

# Güneş Koruyucu Ürünlerde ZnO Nanopartiküllerinin Rolü: Güneşten Koruyucu Teknolojisinin Yenilikçi Boyutları

## The Role of ZnO Nanoparticles in Sunscreen Products: Innovative Dimensions of Sunscreen Technology

Haticenur KAYACI<sup>1</sup>  
Müberra ANDAÇ<sup>1,2</sup>



<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü Ana Bilim Dalı, Samsun, Türkiye

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Nanobilim ve Nanoteknoloji Ana Bilim Dalı, Samsun, Türkiye



### Öz

Kozmetikler, antik çağlardan beri kişisel bakım için kullanılan ürünlerdir. Dünya çapında büyük bir pazar payına sahip ve milyonlarca kişi tarafından düzenli olarak tüketilmektedir. Kozmetik ürünlere olan talebin her geçen gün artması ve teknolojik gelişmelerle birlikte nano ölçekli materyaller içeren nanokozmetikler olarak adlandırılan yeni formülasyonlar ortaya çıkmıştır. Nanokozmetiklerde; nanopartiküller, nanoemülsiyonlar, lipozomlar, niozomlar, mikroemülsiyonlar, katı lipit nanopartikülleri, nanoyapılı lipit taşıyıcılar ve nanoküreler gibi çok sayıda nanotaşıyıcı kullanılmaktadır. Kullanılan nanotaşıyıcıların her biri benzersiz fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahiptir. Bu özellikler, antioksidan, yaşlanma karşıtı ve daha fazlasını kapsayan yeni kozmetik ürünlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Nanokozmetikler, geleneksel kozmetiklere göre aktif maddelerin cilde daha iyi nüfuz etmesi, transdermal kontrollü salınım olasılığı, kararsız aktif maddelerin bozulmasına karşı koruma, formülasyonun daha iyi stabilizasyonu ve düşük toksisite gibi avantajlar sunar. Özellikle yeşil sentez metotları kullanılarak metal/metal oksit nanopartiküllerin sentezi ve nanokozmetiklerde kullanımı, kozmetik sektöründe yenilikçi yaklaşımların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Kozmetik sektöründe, güneş koruyucu teknolojisi, özellikle ZnO nanopartiküllerinin kullanımıyla önemli ölçüde geliştirilmiştir. Güneş koruyucu ürünlerde ZnO nanopartiküllerinin etkinliğini arttırmaya yönelik araştırmalar, nanoformülasyonların optimizasyonuna odaklanmıştır. ZnO NP'lerinin cilt ile etkileşimi üzerine yapılan çalışmalar, ürünlerin biyouyumluluğunun ve toksisitesinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu derleme makalesinde nanoteknoloji ile kozmetik endüstrisinin kesişimi ayrıntılı olarak incelenerek, nano ölçekli kozmetik ürünler, ZnO NP'lerinin kozmetik ve güneş koruyucu formülasyonlarındaki uygulamaları genel yaklaşımlarla sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoteknoloji, Kozmetik, ZnO Nanopartikülleri, Güneş Koruyucu Ürünler

### ABSTRACT

Cosmetics are products used for personal care since ancient times. They have a large market share worldwide and are consumed regularly by millions of people. With the increasing demand for cosmetic products and technological developments, new formulations called nanocosmetics containing nanoscale materials have emerged. Numerous nanocarriers such as nanoparticles, nanoemulsions, liposomes, niosomes, microemulsions, solid lipid nanoparticles, nanostructured lipid carriers and nanospheres are used in nanocosmetics. Each of the nanocarriers used has unique physical, chemical and biological properties. These properties lead to the emergence of new cosmetic products that include antioxidants, anti-aging and more. Nanocosmetics offer advantages such as better penetration of active ingredients into the skin, the possibility of transdermal controlled release, protection against degradation of unstable active ingredients, better stabilization of the formulation and low toxicity compared to traditional cosmetics. Especially the synthesis of metal/metal oxide nanoparticles using green synthesis methods and their use in nanocosmetics have provided innovative approaches in the cosmetics sector. In the cosmetics sector, sunscreen technology has been significantly improved, especially with the use of ZnO nanoparticles. Research to increase the effectiveness of ZnO nanoparticles in sunscreen products has focused on the optimization of nanoformulations. Studies on the interaction of ZnO NPs with the skin play an important role in the evaluation of biocompatibility and toxicity of the products. In this review article, the intersection of nanotechnology and the cosmetics industry is examined in detail, and nanoscale cosmetic products, applications of ZnO NPs in cosmetics and sunscreen formulations are presented with general approaches.

**Keywords:** Nanotechnology, Cosmetic, ZnO Nanoparticles, Sunscreen.

Geliş Tarihi/Received 27.03.2024  
Revizyon Tarihi/Revised 06.06.2024  
Kabul Tarihi/Accepted 29.07.2024  
Yayın Tarihi/Publication Date 23.11.2024

**Sorumlu Yazar/Corresponding author:**

Haticenur KAYACI,

E-mail: [22283677@stu.omu.edu.tr](mailto:22283677@stu.omu.edu.tr)

Cite this article: Kayacı H., Andaç M. The Role of ZnO Nanoparticles in Sunscreen Products: Innovative Dimensions of Sunscreen Technology. *J Ata-Chem*. 2024;4(2):68-82.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License.

## GİRİŞ

### Nanoteknoloji ve kozmetik endüstrisi

Nanoteknoloji; günümüzde yaygın olarak kullanılan modern teknolojilerin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş önemli bir kavramdır. İnsanlar nanoteknolojinin getirdiği avantajları günlük yaşamlarında düzenli olarak deneyimlemektedir.<sup>1</sup> Nanoteknoloji; bilgi teknolojisi, enerji, sağlık, ilaç, kozmetik, gıda güvenliği, ulaşım gibi birçok alanda önemli gelişmelere yol açarak yenilikçi katkılar sağlamaktadır.<sup>2</sup> Nanoteknoloji kozmetik ürünlerde farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Ancak bunların kullanımı güvenlik endişelerini de beraberinde getirmiştir. Bu endişelerden bazıları, kullanılan nanomateryallerin çeşitliliğinin yanı sıra stabiliteyi, cilt emilimi, maruz kalma yolları ve kozmetik ürünlerde nasıl formüle edildiklerinin belirlenmesiyle giderilebilir. Kozmetik ürünlerde nanomateryallerin kullanımına ilişkin tanımsal sorunları ve güvenlik kaygılarını ele almak için uluslararası düzeyde belirli çabalar sarf edilmektedir.<sup>3</sup>

Kozmetikler, farklı kimyasal bileşiklerden oluşmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç İdaresi'ne (FDA) göre kozmetiklerin amacı, insan sağlığına zarar vermeden ve vücut fonksiyonlarına müdahale etmeden insan vücudunun estetik görünümünü iyileştirmektir.<sup>4</sup> Kozmetik sektörü, 2009 yılında küresel pazarda tescillenen ve kozmetikte kullanılan 100.000'den fazla nanoteknolojik materyal ile ürün geliştirmede nanoteknoloji ilkelerini uygulayan öncü sektörlerden biri olmaktadır.<sup>5</sup> Özellikle; kozmesötik olarak adlandırılan ve aktif farmasötik bileşen (API'ler) katkılı hibrit ürünlerin gelişimi, nanoteknolojik uygulamalar ile kozmetik sektöründe önem kazanmıştır. Bu uygulamalarla birden fazla özelliğe sahip çok amaçlı kozmetik ürünler üretilebilmektedir. Örneğin yaşlanma karşıtı özelliklere sahip nemlendirici, kozmesötik bir ürün olarak üretilebilmektedir. Kozmetik ürünler yalnızca cildin estetik görünümünü iyileştirmekle kalmaz, güzellikle ilgili fonksiyonlarının yanı sıra cildi korumak, aydınlatmak, nemlendirmek, sivilceleri gidermek ve yaşlanmayı önlemek için de kullanılır. Multidisipliner Dijital Yayıncılık Enstitüsü'nün (MDPI) 2022 tarihli bir raporuna göre kozmetik reçeteleri, global dermatoloji reçetelerinin %40'ını oluşturmaktadır. Bu durum insanların kişisel bakım ürünlerinden daha fazla faydalanmak için çaba harcamaya istekli olduklarını göstermektedir.<sup>6,7</sup> Kişisel bakım sektörünün hızla büyüyen dalı olan kozmetik, nanoteknolojinin sağladığı ürün çeşitliliğinden faydalanmaktadır. Nemlendiricilerden saç bakım ürünlerine, makyajdan

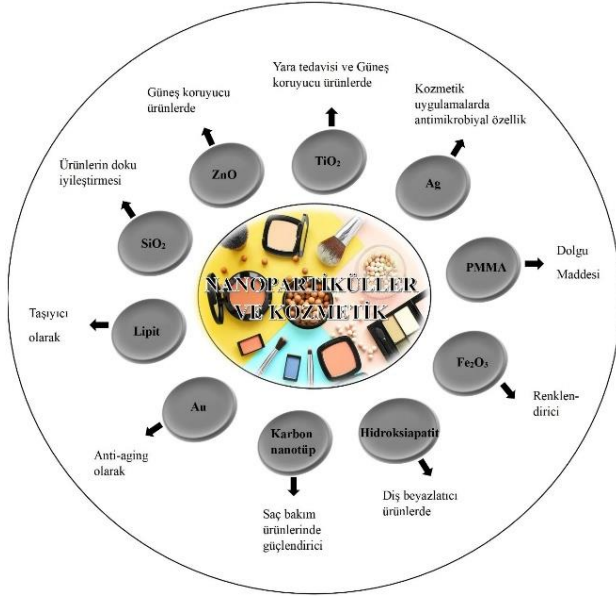
güneş kremlerine kadar pek çok kozmetik ürün nanomateryal içermektedir. Kozmetik şirketleri giderek daha fazla nanomalzemelerden yapılmış bileşenler içeren ve nanokozmetikler olarak adlandırılan ürünleri üreterek piyasaya tanıtılmaktadır.<sup>8</sup>

