Serdaroğlu 2017).

KAP'lar, keratin ara filamentlerinin disülfür bağlarıyla çapraz bağlanmasını sağlayarak güçlü bir saç shaftının oluşumunda kritik rol oynar (Rogers vd., 2008).

1.1.2.3 Medulla

Medulla, saç telinin merkez bölgesinde yer alır ve saç shaftı boyunca sürekli, aralıklı bulunabilir ya da hiç bulunmayabilir (Şekil 1.10) (Crus vd., 2017). Saç kütlesinin yalnızca küçük bir yüzdesini oluşturur ve genellikle en kalın saç tellerinde gözlemlenir (Kutlubay ve Serdaroğlu, 2017). Medulla, amorf materyal ve hava boşlukları içeren özel hücrelerden oluşur (Antunes vd., 2015). Yapısal olarak trichohyalin proteininden meydana gelir ve glikojen ile melanozomlar içerir (Draelos, 2004).



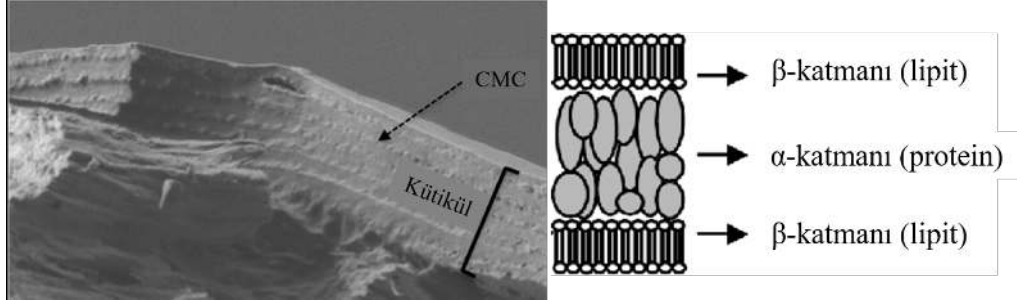
Şekil 1. 10 İnsan saçının medulla katmanı ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüsü

Her ne kadar medullanın işlevi tam olarak açıklığa kavuşmamış olsa da, saça ısı yalıtımı sağladığı düşünülmektedir (Powell ve Rogers, 1997; Jones, 2001). Ayrıca ışığın saç telinde dağılmasında rol oynayarak saç parlaklığını artırdığı da bildirilmektedir (Nagase, 2019).

1.1.2.4 CMC

Saç lifini oluşturan bir diğer yapı, hücre içi çimento olarak da bilinen hücre zarı kompleksi (cell membrane complex, CMC)'dir. CMC, iç lipit tabakası (β), ara protein tabakası ve dış lipit tabakası (β) olmak üzere lameller bir yapı ile karakterize edilir (Şekil 1.11). Bu üçlü yapı, saç telinin yaklaşık %2'sini oluşturur ve kütiküler ile kortikal hücrelerin birleşiminden meydana gelir (Velasco vd., 2009; Colenci, 2017).

Bu birleşim, saç telinin içine maddelerin nüfuz etmesinde önemli bir yolak oluşturur (Chen ve Bhushan, 2005).



Şekil 1. 11 Kütikül ve β---β tabakalı hücre zarı kompleksini gösteren bir saçın SEM görüntüsü

CMC'nin en önemli lipit bileşenlerinden biri olan 18-metileikosanoik asit (18-MEA), saç teline hidrofobik özellik kazandırır. Bu hidrofobik yapı, saçın dış etkilere karşı korunmasında ve saç yüzeyinin kozmetik bileşenlerle etkileşiminde kritik rol oynar. Özellikle silikonlar, yağlar ve polimerler gibi maddeler, bu hidrofobik yüzeylere yüksek afinite gösterir (Bhushan, 2010).

1.2 Saçta Oksidatif Hasar

Saç bakımı, saç rengi ve stili, bireylerin fiziksel görünümünde ve öz algılarında önemli bir rol oynar. Saç; cinsiyet, yaş, cinsel tutum ve sosyal statü gibi birçok kişisel özelliği yansıtan bir göstergedir (Trüeb, 2001). Saç görünümündeki değişiklikler, genel olarak "saç durumu" olarak adlandırılır. Hem içsel (folikül kaynaklı saç tipi) hem de dışsal (uygulanan bakım yöntemleri ve kullanılan kozmetik ürünler) faktörlerin etkisiyle şekillenir (Tablo 1.3) (Trüeb, 2005). Oksidatif stresin cilt görünümüne etkisi geniş çapta araştırılmış olmasına rağmen, saç sağlığı ve saçın genel durumu üzerindeki etkisi görece daha az ele alınmıştır (Trüeb, 2009).

Tablo 1. 3 Saç telinin durumunu etkileyen faktörler (Trüeb, 2005)

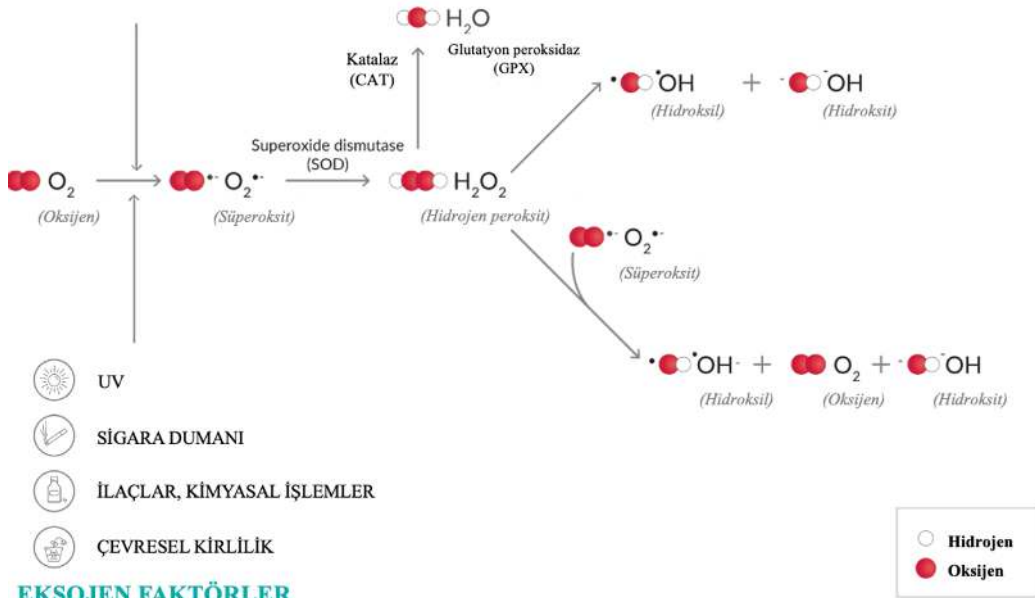
İçsel Faktörler	Dışsal faktörler
Genetik	Saç aşınması
Cinsiyet	Ultraviyole radyasyona (UVR) maruz kalma
Yaş	Saç bakım alışkanlıkları
Genel sağlık durumu	Saç işlemleri (fiziksel, kimyasal)
Beslenme durumu	Saç derisi durumu

Oksidatif stres, reaktif oksijen türlerinin (ROT) sistemik birikimi ile biyolojik sistemin bu reaktif türleri detoksifiye etme ya da neden oldukları hasarı onarma kapasitesi arasındaki dengesizliği ifade eder. 1956 yılında Harman tarafından ortaya atılan Serbest radikal yaşlanma teorisi, organizma ve organların zaman içinde serbest radikal kaynaklı hasarı biriktirmesi sonucu yaşlandığını öne sürmektedir (Harman, 2002). Günümüzde bu teori, saç folikülü dahil olmak üzere yaşlanma sürecinin altında yatan biyolojik mekanizmaları açıklamada en yaygın kabul gören yaklaşımlardan biridir (Arck vd., 2006; Kauser vd., 2011).

Serbest radikaller, eşleşmemiş elektronlara sahip, son derece reaktif moleküllerdir ve hücresel zarlar, lipitler, proteinler ve DNA gibi temel biyomoleküllere doğrudan zarar verebilirler. Bu reaktif oksijen türlerinin (ROT) zararlı etkileri, hem normal metabolik süreçler sırasında endojen olarak hem de çevresel faktörler (UV ışınımı, kirlilik, kimyasal işlemler, sigara dumanı gibi) aracılığıyla eksojen olarak oluşan oksidatif stres yoluyla ortaya çıkar (Şekil 1.12).

ENDOJEN FAKTÖRLER

-  HÜCRESEL METABOLİZMA
-  İNFLAMASYON



Şekil 1. 12 Oksijenden ROT üretiminin basitleştirilmiş mekanizması

Vücut, bu zararlı moleküllere karşı bir dizi endojen savunma mekanizması geliştirmiştir. Bu mekanizmalar; süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon peroksidaz gibi antioksidatif enzimler ile E vitamini, C vitamini, glutatyon ve ubikinon gibi enzimatik olmayan antioksidan molekülleri içerir. Bu savunma sistemleri, serbest radikalleri nötralize ederek hücreleri oksidatif hasardan korumayı amaçlar.

Ancak yaşlanma ile birlikte, serbest radikal üretimi artarken, bu endojen savunma sistemlerinin etkinliği azalır. Ortaya çıkan bu dengesizlik, hücresel yapıların kademeli olarak zarar görmesine ve sonuç olarak yaşlanma fenotipinin ortaya çıkmasına neden olabilir (Trüeb, 2015).

1.2.1 Saç üzerinde etkisi olan oksidatif stres kaynakları

Saç bir dizi doğal ve yapay koşullara maruz kalır. Bunlara kimyasal stres (örneğin perma, boyama, ağartma), fiziksel stres (örneğin fırçalama, ısıtma) ve çevresel stres (örneğin UV ışınları, kirlilik) dahildir (Tate vd., 1993; Ruetsch, 2000). Bu stresler, saçın kütikül katmanlarını zayıflatır; pulcukların kalkmasına, uçların kırılmasına ve saçın mekanik ile morfolojik özelliklerinin bozulmasına neden olarak hasara yol açar (Pande ve Jachowicz, 1993; Kon vd., 1998).

Saç hasarının modern yaşamda var olan iki faktörden kaynaklanmaktadır. Birincil hasar, perma veya boyama gibi kimyasal strestir ve bu işlemlerin saça güçlü hasar vermektedir. İkinci faktör, fırçalama veya güneş ışığına maruz kalma gibi günlük yaşamdaki fiziksel veya çevresel strestir ve bu streslerin birincil hasardan daha hafif olduğu düşünülmektedir. Bu tür hasarlar, geç bir zamanda birikir (Zahn ve Gattner, 1997). Kimyasal stresin yalnızca morfolojik değişikliklere değil, aynı zamanda amino asitler veya lipid bileşimi gibi saçın biyolojik bileşiminde değişikliklere de yol açtığını bildirmiştir (Chao, 1979).

Kimyasal hasarlardan biri olan saç ağartma işlemi, doğal melanin pigmentlerini parçalamak ve kimyasal boyaların oluşumunu başlatmak amacıyla reaktif oksijen türleri (ROT) içeren kimyasal oksidasyon reaksiyonlarına dayanır. Bu işlemlerde en yaygın kullanılan oksitleyici madde, alkali ortamda uygulanan hidrojen peroksittir (pH $\approx$ 10). Daha güçlü açma etkisi elde edebilmek için ise persülfat tuzları, ağartma

tozlarında "hızlandırıcı" (booster) olarak kullanılmaktadır (Robbins, 2002). Ancak oksidatif ağartma işlemi sırasında kullanılan bu sert kimyasal koşullar, yalnızca saçın doğal rengini açmakla kalmaz; aynı zamanda saç yapısında istenmeyen yan reaksiyonlara da yol açar (Oshimura ve Ino, 2005). Alkalileştiriciler ve oksitleyici maddeler, saç kütikülünde kırılabilirlik, lif gözenekliliğinde artış, yüzey pürüzlülüğü, kuruluk, renk ve parlaklık kaybı, sertlik, kırılma, saç ucu çatallaşması gibi çeşitli yapısal ve kozmetik sorunlara neden olabilir.

Bu oksidasyon işlemi seçici değildir; saç yapısını moleküler düzeyde pek çok yönüyle etkiler. Saçta yer alan tiyoster bağları, disülfür köprüleri, alilik hidrojen içeren çift bağlar, amin ve hidroksil grupları, peptit bağları ile bazik gruplar gibi birçok kimyasal yapı oksidasyona karşı hassastır (Levine ve Stadtman, 2001). Bu yapısal unsurların oksidasyonu; protein ve lipidlerin çözünmesine, saç lifinin bütünlüğünün bozulmasına ve nihayetinde genel saç yapısında ciddi hasara yol açar (Robbins, 2002).

Genel olarak, çeşitli stres faktörleri saç telinin moleküler bileşenleri olan proteinler ve lipidlerde fizikokimyasal değişikliklere, özellikle de oksidatif modifikasyonlara yol açar (Mitu, 2004).

1.2.2 Oksidatif hasar tespit yöntemleri

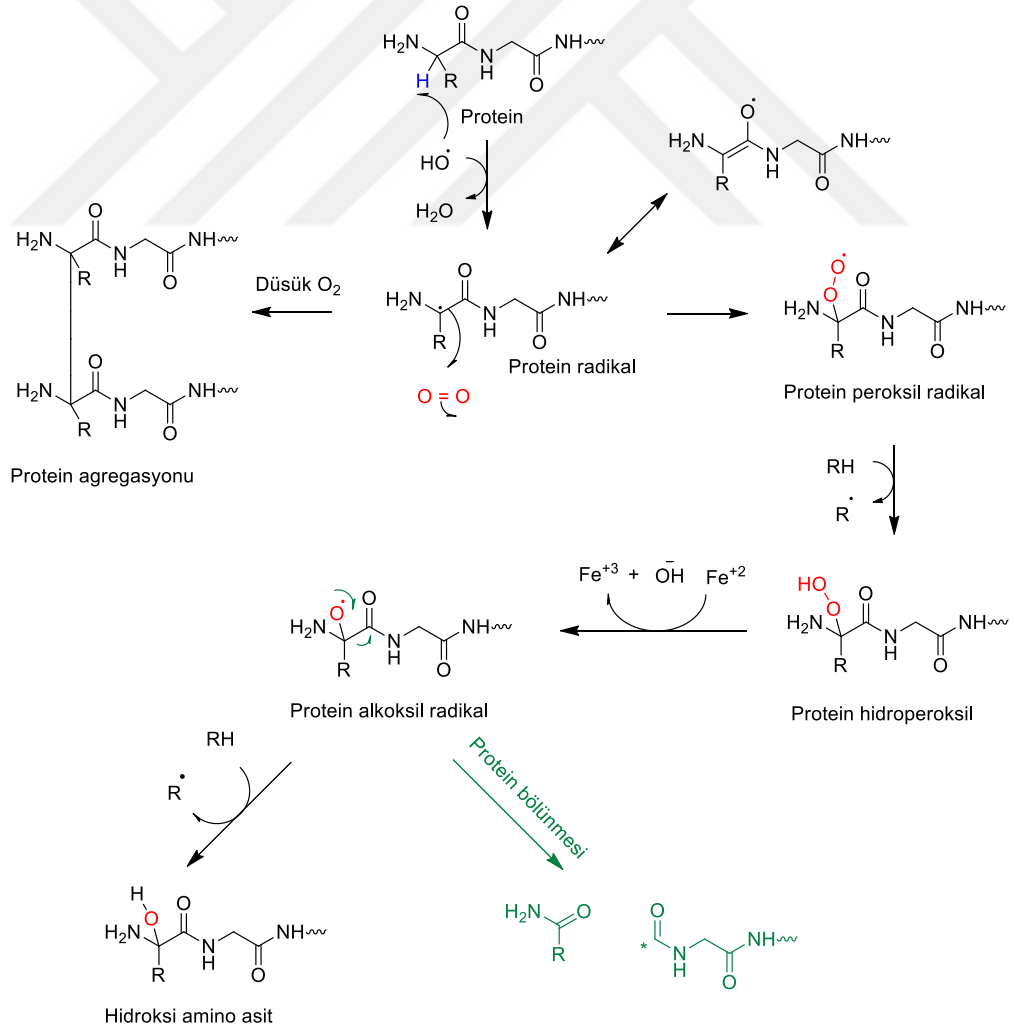
Saçta meydana gelen oksidatif hasarın tespitinde biyolojik belirteçler büyük önem taşımakta olup, bu amaçla çeşitli analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Protein oksidasyonunun değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan biyobelirteçlerden biri, proteine bağlı karbonil gruplarının ölçümüdür (Dalle-Donne vd., 2003). Bunun yanı sıra, lipid peroksidasyonunun bir son ürünü olan malondialdehit (MDA) düzeylerinin ölçümü de oksidatif stresin belirlenmesinde sıkça başvurulan yöntemler arasında yer almaktadır (Trüeb, 2015).

1.2.2.1 Protein karbonilasyonu

Son yıllarda, oksidatif süreçlerin saç hasarında ve saç yaşlanma sürecinde önemli bir rol oynadığına dair artan sayıda kanıt ortaya konmuştur. Oksidatif süreçler yalnızca

düzenleyici olaylara aracılık etmekle kalmaz, aynı zamanda çeşitli zararlı etkileri de tetikler. Bu zararlı etkilerden biri de protein oksidasyonudur (Kandola vd., 2015).

Saçta meydana gelen protein oksidasyonu, reaktif oksijen türleri, ROT ($\cdot\text{OH}$, H_2O_2 gibi) ile doğrudan ya da oksidatif stresin sekonder ürünleri aracılığıyla dolaylı olarak gerçekleşen, saçtaki proteinlerin kovalent modifikasyonu olarak tanımlanır (Şekil 1.13) (Gülbahar, 2007). Serbest radikallerin oksidan etkisiyle ortaya çıkan bu oksidatif protein modifikasyonu sonucunda, saç yapısında bulunan keratin gibi temel proteinlerin yapısı bozulur. Oksitlenmiş proteinlerin saçta birikmesi, saç telinde zayıflamaya, elastikiyet kaybına, matlaşmaya ve kırılabilirliğin artmasına yol açabilir. Bu durum hem saç sağlığının bozulmasına hem de zamanla saçın yaşlanmasına neden olur (Stadtman, 1992, Dean vd., 1997).



Şekil 1. 13 Protein oksidasyonu mekanizması (Juan vd., 2021)

Oksidatif olarak hasar görmüş (karbonillenmiş) proteinler, oksidatif stresin ve hücrel ve organizma yaşlanmasının bir özelliğidir. Bu birikim hem hücrel metabolizmadan hem de dış faktörlerden (UV ışınımı, sigara dumanı) kaynaklanan reaktif oksijen türlerinin (ROT) ve diğer toksik bileşiklerin artan üretiminin ve yaşla birlikte protein bakım sistemlerinin (yani bozulma ve onarım) başarısızlığının birleşik sonucu olarak görülmüştür. Protein karbonillenmesi özellikle zararlıdır çünkü ortaya çıkan hasarlar karbonillenmiş proteinleri etkisiz hale getirebilir ve hücrel işlevsel anormalliklere yol açabilir (Suzuki vd., 2010; Baraibar vd., 2013).

Bu değişikliklerin analizinde SDS-PAGE (Sodyum Dodesil Sülfat Poliakrilamid Jel Elektroforezi) tekniği, karbonillenmiş proteinlerin ayrıştırılması ve band desenlerinin karşılaştırılması açısından etkili bir yöntemdir. SDS-PAGE, moleküler ağırlığa dayalı olarak proteinleri ayırır; karbonilasyon sonucunda proteinlerde konformasyonel değişiklikler meydana geldiğinden, bu değişiklikler jel üzerinde band yoğunluğu, pozisyonu ya da netliği ile kendini gösterebilir. Özellikle saç keratini gibi yapısal proteinlerde, oksidatif stres sonucu oluşan karbonilasyon, protein bantlarının zayıflaması ya da tamamen kaybolması şeklinde gözlemlenebilir (Suzuki et al., 2010; Shacter, 2000).

Protein karbonilleri, geri döndürülemez protein modifikasyonlarının bir formunu temsil eder ve lipit peroksidasyon ürünlerinin aksine, dakikalar içinde ortadan kaldırılmak yerine saatler veya günler boyunca yapısal olarak stabil kalabilir (Grosjacques vd., 2025). Ayrıca, protein karbonilleri oksidatif stres koşullarında erken evrede oluşur ve spesifik bir oksidanla sınırlı olmaksızın meydana geldikleri için, genel protein oksidasyonunun güvenilir bir biyobelirteci olarak kabul edilirler (Cavagnino vd., 2022).

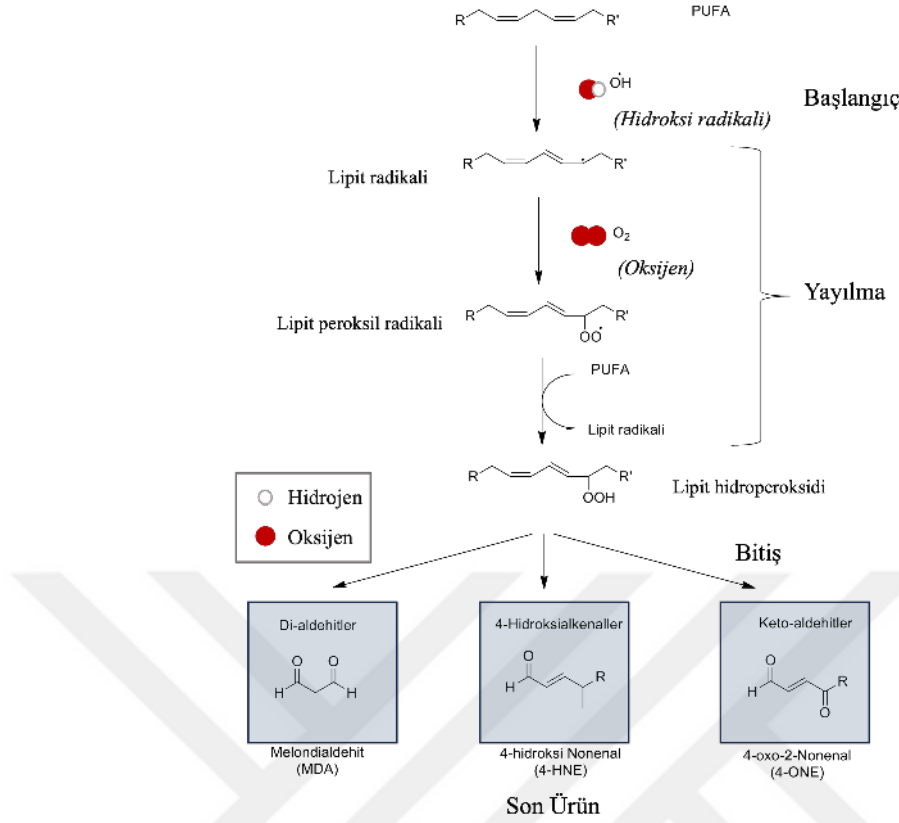
Protein karbonillenmesi, doğrudan ROT tarafından veya 4-hidroksi-2-nonenal (4-HNE) ve malondialdehit (MDA) gibi reaktif aldehytler gibi oksidatif stresin ikincil ürünleriyle reaksiyonlar yoluyla dolaylı olarak indüklenir. Bu aldehytler, membran lipitlerinin çoklu doymamış yağ asitlerinin peroksidasyonu ile üretilir (Catalá, 2009).

