

Selenyum nanopartiküllerinin tiroid hormon dönüşümüne etkisi: Yeni nesil mikrobesein yaklaşımları

Eylem BEYAN^{*1}
Halit Tanju BESLER²

Geliş tarihi / Received: 25.09.2025

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 29.09.2025

Kabul tarihi / Accepted: 29.09.2025

DOI: 10.17932/IAU.ABMYOD.2006.005/abmyod_v20i72003

Öz

Selenyum, tiroid hormonlarının sentezi ve özellikle tiroksinin (T4) triiyodotironine (T3) dönüşümünde görev alan iyodotironin deiyodinaz (DIO) enzimlerinin yapısında yer alan esansiyel bir mikrobeseindir. Ayrıca glutatyon peroksidaz (GPx) ve tiyoredoksin redüktaz (TrxR) gibi selenoproteinler aracılığıyla oksidatif stresi (OS) dengeleyerek tiroid hücrelerini serbest radikal hasarına karşı korur. Bu nedenle selenyum eksikliği, hem tiroid hormon metabolizmasında bozulmalara hem de otoimmün tiroid hastalıklarının gelişimine katkıda bulunabilmektedir.

Son yıllarda geliştirilen selenyum nanopartikülleri (SeNP), klasik selenyum bileşiklerine kıyasla daha yüksek biyoyararlanım, düşük toksisite ve daha hedeflenmiş biyolojik etkiler sunmaları nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Çeşitli çalışmalar, selenyum nanopartiküllerin redoks dengeleyici özellikleri sayesinde antioksidan, antiinflamatuvar ve immünmodülatuvar etkiler gösterebildiğini ortaya koymuştur. Bu özellikler, özellikle Hashimoto tiroiditi ve Graves hastalığı gibi otoimmün tiroid bozukluklarında selenyum nanopartiküllerin terapötik bir seçenek olarak değerlendirilebileceğini düşündürmektedir.

Bu derleme, selenyum nanopartiküllerinin tiroid hormon dönüşümü üzerindeki potansiyel etkilerini, otoimmün tiroid hastalıklarındaki olası

¹ İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, eylembeyan@stu.aydin.edu.tr, ORCID: 0009-0002-3207-3741

² İstanbul Aydın Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, halittanjubesler@aydin.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6523-7995

terapötik rollerini ve yeni nesil mikrobesein yaklaşımlarındaki yerini güncel literatür ışığında ele alır. Bulgular, selenyum nanopartiküllerin umut verici bir beslenme desteği ve tedavi adayı olduğunu göstermektedir. Ancak, klinik uygulamalara geçiş için üretim süreçlerinde standardizasyonun sağlanması, uzun dönem güvenlik verilerinin artırılması ve dozajın hassas biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, SeNP'ler gelecekte kişiselleştirilmiş beslenme ve fonksiyonel gıda alanlarında önemli bir yenilik olarak öne çıkabilecek potansiyele sahiptir.

Anahtar kelimeler: *selenyum nanopartikülleri, tiroid hormonları, iyodotironin deiyodinaz enzimleri, antioksidan savunma, otoimmün tiroid hastalıkları*

The effect of selenium nanoparticles on thyroid hormone conversion: Next-generation micronutrient approaches

Abstract

Selenium is an essential micronutrient that plays a critical role in the synthesis of thyroid hormones and, in particular, in the conversion of thyroxine (T4) to triiodothyronine (T3) through its presence in the structure of iodothyronine deiodinase (DIO) enzymes. In addition, selenium contributes to oxidative stress (OS) regulation via selenoproteins such as glutathione peroxidase (GPx) and thioredoxin reductase (TrxR), thereby protecting thyroid cells against free radical damage. Consequently, selenium deficiency may lead to disturbances in thyroid hormone metabolism and contribute to the development of autoimmune thyroid diseases.

In recent years, selenium nanoparticles (SeNPs) have attracted significant attention due to their higher bioavailability, lower toxicity, and more targeted biological effects compared to conventional selenium compounds. Various studies have demonstrated that SeNPs can exert antioxidant, anti-inflammatory, and immunomodulatory effects through their redox-balancing properties. These features suggest that SeNPs may represent a therapeutic option, particularly in autoimmune thyroid disorders such as Hashimoto's thyroiditis and Graves' disease.