### Kozmetik Uygulamalarda Nanomateryallerin Önemi

Son yıllarda nanomateryaller çeşitli alanlardaki benzersiz uygulamaları nedeniyle dikkat çekmektedir.<sup>9</sup> Nanomateryaller, özellikle kozmetik alanında çeşitli farmasötik sorunların çözümünde de önemli araçlar olarak kabul edilmektedir. Nanomateryallerin kullanımın faydalarından bazıları, kozmetik aktif bileşenlerin salınımını ve aktivitesini düzenlemek ve yavaşlatmak, ayrıca stabiliteyi, etkinliği ve güvenliğini arttırmaktır. Ancak farklı uygulamalar için doğru nanopartikül çeşidinin seçilmesi, belirli kozmetik aktif bileşenlerin salınımının düzenlenmesi, etkilerin kontrol edilmesi, stabilitenin artırılması ve güvenliğin sağlanması gibi faktörlerin dikkate alındığı bir süreç gerektirmektedir. Nanopartikül kullanmanın avantajları olmasına rağmen, teknolojinin ölçeğinin büyütülmesi ve güvenlik değerlendirmesi gibi bazı zorlukları da bulunmaktadır.<sup>10</sup> Kozmetik ürünlerde farklı kimyasal bileşim ve morfolojiye sahip farklı nano taşıyıcılar kullanılmaktadır. Boyut ve şekle bağlı özellikler, bu nanopartiküllerin, özellikle ultraviyole ışınlarının filtrelenmesi işlemi yoluyla cilt görünümünü iyileştirmek, korumak, temizlemek ve antibakteriyel etkiler sağlamak için kozmetik formülasyonlarda yararlı olmasını sağlamaktadırlar. Örnek olarak; metaller, metal oksitler, nanokil mineralleri ve mezogözenekli nano yapılar, düşük konsantrasyonlarda tesirli olmaları, emilmeden ciltte kalmaları ve istenilen değişiklikleri kolaylıkla elde edebilmeleri gibi olumlu özelliklere sahip oldukları için ticari kozmetik ürünlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.<sup>11</sup>

Bitkisel kozmetiklere olan talep arttıkça biyosentezlenmiş kolloidal metal nanopartiküllerin (MNP) kozmetik maddelere eklenmesi, sektörde yenilikçi yaklaşımların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Günümüzde cilt bakım ürünleri, güneş kremi, vücut bakımı, ağız bakımı, saç bakımı, makyaj gibi birçok kozmetik ürün, çeşitli biyosentetik MNP katkılarıyla üretilmektedir. Dünyadaki birçok ünlü kozmetik endüstrisi ve markası, ürünlerinde çevre dostu nanomalzemeleri tercih etmektedir. Bu bağlamda, antibakteriyel etkileri için metalik gümüş nanopartiküller kullanılırken<sup>12</sup>, lipit nanopartikülleri ise aktif bileşenlerin derin katmanlara iletilmesi için kullanılmaktadır. Çinko oksit ve titanyum

oksit nanopartikülleri de güneşten koruyucu ürünlerde bulunmaktadır. Şekil 1, kozmetik alanında yaygın olarak kullanılan nanotaşıyıcı türlerini ve kullanım alanlarını göstermektedir. Geleneksel kozmetik formülasyonlarda ve uygulamalarda karşılaşılan zorluklar nanopartiküllerin çeşitli formülasyonlarda kullanılmasıyla başarıyla aşılmıştır.<sup>13,14</sup>



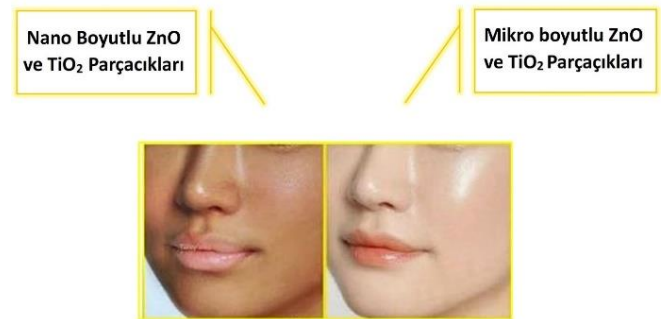
**Şekil 1.** Kozmetik alanında kullanılan nanomateryaller ve kullanım alanları

### Güneş Koruyucu Ürünlerde Nanopartiküllerin Katkısı

Metal nanopartiküller, nanoteknolojik uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle yeşil kimya teknikleri kullanılarak sentezlenen bu nanopartiküller; güneş kremleri ve diğer kişisel bakım ürünleri gibi çeşitli ürünlerde eşsiz fizikokimyasal özellikler sağlayarak kozmetik sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.<sup>15</sup> Avrupa Komisyonu Yönetmeliği 1223/2009, kozmetik ürünlerdeki nanopartikülleri "1 ila 100 nanometre arasında değişen bir ölçekte, bir veya daha fazla dış boyuta veya iç yapıya sahip, çözünmeyen veya biyolojik olarak kalıcı olan bir malzeme" olarak tanımlamaktadır.<sup>16</sup> 100 nanometrenin altında UV filtreleri içeren ve ultraviyole ışınını absorbe etme, dağıtma veya yansıtma özelliğine sahip olan güneş koruyucuları; cildi güneş yanığı hasarından, fotoyaşlanmadan ve güneş ışığının kanserojen etkilerinden koruma avantajlarından dolayı büyük ilgi görmektedir.<sup>17</sup> Cilt için en tehlikeli radyasyon türü UV ışınlarıdır. Ancak ozon tabakası radyasyonu bloke ederek ışınların Dünya yüzeyine ulaşmasını engellemektedir.<sup>18</sup> Bu tür radyasyonlar güneş

kremlerinde, güneşten korunmayı ölçmek için kullanılır. Güneş korumasını ölçmek için kullanılan bir terim olan "Güneş koruma faktörü" (SPF), güneş koruyucunun güneş yanığına karşı sağladığı koruma seviyesini ifade etmektedir.<sup>19,20</sup>

UV inhibitörü olarak yaygın kullanılan nanopartiküller arasında  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  ve  $\text{ZnO}$  gibi yüksek kırılma indeksine sahip metal oksitler oldukça popülerdir. Güneş kremlerinde Titanyum dioksit ( $\text{TiO}_2$ ) ve çinko oksit ( $\text{ZnO}$ ) yaygın olarak kullanılan etkili UV engelleyicilerdir. Ancak nano boyutta olmayan metal oksitler sıklıkla istenmeyen cilt beyazlamalarına neden olmaktadır. Şekil 2, güneş kremlerinde bulunan nano ve mikro ölçekli metal oksitlerin cilt üzerindeki kullanımının etkisini göstermektedir. Güneş kremlerinde 20-50 nm boyutunda nanopartiküller kullanılarak cilt üzerindeki beyazlatma etkisi azaltılabilir. Nanomalzemeler, özellikle nanopartiküler şeklinde kullanıldığında güneş filtreleri saydam hale gelmektedir. Nano  $\text{ZnO}$  formu, mikrometre boyutundaki parçacıkların aksine cilde uygulandığında görünmez ve cildi daha estetik hale getirir. Ayrıca nanometre boyutundaki parçacıkların cilde daha iyi tutunabilmesi ile güneş ışığının daha etkili almasını sağlamaktadır.<sup>21-24</sup> İnorganik nanoparçacıkların bir diğer türü olan silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) nanopartikülleri, mükemmel dağılım özellikleri nedeniyle güneş kremlerinde öne çıkan nanopartiküller arasındadır. Nano  $\text{SiO}_2$  içeren formülasyonlar, kozmetik ürünün ciltte yağlı veya yoğun bir his bırakmadan eşit şekilde dağılmasını sağlamaktadır. Bu özellik, güneşten koruyucu ürünlerle birlikte kullanıldığında, güneş koruyucunun suya direncini artırarak SPF düzeyini de artırabilmektedir. Yapılan çalışmalar  $\text{SiO}_2$  nanopartikülleri içeren formülasyonların, güneş koruyucu etkileri arttırdığını göstermiştir.<sup>25</sup>



**Şekil 2.** Güneş kremlerinde kullanılan nano ve mikro ölçekli metal oksitlerin görsel etkisi

## ZnO Nanopartiküllerinin Özellikleri

### Güneşten Koruma Ve Emilim-Yansıma Özellikleri

Cildimizin görünümü ve durumu üzerinde önemli etkisi olan faktörlerden biri UV radyasyonudur. Güneşe maruz kalmanın cilt üzerindeki etkileri değişebilir. Bu etkiler; döküntüler ve güneş yanığı gibi daha göze çarpan etkilerden cilt yaşlanması ve cilt kanseri gibi ciddi sonuçlara kadar uzanabilir. Vücudun en büyük organı olan cilt üç katmandan oluşur: epidermis, dermis ve hipodermis. Cilt; mekanik, termal, fiziksel, kimyasal ve ultraviyole radyasyon gibi çeşitli zararlı faktörlere karşı koruyucu bir bariyer görevi görmektedir. Aynı zamanda vücut sıcaklığının düzenlenmesine de yardımcı olmaktadır. Sıcaklık, dokunma, soğukluk gibi duyarları da sağlamaktadır. Cildin normal yapısının herhangi bir şekilde hasar görmesi veya bozulması, cilt dokusunun ve bütünlüğünün kaybı, ciltte hasara yol açabilir.<sup>26</sup> Koruyucu kozmetik ürünler, cilt hasarlarının önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. UV filtreleri koruyucu kozmetiklerin önemli bileşenlerinden biridir. UV engelleyici olarak kullanılan nanopartiküller arasında ZnO NP'leri oldukça popülerdir. ZnO NP'leri, UV radyasyonuna karşı yüksek stabilite ve uzun dalga boylu ışınları absorbe etme yeteneği ile karakterize edilmektedir. ZnO NP'ler ayrıca 200 ila 400 nm arasındaki radyasyonu absorbe etme gücüne de sahiptir. Şekil 3, çinko oksit nanopartikülleri içeren güneş koruyucunun UV ışınlarını cilde nüfuz etmeden nasıl yansıttığını göstermektedir. Bu NP'lerin farklı kozmetik formülasyonlara (kremler, losyonlar, vb) eklenmesi, UVA (320-400 nm) ve UVB (280-320nm) ışınlarına karşı koruyucu özellikleri artırmaktadır.<sup>27</sup>