1.2.2.2 Lipit peroksidasyonu

Lipit peroksidasyonu, enzimatik kontrol altında veya kontrolsüz biyolojik sistemlerde doğal olarak gerçekleşen, serbest radikallerle ilişkili karmaşık bir süreçtir. Bu süreçte oluşan ürünler genellikle lipit peroksitler olarak adlandırılır. Lipit peroksidasyonu, üç temel aşamadan oluşan bir serbest radikal zincir reaksiyonu şeklinde ilerler: başlangıç, yayılma ve bitiş (Xiu vd., 2022).

Başlangıç aşamasında hidroksi radikali, çoklu doymamış yağ asitlerinin (PUFA) alilik karbon bölgelerine saldırarak oksidasyon sürecini başlatabilir. Bu etkileşim sonucunda bir lipit radikali ($L\bullet$) oluşur. Oluşan bu lipit radikali, yayılma aşamasında moleküler oksijen (O_2) ile reaksiyona girerek peroksil radikali ($LOO\bullet$) üretir. Bu radikal, zincirleme bir reaksiyon başlatarak, bir başka çoklu doymamış yağ asidinden hidrojen atomu koparır ve böylece yeni bir lipit radikali ($L\bullet$) ile birlikte hidroperoksit ($LOOH$) veya benzeri oksitlenmiş ürünlerin oluşmasına neden olur.

Bu süreç, serbest radikal zincir reaksiyonlarının karakteristik bir örneği olup, oksidatif hasarın ilerlemesinde kritik rol oynar (Gahalain vd., 2011; Hassan vd., 2020). Bitiş aşamasında ise iki serbest radikal birleşerek radikal olmayan kararlı bir ürün meydana getirir ve zincir reaksiyonu son bulur. Bu mekanizma, hücrel yapılar zarar verebilecek lipit oksidasyon ürünlerinin oluşumuna neden olarak oksidatif stresle ilişkili pek çok biyolojik sürece katkıda bulunur (Şekil 1.14) (Xiu vd., 2022).



Şekil 1. 14 Lipit peroksidasyon yollarının ve başlıca son ürünlerinin şematik diyagramı

Lipit peroksidasyonunun bazı son ürünleri kararsız yapıda olup, saç hücrelerindeki proteinler veya DNA ile reaksiyona girerek ek toksisite oluşturabilir. Lipit peroksitlerin bozunma ürünlerinden biri olan aldehytler, proteinler ve DNA ile etkileşime geçerek saç foliküllerinde yapısal ve işlevsel bozulmalara neden olabilir. Bu durum, saç dökülmesi, saçın erken yaşlanması ve saç sağlığının bozulmasında önemli bir rol oynar (Ramana. vd., 2019). Ayrıca bu son ürünleri bertaraf edecek mekanizmaları olmadığından, lipit peroksidasyonunun geri döndürülemez olduğu düşünülmektedir (Milei vd., 2007).

Lipit peroksidasyon sonucu oluşan ve düşük moleküler ağırlığa sahip malondialdehit (MDA), serbest aldehit formunda veya tiyobarbitürik asit (TBA) ile oluşturduğu türev şeklinde kantifiye edilebilir. Saç dokusunda meydana gelen oksidatif hasarın belirlenmesinde, MDA düzeylerinin ölçülmesi lipit peroksidasyonunun bir göstergesi olarak kullanılır. TBA testi ise, saç hücrelerinde oluşan lipit peroksidasyonunun şiddetini değerlendirmek için MDA miktarını ölçmeye yönelik yaygın bir yöntemdir. Bu analiz, özellikle saç foliküllerinde serbest radikal kaynaklı hasarın tespiti ve

antioksidan tedavilerin etkinliğinin izlenmesi açısından önem taşır (Svobodov vd., 2007).

1.2.2.3 Sistein salınımı

Sa telinde yer alan disülfit bağları ($-S-S-$), keratin protein zincirlerini çapraz bağlayarak saçın yapısal bütünlüğünü ve mekanik dayanıklılığını sağlayan en önemli kimyasal bağlardandır. Bu bağlar, özellikle sistein adlı amino asitin iki molekülünün oksidatif birleşmesiyle oluşan sistin yapılarına dayanmaktadır. Disülfit bağlarının kırılması, saçın protein yapısında çözülmelere, elastikiyet kaybına ve sonuç olarak yapısal zayıflamaya neden olur. Bu bağların kimyasal işlemler veya oksidatif stres ile yıkılması sonucu, sa telinden serbest sistein salınır ve bu salınım, saçın maruz kaldığı hasarın doğrudan bir biyokimyasal göstergesi olarak değerlendirilebilir (Robbins, 2012).

Serbest sistein tayini, özellikle sa ağartma gibi yüksek oksidatif potansiyele sahip işlemler sonrasında disülfit bağlarının parçalanma derecesini saptamak için yaygın şekilde kullanılan kantitatif bir analizdir. Hidrojen peroksit ve persülfat içeren ağartma ajanları, sa telindeki $-S-S-$ bağlarını kırarak tiol ($-SH$) gruplarının açığa çıkmasına neden olur. Bu süreçte ortaya çıkan serbest sistein miktarı, sa telinde meydana gelen kükürt içeren yapıların kaybı ile doğru orantılıdır ve bu yönüyle sa hasarının kantitatif ölçümünde güvenilir bir biyomarker olarak kullanılır (Shin vd., 2013; Choi vd., 2021).

Yüksek düzeyde serbest sistein salınımı, disülfit bağlarının büyük oranda bozulduğunu ve keratin yapıdaki oksidatif hasarın ilerlediğini gösterir (Bhushan, 2010; Yoon et al., 2015). Ayrıca, serbest sistein belirteç olarak sadece sa yapısındaki disülfit bağlarının kırılmasını göstermekle kalmaz, aynı zamanda sa telinde serbest radikal kaynaklı oksidasyonun ilerlediği bölgeleri de dolaylı olarak temsil eder. Çünkü oksidatif stres altında tiyol grupları, oksitlenmeye en yatkın kimyasal gruplar arasında yer alır (Treb, 2009). Bu nedenle, serbest sistein tayini, hem disülfit bağ yıkımını hem de oksidatif süreçlerin ilerleme derecesini temsil eden çift yönlü bir gösterge niteliğindedir.

1.3 Oksidatif Stres Kimyasında Antioksidanların Rolü

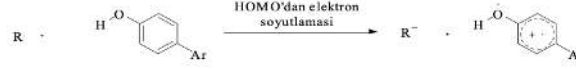
Oksidatif hasara neden olan serbest radikaller, biyolojik sistemlerdeki en sık görülen oksidanlardır. Serbest radikaller, değerlik kabuğunda veya dış yörüngede bir veya daha fazla eşleşmemiş elektrona sahip moleküller, iyonlar veya atomlardır. Bu eşleşmemiş elektronlar, serbest radikalleri kararsız, kısa ömürlü ve son derece reaktif hale getirir. Serbest radikaller, bu kararsız durumlarını stabilize etmek amacıyla çevrelerinden elektron elde etmeye çalışırlar. Elektron kazanımı sırasında, genellikle hedef molekülün yapısı bozulur ve yeni bir serbest radikal oluşur. Bu durum, zincirleme reaksiyonların başlamasına neden olarak hücresel yapılar üzerinde yaygın oksidatif hasara yol açabilir (Hassanpour ve Doroudi, 2023).

Antioksidanlar, düşük konsantrasyonlarda bile oksidasyon süreçlerini engelleyebilen bileşiklerdir ve bu nedenle vücutta çeşitli fizyolojik işlevlere sahiptir. Serbest radikallerle reaksiyona girerek onları daha az reaktif, daha az zararlı ve daha uzun ömürlü bileşiklere dönüştürürler; bu sayede serbest radikal temizleyicileri olarak görev yaparlar (Pokorný, 2007). Antioksidanlar, serbest radikalleri etkisiz hale getirmek için elektron vererek ya da alarak radikalın eşleşmemiş elektron durumunu ortadan kaldırırlar (Lü vd., 2010). Ayrıca, antioksidanlar; basit moleküllerden polimerlere ve karmaşık biyolojik sistemlere kadar çeşitli maddelerin oksijen aracılı oksidasyonunu engelleyebilen bileşikler olarak tanımlanabilir (Bagchi ve Puri, 1998). Şekil 1.15'te antioksidan aktivitesinin etki mekanizması gösterilmektedir.

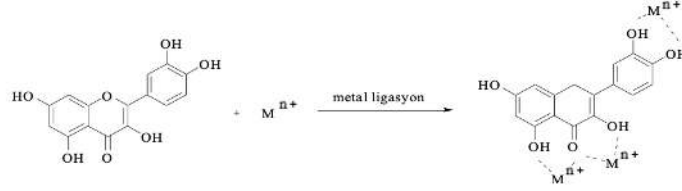
1. Hidrojen Atom Transferi



2. Tek Elektron Transferi



2. Geçiş Metalleri Şelasyonları



Şekil 1. 15 Antioksidan aktivitesinin mekanizması (Leopoldini, 2011; Hassanpour ve Doroudi, 2023)

Antioksidanlar genel olarak iki grupta sınıflandırılır: sentetik ve doğal antioksidanlar. Sentetik antioksidanlar, daha düşük maliyetli olmaları, kolay erişilebilirlikleri, yüksek etkinlik ve stabilite göstermeleri nedeniyle II. Dünya Savaşı'ndan sonra doğal antioksidanlara alternatif olarak yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Halliwell ve Gutteridge, 1995).

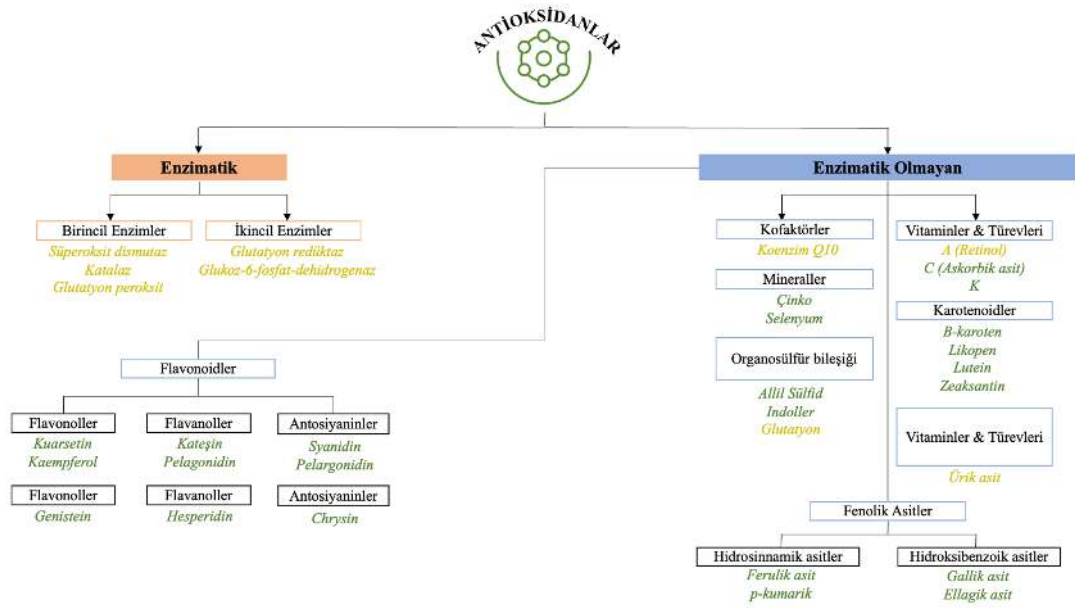
1.3.1 Doğal antioksidanlar

Bir bileşiğin antioksidan olarak kabul edilebilmesi için, serbest radikali temizledikten sonra molekül içi hidrojen bağları aracılığıyla daha kararlı bir yapıya sahip yeni bir radikal oluşturabilmesi gerekir (Halliwell, 1990). İnsan evrimi boyunca, serbest radikaller ve oksidatif stres arasındaki dengeyi sağlamak amacıyla endojen savunma sistemleri zamanla gelişmiştir.

Antioksidanlar, serbest lipid radikallerinin oluşumunu engelleyerek oksidatif reaksiyonları önleyen inhibitörler olarak, otooksidasyon zincir reaksiyonlarının yayılmasını durdurarak zincir kırıcı bileşikler olarak, singlet oksijenleri etkisiz hale getirerek söndürücü işlev görerek, diğer antioksidanlarla sinerji oluşturarak, hidroperoksitleri daha kararlı bileşiklere dönüştüren indirgeme ajanları olarak, demir ve bakır gibi pro-oksidatif metalleri bağlayarak metal şelatlayıcı olarak ve lipooksigenaz gibi pro-oksidatif enzimleri inhibe ederek etki gösterebilirler

(Darmanyan vd., 1998; Heim vd., 2002; Min ve Boff, 2002; Pokorný, 2007; Kancheva, 2009).

İnsan vücudundaki antioksidan sistemler iki ana gruba ayrılır: enzimatik antioksidanlar ve enzimatik olmayan antioksidanlar (Şekil 1.16). Enzimatik antioksidanlar kendi içinde birincil ve ikincil savunma sistemleri olarak sınıflandırılır. Birincil enzimatik savunma sistemi üç temel enzimden oluşur. Glutasyon peroksidaz, peroksitleri selenoller aracılığıyla azaltarak onları etkisiz hale getirir. Katalaz, hidrojen peroksidi suya ve oksijene dönüştürür. Oldukça yüksek hızda çalışarak tek bir molekülle milyarlarca hidrojen peroksit molekülünü dönüştürebilir. Süperoksit dismutaz ise, süperoksit anyonlarını hidrojen peroksite dönüştürerek katalazın etkisini destekler (Rahman, 2007).



Şekil 1. 16 Sınıflara ayrılmış doğal antioksidanlar. Yeşil kelimeler ekzojen antioksidanları temsil ederken, sarı olanlar endojen antioksidanları temsil eder (Goodman vd., 2011).

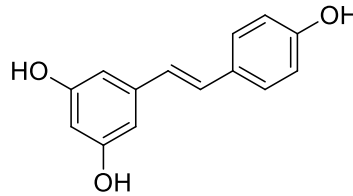
İkincil enzimatik savunma sisteminde glutasyon redüktaz ve glukoz-6-fosfat dehidrogenaz yer alır. Glutasyon redüktaz, oksitlenmiş glutasyonu tekrar indirgenmiş forma dönüştürerek antioksidan savunmayı sürdürür. Glukoz-6-fosfat dehidrogenaz ise NADPH üretimini sağlayarak hücre içinde indirgen bir ortam oluşturur (Gamble ve Burke, 1984; Ratnam vd., 2006). Bu enzimler doğrudan serbest radikalleri nötralize

etmez, ancak endojen antioksidanların etkinliğini artırarak savunma sistemine destek olur.

Enzimatik olmayan endojen antioksidanlar ise oldukça çeşitlidir. Bunlar arasında A vitamini gibi vitaminler, koenzim Q10 gibi enzim kofaktörleri, ürik asit gibi azotlu bileşikler ve glutatyon gibi peptitler yer almaktadır.

Resveratrol, son yıllarda yoğun bilimsel araştırmaların odağı haline gelmiştir. Yapılan çalışmalar, resveratrolün son derece güçlü bir antioksidan olduğunu, sinyal iletim yolları aracılığıyla genetik ifadeyi modüle edebildiğini, inflamatuvar medyatörleri inhibe ettiğini ve fito-hormonal etkiler de dahil olmak üzere çeşitli biyolojik etkilere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Biyolojik aktiviteleri ile kozmetik alandaki etkilerinin bu benzersiz kombinasyonu, resveratrolü koruma, onarım ve yaşlanma karşıtı kozmetik ürünlerde umut vadeden bir ajan haline getirmektedir. Bir dizi saç uygulaması için önemli derecede ilgi görmektedir (Casanova ve Santos, 2016).

Resveratrol, doğal olarak oluşan bir polifenol bileşiğidir ve kırmızı üzüm, yaban mersini ve kızılcık kabuklarında bulunur (Boyer vd., 2012). Resveratrol, lipid peroksidasyonunu güçlü şekilde inhibe etme kapasitesine sahiptir. Ayrıca, peroksil radikallerine karşı etkili bir temizleyici olarak rapor edilmiştir (Miura vd., 2000). Özellikle B halkasındaki hidroksil grubunun (Şekil 1.17), reaktif oksijen türlerinin üretiminin inhibisyonunda ve lipid/protein oksidasyonuna karşı korumada önemli rol oynadığı belirtilmiştir (Olas ve Wachowicz, 2005).

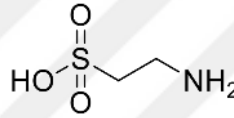


Şekil 1. 17 Resveratrolün kimyasal yapısı

Taurin (2-aminoetansülfonik asit), metiyonin ve sistein metabolizması sonucu sentezlenen, doğal olarak oluşan bir β -amino asittir. Klasik amino asitlerden farklı olarak, taurin yapısında karboksilik asit ($-\text{COOH}$) yerine sülfonik asit ($-\text{SO}_3\text{H}$) grubu

bulunur (Şekil 1.18). İnsan vücudunda taurin, pek çok hücre tipinde en yüksek konsantrasyonda bulunan serbest amino asitlerden biridir. Ancak, memelilerin taurin sentezleme kapasitesi sınırlı olduğundan, diyet yoluyla alınması, vücuttaki taurin düzeylerinin korunmasında hayati bir rol oynamaktadır (Collin vd., 2006).

Evrimsel süreçte en ilkel yaşam formlarından günümüze kadar korunmuş olan taurin, organizmada çok çeşitli fizyolojik süreçlerde görev almaktadır. Bu süreçler arasında en önemlilerinden biri antioksidatif savunmadır. Taurin, reaktif oksijen türlerinin (ROT) nötralize edilmesinde doğrudan ve dolaylı yollarla rol alarak hücresel düzeyde oksidatif stresin azaltılmasına katkı sağlar.



Şekil 1. 18 Taurinin kimyasal yapısı

1.3.2 Sentetik antioksidanlar

Doğal antioksidanlarla karşılaştırılabilir ve kozmetik ürünlere entegre edilebilecek standart bir antioksidan aktivite ölçüm sistemi oluşturma ihtiyacı, sentetik antioksidanların geliştirilmesine yol açmıştır. Bu saf bileşikler, çeşitli işlem ve çevresel koşullara dayanıklılık göstermeleri ve ürünlerin raf ömrünü uzatmaları amacıyla formülasyonlara eklenir. Bu bileşiklerin esas olarak kozmetik ürünlerdeki oksidasyonu, özellikle de yağ asitlerinin oksidasyonunu önlemeye odaklandığını göstermektedir.

Günümüzde, neredeyse tüm kozmetik ürünlere güvenli olduğu bildirilen sentetik antioksidanlar ilave edilmektedir. Ancak bazı bilimsel çalışmalar, bu bileşiklerin potansiyel olumsuz etkilerine de dikkat çekmektedir. BHT (bütillenmiş hidroksitoluen) ve BHA (bütillenmiş hidroksianisol), en sık kullanılan kimyasal antioksidanlar arasında yer almaktadır (Jee vd., 2011).

1.4 Sa Kozmetik Ürünleri

Kozmetik ürünler, dünyanın dört bir yanında her gün binlerce kişi tarafından kullanılmakta ve bu ürünlerin kullanımı, bireylerin günlük rutinlerinin önemli bir parçası haline gelmektedir. İnsanlar, öz saygılarını artırmak, vücudun farklı bölgelerini temizlemek, yaşlanma sürecini yavaşlatmak, güzelliği desteklemek ve cilt ile sağı kimyasal bileşikler, ultraviyole ışınlar, hava kirliliği ve diğer çevresel faktörlerin neden olduğu zararlardan korumak amacıyla kozmetik ürünlere başvurmaktadır (Mitsui, 1997; Bouillon, 2005).

Kozmetik ürünler, kullanım amacına göre dekoratif kozmetikler, cilt bakımı, ağız bakımı, güneş koruyucular ve parfümler gibi kategorilere ayrılmaktadır. Sağı kozmetik ürünleri ise; şampuanlar, sağı kremleri, renklendiriciler, ağartıcılar ile geçici veya kalıcı dalga verme ve düzleştirme işlemleri için kullanılan sağı şekillendirici preparatları kapsamaktadır (Mitsui, 1997).

Sağı kozmetiklerinin güvenliği ve çevresel etkileri konusundaki farkındalık artmış olsa da, pek çok formülasyon hâlâ hem insan sağlığı hem de çevre için toksik ve tehlikeli kimyasallar içermektedir. Özellikle sağı boyama, ağartma ve şekillendirme (düzleştirme, kıvrırma) işlemlerinde kullanılan bazı kozmetik bileşenler; uzun süreli maruziyet sonucunda alerjik reaksiyonlar, cilt hassasiyeti, tahriş ve sağı dökülmesi gibi olumsuz etkilere yol açabilmektedir (Goossens, 2011).

Ayrıca, sağı boyama, ağartma ve düzleştirme işlemlerinde kullanılan kozmetik bileşenlerin kanser riskini artırabileceği de çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur. Örneğin, Gago-Dominguez ve arkadaşları (2001), kalıcı boya kullanan kadınlarda mesane kanseri riskinde artış olduğunu rapor ederken (Ahmed vd., 2013); Eberle ve arkadaşları (2019), sağı düzleştirici veya kalıcı boya içeren kozmetik bileşenlerin kullanımının meme kanseri riskiyle ilişkili olabileceğini bildirmiştir (Eberle vd., 2019).