This review aims to discuss the potential effects of selenium nanoparticles on thyroid hormone conversion, their possible therapeutic roles in autoimmune thyroid diseases, and their position within next-generation micronutrient

approaches in light of the current literature. Findings indicate that selenium nanoparticles represent a promising nutritional support and therapeutic candidate. However, transitioning to clinical applications requires the establishment of standardized production processes, the accumulation of long-term safety data, and precise determination of dosage. In this context, SeNPs have the potential to emerge as an important innovation in personalized nutrition and functional food fields in the future.

Keywords: *selenium nanoparticles, thyroid hormones, iodothyronine deiodinase enzymes, antioxidant defense, autoimmune thyroid diseases*

Giriş

Selenyum (Se), insanlar ve hayvanlar için esansiyel bir eser elementtir. Vücutta farklı doku ve organlarda yaygın olarak bulunmakta olup, sağlıkla yakından ilişkilidir ve çeşitli fizyolojik fonksiyonların düzenlenmesinde kritik rol üstlenmektedir. Selenyum ilk kez 1817 yılında İsveçli kimyager Jöns Jacob Berzelius tarafından sülfürik asit üretim sürecinde ortaya çıkan atıklarda keşfedilmiştir. Uzun süre yalnızca toksik bir element olarak değerlendirilmiştir. Ancak 1957 yılında Foltz ve Schwarz, selenyumun hayvanlar için zorunlu bir besin ögesi olduğunu bilimsel olarak ortaya koymuştur. Daha sonra, 1973 yılında Rotruck ve arkadaşları, selenyumun hem insanlarda hem de hayvanlarda glutatyon peroksidaz (GPx) enziminin yapısal bir bileşeni olduğunu belirlemiş ve bu özelliğini doğrulamışlardır (Bai ve ark., 2024). Selenoproteinler (SelP'ler), selenyuma bağımlı enzimatik süreçler aracılığıyla kendilerine özgü biyolojik özellikler kazandıran özel bir protein grubunu temsil etmektedir. Bu proteinler arasında özellikle iyodotironin deiyodinazlar (DIO) ve glutatyon peroksidazlar, tiroid fizyolojisinin düzenlenmesinde kritik rol üstlenmektedir. Ayrıca bu enzimler, immünolojik düzensizlikler ve oksidatif stres (OS) kaynaklı hastalıklara karşı koruyucu işlev görmektedir (Bano ve ark., 2025).

Tiroid dokusunda selenyum, antioksidan savunma sistemine katkıda bulunur ve tiroid hormonu metabolizmasında görev alan selenoproteinlerden biri olan iyodotironin deiyodinazların yapısında yer alır. Ayrıca bu element, GPx enziminin aktivitesini destekleyerek oksidatif stresin kontrol altına alınmasında kritik rol oynar. Düşük selenyum düzeyleri, GPx aktivitesinin azalmasına yol açarak antioksidan kapasitenin zayıflamasına, buna bağlı olarak da tiroid dokusunda oksidatif hasarın ve patofizyolojik süreçlerin artmasına neden olur (Duntas ve Benvenga, 2015).