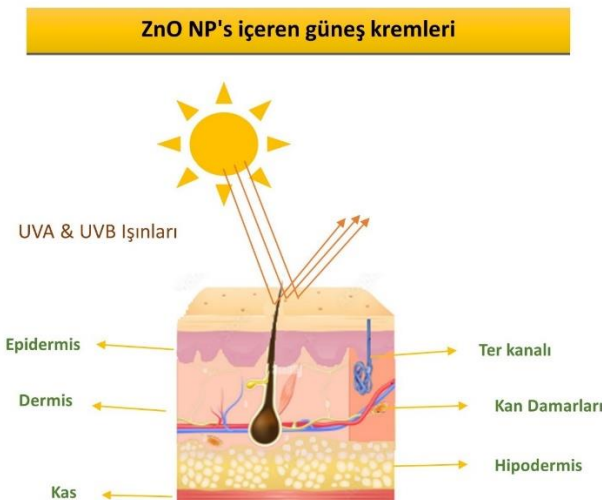
**Şekil 3.** ZnO nanopartiküllerini içeren güneş kremlerinin, UV ışınlarını cilde nüfuz etmeden yansıtması

ZnO nanopartiküllerinin UV radyasyonunu etkili bir şekilde kontrol etme yeteneği, malzemenin optik özelliklerinden meydana gelmektedir. Bu özellik malzemenin elektronik yapısı ve enerji seviyeleri ile alakalıdır. ZnO genellikle radyasyonu etkili bir şekilde absorbe etme kapasitesine sahip bir yarı iletken olarak bilinir. ZnO NP'lerin boyutu azaldıkça, spesifik yüzey alanı da artarak UV ışınlarını absorbe edebilme kapasitesini arttırmaktadır. Bu nedenle ZnO NP'leri özellikle güneş kremleri ve güneşten korunma ürünlerinde kullanılmak üzere önemli bir seçim haline gelmiştir. Ayrıca yansıtıcılık açısından yüksek enerjili UV ışınlarına karşı da etkili yansıma göstermektedir. Bu nedenle ZnO NP'lerinin soğurma ve yansıtma yetenekleri, güneşten koruyucu ürünlerde kullanıldığında UV ışınlarına karşı etkili koruma sağlama açısından optimize edilebilecek önemli özelliklerdendir.<sup>28-31</sup>

### Fiziksel ve Optik Özellikler

Metal oksit nanopartikülleri (NP'ler), katalitik yetenekleri, optoelektronik özellikleri ve antibakteriyel aktiviteleri açısından olağanüstü, uygulamalara sahiptir. Çinko oksit en çok kullanılan nanomalzemelerden biridir. Bu nanopartikülün benzersiz termal ve kimyasal stabilitesi, düşük üretim maliyeti ve biyolojik aktivitesi, TiO<sub>2</sub>'nin yerine fotokatalitik reaksiyonlarda kullanılmasına olanak sağlamıştır. Çinko oksit (ZnO), wurtzit kristal yapısı, geniş bant aralığı ve iletken özellikleriyle bilinen metal oksit nanopartiküldür.<sup>32-34</sup> Farklı alanlarda etkili olmalarına rağmen son yıllarda önem kazanarak yüksek kimyasal stabilite ve fotokimyasal gibi üstün özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. ZnO NP'leri geniş bir radyasyon absorbe edebilme aralığına sahiptir. Oda sıcaklığında 3,37 eV bant aralığına ve 60 meV'ye kadar eksiton bağlanma enerjisine sahip çok işlevli n-tipi yarı iletken malzeme olarak kabul edilmektedir. ZnO'nun optik ve fiziksel özellikleri, özellikle hibrit nanoyapıları, in vitro güneş koruma faktörü, UV ışığı altında fotokatalitik aktivitesi ve simüle edilmiş güneş radyasyonu açısından performanslarına dayalı olarak değerlendirilebilir. Bu nitelikler ZnO'nun kozmetik ürünlerde kullanımını destekleyerek, güneşten koruyucu ürünlerde etkili bir bileşen olma potansiyeli sunmaktadır.<sup>35,36</sup>

### Dermal Uygulamalarda Etkinlik



Deri, insan vücudunun en büyük organıdır ve genellikle zararlı radyasyon, toksik kimyasallar ve patojenler gibi çeşitli çevresel faktörlere maruz kalmaktadır. Nano boyutlu kişisel bakım ürünü formülasyonları, bileşenlerin cilt tarafından emilimini en aza indirme veya daha etkili olma eğilimindedir. Deri, bu nanomateryallerin aktif madde dağıtımı ve ilaç dağıtımı açısından incelenebileceği mükemmel bir ortamdır. Aynı zamanda dış ortama en çok maruz kalan alan olduğundan radyasyon ve ultraviyole ışınları gibi olumsuz etkilere daha duyarlıdır. Nanopartiküller, cilt dokularıyla atom altı düzeyde etkileşime girerek dermatolojik bozuklukların tanı ve tedavisinde de önemli bir potansiyel sunmaktadır. Güneşten gelen ultraviyole (UV) ışınları çeşitli cilt bozukluklarından da sorumludur.<sup>37-39</sup> ZnO NP'leri, daha kısa dalga boylarındaki radyasyonu absorbe etme yetenekleri nedeniyle güneşten koruyucu ürünlerde genel olarak kullanılan bir nanopartikül türüdür. ZnO NP'ler;, saydamlıkları ve UVA spektrumunu neredeyse tamamen absorbe edebilmeleri nedeniyle TiO<sub>2</sub> NP'lerden daha etkili güneş koruyucu bileşendir. Bu özellikler ZnO NP'leri cilt yaşlanmasına ve cilt üzerinde enfeksiyona neden olan faktörleri azaltmada daha etkili kılmaktadır. Ek olarak, ZnO NP'lerin belirgin antiinflamatuvar özelliklere sahip olması ve cilt enfeksiyonlarını azaltarak enfekte yaraların iyileşmesini hızlandırma yetenekleri, kozmetik ürünlerde kullanılmalarına büyük katkı sağlamaktadır.<sup>27</sup>

### Nanopartiküllerin Güvenilirliği ve Toksikite Araştırması

Kişisel bakım ürünlerinde nanoteknolojinin giderek daha fazla benimsenmesi, tüketiciler için nano katkı maddelerine maruz kalma da dahil olmak üzere potansiyel güvenlik risklerine yol açmaktadır. Bu durum düşünüldüğünde, bu sektördeki risklerin geniş bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir.<sup>40</sup> Nanopartiküllerin biyomedikal ve kozmetik alanlarında kullanımı, halihazırda araştırılmakta olan birçok avantajının yanı sıra vücuda tam nüfuz gerektirmeden uzun süreli görüntüleme sağlama yetenekleri nedeniyle son on yılda artan bir ilgi görmektedir.<sup>41</sup> Geleneksel olmayan teknolojiler ve nano-kozmetikler her zaman güvenlik kaygıları doğurmaktadır. Nanopartiküller teknolojik ve ekonomik engellerle karşı karşıya kalmanın yanı sıra önemli toksisite sorunlarıyla da karşı karşıyadır. Son yıllarda nanokozmetikler, hücresel alım, oksidatif hücre hasarı ve genotoksisiteyi içeren çeşitli çalışmalar ile literatürde yer almaktadır.<sup>42</sup> Kozmetikler cilt tarafından emilebilir ve sistemik toksisiteye neden olabilir.

Makyajdan şampuanlara ve tıraş losyonlarına kadar pek çok kozmetik üründe çok sayıda nanotaşıyıcı kullanılmaktadır.<sup>43</sup> Nanosistemler, geleneksel UV filtrelerinin yapısını iyileştirerek SPF faktörünü arttırabilir; ancak küçük parçacık boyutundan dolayı artan yüzey alanı, sağlığımızı ve çevreyi etkileyebilecek bazı toksisite sorunlarına neden olabilir. Nanokozmetiklerin genotoksisitesini; kullanılan nanopartikül boyutu, malzeme türü, partikül şekli ve nanopartikül bileşimi gibi farklı faktörler etkilemektedir. Kozmetik amaçlar için ideal ve kabul edilebilir bir nanokozmetik elde etmek için bu faktörlerin detaylı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.<sup>44</sup>

### Zno Nanopartiküllerinin Toksikite Parametreleri

ZnO NP'lerinin toksisite parametreleri şu şekilde açıklanmaktadır:

### Doza ve Konsantrasyona Bağlı Toksikite

Doz terimi genellikle biyokimyasal ifadeler sonucunda alınan bir madde, ilaç veya radyoaktif madde miktarını ifade etmektedir.<sup>45</sup> Doz önemli bir faktördür ve farklı organ sistemlerinin fizyolojik fonksiyonunu önemli ölçüde etkilemektedir. Toksikite seviyesinin kontrolüne yardımcı olmak için genellikle çeşitli güvenli doz limitleri yaklaşık olarak belirlenmelidir. Ancak kozmetik ürünlerdeki ZnO NP'lerinin güvenlik sınırı (MOS) ve sistemik maruz kalma dozu (SED) değerleri henüz belirlenememiştir. Büyük dozlarda nanopartiküllerin bir takım sağlık sorunlarına neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu sağlık sorunları arasında iltihaplanma, solunum sorunları ve hücre hasarı gibi durumlar yer almaktadır.<sup>46</sup> Muthuraman ve ekibi araştırmasında, çinko oksit (ZnO) nanopartiküllerini sentezlemeyi ve bunların adipositlerdeki oksidatif stres ve antioksidan enzim aktivitesi üzerindeki doza bağlı etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmanın sonuçları, ZnO NP'lerinin 3T3-L1 adipositlerindeki oksidatif stresi ve antioksidan enzim aktivitelerini doza bağlı bir şekilde dikkate değer şekilde değiştirdiğini göstermektedir.<sup>47</sup> Çeşitli deneysel çalışmalar, kozmetik ürünlerdeki ZnO NP'lerinin konsantrasyon-tepki ilişkisini ortaya koymaktadır. Avrupa Komisyonu'nun SCCS (Tüketici Güvenliği Bilimsel Komitesi) raporuna (2012) göre, ZnO NP'leri %25 konsantrasyonlarda tüketiciler için sınırlı bir tehlike oluşturmaktadır. Kozmetik ürünlerindeki nanopartikül konsantrasyonundaki artışın, konsantrasyona bağlı toksisite açısından oldukça tehlikeli olduğu bilimsel

olarak kanıtlanmıştır.<sup>46</sup> Khan ve ekibi, ZnO ve TiO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin farklı konsantrasyonlarda (50, 100, 250 ve 500 ppm) toksik etkilerini değerlendirmek için bir çalışma yapmıştır. Her iki nanopartikülün de glutasyon ve glutasyon-S-transferaz (GST) konsantrasyonlarında azalma, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidasyon lipitlerinde doza bağlı bir artışla, reaktif oksijen türleri (ROS) oluşturduğu belirlenmiştir.<sup>48</sup> Nanopartikül dozunun biyokimyasal parametreler üzerinde belirleyici bir etkisi vardır. Ancak kozmetik ürünlerde kullanılan ZnO NP'lerinin güvenlik marjları ve sistemik maruz kalma dozları henüz net olarak belirlenmemiştir.