Giderek artan çevresel farkındalık ve daha doğal bir yaşam tarzına yöneliş, sağı kozmetiklerinde doğal bileşiklerin kullanımına yönelik araştırmaları teşvik etmektedir. Bu doğrultuda geliştirilen yeni bileşiklerin, mevcut sentetik organik

içeriklerin yerini alması hedeflenmektedir. Bu nedenle, evre dostu yeni sa formülasyonlarının tasarımı ve üretimi, zararlı kozmetik bileşenlerin etkilerini azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak açısından önemli bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Özellikle son yıllarda, doğal antioksidanlar evre dostu ürün kategorisinde umut vadeden bileşenler olarak araştırlılmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, sa telinde meydana gelen oksidatif stres kaynaklı protein hasarlarını moleküler düzeyde incelemek ve bu hasarı azaltmaya yönelik potansiyel aktif bileşenlerin koruyucu etkilerini değerlendirmektir. Sa, evresel kirleticiler, UV ışını, ağır metaller ve kimyasal işlemler gibi birçok dış etkenin neden olduğu oksidatif strese maruz kalarak yapısal bütünlüğünü kaybedebilir. Bu süreçte özellikle saçın temel yapı taşı olan proteinlerde karbonilasyon gibi geri dönüşümsüz oksidatif modifikasyonlar meydana gelmektedir. Bu çalışmada, sa hasarının biyokimyasal temelleri araştırlılmış, resveratrol ve taurin gibi antioksidan özelliği bilinen bileşiklerin oksidatif sa hasarına karşı koruyuculuğu test edilerek saç bakım ürünlerinde kullanılabilecek etkili bileşenlerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, saçta meydana gelen oksidatif hasar ve bu alanda yapılmış önceki bilimsel çalışmalar ele alınmıştır. Literatürdeki bulgular, oksidatif stresin saç yapısı üzerindeki etkilerini anlamak açısından temel bir çerçeve sunmaktadır.

Sandhu ve Robbins (1993), saç yüzeyindeki hasarı değerlendirmek için basit ancak hassas bir teknik tanımlamışlardır. Bu teknikle, saçta ağartma, perma işlemleri ile işlem görme ve çeşitli yüzey aktif maddelerle uzun süreli işlem sonucu meydana gelen hasarlar arasında anlamlı farklar ortaya konmuştur. Ayrıca, korteksi açığa çıkmış saçların, yüzey aktif maddeler ve/veya su nedeniyle protein kaybına, kütikülünün sağlam saçlara göre daha duyarlı olduğu belirlenmiştir.

Tate vd. (1993), oksidatif ve redüktif işlemlerin saçta oluşturduğu birincil kimyasal hasarı değerlendirmek amacıyla çeşitli yöntemlerin geliştirildiğini bildirmişlerdir. Bu işlemleri takiben gerçekleştirilen bakım uygulamalarının (tarama, şampuanlama ve saç kremi kullanımı) hasar üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Saç yüzeyindeki değişikliklerin değerlendirilmesinde mikroföörometri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Wilhelmy denge ıslanabilirliği gibi yüzey analiz yöntemlerinin kullanıldığı belirtilmiştir. Yapısal düzeydeki zarar ise boya difüzyonu, amino asit kompozisyonu, mekanik özellikler ve yorgunluk davranışı gibi parametreler üzerinden analiz edilmiştir.

Takada vd. (2003), saç hasarını yalnızca kimyasal stresle değil, aynı zamanda fiziksel ve çevresel stresle de ilişkilendirmek amacıyla bir saç hasar modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde, saç morfolojisindeki değişiklikler (örneğin, kütikül tabakalarının azalması, pul kalkması, saç şişmesi) gözlemlenmiş ve saç kompozisyonundaki değişiklikler (örneğin, sisteik asit, protein elüsyonu, melanin granülleri) analiz edilmiştir. Kimyasal stresler olarak perma ve ağartma gibi oksidatif ve indirgen tedaviler uygulanmış, fiziksel ve çevresel stresler ise ultraviyole ışını (UV), tarama, kurutma ve ısıtma gibi faktörlerle modellenmiştir. Bu faktörlerin günlük yaşamda saç hasarına yol açtığı düşünülmektedir. Yapılan gözlemlere göre, kütikül tabakalarının açılması ve bu fenomenin fiziksel ve çevresel stresin miktarına bağlı olarak ilerlemesi saptanmıştır. Ayrıca, soyulmuş kütiküllerin ve kütiküllerdeki sisteik asit miktarının,

fiziksel ve çevresel tedavilerin ilerlemesiyle arttığı, bu eğilimin güçlü kimyasal tedavilerle daha belirgin hale geldiği bulunmuştur. Bu model sayesinde, yalnızca kimyasal değil, günlük yaşamda karşılaşılan fiziksel ve çevresel streslerin de saç hasarına yol açtığı ve bu etkilerin kimyasal tedavi derecesine bağlı olarak arttığı gösterilmiştir. Bu eğilim, özellikle kütikül tabakalarında korteks ve medullaya kıyasla daha belirgin olmuştur.

Yamauchi vd. (2007), kalıcı perma tedavisinin saç üzerindeki etkisi, enzimatik bir yöntemle değerlendirilmiştir. Morfolojik olarak, işlenmemiş saç ile perma yapılmış saç arasında gözle görülür bir fark bulunmamış, ancak proteaz tedavisi sonrasında perma yapılmış saçın bozulması hızlanmış ve işlenmemiş saç ile perma yapılmış saç arasındaki fark belirginleşmiştir. Saç hasarı ile bozulma derecesi arasında yüksek bir korelasyon bulunmuş, bozulma ilerledikçe, dış yüzeyden iç saç lifiye doğru bir ilerleme gözlemlenmiştir.

Kim (2011), prosyanidin oligomerlerinin oksidatif stres ile indüklenen saç hasarına karşı koruyucu etkisini araştırmıştır. Ağartılmış saç örnekleri üzerinde gerçekleştirilen elektroforez, geçirimli elektron mikroskobu (TEM) ve floresan boya analizleri, prosyanidin oligomerlerinin saç keratini ile güçlü şekilde bağlandığını ve oksidatif strese bağlı saç yıkımını anlamlı şekilde engellediğini ortaya koymuştur. Elde edilen veriler ile, prosyanidin oligomerlerinin saç bakım ürünlerinde oksidatif saç hasarına karşı koruyucu aktif bileşen olarak değerlendirilebileceğini ve bu amaçla geliştirilecek formülasyonlarda potansiyel bir aday olduğunu bildirmiştir.

Tubia vd. (2020), su kirliliğinin saç proteinlerinin yapısı üzerindeki olumsuz etkilerini ve biyomimetik bir ekzosakkarit (EPS) türevli aktif kozmetik bileşenin koruyucu potansiyelini belgeleyen yeni bir *ex vivo* model tanımlamışlardır. Ağır metallerin saçın iç yapısı üzerindeki zararlı etkileri ve EPS'nin koruyucu etkisi, keratin çift kırılmasının ölçülmesiyle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kirli suya tekrarlı maruziyetle birlikte saçta kurşun, kadmiyum ve bakır birikiminin arttığını göstermiştir. Aynı zamanda, keratin yapısında bozulmalar meydana gelmiştir. Ancak test edilen EPS'nin varlığında ağır metal kaynaklı keratin lifi hasarı önlenemediği ve parlaklık kaybı, dayanıklılık azalması gibi ciddi saç sorunlarının önüne geçilemediği bildirilmiştir.

Masaki vd. (2021), hidrofobikliği değerlendirmek için 1-anilinonaftalin-8-sülfonik asit (1,8-ANS) floresansını kullanarak, bu yöntemin suya (H₂O) karşı temas açıları ile geçerliliğini inceledi. H₂O₂ ile ağartılan veya akrolein ile karbonile edilen saçlar üzerinde 1,8-ANS floresansından, temas açılarından ve fonksiyonel gruplarda (aldehitler, NH₂, COOH, SH) değişikliklerden ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile, aldehitler tarafından tetiklenen protein karbonilasyonunun saç yüzeyindeki hidrofobikliği azalttığını ve ağartmaya benzer şekilde daha fazla hasara yol açtığını bildirmişlerdir.

Cavagnino vd. (2022), saç tellerinin kentsel kirleticilere ve UV ışınlarına maruz bırakıldığı *ex vivo* deneysel modeller geliştirilmiştir. Saç tellerinde oksidatif olarak hasar görmüş (karbonilleşmiş) proteinlerin kantitatif analizi için hedefli proteomik yaklaşımlar optimize edilmiştir. Saç tellerinin partikül madde ve UV-A radyasyonuna maruz bırakılmasıyla, saçın kütikül ve korteks proteinlerinde karbonilasyonun, doz bağımlı olarak önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Keratinler ve keratinle ilişkili proteinlerde artan protein karbonilasyonu, saç telinin yapısal bütünlüğünün kaybına yol açmıştır. Kentsel kirleticilere maruz kalma sonucu protein oksidasyonunun, saç kütikülünde yapısal hasara ve artan geçirgenliğe neden olduğu bulunmuştur. Ancak, antioksidan bileşiklerin varlığında protein karbonilasyonunun engellendiğini bulgulamışlardır.

Hirai vd. (2024), keratin yapısında yalnızca disülfid bağlarının değil, aynı zamanda polisülfid bağlarının (R-SS_nH veya R-SS_n-R') da bulunduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmada, insan saçında polisülfid dağılımı ve bu yapıların ısı şoku ve ultraviyole (UV) ışınım gibi çeşitli oksidatif stres faktörlerine verdiği tepkiler araştırılmış; oksidatif stresin saçtaki polisülfid düzeylerini azalttığı ve buna bağlı olarak saçın antioksidan kapasitesinde kayıp yaşandığı bildirilmiştir. Ayrıca, sülfür takviyesinin saçın mekanik dayanıklılığı ve kütikül yapısı üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu gösterilmiştir. Bu bulgular, saç keratininde bulunan polisülfid yapıların hem oksidatif strese karşı koruyucu rol üstlendiğini hem de saç bütünlüğünü ve homeostazını korumada kritik işlevler taşıdığını ortaya koymuştur.

Grosjacques vd. (2025), insan saçında kimyasal ve fotokimyasal (UV) oksidasyon düzeylerinin izlenmesine yönelik bir çalışma yaparak, moleküler belirteçler olan sisteik asit ve protein karbonilasyonunun karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada, kimyasal oksidasyon için farklı yoğunluklarda saç boyama ve açma işlemleri uygulanırken; fotokimyasal oksidasyon için farklı doğal saç renkleri kademeli olarak UV ışınına maruz bırakılmıştır. Moleküler düzeyde meydana gelen değişimlerin, sisteik asit miktarı ve protein karbonilasyonu ölçümleriyle değerlendirildiği; fiziksel özelliklerin ise diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve çekme dayanımı testleri ile incelendiği belirtilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, her iki belirtecin de oksidasyon seviyeleriyle paralel olarak arttığı ve aralarında yüksek düzeyde bir ilişki olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, artan oksidasyonun saç lifi fiziksel özelliklerinde azalmaya neden olduğu ve bu etkinin açık renkli saçlarda daha belirgin şekilde gözlemlendiği ifade edilmiştir. *In situ* görüntüleme ile karbonilasyon hasarının özellikle kütikülde yoğunlaştığı ve kortekse doğru kademeli olarak ilerlediği ortaya konulmuştur.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Malzeme

3.1.1 Saç örneklerinin toplanması

Saç örnekleri, 2024-2025 yılları aralığında, 20-40 yaşı aralığında, sağlıklı saçlara sahip ve yerel kuaför salonlarından önceden bilgilendirilmiş onay alınan gönüllülerden toplandı. Toplanan saç örnekleri analiz için steril torbalarda saklandı.

3.1.2 Kullanılan cihazlar

- › Hassas terazi
- › Mekanik karıştırıcı
- › Manyetik karıştırıcı
- › Isıtıcı
- › Vorteks
- › Mikropipetler
- › Çalkalayıcı su banyosu
- › Santrifüj cihazı
- › Spektrofotometre
- › SEM
- › pH metre
- › Rotary evaporatörü
- › Soxhlet
- › SDS-PAGE elektroforezi
- › Buzdolabı

3.2 Yöntem

3.2.1 Resveratrol ve taurinin DPPH (1,1-difenil-2-pikril-hidrazil) radikal söndürme aktivitesi

Resveratrol ve taurinin antioksidan kapasitesi, 1,1-difenil-2-pikril-hidrazil (DPPH) yöntemi ile ölçüldü. 50 mL %96'lık etanol içerisinde 0.1 mM DPPH çözeltisi hazırlandı. Bu çözeltinin 1 mL'si, farklı konsantrasyonlardaki (1–100 μ M ve 1–100

mM) çözücü sistemi içine, stok çözeltisi 10 mg/mL olacak şekilde hazırlanan resveratrol ve taurin ile karıştırıldı. 20 dakikalık inkübasyon süresinin ardından absorbans 517 nm'de ölçüldü. Radikal söndürme aktivitesi aşağıdaki şekilde hesaplandı: ,

$$\% \text{İnhibisyon} = \frac{(A_c - A_s)}{A_c} * 100 \quad (3.1)$$

Burada “ A_c ” kontrolün absorbansıdır ve “ A_s ” ise numunenin absorbansıdır. Standart antioksidan olarak butilhidroksianizol (BHA) ve butilhidroksitaluen (BHT) kullanıldı. Analiz 3 tekrarlı şekilde gerçekleştirildi.

Deneyisel çalışmada kullanılan örnek çözeltilerden resveratrol 1, 5, 10, 25, 50, 75 ve 100 µM konsantrasyonlarında etanol içerisinde çözüldü. Taurin ise 1, 5, 10, 25, 50, 75 ve 100 mM konsantrasyonlarında saf suda çözüldü (Turcov vd., 2022).

3.2.2 İnsan saçından keratin proteini izolasyonu

3.2.2.1 İnsan saçı delipidizasyonu

Toplanan saç örnekleri, öncelikle yüzey kirlerinden arındırmak amacıyla distile su içerisinde yıkandı. Sonrasında ticari bir şampuanla yıkanan örnekler, 40 °C’de etüvde bir gece boyunca kurutuldu. Temizlenen ve kurutulan saç örnekleri, lipid içeriğini uzaklaştırmak amacıyla oda sıcaklığında 48 saat boyunca kloroform:metanol (2:1, v/v) çözeltisinde bekletilerek delipidizasyon işlemi uygulandı. Süre sonunda çözücüler uzaklaştırıldı ve saç örnekleri, varsa yüzeyde kalan lipid globüllerinin tamamen temizlenmesi amacıyla iki kez aynı çözelti ile yıkandı. Son olarak saçlar, distile su ile yıkanarak kurutuldu (Shubha vd., 2024).

3.2.2.2 Proteini ekstraksiyonu

Delipidize edilmiş saç örnekleri, makas yardımıyla 1–2 mm boyutlarında küçük parçalara kesildi. Daha sonra 20 g saç örneği, 25 mM Tris-HCl (pH 8.5), 2.6 M tiyüre, 5 M üre ve %5 β-merkaptöetanol içeren ekstraksiyon tamponu ile 50 °C’de, 75 rpm’de çalkalayıcı inkübatörde 6 gün süreyle inkübe edildi. Inkübasyon süresi sonunda elde

edilen protein özütü, vakum filtrasyonu ile filtrelendi. Sonrasında 4500 rpm’de 20 dk süreyle santrifüjlenerek süpernatant kısmı toplandı (Shubha vd., 2024).

3.2.2.3 Keratin protein özütünün diyalizi

Elde edilen keratin proteini özütünün, ekstraksiyon tamponu bileşenlerinden tamamen arındırılması amacıyla diyaliz işlemi gerçekleştirildi. Diyaliz, moleküler ağırlık kesim değeri (MWCO) 6000–8000 Da olan Spectra/Por S/P diyaliz membranı kullanılarak, 7 gün boyunca distile suya karşı yapıldı. Diyaliz süresince su her 12 saatte bir taze distile su ile değiştirildi. Diyaliz işlemi tamamlandıktan sonra protein özütü, -24 °C’de depolandı ve sonraki analizlerden önce çözündürülerek kullanıldı (Shubha vd., 2024).

3.2.3 Protein miktar tayini

Diyalize edilmiş protein özütündeki toplam protein miktarı, Bradford protein tayin yöntemi ile belirlendi. Bradford reaktifi ile birlikte standart protein çözeltisi olarak sığır serum albümini (BSA) kullanıldı. Kalibrasyon eğrisi oluşturmak amacıyla BSA, 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1.0 mg/mL konsantrasyonlarında hazırlandı. Her bir standart ve numune çözeltisinden uygun hacimde alınıp 1 mL Bradford reaktifi ile karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında 5-10 dakika inkübe edildi. Renk oluşumu sonucunda meydana gelen protein-boyar madde kompleksinin absorbansı 595 nm’de spektrofotometre ile ölçüldü. Elde edilen absorbans değerleri kullanılarak standart eğri oluşturuldu ve diyalize edilmiş örneklerin protein konsantrasyonu bu eğri üzerinden hesaplandı (Bradford, 1976).

3.2.4 SDS-PAGE (Sodyum Dodesil Sülfat-Poliakrilamid Jel Elektroforezi) analizi

Protein özütünün moleküler ağırlık kompozisyonunun belirlenmesi amacıyla Sodyum Dodesil Sülfat-Poliakrilamid Jel Elektroforezi (SDS-PAGE) yöntemi kullanıldı. Protein örnekleri, 10 × 10 cm boyutlarında dökümü yapılan jellere yüklendi. Ayırma işlemi, 250–10 kDa aralığında moleküler ağırlıklara sahip standart protein merdiveni kullanılarak, analitik tip dikey elektroforez sistemi ile gerçekleştirildi. Jel boyaması için coomassie brilliant blue (CBB) kullanıldı. Boyamanın ardından, jel metanol,

asetik asit ve sudan 5:1:4 oranında hazırlanan çözelti ile boyamaya tabi tutuldu. Son aşamada, oluşan protein bantları jel görüntüleme sistemi ile görüntülendi (Kim, 2011).

3.2.5 Resveratrol ve taurinin saç keratinine bağlanma yeteneği

Resveratrol ve taurinin saç keratinine bağlanma potansiyeli, çözünmeyen protein-ligand komplekslerinin oluşumu üzerinden değerlendirildi. Bu amaçla, 5 mg saç keratini; resveratrol ve taurin ile birlikte 250 mM NaCl içeren 50 mM fosfat tamponunda (pH 7.4) toplam 100 mL hacminde hazırlanarak 37 °C’de 1 saat boyunca inkübe edildi. Her test üç bağımsız tekrar ile gerçekleştirildi.

Bağlanma değerlendirmesi için, keratin-resveratrol ve keratin-taurin karışımları inkübasyon sonrası $10.000 \times g$ ’de 10 dk santrifüjlenerek çözünmeyen pelet, süpernatanttan ayrıldı. Elde edilen pelet elektroforez örnek tamponunda yeniden çözülde ve %12 SDS-PAGE jellerinde elektroforeze tabi tutuldu. Jel boyaması için %0.25 coomassie brilliant blue R-250 içeren, %30 metanol ve %10 asetik asit içeren çözelti kullanıldı. Ardından, aynı çözelti ile boyanın jelden uzaklaştırılması sağlandı. Keratin bantları mavi renk olarak gözlemlendi ve bantlar dijital olarak fotoğraflandı (Kim, 2011).

3.2.6 Ağartma solüsyonu ile parçalanmış saç keratininin elektroforez ile analizi

Saç keratini, resveratrol:taurin kompleksi (1:5 w/w) ile ön işleme tabi tutulduktan sonra, oluşan kompleks santrifüjleme ile ayrıldı. Resveratrol:taurin kompleksi (1:5 w/w) ile bağlanan saç keratini, %6 hidrojen peroksit ve %0.5 amonyak içeren ağartma solüsyonuna 1 saat süreyle maruz bırakıldı. Bu işlem sonrasında elde edilen reaksiyon ürünü, %12 SDS-PAGE jellerinde elektroforeze tabi tutuldu.

Jeller, %0.25 coomassie brilliant blue R-250 içeren, %30 metanol ve %10 asetik asit içeren çözeltiyle boyandı. Ardından, aynı çözelti kullanılarak jelden boyanın uzaklaştırılması sağlandı. Keratin bantları mavi renkte gözlemlendi (Kim, 2011).

3.2.7 Resveratrol ve taurin içeren saç bakım toniğinin formüle edilmesi

Resveratrol ve taurin içeren bir saç bakım toniği formülasyonu geliştirildi. Formülasyonun temel taşıyıcısı olarak saf su kullanıldı. Saf su, sistemin akışkanlığını sağlayan ve diğer bileşenlerin çözünmesini kolaylaştıran bir dolgu maddesi işlevi gördü. Aynı zamanda ürünün ciltle uyumlu bir ortamda formüle edilmesini sağlar.

Formülasyonda, çözücü olarak propanediol kullanıldı. Propanediol, hidrofilik ve lipofilik bileşenlerin çözünürlüğünü artırmasının yanı sıra nem tutucu özellikleriyle de bilinir. Aynı zamanda formülün stabilitesini artırıcı rol oynamaktadır.

Aktif bileşenler arasında yer alan resveratrol ve taurin, antioksidan olarak formülasyona dahil edildi. Resveratrol, güçlü serbest radikal süpürücü etkisi ile hücresel düzeyde oksidatif strese karşı koruma sağlamaktadır. Taurin ise hem hücre membranı stabilizasyonuna katkı sağlamakta hem de serbest radikallerin etkilerini azaltarak saç ve deri sağlığını desteklemektedir.

Formülasyonda bulunan panthenol (provitamin B5), nemlendirici olarak görev yapmaktadır. Panthenol, hem cilde hem de saçlara nüfuz ederek su kaybını önler, nem seviyesini dengeler ve epidermal bariyer fonksiyonlarını destekler.

Koruyucu madde, mikrobiyal kontaminasyonu önlemek amacıyla kullanıldı. Kozmetik ürünlerde yaygın olarak kullanılan bu bileşen, ürünün raf ömrü boyunca güvenli kalmasını sağlar.