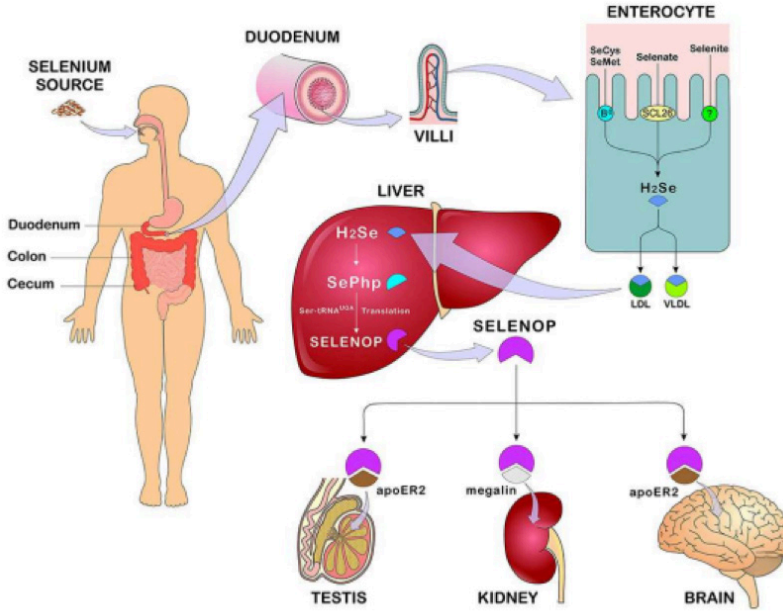
Son yıllarda, selenyumun nanopartikül formu (SeNPs), klasik takviyelere kıyasla daha yüksek biyoyararlanım, hedefe yönelik etki ve düşük toksisite profili nedeniyle öne çıkmıştır (Skalickova ve ark., 2017). SeNP'lerin tiroid hormon dönüşümü üzerindeki olası etkileri, antioksidan savunma mekanizmalarını güçlendirme potansiyeli ve otoimmün tiroid hastalıklarında immün yanıtı düzenleyici rolleri, endokrinoloji ve beslenme bilimlerinde giderek daha fazla ilgi görmektedir (Wang ve ark., 2015). Bu derleme, SeNP'lerin tiroid fonksiyonları üzerindeki etkilerini, moleküler mekanizmalarını ve klinik potansiyelini güncel literatür ışığında değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Selenyum

Selenyum (Se), periyodik tablonun 16. grubunda yer alan, insan ve hayvan organizmaları için yaşamsal öneme sahip esansiyel bir elementtir. Günlük selenyum alımı, beslenme alışkanlıklarına bağlı olarak değişmekte olup başlıca balık, et ve tahıllardan karşılanır. Yiyeceklerdeki selenyum içeriği büyük ölçüde toprağın mineral yapısına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Kocatepe ve ark., 2021). Selenyum insan vücudunda duodenumda emildikten sonra kana geçer ve plazma proteinleri ile lipoproteinlere bağlanarak taşınır. Günlük gereksinimleri karşılamak üzere alındığında, en yüksek yoğunlukta biriktiği organlar böbrek, tiroid, testis ve karaciğerdir. Vücuttaki toplam selenyum havuzunun yaklaşık %40–50'si ise iskelet kasında bulunur. Bunun yanı sıra, selenyum endüstriyel alanda da geniş kullanım alanına sahiptir. Özellikle ftohücreler, seramik ve cam üretimi, kauçuk sanayi, çelik alaşımları, fotoğrafçılık, redresörler, lazer yazıcılar ve fotokopi makineleri bu elementin kullanımına örnek oluşturur (Şekil 1).

Selenyumun tiroid hormonu metabolizması, antioksidan immün sistemin düzenlenmesi ve savunma başta olmak üzere, vücutta birçok mekanizmada görevi bulunmaktadır (Kocatepe ve ark., 2021). Ayrıca glutatyon peroksidaz ve tiyoredoksin redüktaz (TrxR) gibi selenoproteinler aracılığıyla oksidatif stresin kontrolünde yer alır (Erdem ve Aydın Acar, 2024). Selenyum, son yıllarda insan sağlığı açısından önemli ve faydalı bir eser element olarak öne çıkar. Diyetle alınan selenyum, selenosistein (Sec) amino asidinin bir bileşeni olarak çeşitli selenoproteinlerin sentezinde yer alır ve bu proteinler aracılığıyla fizyolojik etkilerini göstermektedir. İnorganik formları arasında selenid ve selenat, organik formlarında ise selenometionin ve selenosistein yer alır. Selenometionin, vücutta sentezlenemediğinden

mutlaka diyetle alınmalıdır. Diyetle yeterli selenyum alınamadığında, vücut selenometionin depolarını kullanarak ihtiyaç duyduğu selenyum karşılar. Emilim açısından metionine benzese de selenometioninin fizyolojik işlevleri metioninden tamamen farklıdır (Süzen ve ark., 2022).