### Boyut ve Yüzey Alanına Bağlı Olarak Toksikite

Farklı boyutlar ve yüzey alanları, nanopartikül sentez yöntemine bağlı olarak değişen özelliklerdir. ZnO NP'leri benzersiz fizikokimyasal özelliklere sahiptir, çeşitli boyutlarda formülasyonlar halinde sunulmakta ve tüketici ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaygın kullanımı ve çevreye salınması, ZnO NP'lerin sağlık ve çevresel risklerinin değerlendirilmesini gerektirmektedir.<sup>49</sup> Aşırı miktarda reaktif oksijen türü (ROS), hücre ölümüne veya apoptoza neden olabilir ve bu da biyolojik olarak zarar verici bir tepkiye neden olabilir. Bu toksisite faktörleri, nanometal oksitlerin kozmetik endüstrisinde kullanımıyla ilgili önemli bir konu haline gelmiştir. Özellikle parçacık boyutunun azalmasıyla ilişkili artan toksisite riski, nanometal oksitlerin kozmetik ürünlerde güvenli kullanımına sınırlama getirebilir. Kozmetik ürün formülasyonlarında nano ölçekli malzemelerin seçimi ve kullanımı, güvenlik ve mevzuat konularının dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirebilir. Kozmetik endüstrisi, nanoteknolojinin faydalarından yararlanırken kullanıcı güvenliğini sağlamak için ayrıntılı araştırmalara da odaklanmalıdır.<sup>50</sup> Bu nedenle, değişen boyutlarda ve yüzey alanlarındaki ZnO NP'leri, kozmetik ürünlerinde yaygın olarak kullanılmalarına rağmen sağlık ve çevre açısından risk oluşturabilmektedir. Özellikle kozmetik ürün formülasyonlarında nano ölçekli malzemelerin seçimi, güvenlik ve mevzuat konularının dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Nanoparçacık yüzey alanı aynı zamanda gelişimsel toksisitenin belirlenmesinde önemli bir fiziksel parametredir. Nano-ZnO'nun boyutu azaldıkça yüzey alanı artar ve bu da nanopartikülün nanotoksikite aktivitesini doğrudan etkilemektedir. Bu durum özellikle kozmetik sektöründe ciddi bir etki yaratmaktadır.

Nanopartikülün yüzey toksisitesi, ürün güvenliği ve kozmetik endüstrisinde kullanımı açısından dikkate alınması gereken önemli bir faktördür.<sup>46</sup> Bartczak ve ekibi, ZnO NP'nin farklı yüzey işlevselleştirmelerinin, serum içeren hücre kültürlerinde NP'lerin boyut dağılımında ve çözünürlüğünde neden olduğu değişiklikleri ve bu değişikliklerin NP toksisitesini nasıl etkilediğini incelemiştir. ZnO NP'ler güneşten koruyucu ürünlerde yaygın olarak kullanılan bir bileşendir ve bu nedenle NP'lerin stabilitesinin ve toksisitesinin anlaşılması, kozmetik ürünlerin formülasyonu ve güvenliği açısından önemli olmaktadır.<sup>51</sup> Kullanılan nanopartikülün yüzey alanı onun toksisitesini belirlemek için önemli bir faktördür. Nano-ZnO'nun boyutundaki değişiklikler yüzey alanında bir artışa yol açarak nanotoksikite özelliklerini etkilemektedir. Kozmetik endüstrisi için önemli olan bu etkenler, güneşten koruyucu ürünlerin formülasyonunda ve güvenliğinde dikkate alınmalıdır.

### Partikül Kaplamadan Kaynaklanan Toksikite

Nanopartiküllerin yüzey özellikleri, onları çeşitli maddelerle kaplayarak değiştirilebilir, böylece retiküloendotelyal sistemin (RES) makrofajları tarafından tanınmaları önenebilir. Bu sayede nanopartiküllerin hedef bölgeye erişimi artmaktadır.<sup>52</sup> Araştırmalar, bozulmuş ve hasar görmüş cildin nanopartiküllerin geçirgenliğini kolaylaştırabildiğini ve bu geçirgenliğin spesifik fizikokimyasal özelliklere, partikül boyutuna ve kaplama türüne bağlı olduğunu göstermektedir. Bu da toksik etkilerde değişikliğe neden olmaktadır. Partikül modifikasyonunun farklı hücre hatlarında ve hayvan modelleri üzerinde kullanıldığı tedavilerde çeşitli toksik etkiler gözlemlenmiştir. Nano-ZnO gibi nanopartiküllerin cilt bariyerine nüfuz etme yeteneği, kozmetik ürünlerin cilde uygulanması sırasında güvenlik endişelerini arttırabilmektedir.<sup>46</sup> Girigoswami ve ekibi, güneş koruyucunun daha az toksik formlarını elde etmek için çinko oksit nanopartikülleri sentezledi ve bu nanopartikülleri doğal bir polimer olan kitosan (CTS) ve polietilen glikol (PEG) ile kapladı. CTS ve PEG kaplama stabiliteyi artırarak ve fotokatalitik aktiviteyi engelleyerek UV emilim verimliliğini arttırmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre bu kaplama işlemleri sayesinde ZnO NP'leri güneş ürünlerinin verimliliğini arttırmıştır. Yapılan çalışma, nanopartiküllerin cilde nüfuz etmesine izin verebilecek cilt hasarının derecesinin, parçacıkların çeşitli fizikokimyasal özelliklerine, boyutuna ve kaplama türüne bağlı olduğunu göstermektedir.<sup>53</sup>

## Zamana Bağlı Toksikite

Kısa süreli deneyler, nanometal oksitlerin toksisite yönlerini araştırmayı amaçlayan birçok çalışmayı içermektedir. Ancak tekrarlanan maruz kalma sonrasında hücrelerdeki toksisite düzeyini belirleyen çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Nano boyutlu ZnO partiküllerine sürekli maruz kalma durumunda partiküller çeşitli dokularda birikme eğilimi gösterirler. Bu durum mutajenik değişikliklere, iltihaplanmaya ve oksidatif stres gibi toksik etkilere yol açmaktadırlar. Zamanla birikme ve toksik etkiler, özellikle kozmetik ürünlerin kullanım sıklığı ile ilgili olarak ciddi bir sorun haline gelmektedir. Bu, ürün güvenliği ve kozmetikte kullanılan nanopartiküllerin uzun süreli etkilerinin değerlendirilmesi açısından dikkat edilmesi gereken bir faktördür. Kozmetik endüstrisi bu uzun süreli etkileri dikkate alan ürün formülasyonları geliştirmeli ve tüketici güvenliğini sağlamak için uygun önlemleri almalıdır.<sup>46</sup> Ickrath ve ekibi, insan mezenkimal kök hücrelerine (hMSC) uzun süreli ve tekrarlı maruz kalma sonrasında az miktardaki konsantrasyonlarda ZnO NP'lerinin genotoksik ve sitotoksik etkilerini değerlendirmeyi hedeflemiştir. Çalışma sonuçları, 50 µg/mL kadar yüksek konsantrasyonlarda ZnO NP'lerin sitotoksik etkilerini ortaya koyarak ve 1-10 µg/mL aralığındaki konsantrasyonlarda ZnO-NP'lere maruz kalan hMSC'lerde genotoksik etkiler gösterdiğini belirtmiştir. Tekrarlanan maruz kalmanın sitotoksisiteyi arttırdığı ancak genotoksisiteyi arttırmadığı belirlenmiştir.<sup>54</sup> Sonuç olarak, kısa süreli deneyler nanometal oksitlerin toksisite yönlerini incelemiş olsa da, nano boyutlu ZnO parçacıklarına tekrar tekrar ve uzun vadeli maruz kalma, farklı dokularda birikime ve potansiyel olarak toksik etkilere yol açabilmektedir.