Formülün pH'sını stabilize etmek amacıyla sitrik asit eklendi. Sitrik asit, cilt ve saç ile uyumlu ideal pH aralığı olan 5.0-5.5 değerlerine ayarlama görevini üstlendi. Bu sayede formülasyonun hem etkinliği artırılmış hem de cilt toleransı optimize edildi.

Son olarak, parfüm formüle dahil edildi. Bu bileşen, ürüne hoş ve hafif bir koku kazandırarak kullanıcı deneyimini olumlu yönde etkilemektedir.

3.2.8 Sa ağartma solüsyonuna maruz bırakıldıktan sonra salınan sistein miktarlarının analizi

Resveratrol ve taurin içeren saç bakım toniği ile ön işlem görmüş 500 mg sa örneği, santrifüjleme ile ayrıldıktan sonra damıtılmış suyla iyice yıkandı. Kurutulan saç örnekleri, oda sıcaklığında 15 dk süreyle %6 hidrojen peroksit ve %0.5 amonyak içeren ağartma solüsyonuna maruz bırakıldı.

Reaksiyon karışımı (250 mL), 2.5 mL reaksiyon tamponu (0.1 M sodyum fosfat, pH 8.0, 1 mM EDTA içeren) içerisinde 50 µL Ellman reaktifi (5,5'-ditiobis-(2-nitrobenzoik asit); DTNB) ile reaksiyona sokularak serbest sistein miktarı tayin edildi. Kalibrasyon eğrisi oluşturmak için standart madde olarak sistein hidroklorür monohidrat kullanıldı. Ağartma işleminden sonra saçtan salınan sistein miktarı, bu kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplandı (Kim, 2011).

3.2.9 Saç örneklerinin ağartılması ve sa bakım toniği uygulamaları

İşlem görmemiş bir sa tutamına ticari bir toz açıcı ve krem oksidan ile ağartma işlemi uygulandı. Ağartma işlemi 45°C sıcaklığında 30 dk boyunca gerçekleştirildi. Süre sonunda saç örnekleri su ile iyice durulandı ve kurtuma makinesi ile kurutuldu. Aynı işlem sonrasında resveratrol ve taurin kompleksi içeren saç bakım toniği uygulandı.

Ayrı bir deney grubunda ise, ağartma işleminden önce sa örnekleri resveratrol ve taurin kompleksi içeren saç bakım toniği ile ön işleme tabi tutuldu ve sonrasında aynı ağartma protokolü gerçekleştirildi.

3.2.10 İnsan saçından lipit ekstraksiyonu

İşlem görmemiş, yalnızca ağartma uygulanmış, ağartma öncesi tonik uygulanmış ve ağartma sonrası tonik uygulanmış saç örnekleri; sa/yüzey aktif madde oranı 1:3 olan %3 seyreltilmiş ticari bir şampuanla yıkandı. Örnekler, yıkama işleminin ardından üç kez saf su ile iyice durulandı ve oda sıcaklığında kurutuldu.

Ekzojen (dış yüzey) ve endojen (iç yüzey) lipitlerin ekstraksiyonu farklı organik çözücüler kullanılarak gerçekleştirildi. İlk olarak, sa yüzeyindeki dış lipitler, t-

bütanol ve n-heksan karışımı ile soxhlet cihazında 4 saat boyunca ekstrakte edilerek uzaklaştırıldı.

İç lipidlerin ekstraksiyonu, kloroform:metanol (2:1 v/v) çözücü karışımı ile gerçekleştirildi. Bu çözücü karışımı, saç örneklerine 2 saat süreyle uygulandı. Ardından, aynı örneklere bir gece boyunca karıştırma sisteminde %100 metanol uygulandı. Elde edilen kloroform/metanol ekstraktları birleştirildi, çözücüler uzaklaştırılarak ekstraktlar konsantre edildi ve analiz öncesinde kloroform:metanol (2:1 v/v) çözeltisinde yeniden çözüldü (Coderch vd., 2017).

3.2.11 MDA (Malondialdehit) tayini ile lipid peroksidasyonunun değerlendirilmesi

Saç örneklerinde oluşan lipid peroksitler, tiyobarbiturik asit (TBA) testi kullanılarak tayin edildi. Tiyobarbiturik asit reaktif türleri (TBARS), spektrofotometrik olarak 532 nm dalga boyunda kantitatif olarak ölçüldü. Bu testte, düşük pH ve yüksek sıcaklık koşullarında malondialdehit (MDA), TBA ile nükleofilik ekleme reaksiyonuna girerek, kırmızı renkli, floresan özellik gösteren 1:2 MDA:TBA kompleksi oluşturdu. Bu kompleksin yoğunluğu, lipid peroksidasyon seviyesinin bir göstergesi olarak değerlendirildi (Abdel vd., 2011).

3.2.12 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

Farklı işlemlerin saç lifleri üzerinde oluşturabileceği olası yüzey morfolojisi değişimlerini değerlendirmek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi gerçekleştirildi. Her bir deney grubuna ait saç örneklerinden rastgele seçilen birkaç saç lifi kullanıldı. Örnekler, SEM analizine uygun şekilde önce sabitlenmiş, ardından kurutuldu ve altınla kaplanarak iletken hale getirildi. Hazırlanan numuneler, yüksek vakum altında çalışan taramalı elektron mikroskobunda uygun büyütme seviyelerinde incelendi. Her saç örneği için en az üç farklı liften elde edilen görüntüler değerlendirildi ve temsili morfolojik özellikleri yansıtan yüksek çözünürlüklü SEM görüntüleri kaydedildi.

Bu analiz sayesinde, özellikle ağartma işlemi ve antioksidan ön işlemler sonrası saç kütiküllerinde meydana gelen yapısal bozulmalar, çatlaklar, pul benzeri yapıların durumu ve yüzey düzgünlüğü gibi kriterler karşılaştırmalı olarak analiz edildi.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

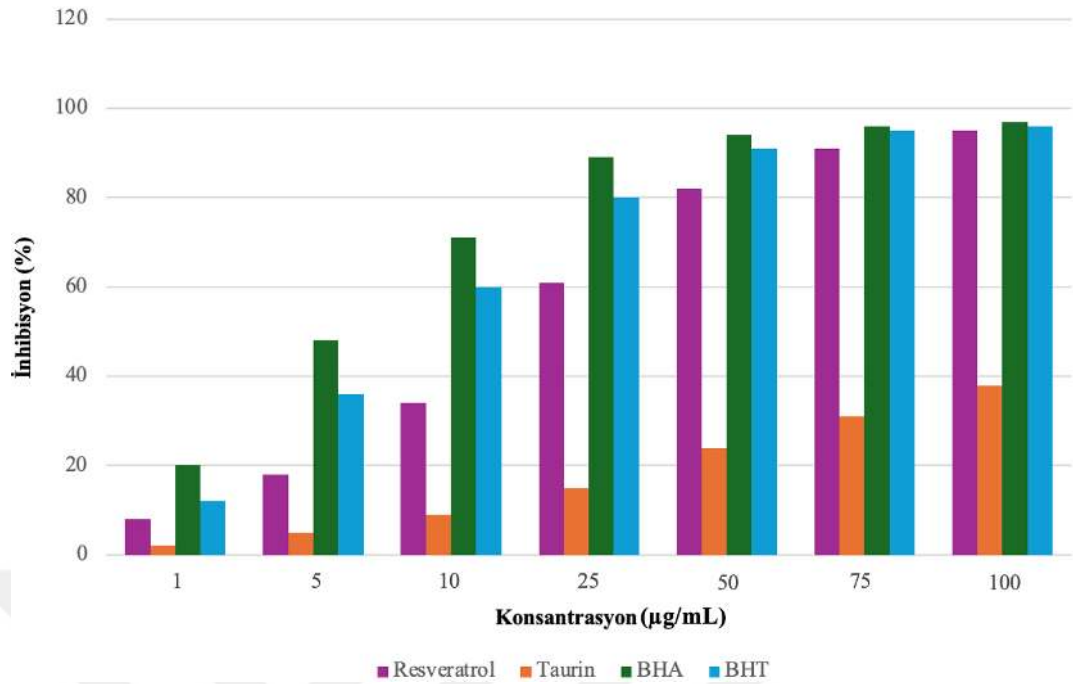
4.1 Resveratrol ve Taurinin DPPH (1,1-difenil-2-pikril-hidrazil) Radikal Söndürme Aktivitesi

Resveratrol, taurin, BHA (bütillenmiş hidroksianisol) ve BHT (bütillenmiş hidroksitoluen) bileşiklerinin DPPH serbest radikal söndürme kapasiteleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bileşiklerin antioksidan etkinlikleri, çeşitli konsantrasyonlardaki % inhibisyon oranlarına göre değerlendirilmiştir (Tablo 4.1, Şekil 4.1). Bu verilere dayanarak, her bir bileşik için IC₅₀ (yarı maksimal inhibitör konsantrasyon) değerleri hesaplanmış ve Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Deney sonuçlarına göre, BHA en düşük IC₅₀ değerine (6.1 µg/mL) sahip olup en güçlü radikal temizleyici olarak belirlenmiştir. Onu sırasıyla BHT (10.3 µg/mL), resveratrol (23.5 µg/mL) ve taurin (>1000 µg/mL) izlemiştir. Bu sıralama, bileşiklerin belirli konsantrasyonlardaki inhibisyon yüzdeleri ile de tutarlılık göstermektedir.

Tablo 4. 1 Resveratrol, taurin, BHA ve BHT’nin DPPH radikal söndürme inhibisyon değerleri

Konsantrasyon (µg/mL)	Resveratrol (%) ± SD	Taurin (%) ± SD	BHA (%) ± SD	BHT (%) ± SD
1	8 ± 0.5	2 ± 0.3	20 ± 1.1	12 ± 0.7
5	18 ± 1.2	5 ± 0.6	48 ± 1.6	36 ± 1.5
10	34 ± 1.5	9 ± 0.7	71 ± 2.0	60 ± 2.3
25	61 ± 2.1	15 ± 1.0	89 ± 1.7	80 ± 1.9
50	82 ± 1.8	24 ± 1.3	94 ± 1.0	91 ± 1.4
75	91 ± 1.0	31 ± 1.6	96 ± 0.8	95 ± 1.2
100	95 ± 0.6	38 ± 2.0	97 ± 0.7	96 ± 0.6



Şekil 4. 1 Resveratrol, taurin, BHA (Bütillenmiş hidroksi anisol) ve BHT'nin (Bütillenmiş hidroksi toluen) DPPH radikal söndürme grafiği

Tablo 4. 2 Resveratrol, taurin, BHA ve BHT'nin IC₅₀ değerleri

Bileşik	IC ₅₀ ± SD (µg/mL)
Resveratrol	23.5 ± 1.2
Taurin	>1000 (zayıf etki)
BHA	6.1 ± 0.4
BHT	10.3 ± 0.6

DPPH radikal süpürme aktivitesi, antioksidan potansiyelini değerlendirmede yaygın olarak kullanılan bir *in vitro* yöntemdir. Elde edilen sonuçlar, test edilen dört bileşik arasında en güçlü antioksidan etkinin pozitif kontrol olarak kullanılan BHA'da görüldüğü ortaya koyulmuştur. BHA, düşük konsantrasyonlarda bile yüksek oranda DPPH radikali temizleme kapasitesi göstermiş ve bu etkisi, 6.1 µg/mL gibi düşük bir IC₅₀ değeri ile doğrulanmıştır. BHT de benzer şekilde etkili bir antioksidan olarak dikkat çekmiş, IC₅₀ değeri 10.3 µg/mL olarak hesaplanmıştır.

Resveratrol, doğal bir polifenol olup, DPPH üzerinde anlamlı bir radikal süpürme etkisi sergilemiştir. 100 µg/mL konsantrasyonda %95'e ulaşan inhibisyon oranı, bu bileşiğin güçlü antioksidan özelliklerini desteklemektedir. Ancak sentetik

antioksidanlar olan BHA ve BHT ile kıyaslandığında daha yüksek bir IC₅₀ değerine sahiptir (23.5 µg/mL).

Taurin ise değerlendirilen bileşikler arasında en düşük antioksidan kapasiteye sahip olup, 1000 µg/mL konsantrasyonda dahi yalnızca %38'lik bir DPPH inhibisyonu sergilemiştir. Bu sonuç, taurin'in DPPH testinde etkili bir radikal temizleyici olmadığını göstermektedir. Taurin'in antioksidan etkilerinin daha çok hücre içi ortamda metal iyon şelasyonu ve süperoksit radikali gibi farklı türlerdeki oksidantlara karşı etkili olduğu düşünülmektedir (Collin vd., 2006)

Çalışmanın genelinde elde edilen veriler, DPPH testinin, fenolik bileşiklerin karşılaştırmalı antioksidan kapasitelerini değerlendirmede uygun bir model olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca resveratrol gibi doğal antioksidanların, sentetik olanlarla kıyaslandığında daha düşük potansiyele sahip olabileceği, ancak güvenlik ve biyoyararlanım açısından önemli avantajlar sunduğu değerlendirilmektedir.

4.2 İnsan Saçından Keratin Proteini Ekstraksiyonu

4.2.1 İnsan saçı delipidizasyonu

İnsan saç örnekleri, 2:1 oranında hazırlanmış kloroform:metanol karışımı içerisinde 48 saat süreyle delipidizasyona tabi tutulmuştur (Şekil 4 .2). İşlem sonrası saç tellerinin matlaşarak doğal parlaklığını kaybettiği ve yüzeyindeki lipit tabakasının etkin şekilde uzaklaştırıldığı gözlenmiştir.

Delipidizasyon aşamasında kloroform:metanol (2:1) çözeltisi, saç telinin dış yüzeyindeki sebum, fosfolipit ve diğer lipofilik maddeleri etkin şekilde uzaklaştırmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan Triton X-100 yerine organik çözücü bazlı delipidizasyon, özellikle downstream uygulamalarda daha az artıklı ve daha hızlı bir protein çözeltisi elde edilmesini sağlamıştır. Delipidizasyon sonrası gözlenen matlaşma, yüzey lipitlerinin etkili şekilde çıkarıldığını göstermektedir.



Şekil 4. 2 İnsan saçı örneği ve delipidizasyon işlemi

4.2.2 Proteini ekstraksiyonu

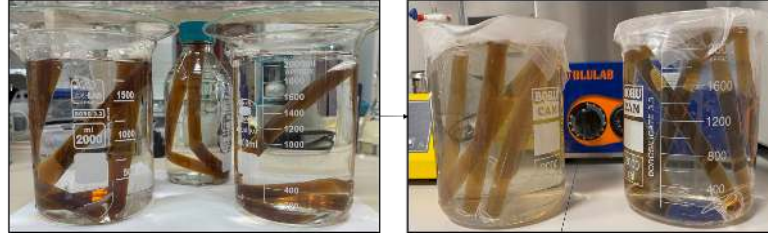
Ekstraksiyon aşamasında kullanılan (Şekil 4.3) üre ve tiyoüre, keratin yapısındaki hidrojen bağlarını kırarak proteinlerin çözünmesini kolaylaştırmıştır. 2-merkaptöetanol, saç keratininde yer alan yoğun disülfid bağlarını indirgemiş ve çözünürlüğü artırmıştır. Bu kimyasalların sinerjik etkisiyle çözeltide keratin proteini süspansiyon halinde elde edilmiştir. Bu aşamada elde edilen bulanık sarı/kahverengi çözelti, çözünmüş keratin varlığını göstermektedir.



Şekil 4. 3 Delipidize edilmiş saç örneği ve protein ekstraksiyon işlemi

4.2.3 Keratin protein ekstraktının diyalizi

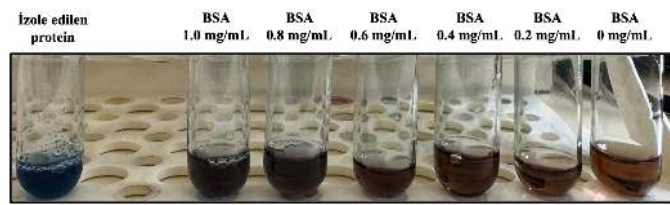
Diyaliz adımı, protein çözeltisindeki düşük molekül ağırlıklı indirgen ajanlar ve üre/tiyoüre gibi denatüranların uzaklaştırılması açısından kritik bir saflaştırma basamağıdır. Diyaliz membranı sayesinde yüksek moleküler ağırlıklı keratinler tutulmuş ve istenmeyen küçük moleküller uzaklaştırılmıştır. Diyaliz sonrası hafif berraklaşma (Şekil 4.4), safsızlıkların uzaklaştığını göstermiştir.



Şekil 4. 4 Keratin proteininin diyaliz işlemi

4.3 Protein Miktar Tayini

Protein konsantrasyonu tayini için BSA (Bovine Serum Albumin) kullanılarak bir standart eğri oluşturulmuştur. 10 mg/mL stok çözeltisi hazırlanan BSA standardının konsantrasyonları 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1.0 mg/mL olacak şekilde ayarlanmış (Şekil 4.5); bu çözeltilerin 595 nm dalga boyunda absorbans değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler doğrultusunda yapılan doğrusal regresyon analizi sonucunda regresyon denklemine $y = 0.429x + 0.023$ ulaşılmıştır. Bu doğrultuda elde edilen regresyon katsayısı $r^2 = 0.99376$ olup, yüksek doğrulukta bir ilişkiyi göstermektedir.



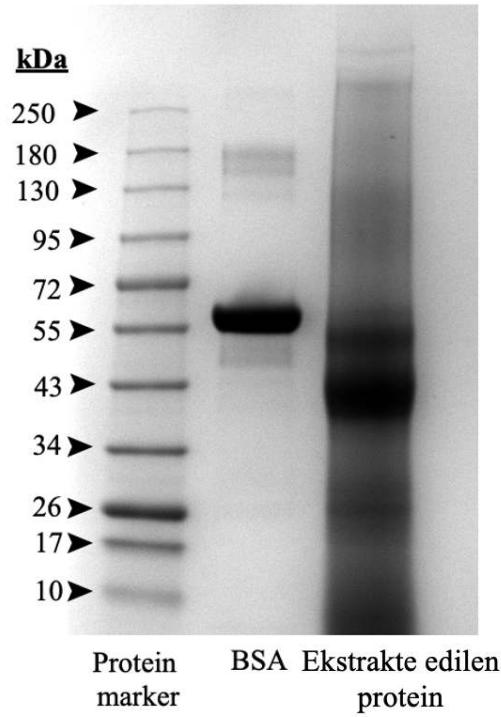
Şekil 4. 5 Protein miktar tayini

Numunenin elde edilen absorbans değeri, oluşturulan standart eğriye ait regresyon denklemi kullanılarak değerlendirilmiş ve protein konsantrasyonu yaklaşık olarak 3.06 mg/mL olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, saç örneklerinden keratin protein ekstraksiyonunun yüksek verimle gerçekleştirildiğini ve uygulanan izolasyon protokolünün etkinliğini açıkça ortaya koymaktadır. Elde edilen bu bulgu, literatürde insan saçı kaynaklı keratin elde edilmesine yönelik çalışmalarla da uyum göstermektedir (Shubha vd., 2021).

4.4 SDS-PAGE (Sodyum Dodesil Sülfat-Poliakrilamid Jel Elektroforezi) Analizi

Ekstrakte edilen keratin proteininin yaklaşık moleküler ağırlığını belirlemek amacıyla SDS-PAGE analizi uygulanmıştır. SDS-PAGE jelinde üç farklı örnek yüklenmiştir: ilk kuyucukta moleküler ağırlık standardı (protein marker), orta kuyucukta 66 kDa'lık kontrol olarak kullanılan BSA (Bovine Serum Albumin), ve son kuyucukta ise saç örneğinden izole edilen keratin proteini numunesi yer almıştır.

Jel görüntüsünde; moleküler ağırlık standardı, referans olarak kullanılan BSA ve numune bandı belirgin olarak gözlemlenmiştir. BSA'nın bulunduğu bant yaklaşık 66 kDa civarında yer alırken, saç numunesinden elde edilen protein bandının da aynı seviyeye oldukça yakın bir pozisyonda bulunduğu görülmüştür (Şekil 4.6).



Şekil 4. 6 İzole edilen proteinin SDS-PAGE jeli

Bu durum, izole edilen proteinin moleküler ağırlığının 40-65 kDa aralığında olduğunu ve keratin proteinine karşılık geldiğini göstermektedir. Ayrıca, marker bantlarına göre yapılan değerlendirme sonucunda saç numunesi içerisinde farklı moleküler

ağırlıklarda birkaç zayıf bant daha gözlemlenmiştir. Bu da ekstraksiyon sonucunda keratinle ilişkili proteinlerin de (KAP) izole edilmiş olabileceğine işaret etmektedir.

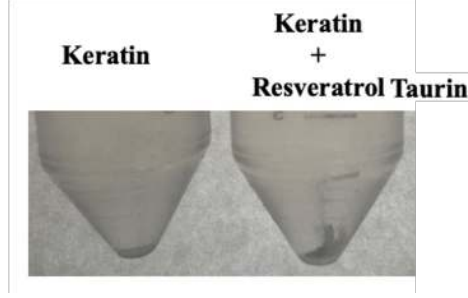
Bu bulgular, literatürde insan saçından elde edilen keratin proteinleri ile yapılan benzer SDS-PAGE analizleriyle uyumludur. Shubha vd. (2021), saçtan izole edilen keratin proteinlerinin major bantlarının 45–60 kDa aralığında konumlandığını ve ekstrakte edilen proteinlerin büyük oranda keratin kaynaklı olduğunu bildirmiştir.

Benzer şekilde, Agarwal vd. (2019), çalışmalarında insan saç keratin ekstraktlarının SDS-PAGE analizinde belirgin şekilde 50–60 kDa aralığında yoğun bantlar gözlemlemiş ve bu bulguları keratin tip I ve II proteinlerine atfetmişlerdir. Bu bağlamda, çalışmamızda elde edilen veriler, literatürde raporlanan keratin izolasyon profilleri ile yüksek oranda benzerlik göstermekte olup, saçtan başarılı ve seçici bir keratin izolasyonu gerçekleştirildiğini desteklemektedir.

4.5 Resveratrol ve Taurinin Saç Keratinine Bağlanma Yeteneği

Resveratrol ve taurinin saç keratinine bağlanma yeteneği santrifüjleme yöntemi ile araştırıldı. Saçtan izole edilen keratin proteininin, biyolojik olarak aktif bileşiklerle etkileşimini değerlendirmek amacıyla yapılan bu çalışmada, resveratrol ve taurin ile karıştırılan keratin çözeltileri analiz edilmiştir. Deneyde biri yalnızca keratin proteini içeren kontrol grubu ve diğeri resveratrol ve taurin ile karıştırılmış keratin proteini çözeltisi olmak üzere iki farklı örnek hazırlanmıştır.