Şekil 1. Selenyum emilimi, metabolizması ve dağılımı (Çakına, 2022).

Selenyum gereksinimi, yetişkin bireyler için günlük ortalama 50–200 µg arasında değişmekte olup, çocuklar için bu miktar daha düşüktür. Normal ve dengeli bir diyetle alındığında toksik etki göstermemektedir. Sağlıklı bireylerde dengeli beslenme koşullarında selenyumun yeterli düzeyde alındığı gözlemlenmektedir. Selenyum düzeyleri genellikle mikrogram (µg) birimiyle ifade edilmekte olup, optimum ortalama aralığın kesin olarak belirlenmediği bildirilmektedir. Bununla birlikte, günlük ortalama selenyum gereksinimi her bireyin cinsiyet, yaş, sağlık durumu ve beslenme alışkanlıkları doğrultusunda ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir (Souza ve ark., 2025). Genel olarak toplum sağlığı açısından günlük 50–200 µg selenyum alımı yeterli ve güvenli kabul edilir; bu miktarın üzerindeki alımlar ise toksik etkilere yol açabilmektedir. 500 µg/gün’ün üzerindeki selenyum alımların toksisite riski taşıdığı bildirilmiştir. İnorganik formlarda günlük 1000 µg, organik bileşiklerde ise 2000–3000 µg düzeyindeki alımlar; tırnaklarda kırılma ve kayıp, saçlarda dökülme ve gerileme gibi

olumsuz sonuçlara neden olur. Selenyum toksisitesinin yalnızca cilt ve eklerinde değil, aynı zamanda sinir sistemi üzerinde de önemli etkileri olabilmektedir. Kronik yüksek doz alımlarda ayaklarda ve ellerde duyu kaybı, uyuşma, karıncalanma gibi nörolojik bulgular gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, deride kızarıklık ve döküntüler, baş dönmesi, halsizlik, iştah kaybı ve istemsiz kilo kaybına da yol açar (Selamoğlu, 2025). Ayrıca selenyum eksikliğinin kanser, yaşlanma, insülin direnci, diyabet, kardiyovasküler ve artmış mortalite riski, immün sistem hastalıklarıyla ilişkili olabilmektedir (Kangalgil ve Yardımcı, 2017).

Selenyumun nanopartikül formu (SeNPs)

Selenyum nanopartikülleri (SeNP'ler), geleneksel selenyum bileşiklerine kıyasla daha düşük toksisite, daha yüksek biyoyararlanım ve geniş biyomedikal kullanım potansiyeli ile dikkat çeker. Son yıllarda yapılan çalışmalar, SeNP'lerin kimyasal, fiziksel ve biyolojik yöntemlerle sentezlenebilir. Özellikle mikroorganizma ve bitki özleri kullanılarak gerçekleştirilen yeşil sentez yöntemlerinin çevre dostu ve daha güvenilir olduğunu ortaya koyar (Soliman ve ark., 2024; Nag ve ark., 2024). Nanopartiküllerin boyutu, şekli ve yüzey özellikleri biyolojik aktiviteleri üzerinde doğrudan etkilidir. Bu özellikler antioksidan kapasite, ilaç taşıma potansiyeli ve immünmodülatuvar etkiler açısından önem arz etmektedir. Ayrıca SeNP'lerin antikanser etkinlikleri, oksidatif stresin azaltılmasındaki rolleri ve tiroid hormon metabolizmasını destekleyici etkileri de literatürde vurgulanmaktadır (Zou ve ark., 2024). Bununla birlikte, klinik uygulamalarda kullanımını sınırlayan en önemli engeller, üretim süreçlerinde standardizasyon eksikliği, olası toksisite riskleri ve dozaj konusundaki belirsizliklerdir (Raturi ve ark., 2025). Nano-selenyum, düşük toksisite profili, yüksek biyoyoumluluğu ve güçlü antioksidan kapasitesi sayesinde antioksidan ve antiinflamatuvar etkiler için umut vadeden bir ilaç taşıyıcı olarak değerlendirilmektedir (Puri ve ark., 2024). Selenyum (Se), selenosistein formunda selenoproteinlerin yapısına katılarak antioksidan savunma başta olmak üzere çeşitli biyolojik sistemlerin düzenlenmesini sağlar. Güncel araştırmalar, SeNP'lerin redoks dengeleyici özellikleri sayesinde antioksidan aktiviteden antikanser etkilere kadar uzanan geniş bir terapötik potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Karthik ve ark., 2024).