## ZnO Nanopartiküllerinin Cilt Uyumluluğu

Kozmetiklerin cilde nüfuz etme kabiliyetini belirleyen ana faktörlerden biri molekülün büyüklüğüdür. Johann Wiechers'a göre dağıtım sisteminin görevi; doğru kimyasalın doğru konsantrasyonunun vücutta doğru yere doğru zamanda ulaşmasını sağlamaktır. Ancak aktif bileşiğin etkinliği büyük ölçüde biyoyararlanımına bağlıdır; Etki alanına ulaşması ve uzun süre serbest bırakılması gerekmektedir. Bu amaçla, kapsamlı araştırmalar sonucunda, araştırmacılar son zamanlarda en basitinden en karmaşığına kadar çeşitli özellikler sergileyen nanoteknoloji odaklı ve kontrol edilebilir dağıtım sistemleri geliştirmiştir.<sup>55</sup> ZnO NP'leri,

kremlerden kepek önleyici şampuanlara ve antiseptik merhemlere kadar farklı cilt durumlarını tedavi etmek için kullanılan ürünlerde yaygın olarak bulunmaktadır. Aynı zamanda sporcuların egzersiz sırasında yumuşak doku yaralanmalarını önlemek için kullandıkları bantın bir bileşenidir ve "kimyasal bileşikli çinko bant" olarak da bilinmektedir.<sup>56</sup> Huang ve ekibi, Uv filtresi olarak kullanılan ZnO NP'lerini, benzofenon-3 (Bp-3) adı verilen UV emici bir ilacın taşıyıcısı olarak sentezlemiş ve karakterize etmiştir. İlaç salınımı UV ışığı altında ve karanlıkta incelenmiş ve bu süreçte nanotaşıyıcının insan keratinosit ve cilt fibroblast hücreleri üzerindeki sitotoksitesi araştırılmıştır. Bp-3 yüklü ZnO NP'ler, insan keratinosit ve cilt fibroblastlarına karşı düşük sitotoksisite göstermiştir. Sonuç olarak, biyolojik olarak uygun ve UV radyasyonuna karşı cilt koruması sağlayan bir ilaç dağıtım sistemi geliştirilmiştir.<sup>57</sup>

## ZnO Nanopartikülleri ile Formüle Edilmiş Güneş Koruyucu Ürünler

Nano güneş koruyucu ürünler giderek daha popüler hale gelmekte ve geleneksel güneş kremlerinin yerini almaktadır.<sup>58</sup> Nanogüneş koruyucuları, boyutları 100 nm'den küçük olan organik ve inorganik parçacıklarla formülüze edilmiş UV filtreleridir. Güneşten koruyucular genellikle fotokoruma derecesine göre kimyasal emiciler/organik güneş koruyucular ve fiziksel engelleyiciler/inorganik güneş koruyucular olarak sınıflandırılmaktadır. Güneş koruyucuları; krem, jel, emülsiyon, sprej, köpük ve pudra gibi çeşitli formlarda formüle edilebilirler. Ayrıca, dudak bakım ürünleri, yüz bakım ürünleri ve vücut bakım ürünleri gibi diğer kozmetik formülasyonlara da eklenirler. ZnO güneş koruyucu formülasyonunda kullanımı küresel olarak onaylanan ve yüksek SPF değerine sahip olan bir inorganik nanopartiküldür. 1991 yılında nano-ZnO içeren güneş koruyucuları ticarileşen ikinci üründür. Bu tarihten sonra, ideal güneş kremi kriterlerini yerine getirmek, bu metal oksitin fotostabilitesini ve UV'yi engelleme yeteneğini arttırmak amacıyla birçok değişiklik ve iyileştirme yapılmıştır.<sup>44</sup> Güneş koruyucularda sıkça kullanılan ZnO NP'leri cildimizi güneşten koruyan özel partiküllerdir. ZnO NP'leri içeren güneş koruyucu ürünlerin; geniş spektrumlu koruma sağlama, ciltte daha iyi bir dağılım ve fiziksel bariyer oluşturma gibi avantajları vardır.

## Kremler ve Losyonlar

Cilt bakım ürünleri geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu ürünler farklı kategorilere ayrılmaktadır ve aynı zamanda cilt bakımı fonksiyonel özelliklerine göre de sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma nemlendiriciler, temizleyici sütler/kremler ve cildin ölü hücrelerden temizlenmesi gibi işlevlere sahip ürünleri içermektedir. Bu sınıflandırma aynı zamanda cilt onarımı ve güçlendirici ürünleri, cildi yumuşatıcı ve beyazlatıcı ürünleri, yüz temizleme ve pigmentasyon önleyici ürünleri de içermektedir.<sup>59</sup> Nemlendiriciler ciltteki nem seviyesini korumak için kullanılır. Yüz, baş, omuzlar ve göğüsteki cilt, çevresel değişikliklere karşı oldukça duyarlıdır ve cilt kanseri açısından en yaygın risk alanıdır. Bu bölgelerdeki cilt genellikle vücudun diğer bölgelerine göre daha fazla hücre dökümü ve kendini yenilemek için daha fazla neme ihtiyaç duymaktadır. Bu daha genç cilt hücrelerinin üretilmesine neden olabilir. Biyosentezlenmiş metal nanopartiküller (Au NP'ler, ZnO NP'ler, TiO<sub>2</sub> NP'ler ve Ag NP'ler gibi), nemlendirici formülasyonlarda yaygın olarak kullanılan fizikokimyasal özellikleri nedeniyle, cildin geçirgenliği sürecinde kritik bir rol oynayan sertlik, hidrofobiklik, boyut ve yük gibi özelliklere sahip olmaktadır.<sup>14</sup>

### Yaşlanma Karşıtı Kremler

Yaşlanma, yağ üretiminin azalması, cildin kuruması, elastikiyet ve doku kaybı, yüzey çizgisi izotropisinin değişmesi, cildin gevşemesi gibi birçok yolla cilt kolajeninin fiziksel görünümünü kaybetmesine neden olan kritik faktördür. Yaşlanma ciltte incelmeye neden olur ve sonuç olarak kırışıklık oluşumu ortaya çıkar. Cilt yaşlanması, dış faktörlere ve iç faktörlere maruz kalmaya göre sınıflandırılabilir.<sup>60</sup> Son yıllarda cilt sağlığı ve güzelliğin bireyin genel sağlığının bir yansıması olarak değerlendirilmesi, yaşlanma karşıtı ürünlere olan ihtiyacın artmasına neden olmuştur. Yaşlanma karşıtı kremler günümüzde nanoteknoloji kullanılarak üretilen kozmetik sektörünün en önemli ürün gruplarından biridir. Yaşlanmanın cilt üzerindeki en yaygın etkileri şunlardır: kırışıklıklar, renk değişiklikleri, yaşlılık lekeleri ve cilt kuruluğuyla kendini göstermektedir. Aynı zamanda UV ışığına maruz kalmakta, yaşlanmanın nedenlerinden biri olarak kabul edilir ve fotoyaşlanmayı etkilemektedir.<sup>61</sup> UV, farklı dalga boylarında radyasyon yayarak cildi tahriş eder ve fotoyaşlanmaya neden olan en önemli faktördür. Bu nedenle, fotohasarın cilt üzerindeki zararlı etkileri göz önüne alındığında, bu tehdide karşı optimize edilmiş önleyici ve tedavi edici önlemlerin geliştirilmesi önemlidir. Güneş koruyucunun cilde topikal olarak uygulanması, UV ışınlarının cilde

nüfuzunu azaltarak, güneş ışınlarının cilde ulaşmasını engellemektedir. Bu tür koruyucular genellikle çinko oksit gibi nanopartiküller içermektedir. Fotoyaşlanmış ciltte üretilen büyük miktarda ROS yaşlanmayı hızlandırabilir. Dolayısıyla ciltteki bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için tasarlanan güneş kremleri, özellikle içerdikleri ZnO NP'leri sayesinde cilt sağlığının korunmasında ve yaşlanma belirtilerinin azaltılmasında etkili bir rol oynamaktadır.<sup>62</sup>

### CC Krem, BB Krem ve Fondötenler

Kozmetik uygulamalarda, cilt dokusunu ve tonunu düzeltmek için fondöten kremler, renk düzeltici/cilt dengeleyici kremler (CC) ve leke kremleri (BB) yaygın olarak tercih edilmektedir. Çeşitli tonlardaki likit veya kremler, cilt tonunu eşitleyerek, tek tip bir renk görünümü sağlamaktadır.<sup>63</sup> BB kremler ve renkli nemlendiriciler gibi çok işlevli ürünlerin popüleritesi, ZnO NP'lerine olan talebi daha da arttırmaktadır. Bu ürünler cilt bakımının yanı sıra estetik görünüm ve kozmetik avantajlar sunarak tüketicinin ilgisini çekmektedir. Sonuç olarak, Fondöten ve kremler gibi kozmetiklerde ZnO NP'lerinin kullanımı artmakta ve bu partiküllerin çeşitli kozmetik ürünlerdeki rolü genişlemektedir.<sup>64</sup>

### Ağız Bakımı ve Hijyen Ürünleri

Son 100 yılda ağız bakımındaki gelişmeler dünya çapında milyonlarca insanın ağız sağlığını olumlu yönde etkilemiştir. Ağız sağlığını korumak için dişlerinizi güçlendirip çürüklerin önlenmesini sağlamanın yanı sıra kötü kokuya neden olan bakteri ve plaklarla da mücadele etmeniz gerekmektedir.<sup>65</sup> Diş macununa eklenen nanopartiküller çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bu amaçlar arasında çürük önleme, duyarsızlaştırma, cilalama ve antibakteriyel özellikler yer almaktadır. Bu özellikleri sayesinde diş macunu sadece temizleme etkisi sağlamakla kalmaz, aynı zamanda geniş bir ağız bakımı yelpazesini de beraberinde sunar.<sup>66</sup> Ağız enfeksiyonları ve biyofilm oluşumuyla mücadelede tamamlayıcı bir antimikrobiyal ajan olarak ZnO NP'leri önem taşımaktadır. ZnO NP'ler, in vivo toksisite testlerinde zararsız konsantrasyonlarda oral bakterilere karşı önemli antibakteriyel aktivite sergilemektedir. Nanopartiküller endüstriyel ölçekte üretilmekte ve ticari olarak temin edilebilen çeşitli ağız bakımı ve hijyen ürünlerinde kullanılmaktadır. Bu bağlamda ZnO NP'lerin ağız gargaraları, diş macunları ve diğer ağız hijyeni malzemelerinin geliştirilmesinde nanoantibiyotik olarak



kullanılması öngörülmektedir.<sup>67</sup> El Shahawi ve ekibi araştırmalarında çinko oksidin diş plağında *Streptococcus mutans* ve *Lactobacillus*'un asit üretimini engelleyebildiğini ortaya koymuştur. Ayrıca hem Gram-negatif hem de Gram-pozitif bakterilere karşı antibakteriyel aktiviteye sahip olduğunu, diş macunu ve gargara gibi diş hijyeni ürünlerinde antibakteriyel ajan olarak yaygın şekilde kullanılabilceği bildirilmiştir.<sup>68</sup>