Resveratrol ve taurin saç keratinine güçlü bir şekilde bağlanırsa santrifüjlemeden sonra çözünmeyen protein-resveratrol/taurin komplekslerinin oluşumu gözlemlenebilir (Kim, 2011). Şekil 4.7'de gösterildiği gibi, boş grup herhangi bir pelet göstermezken, resveratrol ve taurin ile tedavi edilen gruplardaki pelet falcon dibinde açıkça gözlemlendi.



Şekil 4. 7 Resveratrol ve taurinin keratine bağlanma sonucu pelet oluşumu

Resveratrolün, fenolik hidroksil grupları aracılığıyla keratin proteinindeki sülfür içeren amino asit kalıntıları (özellikle sistein) ile hidrojen bağları ya da hidrofobik etkileşimler yoluyla bağlanma potansiyeline sahip olduğu literatürde de belirtilmektedir (Rauf vd., 2018). Bu tür etkileşimler, keratinin sekonder yapısında değişikliğe yol açarak protein çözünürlüğünü azaltabilir. Taurin gibi küçük, iyonik özellik gösteren moleküller ise keratinle iyonik ve dipol-dipol etkileşimleri yoluyla bağlanabilir (Baliou vd., 2021).

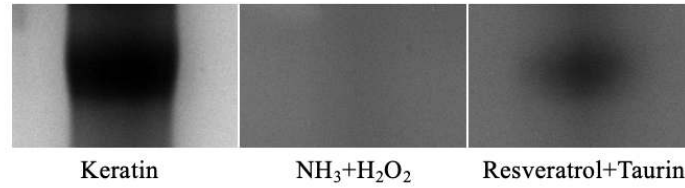
Elde edilen bu bulgular, resveratrol ve taurinin saç keratiniyle spesifik ve güçlü etkileşimler kurabildiğini, dolayısıyla saç yapısını stabilize ederek çevresel hasarlara karşı koruma potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Literatürde resveratrolün, cilt ve saç proteinleriyle etkileşerek oksidatif hasara karşı koruyucu rol oynadığı, kollajen ve keratin yapılarının bütünlüğünü desteklediği bildirilmektedir (Rauf vd., 2018; Herranz-López ve Barraón-Catalán, 2020). Benzer şekilde, taurin'in keratinositlerde hücresel stres yanıtını modüle ettiği ve protein stabilizasyonuna katkı sağladığı ifade edilmiştir (Bukowska ve Duchnowicz, 2022).

4.6 Ağartma Solüsyonu ile Parçalanmış Saç Keratininin Elektroferez ile Analizi

Resveratrol ve taurinin saç keratini üzerindeki koruyucu etkisi, ağartıcı solüsyona karşı oluşturduğu direnç üzerinden değerlendirilmiştir. Bu amaçla, izole edilen saç keratini resveratrol ve taurin ile inkübe edilmiş, oluşan kompleks santrifüjleme yöntemiyle ayrılmıştır. Resveratrol ve taurin ile muamele edilen keratin örnekleri, %6 hidrojen peroksit ve %0.5 amonyak içeren ağartma çözeltisine 1 saat süreyle maruz bırakılmıştır.

İşlem sonrasında elde edilen reaksiyon ürünleri elektroforez örnek tamponu ile çözülerek SDS-PAGE analizine tabi tutulmuştur. Elde edilen elektroforez sonuçlarına göre; yalnızca keratin içeren ve ağartma işlemine maruz kalmayan kontrol grubunda belirgin, net ve kesintisiz keratin bandı gözlenmiştir. Buna karşılık, yalnızca ağartma solüsyonuyla işlem gören grupta saç keratininin bozulduğu ve net bandın kaybolduğu gözlenmiştir. Bu durum, ağartıcı ajanların keratin yapısında ciddi parçalanmalara yol açtığını göstermektedir.

Öte yandan, resveratrol ve taurinle ön muamele edilen gruplarda keratin bandının, daha net ve belirgin bir şekilde korunduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.8). Bu durum, resveratrol ve taurinin saç keratini ile bağlanarak ağartma kaynaklı oksidatif hasara karşı yapısal bütünlüğü koruma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Muhtemelen bu koruyuculuk, resveratrolün güçlü antioksidan özellikleri sayesinde serbest radikal oluşumunu baskılamasından ve keratin yapısında oluşabilecek disülfid köprüsü yıkımlarını önlemesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. 8 Resveratrol ve taurinin oksidatif hasarla saç keratin bozulmasına karşı koruyucu etkisi

4.7 Resveratrol ve Taurin İçeren Saç Bakım Toniğinin Formüle Edilmesi

Saçı oksidatif strese karşı korumayı ve saçın genel sağlığını desteklemeyi amaçlayan, resveratrol ve taurin bazlı bir saç bakım toniği formüle edildi (Tablo 4.3).

Tablo 4. 3 Resveratrol ve taurin içeren saç bakım toniği formülasyon içeriği

Bileşen	% (Ağırlıkça)	Fonksiyon
Saf Su	91.20	Dolgu maddesi
Propanediol	5.00	Çözücü
Resveratrol	0.05	Antioksidan
Taurin	0.25	Antioksidan
Panthenol	2.00	Nemlendirici
Koruyucu	1.00	Mikrobiyal koruma
Sitrik Asit		pH ayarı (5.0–5.5 arası)
Parfüm	0.50	Hafif koku

4.8 Saç Ağartma Solüsyonuna Maruz Bırakıldıktan Sonra Salınan Sistein Miktarlarının Analizi

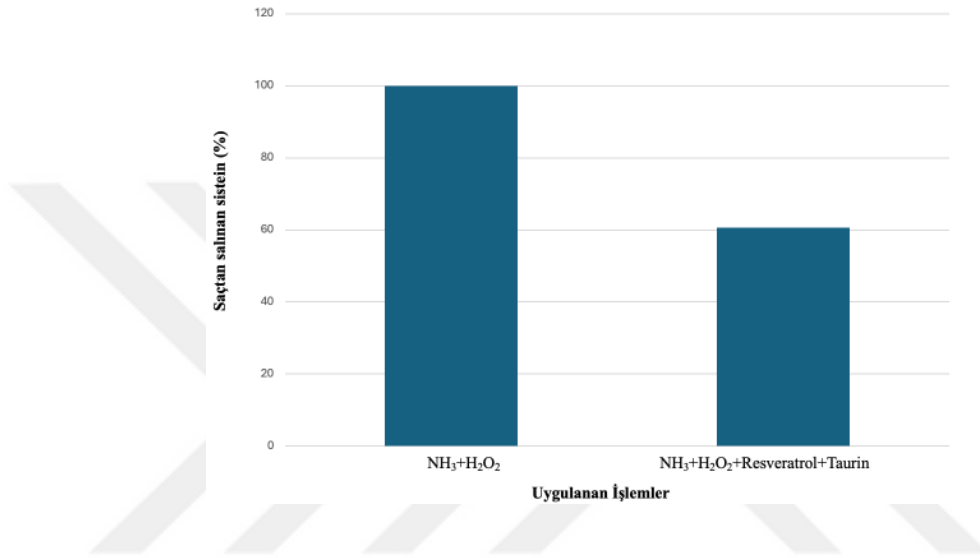
Sistein, saç keratininde yüksek oranda bulunan bir amino asittir ve disülfid bağlarının bozulması durumunda serbest hale gelir. Bu nedenle, saç yapısındaki bozulmaları değerlendirmek için saçtan salınan sistein miktarı önemli bir biyokimyasal gösterge olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, resveratrol ve taurinin saç hasarına karşı potansiyel koruyucu etkisini değerlendirmek amacıyla, saç açma işlemine maruz kalan saç örneklerinden salınan sistein miktarı Ellman reaktifi (DTNB) kullanılarak analiz edilmiştir. DTNB, sisteinin sülfidril (–SH) grubu ile reaksiyona girerek 412 nm’de absorbans veren bir kompleks oluşturur ve bu sayede serbest sistein miktarı kantitatif olarak ölçülebilir.

Saç örnekleri hasara uğratıldıktan sonra (H_2O_2 ve NH_3 içeren ağartıcı solüsyona 1 saat maruz bırakılarak) resveratrol ve taurin içeren saç bakım toniği ile ön işlem uygulanarak saçtan salınan sistein miktarı incelendi.

Elde edilen standart eğri doğrultusunda yapılan hesaplamalarla, hasarlı saç örneğindeki sistein konsantrasyonu ≈ 0.01098 mM, resveratrol ve taurin içeren saç bakım toniği ile işleme tabii tutulmuş saç örneğinde ise ≈ 0.00666 mM olarak hesaplandı. Buna göre, koruma/onarım grubunda saçtan salınan sistein miktarı %60.6

düzeyine indi. Bu sonuç, resveratrol ve taurin içeren saç bakım toniği ile ön işleminin sistein kaybını anlamlı düzeyde azalttığını göstermektedir.

Şekil 4.9’da verilen grafik, saç hasarına bağlı sistein salınımındaki farkı açıkça göstermektedir. Hasarlı saç grubundaki %100’lük salınım, resveratrol ve taurin içeren saç bakım toniği uygulaması ile yaklaşık %39.4 oranında azalmıştır.



Şekil 4. 9 Saç açma solüsyonuna maruz bırakılan saçlardan salınan sistein miktarının analizi

Bu bulgu, önceki elektroforez sonuçları ile de tutarlıdır. Saç keratininin ağartma işlemine bağlı olarak parçalandığı, ancak polifenolik yapıdaki aktif bileşiklerle ön işlem sonrası bu bozulmanın önemli ölçüde engellendiği gösterilmiştir. Özellikle resveratrolün saç proteinine bağlanarak yapısal stabiliteyi artırdığı ve oksidatif stresin yol açtığı disülfid bağlarının yıkımını azalttığı düşünülmektedir.

Bu sonuçlar, literatürde benzer fenolik yapıdaki antioksidanların saç hasarına karşı koruyucu etkileriyle de örtüşmektedir. Kim (2011)’in yürüttüğü çalışmada, procyanidin oligomerlerinin oksidatif saç hasarını azaltmadaki etkinliği detaylı biçimde incelenmiş ve bu bileşiklerin saç keratininde meydana gelen disülfid bağ yıkımını inhibe ederek yapısal bütünlüğü koruduğu gösterilmiştir. Aynı çalışmada, H_2O_2 kaynaklı oksidatif stres altında saç yapısında meydana gelen protein bozunmaları ve kütikül hasarları, procyanidin ön işlemi ile anlamlı derecede engellenmiştir. Bu

bağlamda, bizim çalışmamızda elde edilen veriler, polifenolik yapıdaki resveratrolün saç keratini ile benzer etkileşimler kurarak oksidatif hasara karşı koruyucu bir bariyer oluşturabileceğini desteklemektedir. Ayrıca taurin'in de keratinle iyonik bağlar oluşturarak bu sinerjik koruma etkisine katkı sağladığı düşünülmektedir. Her iki çalışmada da saç proteinlerinin biyokimyasal stabilitesini ölçmek için sistein salınımının değerlendirilmesi benzer metodolojik yaklaşım göstermekte, bu da elde edilen verilerin güvenilirliğini ve literatürle tutarlılığını güçlendirmektedir.

4.9 Saç Örneklerinin Ağartılması ve Saç Bakım Toniği Uygulamaları

Saç örnekleri dört gruba ayrılarak aşağıdaki şekilde kodlandı:

- › **UT:** Herhangi bir işleme tabi tutulmamış, doğal saç örneği
- › **B:** Ticari bir toz saç açıcı ve krem oksidana maruz bırakılarak açma işlemi uygulanan saç örneği
- › **BT:** Önce açma işlemi uygulanmış, sonrasında saç bakım toniği 3 gün boyunca günlük olarak nemli saça uygulanmış örnek
- › **TB:** Ön işlem olarak 3 gün boyunca tonik uygulanmış, sonrasında açma işlemi uygulanmış örnek

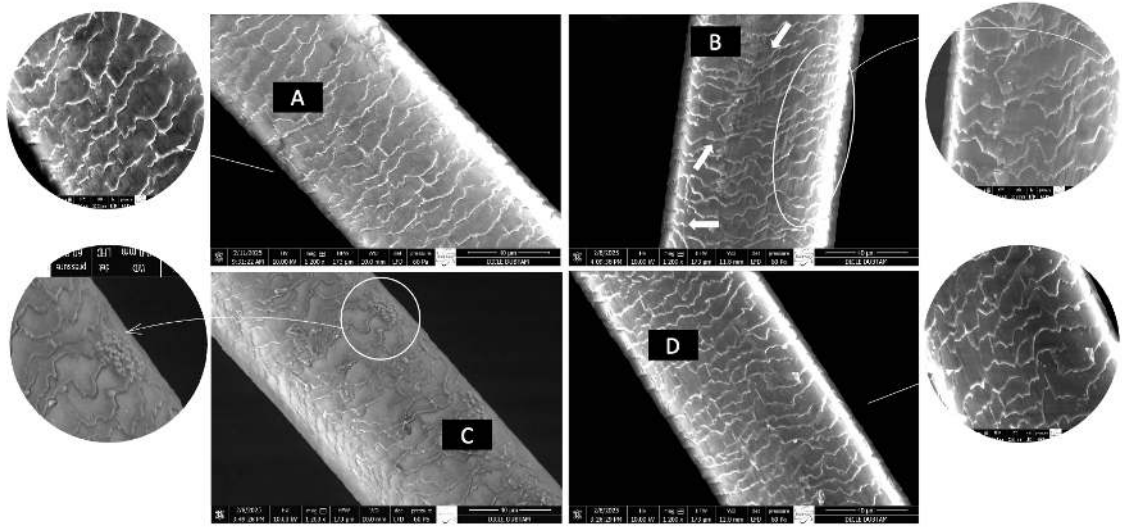
Uygulanan saç bakım toniği, saç telinin yapısal dayanıklılığını artırmak amacıyla antioksidan özelliklere sahip aktif bileşenler içermektedir. Tonik uygulamaları, saç tellerinin doğal nemli hali üzerine uygulanmış ve her gün taze olarak yeniden sürülmüştür. Sonrasında SEM Görüntüleri incelenmiştir (Şekil 4.10).

Derece 0 ile tanımlanan UT, kontrol grubunu temsil eder. Saç telinde sağlam bir yapı gözlenmiştir. Kütikül (saçın dış tabakası) düzgün dizilimde ve örtücü yapıdadır. Bu görüntü, saçın herhangi bir dış etkene maruz kalmadan doğal halini yansıtır ve araştırmada "sağlıklı saç" referansı olarak kullanılır.

Derece 3 ile ifade edilen B, ciddi hasarı temsil eder. Kütikül tabakasının bazı kısımları kaybolmuş; çatlaklar ve delikler oluşmuştur. Bu, ağartma işleminin saça yüksek düzeyde yapısal zarar verdiğini ve kütikül bütünlüğünü bozduğunu açıkça göstermektedir. Bu görüntü, oksidatif hasarın şiddetini görsel olarak ortaya koyar.

BT, ağartma işleminden sonra saç teline tonik uygulanmıştır. Görüntüde, özellikle hasarlı bölgelerde tonik birikimi gözlenmiştir. Derece 1 olarak sınıflandırılan bu durum, kütikülün tam olarak eski haline dönmediğini, ancak tonik sayesinde daha düzenli bir kaplama ve kısmi koruma sağlandığını göstermektedir. Bu, tonik uygulamasının onarıcı etkisinin bir göstergesidir.

TB saç teline önce tonik uygulanmış, sonrasında ağartma işlemi yapılmıştır. Görselde derece 1 olarak sınıflandırılmış bir hasar seviyesi görülmektedir. Kütikülün bir kısmı kaybolmuş olsa da, B grubundaki gibi ileri seviye bozulmalar (çatlak, delik) belirgin değildir. Bu, tonik uygulamasının saç telini önceden güçlendirerek ağartmanın zararlarını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.



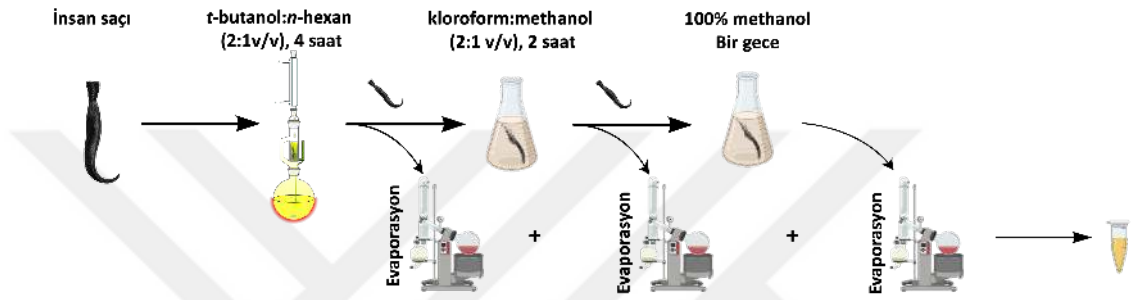
Şekil 4. 10 Saç yüzeylerinin SEM görüntüleri. A, İşlem görmemiş saç (UT), derece 0: sağlam saç, düzenli kütikül kaplaması. B, Ağartılmış saç (B), derece: 3, kütikülün kısmi kaybı, kütikülde delikler, çatlak (+). C, Ağartılmış ve sonrasında tonik uygulanmış saç (BT), özellikle hasarlı bölgelerde tonik birikimi, derece 1: düzensiz kütikül kaplaması. D, Tonik uygulanmış ve sonrasında ağartılmış saç (TB), derece 1: kütikülün kısmi kaybı

4.10 İnsan Saçından Lipit Ekstraksiyonu

İnsan saç telinde doğal olarak bulunan lipit bileşenlerinin başarılı bir şekilde ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Saç telinde yer alan lipitler, hem endojen hem de

ekzojen yapıda bulunur ve saçın esnekliği, suya karşı direnci, parlaklığı ve dış etkenlere karşı korunmasında kritik rol oynar.

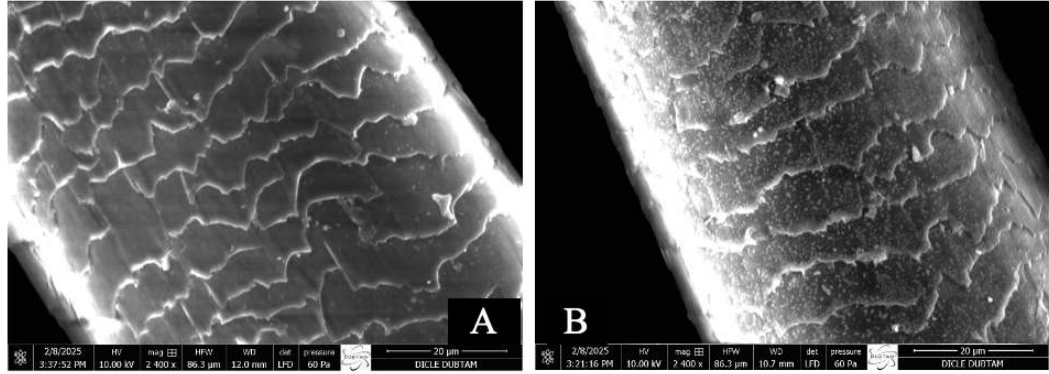
Lipit ekstraksiyonu, saç örneklerinin uygun çözücülerle muamele edilmesiyle gerçekleştirilmiş ve uygulanan yöntem sonucunda görünür miktarda lipit fazı elde edilmiştir. Uygulanan protokol, özellikle yüzeydeki sebum lipidlerini ve saç korteksine gömülü olan yapısal lipidleri başarıyla ayırtmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4. 11 İnsan saçından lipit ekstraksiyon işleminin şematik gösterimi

Ekstraksiyon sonucunda, saç telinin rengi açılmış ve matlaşmıştır, bu da lipidlerin fiziksel olarak ayrıldığını göstermektedir.

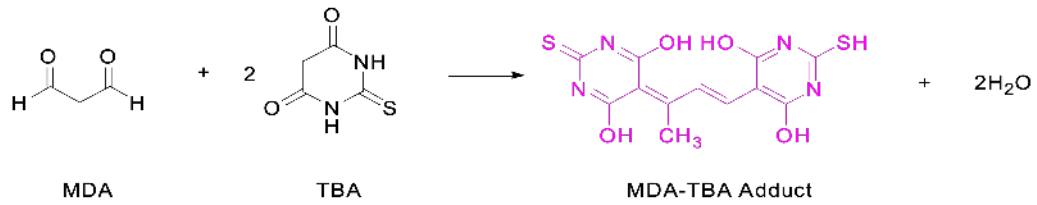
Elde edilen lipit fraksiyonunun görünür kıvamda ve karakteristik yağ yapısında olması, işlemin verimli olduğunu kanıtlamaktadır. İşlem sonrası saç telleri, daha kırılgan ve sert bir yapıya bürünmüştür ve SEM görüntüsü ile desteklenmiştir (Şekil 4.12). Bu durum, lipidlerin saç telinin bütünlüğüne sağladığı katkıyı doğrular niteliktedir.



Şekil 4. 12 Saç yüzeylerinin SEM görüntüleri. A, Referans saç (UT). B, Lipitleri çıkarılmış saç

4.11 MDA (Malondialdehit) Tayini ile Lipit Peroksidasyonunun Değerlendirilmesi

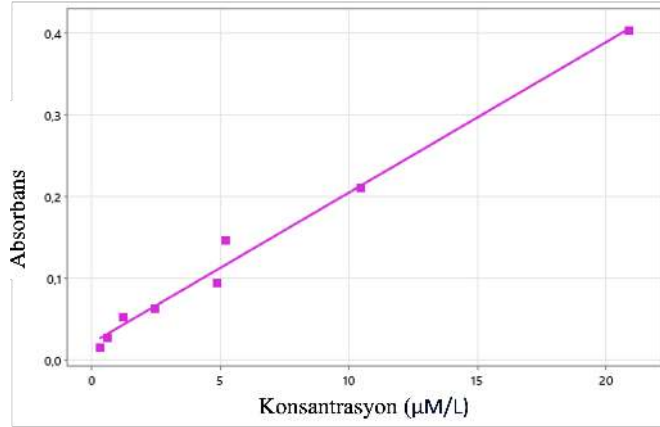
Bu çalışmada, saç tellerinde meydana gelen oksidatif hasarın belirlenebilmesi amacıyla, lipit peroksidasyon (LPO) düzeyleri tiyobarbitürik asit (TBA) testi ile spektrofotometrik olarak ölçülmüş ve malondialdehit (MDA) birikimi temel alınarak değerlendirme yapılmıştır (Şekil 4.13).