### Dudak Bakımı ve diğer kozmetikler

Nanokozmetik alanındaki dudak bakım ürünleri; rujları, dudak balsamlarını, dudak parlaticılarını ve dudak hacim dağıtıcılarını içermektedir. Dudak bakım ürünlerinde NP kullanımıyla dudakların yumuşatılması, transepidermal su kaybının önlenmesi ve istenilen şekillendirme etkisinin uzatılması amaçlanmaktadır. Dudak bakımında ZnO NP'leri güneş ışığına karşı etkili bir bariyer oluşturarak dudakları UV ışınlarının zararlı etkilerinden korur. Bu nedenle ZnO NP'ler dudak balsamlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu ürünler ısıya dayanıklıdır, hoş bir tada sahiptir, uygulandığında pürüzsüzdür, yapışmayı önler ve gerektiğinde kolayca çıkarılabilir. Dudak kremi, dudakların kurummasını önlemek ve çevrenin olumsuz etkilerinden korumak amacıyla tasarlanmış, ruja benzeyen kozmetik bir üründür.<sup>14,69,70</sup>

Nano kozmetikler tırnak bakımında da oldukça etkilidir. Ojenin sertliğini artırır, geleneksel malzemelere göre daha hızlı kurur, daha dayanıklı ve uzun ömürlüdür. Ayrıca daha fazla esnekliğe sahiptir ve uygulanması daha kolaydır. Bu ürünlerde metal oksit NP'lerin kullanılması, özellikle ayak tırnaklarında mantar enfeksiyonlarının tedavisinde çok faydalı olan antifungal özellikler sağlamaktadır. TiO<sub>2</sub> NP'leri ve ZnO NP'leri tırnak bakım ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.<sup>14</sup>

Saç bakımı, sağlıklı saçların korunması ve saç dökülmesine yol açabilecek ciddi hasarların önlenmesi için önemlidir. NP'lerin son yıllarda saç bakım ürünlerinde de kullanımları büyük ilgi görmüş ve yüksek hassasiyet etkileri ortaya çıkartılmıştır. Hazırlanan NP'lerin farklı boyutlarının saç folikülüne kolaylıkla nüfuz edebildiği ve saç gelişimini başlatabildiği bulunmuştur.<sup>14</sup> Yapılan bir çalışmada, çinko ve kitinden oluşan nanofibril kompleksi içeren serumun kepeği etkili bir şekilde azalttığı ve saçın anlık amino asit kombinasyonunu etkileyerek hasarlı korteks ve kütikül tedavisinde keratin kullanımına katkısı olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar çinko ve kitin nanofibril komplekslerinin saç sağlığı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabileceğini

göstermektedir.<sup>71</sup> Poojary ve ekibi yaptıkları çalışmada yeşil çay ekstraktını kullanarak KTZ (ketokonazol) ile kaplanmış ZnO NP'leri yüklü yeni bir şampuan hazırlamış ve bu şampuanın antifungal aktivitesini değerlendirmiştir.<sup>72</sup>

### Kozmetikte Nanoteknolojinin Potansiyeli

Kozmetik ürünlere olan talebin her geçen gün artması ve teknolojik gelişmelerle birlikte nano ölçekli materyaller içeren ve nanokozmetikler olarak adlandırılan yeni formülasyonlar ortaya çıkmaktadır. Nanokozmetikler; nanopartiküller, nanoemülsiyonlar, lipozomlar, niozomlar, mikroemülsiyonlar, katı lipit nanopartikülleri, nanoyapılı lipit taşıyıcılar ve nanoküreler gibi farklı nanotaşıyıcıları içermektedir. Nanokozmetikler piyasada çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalar arasında kırışıklık önleyici kremler, nemlendiriciler, makyaj malzemeleri ve fondötenler öne çıkmaktadır. Ayrıca yüz pudrası, allık, ruj, göz farı, oje, deodorant, şampuan, saç kremi, diş macunu, parfüm, tıraş losyonu gibi farklı ürünler de nanoteknoloji kullanılarak geliştirilmektedir.<sup>73</sup> Nanoteknolojiye odaklanan kozmetik sektörü, 1986 yılında ilk nanokozmetiği piyasaya sürmüştür. Bu, Dior'un Capture Total adı verilen lipozomları içeren yaşlanma karşıtı bir üründür. Bu ürünü L'Oréal Paris'in polimer nanokapsüller ve retinol içeren yaşlanma karşıtı kremi 'Plentude Revitalift' takip etmektedir. Estée Lauder, Purogy, Dior, L'Oréal, Procter & Gamble, Color Science ve Revlon gibi kozmetik devleri, ürünlerinde nanoteknolojiyi etkin bir şekilde kullanan dünyanın önde gelen şirketleri arasında yer almaktadır.<sup>74</sup> ZnO NP'lerini ürünlerinde tercih eden markalar ve kullanım amaçları aşağıdaki tabloda ifade edilmektedir.

Kozmetik sektöründe nanoteknolojik uygulamalardaki bu ilerlemeler, geliştirilen ürünlerden daha etkileyici ve hedefe yönelik sonuçlar alınmasına olanak sağlamaktadır. Nanokozmetikler, geleneksel kozmetiklere göre; aktif maddelerin cilde daha iyi nüfuz etmesi, transdermal kontrollü salınım olasılığı, ürün etkinliğini ve performansını arttırma, kararsız aktif maddelerin bozulmasına karşı koruma, daha iyi duyuşal özellikler, formülasyonun daha iyi stabilizasyonu, uzun raf ömrü ve düşük toksisite gibi avantajlar sunar. Bu avantajlar nanokozmetiklerin yaygın olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır.<sup>75-77</sup>

**Tablo 1.** Çinko oksit nanopartiküllerini ürünlerinde kullanan markalar

Markalar	Ürünler	Kullanım Amacı
Kuatra	Nemlendirici Krem	Leke Önleyici
Yves Rocher	Dengeliyici/Matlaştırıcı Jel Krem	Dengeliyici
Yves Rocher	Akneye eğilimli ciltler için jel krem	Gözenek Sıkılaştırıcı
Yves Rocher	Krem	Gözenek Sıkılaştırıcı
Zdrave	Ter Önleyici/Beyazlatıcı Krem	Beyazlatıcı
Institut Esthderm	Serum	Onarıcı
Christian Breton	Leke/Yaşlanma Karşıtı Krem	Onarıcı
Medcover	Bariyer Kremi	Onarıcı
Oksizinc	Losyon	Nemlendirici
Desitin	Pişik Kremi	Tahriş Önleyici
Miraderm	Pişik Kremi	Tahriş Önleyici
Luminate	Yüz Kremi	Nemlendirici
Tilia Skinfood	Güneş Kremi	UV ışınından korunma
Cosmed	Güneş Kremi	UV ışınından korunma
CeraVe	Güneş Kremi	UV ışınından korunma
Missha	Güneş Kremi	UV ışınından korunma
Solante	Güneş Kremi	UV ışınından korunma
Blendax	Saç Kremi	Kepek Önleyici
La Roche Posay	Onarıcı Krem	Yatıştırıcı

### Geleceğe Yönelik Araştırma Alanları

Kozmetik endüstrisinde nanomalzemeler, farklı yargı mercileri tarafından farklı yaklaşımlarla düzenlenmektedir. Avrupa Birliği, nano spesifik düzenlemeler getirerek, diğer yetki alanlarının bu düzenlemeleri Avrupa genelinde uygulamaya koymasını teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Nanoteknolojinin kesin bir tanımı henüz belirlenememiştir. Ülkemizde “nanoteknoloji”, “nanomalzemeler”, “nanoölçek” veya benzeri terimler için henüz düzenleyici tanımların oluşturulmadığını belirtmek önemlidir.<sup>76-78</sup> Günümüzde nanoteknoloji umut verici ve yenilikçi bir alan olarak kabul edilmekte ve kozmetik, dermatoloji ve biyomedikal uygulamalar gibi birçok alanda kullanım açısından oldukça önemlidir. Yeni gelişmelerin ve ilaç dağıtım sistemlerinin geliştirilmesiyle kozmetik ve kozmesötiklerin pazar payı artmaktadır. Türk kozmetik pazarının her geçen yıl büyüdüğü ve doğal ürünlerin bu pazardaki payının %5 civarında olduğu bilinmektedir.<sup>79</sup>

Nanokozmetikler günlük yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş olup, nanoteknolojinin kozmetiğe entegrasyonu tüm dünyada kullanıcılar tarafından kabul görmektedir. ZnO nanopartikülleri üzerine gelecekteki araştırmalar, güneş koruyucu ürünlerdeki etkinliği artırmak için nanoformülasyonların optimize edilmesine odaklanabilir. Parçacık boyutu ve dağılımı, kaplama teknolojileri gibi faktörlerin optimize edilmesiyle güneş koruyucu ürünün SPF değeri arttırılabilir. Aynı zamanda ZnO nanoparçacıklarının cilt ile etkileşimi konusunda da detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Ürünlerin

insan cildiyle güvenli bir şekilde temas etmesini sağlamak için biyoyoumluluk ve toksisite testleri önemlidir. Güneş koruyucu formülasyonlarda ZnO nanopartiküllerinin stabilitesi ve uygulanabilirliğine odaklanan araştırmalar, ürünün cilt üzerinde dayanıklılığını ve kullanım kolaylığını arttırabilir. Özellikle suya ve tere karşı ürünün dayanıklılığın geliştirilmesi ve korunması önemlidir.<sup>80</sup>

Nanokozmetiklerin oluşturabileceği potansiyel riskler de ayrıntılı olarak araştırılmalıdır. Devam eden nanotoksisite ve güvenlik araştırmaları, mevcut nanokozmetiklerin geliştirilmesinde, üretim ve kullanım politikalarında yasal düzenlemeler ile yeni nanokozmetik formülasyonların sektörde yer almasını sağlayabilir.<sup>81</sup>

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Kozmetikler dünya çapında en popüler ürün kategorilerinden biridir. Bu ürünlerin popülaritesi, doğal güzelliklerle uyum içinde olması ve her zaman genç kalma arzusunun gerçekleşmesine yönelik pratik çözümler sunması ile doğrudan ilgilidir. Belirli cilt tiplerine yönelik güneş koruyucu ürünlerin kullanımı çok önemlidir.<sup>82</sup> Güneş kremlerinde, cilt kremlerinde ve losyonlarda ZnO NP'lerinin UV filtreleri olarak kullanılması, ışınların zararlı etkilerden korunmak için dünya çapında dermatologlar tarafından tavsiye edilmektedir. Geliştirilmiş güneş koruyucuları formüle ederken ürünün fotostabilitesi önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir. Sürekli olarak yeni organik, inorganik ve hibrit güneş kremleri geliştirilmektedir. Ancak son zamanlarda bazı malzemelerin UV ışınlarına karşı yeterli dirence sahip olmadığı ve güneşten koruma etkinliklerinin zamanla azaldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle birçok formülasyoncu, fotostabil güneş kremlerini tercih etmekte veya formülasyonlarını doğal fotostabiliteyi sağlayacak şekilde dikkatle tasarlamaktadır.<sup>83</sup> Güneşten koruyucu ürünlerin güvenlik testleri, her ülkenin kozmetik ürünlerini düzenleyen kanunlarında yer almaktadır. Kozmetik güvenlik değerlendirmeleri, güneş koruyucu formülasyonundaki her bir bileşenin fizikokimyasal özelliklerini, kısa vadeli, orta vadeli ve uzun vadeli kullanımda potansiyel zararlı etkileri dikkate alarak gerçekleştirilir.<sup>84</sup>

Kozmetik ürünlere olan talep arttıkça nanokozmetiklerin üretimi için nanopartiküllerinin kozmetikte kullanımı artmaktadır. ZnO içeren ürünler yüksek emilim, yansıtma, stabilite, cilde uygulanabilirlik ve güvenilirlik potansiyeli açısından kozmetik sektöründe önem taşımaktadır. Bu derlemede, ZnO NP'lerinin güneş koruyucu ürünlerdeki rolü açıklanarak,

güneş koruyucu teknolojinin yenilikçi yönleri ortaya konulmuştur. Kozmetik sektöründe ZnO NP'ler hem güneşten korunma hem de estetik açıdan yeni ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlanmaktadır. Tüketicilerin doğal ve güvenli formülasyonlara olan talebi, kozmetik endüstrisinin ZnO NP'leri içeren ürünlere odaklanmasına neden olmuştur. Bu trendler pazarın büyümesini ve çeşitli cilt bakımı ihtiyaçları için daha etkili çözümlerin geliştirilmesini sağlayacaktır.

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

**Yazar Katkıları:** Fikir-H.K., M.A.; Tasarım-H.K. ; Denetleme- M.A.;

Kaynaklar- H.K., M.A.; Analiz ve/ veya Yorum- H.K., M.A.; Literatür Taraması- H.K., M.A.; Yazıyı Yazan- H.K.; Eleştirel İnceleme- M.A.

**Çıkar Çatışması:** Yazarların beyan edebileceği herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

**Finansal Destek:** Herhangi bir finansal destek bulunmamaktadır.

**Peer-review:** Externally peer-reviewed.

**Author Contributions:** İdea-H.K., M.A.; Design-H.K. ; Supervision- M.A.; Sources- H.K., M.A.; Analysis and/or Interpretation - H.K., M.A.; Literature Scanning- H.K., M.A.; who wrote the article- H.K.; Critical Review- M.A.

**Conflict of Interest:** The authors have no conflicts of interest to declare.

**Financial Disclosure:** There is no financial support.

## KAYNAKLAR

- Patil S, Chandrasekaran R. Biogenic nanoparticles: A comprehensive perspective in synthesis, characterization, application and its challenges. *J Genet Eng & Biotechnol.* 2020;18:1-23.
- Mobasser S, Firoozi AA. Review of nanotechnology applications in science and engineering. *J Civil Eng Urban.* 2016;6(4):84-93.
- Katz LM, Dewan K, Bronaugh RL. Nanotechnology in cosmetics. *Food Chem Toxicol.* 2015;85:127-137.
- Arya K, Bhar R, Kataria R, Mehta SK. Nanomaterials in the cosmetics industry: A greener approach. *Green Nanomaterials for Industrial Applications.* Elsevier; 2022:207-253.
- Mihriyan A, Ferraz N, Strømme M. Current status and future prospects of nanotechnology in cosmetics. *Prog Mater Sci.* 2012;57(5):875-910.
- Liu Y, Zhao J, Chen J, Miao X. Nanocrystals in cosmetics and cosmeceuticals by topical delivery. *Colloids Surf B: Biointerfaces.* 2023:113385.
- Pandey A, Jatana GK, Sonthalia S. *Cosmeceuticals.* Treasure island (FL). StatPearls Publishing;2019.
- Cardoza C, Nagtode V, Pratap A, Mali SN. Emerging applications of nanotechnology in cosmeceutical health science: Latest updates. *Health Sci Rev.* 2022;4:100051.
- Khezri K, Saeedi M, Dizaj SM. Application of nanoparticles in percutaneous delivery of active ingredients in cosmetic preparations. *Biomed Pharmacother.* 2018;106:1499-1505.
- Chiari-Andréo BG, de Almeida-Cincotto MGJ, Oshiro Jr JA, Taniguchi CYY, Chiavacci LA, Isaac VLB. Nanoparticles for cosmetic use and its application. *Nanopart Pharmacother. Elsevier;* 2019:113-146.
- Dahiya S, Dahiya R. Potential of colloidal carriers for nanocosmeceutical applications. *Nanocosmeceuticals. Elsevier;* 2022:169-208.
- Bruna T, Maldonado-Bravo F, Jara P, Caro N. Silver nanoparticles and their antibacterial applications. *Int J Mol Sci.* 2021;22(13):7202.
- Raj S, Jose S, Sumod U, Sabitha M. Nanotechnology in cosmetics: Opportunities and challenges. *J Pharm Bioallied Sci.* 2012;4(3):186.
- Banik B, Borkotoky S, Das MK. Biosynthesized colloidal metallic nanoparticles-based nanocosmetic formulations. *Nanocosmeceuticals.* 2022:369-388.
- Pal A, Alam S, Mittal S, et al. UVB irradiation-enhanced zinc oxide nanoparticles-induced DNA damage and cell death in mouse skin. *Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen.* 2016;807:15-24.
- Zou W, Ramanathan R, Urban S, et al. Sunscreen testing: A critical perspective and future roadmap. *TrAC Trends Anal Chem.* 2022;157:116724.
- He H, Li A, Li S, Tang J, Li L, Xiong L. Natural components in sunscreens: Topical formulations with sun protection factor (SPF). *Biomed Pharmacother.* 2020;134:111161
- Santos A, Marto J, Cha-Cha R, et al.

- Nanotechnology-based sunscreens—A review. *Mater Today Chem.* 2022;23:100709.
19. Ahmady A, Amini MH, Zhakfar AM, Babak G, Sediqi MN. Sun protective potential and physical stability of herbal sunscreen developed from afghan medicinal plants. *Turk J Pharm Sci.* 2020;17(3):285.
  20. Sarkany R. Sun protection. *Medicine.* 2021;49(7):453-456.
  21. Bocca B, Caimi S, Senofonte O, Alimonti A, Petrucci F. ICP-MS based methods to characterize nanoparticles of TiO<sub>2</sub> and ZnO in sunscreens with focus on regulatory and safety issues. *Sci Total Environ.* 2018;630:922-930.
  22. Breunig HG, Weinigel M, König K. In vivo imaging of ZnO nanoparticles from sunscreen on human skin with a mobile multiphoton tomograph. *BioNanoScience.* 2015;5:42-47.
  23. Chavda VP, Acharya D, Hala V, Vora LK, Dawre S. Sunscreens: A comprehensive review with the application of nanotechnology. *J Drug Deliv Sci Technol.* 2023;86:104720.
  24. Yousefi F, Mousavi SB, Heris SZ, Naghash-Hamed S. UV-shielding properties of a cost-effective hybrid PMMA-based thin film coatings using TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles: a comprehensive evaluation. *Scient Reports.* 2023;13(1):7116.
  25. Mascarenhas-Melo F, Mathur A, Murugappan S, et al. Inorganic nanoparticles in dermopharmaceutical and cosmetic products: properties, formulation development, toxicity, and regulatory issues. *Eur J Pharm Biopharm.* 2023;192:25-40.
  26. Tiwari N, Kumar D, Priyadarshani A, et al. Recent progress in polymeric biomaterials and their potential applications in skin regeneration and wound care management. *J Drug Deliv Sci Tech.* 2023;82:104319.
  27. Niska K, Zielinska E, Radomski MW, Inkielewicz-Stepniak I. Metal nanoparticles in dermatology and cosmetology: Interactions with human skin cells. *Chem Biol Interact.* 2018;295:38-51.
  28. Abou-Dahech M, Boddu SH, Bachu RD, et al. A mini-review on limitations associated with UV filters. *Arab J Chem.* 2022;15(11):104212.
  29. Nagar V, Singh T, Tiwari Y, et al. ZnO Nanoparticles: Exposure, toxicity mechanism and assessment. *Mater Today Proc.* 2022;69:56-63.
  30. Reinoso JJ, Docio CMÁ, Ramírez VZ, Lozano JFF. Hierarchical nano ZnO-micro TiO<sub>2</sub> composites: High UV protection yield lowering photodegradation in sunscreens. *Ceram Int.* 2018;44(3):2827-2834.
  31. Rabani I, Lee S-H, Kim H-S, et al. Engineering-safer-by design ZnO nanoparticles incorporated cellulose nanofiber hybrid for high UV protection and low photocatalytic activity with mechanism. *J Environ Chem Eng.* 2021;9(5):105845.
  32. Ma H, Williams PL, Diamond SA. Ecotoxicity of manufactured ZnO nanoparticles—a review. *Environ Pollut.* 2013;172:76-85.
  33. Uribe-López M, Hidalgo-López M, López-González R, et al. Photocatalytic activity of ZnO nanoparticles and the role of the synthesis method on their physical and chemical properties. *J Photochem Photobiol A Chem.* 2021;404:112866.
  34. Sharma R, Garg R, Kumari A. A review on biogenic synthesis, applications and toxicity aspects of zinc oxide nanoparticles. *EXCLI journal.* 2020;19:1325.
  35. Haque MJ, Bellah MM, Hassan MR, Rahman S. Synthesis of ZnO nanoparticles by two different methods & comparison of their structural, antibacterial, photocatalytic and optical properties. *Nano Express.* 2020;1(1):010007.
  36. Awan F, Islam MS, Ma Y, et al. Cellulose nanocrystal–ZnO nanohybrids for controlling photocatalytic activity and UV protection in cosmetic formulation. *ACS Omega.* 2018;3(10):12403-12411.
  37. Sharma RR, Deep A, Abdullah ST. Herbal products as skincare therapeutic agents against ultraviolet radiation-induced skin disorders. *J Ayurveda Integr Med.* 2022;13(1):100500.
  38. Gupta S, Bansal R, Gupta S, Jindal N, Jindal A. Nanocarriers and nanoparticles for skin care and dermatological treatments. *Indian Dermatol Online J.* 2013;4(4):267.