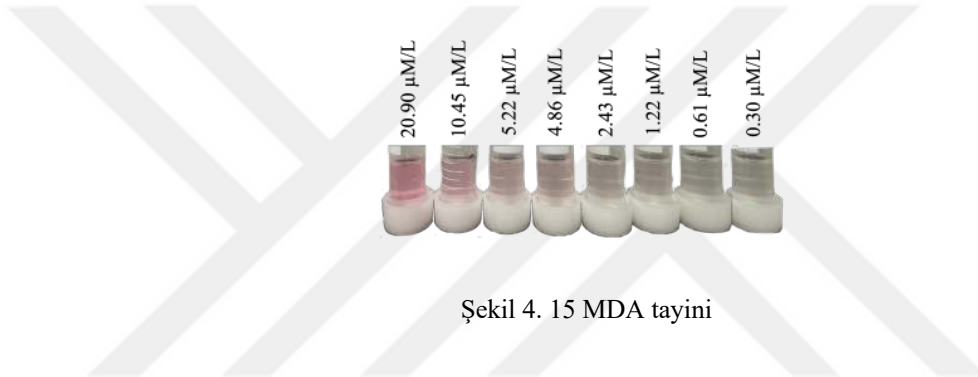
Şekil 4. 13 Lipit peroksidasyonu sonrası MDA'nın tespiti için önerilen reaksiyon

MDA, hücre membranındaki çoklu doymamış yağ asitlerinin serbest radikallerle reaksiyonu sonucu oluşan reaktif bir aldehit olup, LPO'nun biyobelirteci olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, saçta MDA düzeyinin artışı doğrudan oksidatif hasarın şiddetiyle ilişkilidir.

Spektrofotometrik ölçüm için 0.3-20.9 µM aralığında hazırlanan MDA standartlarına dayalı olarak kalibrasyon eğrisi oluşturulmuş ve numuneler bu eğriye göre analiz edilmiştir (Şekil 4.14, 4.15).



Şekil 4. 14 MDA standartlarına dayalı olarak kalibrasyon eğrisi



Şekil 4. 15 MDA tayini

Bulgulara göre (Tablo 4.4, Şekil 4.16), hasarsız saç (UT) numunelerinde MDA düzeyi $1.54 \pm 0.48 \mu\text{M}/\text{mg}$ saç olarak tespit edilmiştir. Bu değer, doğal durumda saçtaki düşük düzeyde oksidatif stres varlığını göstermektedir.

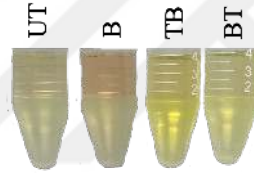
Ağartılmış saç (B) örneklerinde MDA düzeyinin, hasarsız saçla kıyasla %1619.1 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu dramatik artış, saç açma işleminde kullanılan hidrojen peroksit ve amonyak gibi güçlü oksitleyicilerin, saç lipitlerinde ciddi düzeyde peroksidasyona yol açtığını ortaya koymaktadır.

Ağartma öncesinde bakım toniği uygulanan grup (TB), MDA seviyelerinde %89.93'lük bir azalma göstermiştir. Bu durum, bakım toniğinin saç telini oksidatif zararlara karşı önleyici (profilaktik) bir etki sağladığı belirlenmiştir. Bakım toniğinin muhtemelen antioksidan özellik gösteren bileşenleri, serbest radikallerin oluşumunu baskılayarak lipit peroksidasyonunu engellemiştir.

Ağartma sonrası bakım toniği uygulanan grupta (BT) ise MDA seviyesinde %97.28'lik bir azalma gözlenmiştir. Bu sonuç, bakım toniğinin yalnızca koruyucu değil, aynı zamanda onarıcı (terapötik) etki gösterdiğini de ortaya koymaktadır. Muhtemelen saç telinde biriken serbest radikallerin nötralize edilmesi ve lipid yapının yeniden stabilize edilmesi sağlanmıştır.

Tablo 4. 4 UT (herhangi bir işleme tabi tutulmamış, doğal saç) örneğine göre lipid peroksidasyonundaki artış ve azalış yüzdeleri

	$\mu\text{M MDA/mg hair}$	LPO artışı (%)	Tonik sonrası LPO azalışı (%)
UT	1.54±0.48	-	-
B	26.48±1.27	1619.10	-
BT	2.23±0.32	44.81	97.28
TB	4.06±0.26	163.64	89.93



Şekil 4. 16 Ekstrakte edilen lipidlerdeki MDA oluşumu

Bu veriler, bakım toniğinin oksidatif stres kaynaklı saç hasarına karşı oldukça etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Her iki uygulama protokolü de (öncesinde veya sonrasında) anlamlı düzeyde koruma sağlamış olmakla birlikte, hasar sonrası uygulamanın daha yüksek bir inhibisyon sağladığı dikkat çekmektedir. Bu durum, bakım toniğinin içerdiği aktif bileşenlerin serbest radikalleri söndürme yeteneğine sahip olabileceğini ve saç telinin lipid yapısını kısmen onarabileceğini düşündürmektedir.

Literatürdeki çalışmaların sonuçları, resveratrol ve taurin gibi antioksidan bileşenlerin yer aldığı bakım toniğimizin etkileriyle paralellik göstermektedir. Her iki çalışmada da, saçın yapısal bütünlüğünün korunmasında antioksidan uygulamaların belirgin bir katkı sunduğu, lipid peroksidasyonu düzeylerindeki düşüş ile doğrulanmıştır. Dolayısıyla, elde edilen bulgular mevcut literatürü destekler nitelikte olup,

formülasyonda yer alan biyoaktif bileşenlerin hem önleyici hem de onarıcı potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır (Kim, 2011).

Sonuç olarak, TBA testi ile değerlendirilen MDA tayini bulguları, saç açma işlemlerinin saçta ciddi oksidatif stres oluşturduğunu; ancak antioksidan özellikli bakım toniği uygulamasının bu zararı büyük oranda azaltabileceğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu yönüyle ürün, saç sağlığını destekleyen bir saç bakım formülasyon potansiyeline sahiptir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, insan saçında oksidatif stres sonucu meydana gelen yapısal ve kimyasal bozulmalar detaylı olarak incelenmiş, bu bozulmaların önlenmesi ya da azaltılması amacıyla geliştirilen bir saç bakım toniğinin etkinliği değerlendirilmiştir.

DPPH serbest radikal süpürme yöntemiyle resveratrol, taurin, BHA ve BHT bileşiklerinin antioksidan etkinlikleri kantitatif olarak değerlendirilmiştir. Deney bulguları, deneyde pozitif kontrol olarak kullanılan sentetik antioksidanlar BHA ve BHT'nin, düşük IC₅₀ değerleri sayesinde oldukça güçlü radikal temizleyici özelliklere sahip olduğunu ortaya koymuştur. BHA'nın 6.1 µg/mL, BHT'nin ise 10.3 µg/mL'lik IC₅₀ değerleri, bu bileşiklerin DPPH radikallerini etkili biçimde nötralize ettiğini göstermektedir.

Doğal bir polifenol olan resveratrol, her ne kadar sentetik bileşiklerle karşılaştırıldığında daha yüksek bir IC₅₀ değerine sahip olsa da (23.5 µg/mL), 100 µg/mL konsantrasyonda %95'e ulaşan inhibisyon oranı ile dikkate değer bir antioksidan potansiyel sergilemiştir. Bu durum, resveratrol'ün özellikle doğal içerikli kozmetik formülasyonlarda veya güvenlik açısından hassas uygulamalarda tercih edilebilir bir antioksidan olabileceğine işaret etmektedir.

Buna karşılık taurin, bu test sisteminde zayıf bir DPPH radikal süpürücü olarak sınıflandırılmıştır. >1000 µg/mL gibi oldukça yüksek konsantrasyonlara rağmen yalnızca %38'lik bir inhibisyon oranına ulaşabilmiştir. Bu durum, taurin'in antioksidan etkilerinin DPPH gibi fenolik temelli serbest radikaller üzerinde değil; daha çok reaktif oksijen türleri, serbest metal iyonları ve hücre içi stres mekanizmaları gibi spesifik oksidan hedeflere yönelik olduğuna işaret etmektedir.

Elde edilen bulgular, DPPH metodunun özellikle fenolik yapılu bileşiklerin karşılaştırmalı antioksidan kapasitelerinin belirlenmesinde uygun ve duyarlı bir model olduğunu göstermektedir. Ayrıca, sentetik antioksidanların düşük dozlarda bile yüksek etkinlik göstermeleri onları formülasyon açısından cazip hale getirirken, doğal

antioksidanlar (örneğin resveratrol) ise biyolojik uyumluluk, toksisite riski düşüklüğü ve tüketici eğilimleri açısından avantaj sağlayabilir.

Bu veriler ışığında, ürün geliştirme süreçlerinde hem etkinlik hem de güvenlik kriterlerinin dengeli bir biçimde değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Antioksidan içeren ürünlerin tasarımında, yalnızca inhibisyon gücü değil, aynı zamanda biyoyararlanım, stabilite, toksikolojik profil ve hedef uygulama alanı gibi faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Saç örneklerinden izole edilen protein miktarının kantitatif olarak belirlenmesi amacıyla, BSA (Bovine Serum Albumin) standardı kullanılarak spektrofotometrik yöntemle bir protein tayini gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan standart eğri, yüksek korelasyon katsayısı ile doğrusal bir ilişki göstermiş, bu da kullanılan yöntemle güvenilir ve tekrarlanabilir ölçümler yapılabileceğini ortaya koymuştur.

Analiz edilen saç örneğinden elde edilen numunenin protein (keratin) konsantrasyonu yaklaşık 3.06 mg/mL olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, uygulanan ekstraksiyon işleminin verimli bir izolasyon sağladığını ve saç örneğinden biyolojik olarak anlamlı düzeyde keratin proteini elde edildiğini göstermektedir.

Ayrıca, literatürde bildirilen insan saçı kaynaklı keratin elde etme çalışmalarına benzer düzeyde protein miktarları elde edilmesi (Shubha vd., 2021), sonuçların bilimsel geçerliliğini ve tutarlılığını desteklemektedir. Bu bulgu, ilerleyen aşamalarda saç proteinleri üzerinde yapılacak oksidatif stres analizleri ve koruyucu ajan etkinliği değerlendirmeleri için sağlam bir referans noktası sağlamaktadır.

Sonuç olarak, protein miktar tayini yöntemi hem nicel doğruluğu hem de uygulama verimliliği açısından başarılı bulunmuş; saç örneklerinden izole edilen keratin proteinlerinin kantitatif analizine olanak sağlayarak çalışmanın sonraki aşamalarının güvenilirliğini artırmıştır.

Saçın yapısında bulunan keratin proteini, disülfid köprüleri, lipit bileşenler ve antioksidan savunma mekanizmaları, ağartma gibi kimyasal işlemler sonrasında geri dönüşü olmayan hasarlara uğrayabilmektedir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında öncelikle insan saçından lipit ekstraksiyonu başarıyla gerçekleştirilmiş, bu yapıların bozulup bozulmadığını göstermek için sistein salınımı, MDA (malondialdehit) tayini ve elektroforez gibi analizler kullanılmıştır. Elde edilen veriler, hem moleküler hem de uygulamalı kozmetik açıdan son derece anlamlı bulgular sunmuştur.

Yapılan elektroforez analizleri, saç keratini üzerindeki yapısal bozulmayı net bir şekilde göstermiştir. Ağartılmış saç numunelerinde keratine ait belirgin bantların kaybolması, protein yapısında bozulmaların oluştuğuna işaret etmiştir. Bununla birlikte, ağartma işlemi öncesinde uygulanan saç bakım toniğinin keratin bantlarını daha belirgin koruduğu, bu sayede saç proteinlerinin yıkımına karşı belirgin bir koruyucu etki sağladığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, toniğin aktif içeriğinde bulunan resveratrol ve taurinin, serbest radikalleri uzaklaştırma ve antioksidan savunma mekanizmasını destekleme kapasitesine dayandığını göstermektedir.

Saç örneklerinden izole edilen proteinin yaklaşık moleküler ağırlığını belirlemek ve keratin yapısı ile olan uyumunu değerlendirmek amacıyla SDS-PAGE analizi uygulanmıştır. Elde edilen jel görüntüsü, referans olarak kullanılan BSA proteini (~66 kDa) ile saç numunesinden elde edilen ana protein bandının benzer moleküler ağırlık bölgesinde konumlandığını göstermiştir. Bu gözlem, izole edilen proteinin yaklaşık 40–65 kDa aralığında bir moleküler ağırlığa sahip olduğunu ve büyük olasılıkla keratin proteinine karşılık geldiğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca, SDS-PAGE jelinde saç numunesine ait kuyucukta, ana keratin bandının dışında, farklı moleküler ağırlıklarda birkaç zayıf bantın daha varlığı tespit edilmiştir. Bu durum, izole edilen materyalin yalnızca keratin proteinlerini değil, aynı zamanda keratinle ilişkili proteinler (keratin-associated proteins, KAP'lar) gibi yapısal çeşitlilik gösteren bileşenleri de içerebileceğine işaret etmektedir. Bu bulgu, saç lifi içeriğinin kompleks protein bileşimiyle uyumlu olup, izole edilen fraksiyonun yapısal çeşitliliğini desteklemektedir.

Çalışmamızda elde edilen SDS-PAGE profili, literatürde saç kaynaklı keratin ekstraktlarının karakterizasyonuna ilişkin verilerle yüksek düzeyde örtüşmektedir. Örneğin, Shubha vd. (2021), insan saçından elde edilen keratinlerin 45–60 kDa aralığında yoğun bantlar oluşturduğunu belirtmiş; benzer şekilde Agarwal vd. (2019), 50–60 kDa aralığındaki protein bantlarını tip I ve tip II keratinlere atfetmiştir. Bu bağlamda, mevcut çalışmada izole edilen proteinin moleküler özelliklerinin literatürle tutarlılık göstermesi, uygulanan izolasyon yönteminin hem seçici hem de etkili olduğunu kanıtlamaktadır.

Sonuç olarak, SDS-PAGE analizi, saç örneklerinden elde edilen keratin proteininin moleküler tanımlanmasına yönelik güvenilir ve açıklayıcı bir yöntem olarak değerlendirilmiş; elde edilen bant profilleri, keratin izolasyonunun gerçekleştirildiğini ve ileri analizler için uygun biyolojik materyal elde edildiğini göstermiştir.

Resveratrol ve taurinin insan saçından izole edilen keratin proteini ile olan etkileşim potansiyeli santrifüjleme yöntemi ile değerlendirilmiştir. Kontrol grubunda yalnızca keratin çözeltisi yer alırken, test gruplarında keratin çözeltisi resveratrol veya taurin ile birlikte inkübe edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, resveratrol ve taurin içeren gruplarda santrifüjleme sonrasında falcon tüplerinin dibinde belirgin şekilde pelet oluşumu gözlenmiş; buna karşın yalnızca keratin içeren kontrol grubunda herhangi bir pelet oluşmamıştır. Bu bulgu, test edilen bileşiklerin keratin proteini ile çözünmeyen kompleksler oluşturduğunu ve keratinle yüksek afiniteye sahip bağlanma etkileşimleri gerçekleştirdiğini göstermektedir.

Resveratrolün keratinle etkileşim mekanizması incelendiğinde, bu molekülün fenolik hidroksil grupları aracılığıyla keratin yapısında yer alan sülfür içeren amino asit kalıntıları (özellikle sistein) ile hidrojen bağları ve hidrofobik etkileşimler kurabildiği bilinmektedir. Bu bağlamda, gözlemlenen çözünmez kompleks oluşumu, resveratrolün keratin proteinine spesifik ve çok merkezli bağlarla tutunduğunu düşündürmektedir. Taurin ise küçük ve iyonik bir yapı gösterdiğinden, keratin ile iyonik bağlar ve dipol-dipol etkileşimleri üzerinden bağlanabilmektedir. Her iki molekülün de proteinle kurduğu bu etkileşimler, keratinin sekonder yapısını

etkileyerek çözünürlüğünü düşürmekte ve santrifügasyon sırasında çökelmesini sağlamaktadır.

Bu bulgular, literatürde resveratrol ve taurinin protein yapıları üzerindeki stabilizan etkilerine dair raporlarla yüksek düzeyde uyumludur. Rauf vd. (2018), resveratrolün keratin ve kollajen gibi yapısal proteinlerle etkileşime girerek bu proteinlerin bütünlüğünü koruduğunu ve oksidatif stres kaynaklı dejenerasyonu azalttığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Bukowska ve Duchnowicz (2022), taurinin keratinositlerde hücresel savunma mekanizmalarını düzenleyerek protein stabilitesine katkı sağladığını vurgulamıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmada resveratrol ve taurinin saç keratini ile doğrudan fizikokimyasal etkileşimler kurabildiği gösterilmiş olup, bu bileşiklerin saç proteinlerini stabilize etme ve dış etkenlere karşı koruyucu etki oluşturma potansiyeline sahip oldukları doğrulanmıştır. Bu bulgular, ilerleyen aşamalarda yürütülecek oksidatif stres deneyleri ve antioksidan savunma mekanizmalarının değerlendirilmesi için anlamlı bir biyokimyasal temel sunmaktadır.

Resveratrol ve taurinin saç keratini üzerinde ağartıcı ajanlara karşı oluşturduğu koruyucu etkiler, SDS-PAGE analizi ile moleküler düzeyde değerlendirilmiştir. İzole edilen keratin proteini, resveratrol ve taurin ile ön inkübasyona tabi tutulduktan sonra %6 hidrojen peroksit ve %0.5 amonyak içeren ağartma çözeltisine maruz bırakılmıştır. Ağartma işlemi sonrasında örneklerin elektroforetik profilleri incelenerek, protein bütünlüğündeki değişiklikler gözlemlenmiştir.

SDS-PAGE analizinde, yalnızca keratin içeren ve herhangi bir ağartıcı işlem uygulanmamış kontrol grubunda, yaklaşık 45–60 kDa aralığında yoğun, net ve kesintisiz bir keratin bandı izlenmiştir. Buna karşın, yalnızca ağartma solüsyonuyla işlem gören keratin örneğinde belirgin bir bant gözlemlenmemiş; bu durum, keratin yapısının ciddi ölçüde bozulduğunu ve protein zincirlerinin parçalandığını göstermektedir. Bu sonuç, ağartma işleminde kullanılan oksidatif ajanların saç protein yapısını bozduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Resveratrol ve taurin ile inkübe edilen keratin örneklerinde ise, SDS-PAGE analizinde belirgin keratin bantının büyük ölçüde korunduğu tespit edilmiştir. Protein bütünlüğünü temsil eden bantın ağartılmış örneklerle kıyasla daha net ve yoğun şekilde gözlemlenmesi, bu bileşiklerin saç keratini üzerinde koruyucu bir etki oluşturduğuna işaret etmektedir. Özellikle resveratrol grubunda bandın korunma düzeyi daha yüksek olup, bu bileşiğin antioksidan kapasitesinin keratin yapısını oksidatif hasara karşı etkin biçimde stabilize ettiği anlaşılmaktadır.

Bu koruyucu etkinin altında yatan mekanizma, muhtemelen resveratrolün fenolik yapısından kaynaklanan güçlü serbest radikal süpürme özelliği ile ilişkilidir. Serbest radikallerin zincirleme reaksiyonlar yoluyla keratin yapısındaki disülfid bağlarını parçalayarak protein denatürasyonuna neden olduğu bilinmektedir. Resveratrol bu süreci baskılayarak yapısal bozulmayı engelleyebilmektedir. Taurin ise muhtemelen hem antioksidan hem de osmoregülatuar özellikleri sayesinde keratin yapısının bütünlüğünü kısmen koruyabilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma resveratrol ve taurinin saç keratini üzerinde oksidatif stres kaynaklı hasara karşı belirgin koruyucu etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen veriler, bu iki bileşiğin saç yapısını ağartma işlemi sırasında karşılaşılan yapısal bozulmalara karşı stabilize edebilecek biyofonksiyonel ajanlar olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu bulgular, özellikle saç kozmetikğinde oksidatif süreçleri minimize etmeyi amaçlayan formülasyonlarda resveratrol ve taurinin etkin bileşenler olarak kullanım potansiyelini desteklemektedir.

Sistein, saç keratininde bol miktarda bulunan ve disülfid bağlarının bozulması sonucu serbest hale geçen önemli bir amino asittir. Bu çalışmada, saç açma işlemine maruz kalan saç örneklerinden salınan sistein miktarının Ellman reaktifi (DTNB) kullanılarak kantitatif analizi gerçekleştirilmiştir. DTNB'nin sisteinin sülfidril grubu ile reaksiyona girerek 412 nm'de absorbans veren kompleks oluşturması temelinde, saç hasarının biyokimyasal göstergesi olan serbest sistein miktarları ölçülmüştür.

Hasar uygulanan saç örneklerinde sistein konsantrasyonu yaklaşık 0.01098 mM olarak belirlenirken, resveratrol ve taurin içeren saç bakım toniği ile ön işlem uygulanmış saç

örneklerinde bu değer anlamlı olarak 0.00666 mM düzeyine gerilemiştir. Böylece, koruma grubunda saçtan salınan sistein miktarında %39.4 oranında azalma saptanmıştır. Bu sonuç, resveratrol ve taurinin saç açma işlemine bağlı sistein kaybını önemli ölçüde azaltarak saç yapısının korunmasına katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

Grafiksel veriler, saç açma solüsyonuna maruz kalmış örneklerde yüksek düzeyde sistein salınımı gerçekleşirken, resveratrol ve taurin içeren bakım toniği uygulaması sonrası salınımın anlamlı şekilde azaldığını açıkça ortaya koymaktadır. Bu biyokimyasal veri, önceki elektroforetik analizlerle uyumlu olup, keratin yapısının polifenolik aktif bileşiklerle ön işlem sonrasında oksidatif hasara karşı daha dirençli hale geldiğini desteklemektedir.