39. Chauhan R, Kumar A, Tripathi R, Kumar A. Advancing of zinc oxide nanoparticles for cosmetic applications. *Handbook of consumer Nanoproducts*. Springer; 2022:1-16.
40. Adawi HI, Newbold MA, Reed JM, et al. Nano-enabled personal care products: Current developments in consumer safety. *NanoImpact*. 2018;11:170-179.
41. Soenen SJ, Rivera-Gil P, Montenegro J-M, Parak WJ, De Smedt SC, Braeckmans K. Cellular toxicity of inorganic nanoparticles: common aspects and guidelines for improved nanotoxicity evaluation. *Nano today*. 2011;6(5):446-465.
42. Saikia T, Sahu BP, Das MK. Safety evaluation and assessment of nanocosmeceutical products. *Nanocosmeceuticals*. Elsevier; 2022:511-524.
43. Çağlar AB, Saral S. Kozmetolojide Toksikite Sorunu. *Turk J Dermatol*. 2014;8(4):248-251
44. Singha LR, Das MK. Nanosunscreens for cosmeceutical applications. *Nanocosmeceuticals*. Elsevier; 2022:347-368.
45. Ryu HJ, Seo MY, Jung SK, et al. Zinc oxide nanoparticles: a 90-day repeated-dose dermal toxicity study in rats. *Int J Nanomedicine*. 2014;9(sup2):137-144.
46. Subramaniam VD, Prasad SV, Banerjee A, et al. Health hazards of nanoparticles: understanding the toxicity mechanism of nanosized ZnO in cosmetic products. *Drug Chem Toxicol*. 2019;42(1):84-93.
47. Muthuraman P, Ramkumar K, Kim DH. Analysis of dose-dependent effect of zinc oxide nanoparticles on the oxidative stress and antioxidant enzyme activity in adipocytes. *Appl Biochem Biotechnol*. 2014;174:2851-2863.
48. Khan M, Naqvi AH, Ahmad M. Comparative study of the cytotoxic and genotoxic potentials of zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles. *Toxicol Rep*. 2015;2:765-774.
49. Khare P, Sonane M, Nagar Y, et al. Size dependent toxicity of zinc oxide nano-particles in soil nematode *Caenorhabditis elegans*. *Nanotoxicology*. 2015;9(4):423-432.
50. Du J, Tang J, Xu S, et al. ZnO nanoparticles: recent advances in ecotoxicity and risk assessment. *Drug Chem Toxicol*. 2020;43(3):322-333.
51. Bartczak D, Baradez M, Merson S, Goenaga-Infante H, Marshall D. Surface ligand dependent toxicity of zinc oxide nanoparticles in HepG2 cell model. *IOP Publishing*; 2013:429:012015.
52. Hascicek c. Surface modification of polymeric nanoparticulate drug. *J Fac Pharm Ankara*. 38(2):137-154.
53. Girigoswami K, Viswanathan M, Murugesan R, Girigoswami A. Studies on polymer-coated zinc oxide nanoparticles: UV-blocking efficacy and in vivo toxicity. *Mater Sci Eng C*. 2015;56:501-510.
54. Ickrath P, Wagner M, Scherzad A, et al. Time-dependent toxic and genotoxic effects of zinc oxide nanoparticles after long-term and repetitive exposure to human mesenchymal stem cells. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(12):1590.
55. Morganti P. Use and potential of nanotechnology in cosmetic dermatology. *Clin Cosmet Investig Dermatol*. 2010:5-13.
56. Mirzaei H, Darroudi M. Zinc oxide nanoparticles: Biological synthesis and biomedical applications. *Ceram Int*. 2017;43(1):907-914.
57. Huang X, Wang X, Wang S, Yang J, Zhong L, Pan J. UV and dark-triggered repetitive release and encapsulation of benzophenone-3 from biocompatible ZnO nanoparticles potential for skin protection. *Nanoscale*. 2013;5(12):5596-5601.
58. Włodarczyk R, Kwarciak-Kozłowska A. Nanoparticles from the cosmetics and medical industries in legal and environmental aspects. *Sustainability*. 2021;13(11):5805.
59. Morganti P. Nanocosmetics: an introduction. *Nanocosmetics*. Elsevier; 2020:3-16.
60. Zouboulis CC, Ganceviciene R, Liakou AI, Theodoridis A, Elewa R, Makrantonaki E. Aesthetic aspects of skin aging, prevention, and local

- treatment. *Dermatol Clin.* 2019;37(4):365-372.
61. Shanbhag S, Nayak A, Narayan R, Nayak UY. Anti-aging and sunscreens: paradigm shift in cosmetics. *Adv Pharm Bull.* 2019;9(3):348.
  62. Lin C-H, Lin M-H, Chung Y-K, Alalaiwe A, Hung C-F, Fang J-Y. Exploring the potential of the nano-based sunscreens and antioxidants for preventing and treating skin photoaging. *Chemosphere.* 2023;140702.
  63. Sharma S, Chopi R, Kaur H, Singh R. Differentiation of Cosmetic Foundation Creams Using Attenuated Total Reflection Fourier-Transform Infrared Spectroscopy: A Rapid and NonDestructive Approach in Trace Evidence Analysis. *J Forensic Sci.* 2020;65(3):751-761.
  64. Sonia S, Ruckmani K, Sivakumar M. Antimicrobial and antioxidant potentials of biosynthesized colloidal zinc oxide nanoparticles for a fortified cold cream formulation: a potent nanocosmeceutical application. *Mater Sci Eng C.* 2017;79:581-589.
  65. Aspinall SR, Parker JK, Khutoryanskiy VV. Oral care product formulations, properties and challenges. *Colloids Surf B Biointerfaces.* 2021;200:111567.
  66. Abedi M, Ghasemi Y, Nematı MM. Nanotechnology in toothpaste: Fundamentals, trends, and safety. *Heliyon.* 2024;
  67. Khan ST, Al-Khedhairı AA, Musarrat J. ZnO and TiO<sub>2</sub> nanoparticles as novel antimicrobial agents for oral hygiene: A review. *J Nanoparticle Res.* 2015;17:1-16.
  68. El Shahawi AM. Incorporation of zinc oxide nanoparticles and it's antibacterial effect on toothpaste. *Bull Natl Res Cent.* 2023;47(1):2.
  69. Sarma A, Chakraborty T, Das MK. Nanocosmeceuticals: Current trends, market analysis, and future trends. *Nanocosmeceuticals. Elsevier;* 2022:525-558.
  70. Fernandes AR, Dario MF, Pinto CASdO, Kaneko TM, Baby AR, Velasco MVR. Stability evaluation of organic Lip Balm. *Braz J Pharm Sci.* 2013;49:293-299.
  71. Ahmad I, Ahmad A, Iftekhar S, Khalid S, Aftab A, Raza SA. Role of nanoparticle in cosmetics industries. *Bio Synth Nanopart Appl. CRC Press;* 2019:173-204.
  72. Poojary PV, Sarkar S, Poojary AA, et al. Novel anti-dandruff shampoo incorporated with ketoconazole-coated zinc oxide nanoparticles using green tea extract. *J Cosm Derm.* 2024; 23: 563-575.
  73. Pal TK, Mondal O. Prospect of nanotechnology in cosmetics: Benefit and risk assess-ment. *World J Pharm Res.* 2014;3(2):1909-1919.
  74. Dubey SK, Dey A, Singhvi G, Pandey MM, Singh V, Kesharwani P. Emerging trends of nanotechnology in advanced cosmetics. *Colloids Surf B Biointerfaces.* 2022;214:112440.
  75. Yadwade R, Gharpure S, Ankamwar B. Nanotechnology in cosmetics pros and cons. *Nano Express.* 2021;2(2):022003.
  76. Dahiya R, Dubey S, Dahiya S. Current global regulations for nanocosmeceuticals. *Nanocosmeceuticals. Elsevier;* 2022:483-510.
  77. Tiwari S, Talreja MS. A concept of nanotechnology in cosmetics: a complete overview. *Adalya J.* 2020;9(11):14-23.
  78. Altıokka İ, Üner M, Safety in Cosmetics and Cosmetovigilance, Current Regulations in Turkey. *J Agent.* 2022; 19(5): 610-617.
  79. Çankaya İİ. Obtaining Cosmetic Raw Materials from the Natural Resources of Turkey and Getting Them to the Industry. *Current Persp Med Arom Plants.* 2018;1(2):78-89.
  80. Gupta V, Mohapatra S, Mishra H, et al. Nanotechnology in cosmetics and cosmeceuticals— A review of latest advancements. *Gels.* 2022;8(3):173.
  81. Kose O, Erkekoglu P, Sabuncuoglu S, Kocer-Gumusel B. Evaluation of skin irritation potentials of different cosmetic products in Turkish market by reconstructed human epidermis model. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2018;98:268-273.
  82. Effiong DE, Uwah TO, Jumbo EU, Akpabio AE. Nanotechnology in cosmetics: basics, current trends

and safety concerns—A review. *Adv Nano.* 2019;9(1):1-22.

83. Gadgil VR, Darak A, Patil SJ, et al. Recent developments in chemistry of sunscreens & their photostabilization. *J Indian Chem Soc.* 2023;100:100858.
84. Geoffrey K, Mwangi A, Maru S. Sunscreen products: Rationale for use, formulation development and regulatory considerations. *Saudi Pharm J.* 2019;27(7):1009-1018.