Literatürde antioksidan bileşiklerin saç proteinlerinde disülfid bağlarını koruyarak yapısal bütünlüğü sürdürdükleri raporlanmıştır (Kim, 2011). Procyanidin oligomerleri üzerinde yapılan çalışmalarda, benzer oksidatif stres koşullarında saç keratininde oluşan protein bozunmasının engellendiği ve kütikül hasarının azaltıldığı gösterilmiştir. Bu bağlamda, resveratrolün saç keratini ile kurduğu spesifik etkileşimler, oksidatif stres kaynaklı sistein kaybını minimize eden koruyucu bir bariyer fonksiyonu görmektedir. Taurinin iyonik bağlar yoluyla sağladığı sinerjik etki ise bu koruyucu mekanizmayı desteklemektedir.

Sonuç olarak, sistein salınımı bazlı biyokimyasal analizler, resveratrol ve taurinin saç keratini oksidatif tahribata karşı koruma kapasitesini güvenilir biçimde ortaya koymuş; elde edilen veriler hem deneysel sonuçlarla hem de literatür bulguları ile yüksek derecede tutarlılık göstermiştir.

Saç tellerinin yapısal dayanıklılığı, ağartma işleminin neden olduğu oksidatif hasar ve saç bakım toniği uygulamalarının koruyucu etkisi açısından detaylı olarak incelenmiştir. Dört farklı deney grubu (UT, B, BT, TB) karşılaştırılarak, saç yüzeyindeki morfolojik değişiklikler Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri ile değerlendirilmiştir.

Kontrol grubu olan UT’de, saç teli yüzeyinde sağlam ve düzenli dizilmiş kütikül tabakası gözlenmiş, saçın doğal yapısının korunmuş olduğu doğrulanmıştır. Bu, sağlıklı saç yapısının referansını oluşturmuştur.

B grubunda, yani ağartma işlemi uygulanmış saçta, kütikül tabakasında ileri derecede bozulmalar tespit edilmiştir. SEM görüntüleri, saç yüzeyinde çatlaklar, delikler ve kütikül kayıplarının yaygın olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, ağartma solüsyonunun saç telinde ciddi yapısal hasar ve protein yapısında bozunmaya neden olduğunu göstermektedir. Ağartıcı bileşenlerin oluşturduğu oksidatif stres, kütikülün koruyucu bariyer fonksiyonunu zayıflatarak saçın mekanik ve kimyasal dayanıklılığını düşürmektedir.

BT grubunda, ağartma işleminden sonra saç bakım toniği uygulanması, saç yüzeyinde belirgin bir iyileşme etkisi sağlamıştır. Tonik uygulamasının, hasarlı kütikül tabakasında kısmi onarım ve düzenlenme oluşturduğu gözlemlenmiştir. Tonik bileşiminde bulunan antioksidan ve yapısal destekleyici aktif maddelerin, saç yüzeyinde koruyucu bir kaplama oluşturduğu ve böylece kütikül bütünlüğünün kısmen geri kazanıldığı sonucuna varılmıştır. Ancak tam bir iyileşme sağlanamamış ve kütikül yapısında hala düzensizlikler gözlenmiştir.

TB grubunda ise ön işlem olarak saç bakım toniği uygulanmış ve ardından ağartma yapılmıştır. Bu grup, ağartmanın saç üzerindeki yıkıcı etkilerinin belirgin şekilde azaldığını göstermiştir. Kütikül tabakasında kısmi kayıplar olmakla birlikte, B grubundaki ileri seviyedeki yapısal hasarlar (çatlak ve delikler) büyük ölçüde engellenmiştir. Bu durum, saç bakım toniğinin saç telini önceden güçlendirerek, ağartmanın neden olduğu oksidatif ve kimyasal hasara karşı etkin bir koruma sağladığını ortaya koymaktadır.

Genel olarak, saç bakım toniği uygulamasının hem ön işlem (TB) hem de ağartma sonrası (BT) kullanımlarının saç telinin yapısal bütünlüğünü koruma ve onarma potansiyeli olduğu anlaşılmıştır. Özellikle ön işlem olarak uygulandığında, toniğin koruyucu etkisi daha belirgin olup, saç teline gelen oksidatif hasarın azaltılmasında etkin rol oynamaktadır. Bu koruma mekanizmasının, toniğin içerdiği antioksidan

bileşiklerin serbest radikal oluşumunu engellemesi ve kütikül yapısına bağlanarak fiziksel bariyer oluşturmaları ile sağlandığı düşünülmektedir.

Çalışma bulguları, saç bakım toniğinin saç sağlığının korunmasında ve kimyasal işlemlerden kaynaklanan hasarın azaltılmasında önemli bir yardımcı ürün olabileceğini göstermektedir. Özellikle saçın kimyasal ağartma gibi agresif işlemlere maruz kalacağı durumlarda, toniğin ön işlem olarak kullanımı saçın yapısal dayanıklılığını artırarak uzun vadeli hasarların önüne geçebilir. Ayrıca, ağartma sonrası toniğin kullanımı da saçın kısmi onarımını destekleyerek estetik ve fonksiyonel açıdan olumlu sonuçlar sunmaktadır.

Saç telinden lipit ekstraksiyonu ve lipit peroksidasyonunun malondialdehit (MDA) tayini yöntemi ile değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Saç telinde bulunan lipitlerin, saçın fiziksel özellikleri ve çevresel etkilere karşı dayanıklılığında kritik rol oynadığı bilinmektedir. Yapılan ekstraksiyon, hem saç yüzeyindeki sebum lipitlerini hem de saç korteksinde gömülü yapısal lipitleri etkin şekilde ayırmıştır. Bu durum, saç telinin renginde meydana gelen açılma ve matlaşma ile desteklenmiş, lipitlerin fiziksel olarak uzaklaştırıldığı doğrulanmıştır. Lipitlerin uzaklaşması sonucunda saç yüzeyinin kırılma dayanıklılığı ve sertleşmesi, lipitlerin saç yapısının mekanik dayanıklılığına doğrudan katkı sağladığını göstermiştir. SEM görüntüleri ile desteklenen bu gözlem, lipitlerin saç bütünlüğündeki önemini vurgulamaktadır.

Lipit peroksidasyonu analizi kapsamında, MDA tayini ile saçtaki oksidatif hasarın derecesi ölçülmüştür. Kontrol grubu (UT) saç örneklerinde düşük düzeyde oksidatif stres varlığı tespit edilmiştir. Buna karşın, ağartma işlemi uygulanmış saç örneklerinde (B) MDA seviyelerinde bir artış (%1619.1) gözlenmiştir. Bu durum, saç açıcıların içerdiği hidrojen peroksit ve amonyak gibi kuvvetli oksidatif ajanların saç telinde lipit peroksidasyonunu tetikleyerek ciddi yapısal hasarlara yol açtığını açıkça ortaya koymaktadır.

Bakım toniği uygulamalarının oksidatif hasar üzerindeki etkileri ise belirgin düzeydedir. Ağartma öncesinde (TB) ve sonrasında (BT) yapılan tonik uygulamaları, MDA seviyelerinde sırasıyla %89.93 ve %97.28 oranlarında azalma sağlamıştır. Bu

bulgu, bakım toniğinin içeriğindeki antioksidan bileşenlerin serbest radikal oluşumunu etkili bir şekilde engellediğini ve lipit yapısının korunmasına ya da kısmen onarımına olanak tanıdığını göstermektedir. Özellikle ağartma sonrası uygulamanın daha yüksek bir inhibisyon sağladığı gözlenmiştir; bu durum bakım toniğinin sadece koruyucu değil aynı zamanda terapötik potansiyele sahip olduğunu düşündürmektedir.

Elde edilen veriler, literatürde resveratrol ve taurin gibi antioksidan bileşenlerin saç yapısını oksidatif strese karşı koruduğuna dair çalışmaları desteklemekte ve mevcut bakım toniğinin formülasyonundaki biyoaktif maddelerin etkinliğini doğrulamaktadır. Bu doğrultuda, saç bakım toniğinin hem ağartma işlemi öncesinde kullanılması ile saçın yapısal dayanıklılığını artırabileceği hem de işlem sonrası kullanımıyla oluşan oksidatif hasarın onarımını destekleyebileceği sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, lipit ekstraksiyonu ve MDA tayini sonuçları, saç açma işleminin saç telinde ciddi oksidatif hasar yarattığını, ancak antioksidan özellikli bakım toniğinin bu zararı önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir. Bu çalışma, saç sağlığını korumaya yönelik kozmetik ürün geliştirme süreçlerinde antioksidan bazlı bakım toniği formülasyonlarının etkili bir strateji olabileceğine işaret etmektedir.

Yapılan kapsamlı deneysel çalışmalar, saç telinde oluşan oksidatif hasarın, özellikle ağartma işlemi gibi kimyasal uygulamalar sonucunda ciddi düzeyde arttığını net bir şekilde ortaya koymuştur. Buna karşın, resveratrol ve taurin içeren bakım toniği uygulamalarının, hem oksidatif stresi anlamlı oranda azalttığı hem de keratin protein yapısını koruyarak saçın dayanıklılığını artırdığı belirlenmiştir. Özellikle resveratrolün güçlü antioksidan özellikleri sayesinde serbest radikal oluşumunu baskılaması ve disülfid bağlarının yıkımını önlemesi, taurin ile birlikte saç telinde yapısal koruma ve onarım mekanizmalarını desteklemektedir.

Bu bulgular, kozmetik uygulamalarda antioksidan bileşenlerin kullanımının saç sağlığının korunmasında kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Resveratrol ve taurin gibi polifenolik ve amino asit türevlerinin, saç bakım formülasyonlarına entegrasyonu, saç liflerinin kimyasal streslere karşı direncini artırmakla kalmayıp, hasar sonrası onarım süreçlerini de desteklemektedir. Böylece, bu tür aktif bileşenler içeren

kozmetik ürünlerin, saçın doğal yapısını ve fonksiyonunu koruyarak, kullanıcıya daha sağlıklı ve dayanıklı saçlar sunma potansiyeli bulunmaktadır. Sonuç olarak, araştırmamız, oksidatif stresin saç sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini minimize etmek için resveratrol ve taurin bazlı formülasyonların geliştirilmesinin önemli ve yenilikçi bir yaklaşım olduğunu vurgulamaktadır.

5.2 Öneriler

Bu tez çalışmasında elde edilen deneysel bulgular, saç kozmetiği alanında özellikle kimyasal işlemler sonucu ortaya çıkan oksidatif hasarın önlenmesi ve onarımı konusunda önemli bilimsel ve uygulamalı çıkarımlar sunmaktadır. Kimyasal ağartma işlemleri, saç telinin yapısal bütünlüğünü ciddi şekilde bozmakta, lipit peroksidasyonunu artırmakta ve keratin proteini üzerinde geri dönüşü zor hasarlara yol açmaktadır. Bu hasarın boyutu, spektrofotometrik MDA tayini ve SEM görüntüleriyle net biçimde ortaya konmuştur. Ancak, formüle edilen antioksidan bakım toniğinin, hem hasar öncesi hem de hasar sonrası uygulamalarda saç telini oksidatif strese karşı etkili biçimde koruduğu ve kısmen onardığı da kanıtlanmıştır.

Özellikle resveratrol ve taurin gibi doğal kaynaklı polifenolik ve amino asit bileşenlerinin saç bakım ürünlerinde kullanılması, saçın lipit yapısını koruyarak peroksidasyonun önlenmesine ve keratin yapısının korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu bileşenlerin serbest radikal temizleme kapasiteleri ve yapısal koruma etkileri, çalışmamızda gözlenen MDA seviyelerindeki anlamlı azalmalarla desteklenmektedir. Dolayısıyla, saç kozmetiği ürünlerinde bu tür doğal antioksidanların optimize edilerek kullanılması, kimyasal işlemler sonrası oluşan zararın etkili bir şekilde azaltılmasına olanak tanımaktadır.

Buna ek olarak, saç telinin yapısal dayanıklılığını artırmaya yönelik moleküler düzeyde yeni aktif bileşenlerin araştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu bileşenlerin formülasyonlardaki etkilerinin moleküler modelleme, protein spektroskopisi ve ileri mikroskopik yöntemlerle detaylı analizi, saç telinin kimyasal ve fiziksel dayanıklılığının artırılmasına yönelik inovatif stratejiler geliştirilmesini sağlayacaktır.

Sisteik asit gibi, saç keratinindeki disülfid bağlarının yeniden oluşumunu destekleyen kükürt içeren amino asit türevlerinin tayini, oksidatif stres kaynaklı saç hasarının moleküler düzeyde değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu bileşenlerin saç telindeki varlığının ve miktarının analizi, saç yapısında meydana gelen disülfid bağlarının yıkımının derecesini ve saçtaki oksidatif hasarın şiddetini niceliksel olarak ortaya koyabilir. Böylece, kükürt bağlarının restorasyon kapasitesine ilişkin doğrudan veri sağlanarak, saç kırılabilirliği ve yapısal bozulmanın biyokimyasal göstergeleri daha hassas bir şekilde ölçülebilir. Bu kapsamda, sisteik asit ve benzeri amino asit türevlerinin saç örneklerinde tayini, saç bakım ürünlerinin formülasyonunda kullanılacak aktif maddelerin etkinliğinin bilimsel olarak değerlendirilmesi ve ürün geliştirme süreçlerinde referans olarak alınması açısından büyük değer taşımaktadır.

Saç telinde lipitlerin, hem saçın esnekliği hem de dış etkilere karşı koruyucu bariyer oluşturması açısından kritik rolü olduğu literatürde kabul görmektedir. Bu çalışmada başarılı lipit ekstraksiyonu ve ekstrakte lipitlerdeki MDA analizleri, lipit yapısının oksidatif hasar açısından hassas olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, saç bakım ürünlerinde lipit koruyucu ve yenileyici etkiye sahip bileşenlerin formülasyonlara entegre edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, ferulik asit, apigenin gibi flavonoidlerin, lipit peroksidasyonunu baskılayan ve saçın lipid bariyerini stabilize eden moleküller olarak incelenmesi, ürün etkinliğinin artırılması için gelecek araştırmaların odak noktası olabilir.

Ar-Ge süreçlerinde, üniversite-sanayi iş birliklerinin güçlendirilmesi, ürün geliştirme aşamasında hem moleküler düzeyde hem de uygulamalı performans testlerinde multidisipliner yaklaşımların kullanılması önerilmektedir. Formülasyonların biyoyararlanımı, stabilitesi, toksikolojik profili, dermatolojik uyumluluğu ve kullanıcı memnuniyeti gibi parametreler sistematik biçimde değerlendirilmelidir. Ayrıca, patent başvuruları ve fikri mülkiyet hakları alanında aktif çalışmalar yapılması, geliştirilen inovatif formülasyonların ticarileştirilme sürecini destekleyecektir.

Literatürde yer alan ve bu çalışmada da paralellik gösteren sonuçlar, resveratrol ve taurin gibi antioksidanların saç yapısının korunmasında etkin olduğunu göstermektedir. Ancak, saç bakım ürünlerinde kullanılan aktif bileşenlerin kombine

etkileri ve sinerjistik etkileşimleri üzerinde daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Örneğin, epigallocatechin gallate, fisetin, kaempferol gibi diğer doğal polifenollerin saç telinde oksidatif hasar üzerindeki potansiyel etkilerinin sistematik olarak karşılaştırılması, ürün portföyünde yeni ve daha etkili antioksidan seçeneklerin geliştirilmesini mümkün kılacaktır.

Bunun yanı sıra, ürün kullanım protokollerinin kişiye özel saç tipi, kimyasal işlem geçmişi ve çevresel faktörler göz önünde bulundurularak kişiselleştirilmesi, kozmetik sektöründe müşteri memnuniyetini ve ürün etkinliğini artıracak önemli bir yaklaşımdır. Özellikle ön hasar önleyici ve hasar sonrası onarıcı uygulamaların doğru kombinasyonu, saç sağlığının uzun vadeli korunmasında kritik rol oynayacaktır.

Son olarak, kozmetik sektöründe bilimsel temelli ve şeffaf ürün tanıtımının yaygınlaştırılması, tüketici güveninin tesis edilmesi açısından önemlidir. Bilimsel kanıtlarla desteklenen etkiler ve formülasyon bileşenlerinin açıklanması, etik pazarlama anlayışını güçlendirecek ve markaların rekabet gücünü artıracaktır. Ayrıca, sürdürülebilir ve çevre dostu hammaddelerin kullanılması ve üretim süreçlerinin çevresel etkilerinin minimize edilmesi, günümüz tüketicilerinin beklentilerini karşılayarak sektörün geleceğini şekillendirecektir.

Özetle, bu çalışma saç kozmetiği alanında antioksidan bazlı yenilikçi ürünlerin geliştirilmesi için sağlam bir bilimsel temel sunmakta ve geleceğe yönelik kapsamlı Ar-Ge stratejileri için yol göstermektedir. Resveratrol ve taurin gibi doğal antioksidanların etkilerinin derinlemesine incelenmesi ve yeni aktif bileşenlerin keşfi, kimyasal işlemlerin saç üzerindeki yıkıcı etkilerini minimize ederek, saç sağlığının korunması ve desteklenmesi açısından büyük potansiyel taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdel Fattah, N. S. A., Ebrahim, A. A., & El Okda, E. S. (2011). Lipid peroxidation/antioxidant activity in patients with alopecia areata. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 25(4), 403-408.
- Agarwal, V., Panicker, A. G., Indrakumar, S., & Chatterjee, K. (2019). Comparative study of keratin extraction from human hair. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 382-390.
- Ahmed, M. B., Ahmed, M. I., Meki, A. R., & AbdRaboh, N. (2013). Neurotoxic effect of lead on rats: Relationship to Apoptosis. *International Journal of Health Sciences*, 7(2), 192.
- Akagawa, M. (2021). Protein carbonylation: molecular mechanisms, biological implications, and analytical approaches. *Free Radical Research*, 55(4), 307-320.
- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., ... & Walter, P. (2017). *Fundamentos da Biologia Celular-4*. Artmed Editora.
- Antunes, E., Cruz, C. F., Azoia, N. G., & Cavaco-Paulo, A. (2015). The effects of solvent composition on the affinity of a peptide towards hair keratin: experimental and molecular dynamics data. *Royal Society of Chemistry Advances*, 5(16), 12365-12371.
- Arck, P. C., Overall, R., Spatz, K., Liezman, C., Handjiski, B., Klapp, B. F., ... & Peters, E. M. J. (2006). Towards a “free radical theory of graying”: melanocyte apoptosis in the aging human hair follicle is an indicator of oxidative stress induced tissue damage. *The FASEB Journal*, 20(9), 1567-1569.
- Arêas, E. P. G., & Kawano, Y. (1990). Estudo conformacional de proteínas por espectroscopia raman, laser e de absorção no infravermelho: toxina 'GAMA' de *Tityus serrulatus* e fosfolipases' A IND. 2º de *Crotalus durissus terrificus* e de pancreas de porco e seu zimogenio.
- Bagchi, K. & Puri, S. (1998). Free radicals and antioxidants in health and disease: a review. *Eastern Mediterranean Health Journal*, 4 (2), 350-360.
- Baliou, S., Adamaki, M., Ioannou, P., Pappa, A., Panayiotidis, M. I., Spandidos, D. A., ... & Zoumpourlis, V. (2021). Protective role of taurine against oxidative stress. *Molecular Medicine Reports*, 24(2), 1-19.
- Baraibar, M. A., Ladouce, R., & Friguet, B. (2013). Proteomic quantification and identification of carbonylated proteins upon oxidative stress and during cellular aging. *Journal of Proteomics*, 92, 63-70.
- Bhushan, B. (2010). *Nanotribology and Nanomechanics: An Introduction*. Springer.
- Bouillon, C. (2005). The science of hair care. *The Science of Hair Care*, 2nd.
- Boyer, J. Z., Jandova, J., Janda, J., Vleugels, F. R., Elliott, D. A., & Sligh, J. E. (2012). Resveratrol-sensitized UVA induced apoptosis in human keratinocytes through

- mitochondrial oxidative stress and pore opening. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 113, 42-50.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Breakspear, S., Smith, J. R., & Luengo, G. (2005). Effect of the covalently linked fatty acid 18-MEA on the nanotribology of hair's outermost surface. *Journal of Structural Biology*, 149(3), 235-242.
- Bukowska, B., & Duchnowicz, P. (2022). Molecular mechanisms of action of selected substances involved in the reduction of benzo [a] pyrene-induced oxidative stress. *Molecules*, 27(4), 1379.
- Casanova, F., & Santos, L. (2016). Encapsulation of cosmetic active ingredients for topical application—a review. *Journal of Microencapsulation*, 33(1), 1-17.
- Catalá, A. (2009). Lipid peroxidation of membrane phospholipids generates hydroxy-alkenals and oxidized phospholipids active in physiological and/or pathological conditions. *Chemistry and Physics of Lipids*, 157(1), 1-11.
- Cavagnino, A., Starck, A., Bobier, A., & Baraibar, M. A. (2022). Protein Carbonylation as a Reliable Read-Out of Urban Pollution Damage/Protection of Hair Fibers. *Cosmetics*, 9(5), 98.
- Chao, J. (1979). Comparison of the effects of some reactive chemicals on the proteins of whole hair, cuticle and cortex. *Journal of the Society of Cosmetic Chemist*, 30, 401-413.
- Chen, N., & Bhushan, B. (2005). Morphological, nanomechanical and cellular structural characterization of human hair and conditioner distribution using torsional resonance mode with an atomic force microscope. *Journal of Microscopy*, 220(2), 96-112.
- Choi, H., Lee, M., & Kim, M. J. (2021). Thiol group analysis in hair keratin to assess chemical damage by oxidative stress. *International Journal of Cosmetic Science*, 43(1), 45–53.
- Coderch, L., Oliver, M. A., Martínez, V., Manich, A. M., Rubio, L., & Martí, M. (2017). Exogenous and endogenous lipids of human hair. *Skin Research and Technology*, 23(4), 479-485.
- Colenci, A. V. P. (2017). Degradação do cabelo humano causada pelo uso de alisantes contemporâneos e outros processos químicos.
- Collin, C., Gautier, B., Gaillard, O., Hallegot, P., Chabane, S., Bastien, P., ... & Bernard, B. A. (2006). Protective effects of taurine on human hair follicle grown in vitro 1. *International Journal of Cosmetic Science*, 28(4), 289-298.
- Cruz, C. F., Costa, C., Gomes, A. C., Matamá, T., & Cavaco-Paulo, A. (2016). Human hair and the impact of cosmetic procedures: a review on cleansing and shape-modulating cosmetics. *Cosmetics*, 3(3), 26.

- Cruz, C. F., Martins, M., Egipto, J., Osório, H., Ribeiro, A., & Cavaco-Paulo, A. (2017). Changing the shape of hair with keratin peptides. *RSC Advances*, 7(81), 51581-51592.
- Dalle-Donne, I., Rossi, R., Giustarini, D., Milzani, A., & Colombo, R. (2003). Protein carbonyl groups as biomarkers of oxidative stress. *Clinica Chimica Acta*, 329(1-2), 23-38.
- Darmanyan, A. P., Gregory, D. D., Guo, Y., Jenks, W. S., Burel, L., Eloy, D., & Jardon, P. (1998). Quenching of singlet oxygen by oxygen-and sulfur-centered radicals: Evidence for energy transfer to peroxy radicals in solution. *Journal of the American Chemical Society*, 120(2), 396-403.
- Dawber, R. (1996). Hair: its structure and response to cosmetic preparations. *Clinics in Dermatology*, 14(1), 105-112.
- Dean, R. T., FU, S., Stocker, R., & Davies, M. J. (1997). Biochemistry and pathology of radical-mediated protein oxidation. *Biochemical Journal*, 324(1), 1-18.
- Draelos, Z. D. (2004). *Hair care: an illustrated dermatologic handbook*. CRC Press.
- Eberle, C. E., Sandler, D. P., Taylor, K. W., & White, A. J. (2020). Hair dye and chemical straightener use and breast cancer risk in a large US population of black and white women. *International Journal of Cancer*, 147(2), 383-391.
- Gago-Dominguez, M., Castelao, J. E., Yuan, J. M., Yu, M. C., & Ross, R. K. (2001). Use of permanent hair dyes and bladder-cancer risk. *International Journal of Cancer*, 91(4), 575-579.
- Gahalain, N., Chaudhary, J., Kumar, A., Sharma, S., & Jain, A. (2011). Lipid peroxidation: an overview. *Methods*, 3, 18.
- Gamble, P. E., & Burke, J. J. (1984). Effect of water stress on the chloroplast antioxidant system: I. Alterations in glutathione reductase activity. *Plant Physiology*, 76(3), 615-621.
- Gomes, N. L. (2002). Trajetórias escolares, corpo negro e cabelo crespo: reprodução de estereótipos ou resignificação cultural?. *Revista brasileira de Educação*, 40-51.
- Goodman, M., Bostick, R. M., Kucuk, O., & Jones, D. P. (2011). Clinical trials of antioxidants as cancer prevention agents: past, present, and future. *Free Radical Biology and Medicine*, 51(5), 1068-1084.
- Goossens, A. (2011). Contact-allergic reactions to cosmetics. *Journal of Allergy*, 2011(1), 467071.
- Grosjacques, C., Babel, S., Hodes, J., Bobier, A., Cavagnino, A., & Baraibar, M. (2025). Carbonylation of hair proteins: A robust biomarker of molecular and structural oxidative damage in hair fibres. *International Journal of Cosmetic Science*.

- Gülbahar, Ö. (2007). Protein oksidasyonunun mekanizması, önemi ve yaşlılıkla ilgisi. *Turkish Journal of Geriatrics*, 10(1), 43-48.
- Halliwell, B. (1990). How to characterize a biological antioxidant. *Free Radical Research Communications*, 9(1), 1-32.
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. (1995). The definition and measurement of antioxidants in biological systems. *Free Radical Biology & Medicine*, 18(1), 125-126.
- Harman, D. (2002). Aging: a theory based on free radical and radiation chemistry. *Science of Aging Knowledge Environment*, 2002(37), cp14-cp14.
- Harrison, S., & Sinclair, R. (2003). Hair colouring, permanent styling and hair structure. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 2(3-4), 180-185.
- Hassan, W., Zafar, M., & Kamdem, J. P. (2020). Medicinal plants, antioxidant potential, and applications to aging. In *Aging* (pp. 233-242). Academic Press.
- Hassanpour, S. H., & Doroudi, A. (2023). Review of the antioxidant potential of flavonoids as a subgroup of polyphenols and partial substitute for synthetic antioxidants. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 13(4), 354.
- Heim, K. E., Tagliaferro, A. R., & Bobilya, D. J. (2002). Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 13(10), 572-584.
- Herranz-López, M., & Barrajon-Catalán, E. (2020). Antioxidants and skin protection. *Antioxidants*, 9(8), 704.
- Hirai, T., Ikeda-Imafuku, M., Tasaka, N., Chuang, V. T. G., Xian, M., Ishida, T., ... & Ishima, Y. (2024). Human hair keratin responds to oxidative stress via reactive sulfur and supersulfides. *Advances in Redox Research*, 10, 100091.
- Ito, S., & Jimbow, K. (1983). Quantitative analysis of eumelanin and pheomelanin in hair and melanomas. *Journal of Investigative Dermatology*, 80(4), 268-272.
- Jee, J. P., Lim, S. J., Park, J. S., & Kim, C. K. (2006). Stabilization of all-trans retinol by loading lipophilic antioxidants in solid lipid nanoparticles. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 63(2), 134-139.
- Jones, L. N. (2001). Hair structure anatomy and comparative anatomy1. *Clinics in Dermatology*, 19(2), 95-103.
- Juan, C. A., Pérez de la Lastra, J. M., Plou, F. J., & Pérez-Lebeña, E. (2021). The chemistry of reactive oxygen species (ROS) revisited: outlining their role in biological macromolecules (DNA, lipids and proteins) and induced pathologies. *International Journal of Molecular sciences*, 22(9), 4642.
- Kancheva, V. D. (2009). Phenolic antioxidants—radical-scavenging and chain-breaking activity: A comparative study. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111(11), 1072-1089.

- Kandola, K., Bowman, A., & Birch-Machin, M. A. (2015). Oxidative stress—a key emerging impact factor in health, ageing, lifestyle and aesthetics. *International Journal of Cosmetic Science*, 37, 1-8.
- Kauser, S., Westgate, G. E., Green, M. R., & Tobin, D. J. (2011). Human hair follicle and epidermal melanocytes exhibit striking differences in their aging profile which involves catalase.
- Keller, S., Golsari, A., & Yamamura, J. (2018, September). Juvenile Dermatomyositis. In *RöFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren* (Vol. 190, No. 09, pp. 810-813). © Georg Thieme Verlag KG.
- Kim, M. M. (2011). Effect of procyanidin oligomers on oxidative hair damage. *Skin Research and Technology*, 17(1), 108-118.
- Kon, R., Nakamura, A., & Takeuchi, K. (1998). Artificially damaged hairs: preparation and application for the study of preventive ingredients. *International Journal of Cosmetic Science*, 20(6), 369-380.
- Kurutas, E. B. (2015). The importance of antioxidants which play the role in cellular response against oxidative/nitrosative stress: current state. *Nutrition Journal*, 15, 1-22.
- Kutlubay, Z., & Serdaroglu, S. (2017). Anatomy and physiology of hair. In *Hair and Scalp Disorders* (pp. 13-27). IntechOpen.
- Leopoldini, M., Russo, N., & Toscano, M. (2011). The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. *Food Chemistry*, 125(2), 288-306.
- Levine, R. L., & Stadtman, E. R. (2001). Oxidative modification of proteins during aging. *Experimental Gerontology*, 36(9), 1495-1502.
- Lü, J. M., Lin, P. H., Yao, Q., & Chen, C. (2010). Chemical and molecular mechanisms of antioxidants: experimental approaches and model systems. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 14(4), 840-860.
- Masaki, H., Sinomiya, D., Okano, Y., Yoshida, M., & Iwabuchi, T. (2021). Impact of protein carbonylation on the chemical characteristics of the hair surface. *International Journal of Cosmetic Science*, 43(6), 764-771.
- Milei, J., Forcada, P., Fraga, C. G., Grana, D. R., Iannelli, G., Chiariello, M., ... & Ambrosio, G. (2007). Relationship between oxidative stress, lipid peroxidation, and ultrastructural damage in patients with coronary artery disease undergoing cardioplegic arrest/reperfusion. *Cardiovascular Research*, 73(4), 710-719.
- Min, D. B., & Boff, J. M. (2002). Chemistry and reaction of singlet oxygen in foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1(2), 58-72.
- Miranda-Vilela, A. L., Botelho, A. J., & Muehlmann, L. A. (2014). An overview of chemical straightening of human hair: technical aspects, potential risks to hair fibre and health and legal issues. *International Journal of Cosmetic Science*, 36(1), 2-11.

- Mitsui, T. (Ed.). (1997). *New cosmetic science*. Elsevier.
- Mitu, A. M. (2004). *Damage assessment of human hair by electrophoretical analysis of hair proteins* (Doctoral dissertation, Bibliothek der RWTH Aachen).
- Miura, T., Muraoka, S., Ikeda, N., Watanabe, M., & Fujimoto, Y. (2000). Antioxidative and prooxidative action of stilbene derivatives. *Pharmacology & Toxicology*, 86(5), 203-208.
- Moita, G. C. (1989). *Propriedades físico-químicas de cabelos: avaliação de interações com corante e surfactantes* (Doctoral dissertation, [sn]).
- Nagase, S. (2019). Hair structures affecting hair appearance. *Cosmetics*, 6(3), 43.
- Nakano, A. K. (2006). *Comparação de danos induzidos em cabelos de três etnias por diferentes tratamentos* (Doctoral dissertation, [sn]).
- Nogueira, A. C. S. (2008). *Foto-degradação do cabelo: Influência da pigmentação da fibra* (Doctoral dissertation, Tese de Doutorado, Instituto de Química, UNICAMP).
- Olas, B., & Wachowicz, B. (2005). Resveratrol, a phenolic antioxidant with effects on blood platelet functions. *Platelets*, 16(5), 251-260.
- Oshimura, E., & Ino, M. (2005). Effects of arginine on hair damage via oxidative coloring process. *International Journal of Cosmetic Science*, 27(2), 139-139.
- Ozeki, H., Ito, S., Wakamatsu, K., & Thody, A. J. (1996). Spectrophotometric characterization of eumelanin and pheomelanin in hair. *Pigment Cell Research*, 9(5), 265-270.
- Pande, C. M., & Jachowicz, J. (1993). Hair photodamage: measurement and prevention. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, 44(2), 109-122.
- Pierce, J. S., Abelman, A., Spicer, L. J., Adams, R. E., Glynn, M. E., Neier, K., ... & Gaffney, S. H. (2011). Characterization of formaldehyde exposure resulting from the use of four professional hair straightening products. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 8(11), 686-699.
- Pokorný, J. (2007). Are natural antioxidants better—and safer—than synthetic antioxidants?. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(6), 629-642.
- Popescu, C., & Höcker, H. (2007). Hair—the most sophisticated biological composite material. *Chemical Society Reviews*, 36(8), 1282-1291.
- Powell, B. A., & Rogers, G. E. (1997). The role of keratin proteins and their genes in the growth, structure and properties of hair. *Experientia Supplementum*, 78, 59-148.
- Rahman, K. (2007). Studies on free radicals, antioxidants, and co-factors. *Clinical Interventions in Aging*, 2(2), 219-236.

- Ramana, K. V., Srivastava, S., & Singhal, S. S. (2019). Lipid peroxidation products in human health and disease 2019. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, 7147235.
- Ratnam, D. V., Ankola, D. D., Bhardwaj, V., Sahana, D. K., & Kumar, M. R. (2006). Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Journal of Controlled Release*, 113(3), 189-207.
- Rauf, A., Imran, M., Butt, M. S., Nadeem, M., Peters, D. G., & Mubarak, M. S. (2018). Resveratrol as an anti-cancer agent: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(9), 1428-1447.
- Richena, M. (2011). *Alterações nos cabelos não pigmentados causadas por radiação ultravioleta, visível e infravermelha* (Doctoral dissertation, [sn]).
- Robbins, C. R., & Robbins, C. R. (2002). *Chemical and physical behavior of human hair* (Vol. 4). New York: Springer.
- Robbins, C. R. (2012). *Chemical and Physical Behavior of Human Hair* (5th ed.). Springer.
- Rogers, M. A., Langbein, L., Praetzel-Wunder, S., & Giehl, K. (2008). Characterization and expression analysis of the hair keratin associated protein KAP26. 1. *British Journal of Dermatology*, 159(3), 725-729.
- Ruetsch, S. B. (2000). Photodegradation of human hair: an SEM study. *Journal of Cosmetic Science*, 51, 103-125.
- Saber-Tehrani, M., & Tadayon, F. (2009). Endogenous and exogenous elemental speciation in human hair by various washing procedures and determination by flame and electrothermal atomic absorption spectrometry. *Asian Journal Of Chemistry*, 21(5), 3660-3670.
- Sandhu, S. S., & Robbins, C. R. (1993). A simple and sensitive technique, based on protein loss measurements, to assess surface damage to human hair. *Journal-Society of Cosmetic Chemists*, 44, 163-163.
- Shacter, E. (2000). Quantification and significance of protein oxidation in biological samples. *Drug Metabolism Reviews*, 32(3-4), 307-326.
- Shavandi, A., Silva, T. H., Bekhit, A. A., & Bekhit, A. E. D. A. (2017). Keratin: dissolution, extraction and biomedical application. *Biomaterials science*, 5(9), 1699-1735.
- Shimomura, Y., & Ito, M. (2005, December). Human hair keratin-associated proteins. In *Journal of Investigative Dermatology Symposium Proceedings* (Vol. 10, No. 3, pp. 230-233). Elsevier.
- Shin, H., Hwang, Y., Kim, J. H., & Lee, Y. (2013). Analysis of disulfide bond cleavage in hair keratin proteins treated with hydrogen peroxide. *Journal of Cosmetic Science*, 64(2), 123-130.

- Shubha, A., Sharmita, G., & Anita, L. (2024). Production and characterization of human hair keratin bioplastic films with novel plasticizers. *Scientific Reports*, 14(1), 1186.
- Stadtman, E. R. (1992). Protein oxidation and aging. *Science*, 257(5074), 1220-122
- Suzuki, Y. J., Carini, M., & Butterfield, D. A. (2010). Protein carbonylation. *Antioxidants & Redox Signaling*, 12(3), 323-325.
- Svobodová, A., Zdařilová, A., Walterová, D., & Vostálová, J. (2007). Flavonolignans from *Silybum marianum* moderate UVA-induced oxidative damage to HaCaT keratinocytes. *Journal of Dermatological Science*, 48(3), 213-224.
- Takada, K., Nakamura, A., Matsuo, N., Inoue, A., Someya, K., & Shimogaki, H. (2003). Influence of oxidative and/or reductive treatment on human hair (I): analysis of hair-damage after oxidative and/or reductive treatment. *Journal of Oleo Science*, 52(10), 541-548.
- Tanamachi, H., Tokunaga, S., Tanji, N., Oguri, M., & Inoue, S. (2010). Abstracts: 18-MEA and hair appearance. *International Journal of Cosmetic Science*, 32(5), 396-396.
- Tate, M. L., Kamath, Y. K., Ruetsch, S. B., & Weigmann, H. D. (1993). Quantification and prevention of hair damage. *Journal of The Society of Cosmetic Chemists*, 44(6), 347-372.
- Trüeb, R. M. (2001). The value of hair cosmetics and pharmaceuticals. *Dermatology*, 202(4), 275-282.
- Trüeb, R. M. (2005, December). Dermocosmetic aspects of hair and scalp. In *Journal of Investigative Dermatology Symposium Proceedings* (Vol. 10, No. 3, pp. 289-292). Elsevier.
- Trüeb, R. M. (2009). Oxidative stress in ageing of hair. *International Journal of Trichology*, 1(1), 6-14.
- Trüeb, R. M. (2015). The impact of oxidative stress on hair. *International Journal of Cosmetic Science*, 37, 25-30.
- Tubia, C., Fernández-Botello, A., Dupont, J., Gómez, E., Desroches, J., Attia, J., & Loing, E. (2020). A New Ex vivo Model to Evaluate the Hair Protective Effect of a Biomimetic Exopolysaccharide against Water Pollution. *Cosmetics*, 7(4), 78.
- Turcov, D., Barna, S., Profire, L. E. N. U. Ț. A., Iacob, A. T., Lisă, G. A. B. R. I. E. L. A., Puișel, A. C., ... & Suteu, D. (2022). Physico-chemical characterization of the antioxidant mixture resveratrol-ferulic acid for applications in dermato-cosmetic products. *Farmacia*, 70(3), 410-416.
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. (2009). The Structure and Function of Large Biological Molecules. *REECE, JB et al. Campbell Biology*, 9, 68-91.
- Velasco, M. V. R., Dias, T. C. D. S., Freitas, A. Z. D., Júnior, N. D. V., Pinto, C. A.

- S. D. O., Kaneko, T. M., & Baby, A. R. (2009). Hair fiber characteristics and methods to evaluate hair physical and mechanical properties. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 45, 153-162.
- Velasco, M. V. R., Dias, T. C. D. S., Freitas, A. Z. D., Júnior, N. D. V., Pinto, C. A. S. D. O., Kaneko, T. M., & Baby, A. R. (2009). Hair fiber characteristics and methods to evaluate hair physical and mechanical properties. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 45, 153-162.
- Wilkerson, V. A. (1935). The chemistry of human epidermis: II. The isoelectric points of the stratum corneum, hair, and nails as determined by electrophoresis. *Journal of Biological Chemistry*, 112(1), 329-335.
- Xiu, L. L., Hung, L. S., Wang, L., Huang, J. Y., & Wang, X. Y. (2022). The metabolites derived from lipids and their effects on human health. In *Advances in Dietary Lipids and Human Health* (pp. 211-223). Academic Press.
- Yamauchi, C., Okazaki, W., Inoue, K., & Sakaino, A. (2007). Enzymatic Method for Assessing Hair Damage with Reduction and Subsequent Oxidation. *Sen'i Gakkaishi*, 63(2), 33-38.
- Yoon, J. I., Kim, D., & Park, S. (2015). Biochemical approaches to evaluate hair damage and repair. *Cosmetics*, 2(2), 120–132.
- Zahn, H., & Gattner, H. G. (1997). Hair sulfur amino acid analysis. *Exs*, 78, 239-258.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

ÖNEN, Belinda

Web sayfası

(Research Gate, Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	2025
Lisans	Fırat Üniversitesi	2018
Lise	Nevzat Ayaz Anadolu Lisesi	2013

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2019-2021	Çetinkayalar Yapı Elemanları A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
2021-Devam	Lila Kozmetik A.Ş.	Ar-Ge İnovasyon Uzmanı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. B. ÖNEN, N. N. AYHAN, B. AK İZGİ, B. N. YOLDAŞ & M. KIZIL, THE CHEMISTRY MECHANISM OF HAIR DYES, DERGI PARK MIDDLE EAST JOURNAL OF SCIENCE, 2022, 2618-6136, 8, 2, 173-193.
2. B. ÖNEN, B. AK İZGİ & M. KIZIL, Saç Boyası Formülasyonlarında Doğal Renklendirici Olarak Antosiyaninlerin Etkinliği: Derleme, Özet Bildiri, 12. ULUSLARARASI KOZMETİK KONGRESİ, 22 Şubat 2022, 24 Şubat 2022, 46 - 46.
3. B. ÖNEN & M. KIZIL, The Combination of Hypericum perforatum L. Essential Oil and Vitamin E on Protein Oxidation,, Özet Bildiri, 13. ULUSLARARASI KOZMETİK KONGRESİ, 03 Şubat 2023, 05 Şubat 2023, 73 - 73.
4. B. ÖNEN, M. KIZIL & E. CANSIZ, Total Phenolic, Total Flavonoid, Anthocyanin Contents and Antioxidant Capacity of Black Elderberry and Black Beans: Investigation of Their Effectiveness as Hair Dye, Özet Bildiri, 14. ULUSLARARASI KOZMETİK KONGRESİ, 15 Şubat 2024, 18 Şubat 2024.
5. B. ÖNEN, A. YILDIRIM, B. AK İZGİ, B. N. YOLDAŞ, G. ALTUNKAYA, G. EŞLİK AYDEMİR, M. MUSTAFAOĞLU, M. KIZIL & S. EMEN, The Investigation of Antioxidant and Hair Coloring Properties of Some Plants for Cosmetic Uses, Özet Bildiri, 14. KOZMETİK KONGRESİ, 15 Şubat 2024, 18 Şubat 2024.
6. B. ÖNEN, A. YILDIRIM, B. AK İZGİ, M. MUSTAFAOĞLU & M. KIZIL, Melanini Taklit Eden ve Saç Pigmentasyonuna Toksik Olmayan Yaklaşım ile Doğal Saç Boyalarının Geliştirilmesi, Özet Bildiri, 14. KOZMETİK KONGRESİ, 15 Şubat 2024, 18 Şubat 2024.
7. B. ÖNEN, M. KIZIL & E. CANSIZ, Yenilenebilir Kaynaklardan Elde Edilen Antosiyaninlerin Saç Boyası Formülasyonlarında Uygulanması, Sözlü Sunum, 35. ULUSAL KİMYA KONGRESİ, 09 Eylül 2024, 12 Eylül 2024.
8. B. ÖNEN, G. KIZIL & M. KIZIL, Lipid Peroxidation as a Biomarker of Oxidative Hair Damage: Hair Protection with Resveratrol and Taurine, Özet Bildiri, 15. KOZMETİK KONGRESİ, 20 Şubat 2025, 22 Şubat 2025.

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Belinda ÖNEN		
Öğrenci No	22803021		
Ana Bilim Dalı	Kimya		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Göksel KIZIL		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	Resveratrol ve Taurinin Oksidatif Saç Hasarına Etkisi		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	96		
Raporlama Tarihi	18.06.2025		
Benzerlik Oranı (%)	%6		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 96 sayfalık kısmına ilişkin, 18/06/2025 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
- ☒Kaynaklar hariç
- ☐Alıntılar hariç/dâhil
- ☐Diğer (Açıklayınız)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Tez benzerlik oranı üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı:

Tarih:

İmza:

Danışman Adı, Soyadı:	İmza:
Tarih:	
Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı:	İmza:
Tarih:	