Selenyum nanopartiküllerinin sentezinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Hidrotermal yöntem, düşük maliyetli olması ve 10–1000 nm arasında

değişen çaplarda kristalin SeNP üretimi sağlaması nedeniyle öne çıkmakta ve çok yönlü uygulamalara imkân tanır. Kimyasal şablon tekniklerinde folat, kitosan, hyaluronik asit gibi bileşikler stabilizatör olarak kullanılarak monodispers ve istenilen boyutta SeNP'lerin elde edilmesi mümkün olur. Bu yöntem, partikül özelliklerinin özelleştirilebilmesine ve geniş biyomedikal uygulamalara uyarlanmasına olanak vermektedir. Lazer ablasyon yöntemi ise kontaminasyon riskinin düşük olması, maliyet etkinliği ve farklı boyutlarda partikül elde edilebilmesi avantajlarıyla dikkat çeker. Ayrıca üretilen SeNP'lerin antibakteriyel özelliklere sahip olduğu gösterilmiştir. Çevre dostu bir alternatif olan biyosentez yönteminde ise bitki özütleri kullanılarak SeNP üretimi gerçekleştirilir. Bu süreçte UV-Vis spektrofotometri ile reaksiyon izlenmekte ve kırmızı renkli SeNP'ler elde edilmektedir. Bu farklı sentez yaklaşımları, SeNP'lerin şekil, boyut ve biyolojik özelliklerinin kontrol edilmesine imkân tanıyarak hem araştırma alanında hem de biyomedikal uygulamalarda geniş potansiyel sunar (Yuan ve ark., 2024).

Selenyum nanopartikülleri (SeNP'ler), bağışıklık sistemi üzerindeki düzenleyici etkileri nedeniyle otoimmün tiroid hastalıklarının patogeneğinde potansiyel bir terapötik yaklaşım olarak öne çıkar. Çeşitli deneysel ve klinik çalışmalar, SeNP'lerin makrofajlar, dendritik hücreler ve T lenfositleri gibi immün hücrelerin işlevlerini modüle ederek hem doğal hem de adaptif bağışıklık yanıtlarını düzenleyebildiğini göstermektedir (Chen ve ark., 2022). Otoimmün tiroid hastalıkları bağlamında, selenyum eksikliğinin oksidatif stresin artışı ve immün sistemdeki dengesizlikler yoluyla Hashimoto tiroiditi ve Graves hastalığı gibi patolojilerle ilişkili olduğu belirtilmiştir. Deneysel modellerde, SeNP uygulamasının T hücre diferansiyasyonunu etkileyerek otoimmün tiroidit sürecini modüle ettiği, lenfosit proliferasyonunu ve sitokin profilini düzenleyerek immün yanıtı iyileştirdiği saptanmıştır (Wang ve ark., 2023). Ayrıca insanlarda yapılan güncel çalışmalar, otoimmün tiroid hastalığı olan bireylerde selenyum düzeylerinin immün yanıt parametreleri ve stres ilişkili mekanizmalarla bağlantılı olduğunu ortaya koyar (Vaivode ve ark., 2023). Bu bulgular, SeNP'lerin otoimmün tiroid hastalıklarının yönetiminde hem antioksidan hem de immünmodülatuar özellikleriyle önemli bir araştırma alanı sunduğunu gösterir.

Selenyum ve tiroid hormon dönüşümü

Selenyum, tiroid dokusunda antioksidan sistemin bir parçası olarak görev

yapar ve tiroid hormon metabolizmasında rol alan iyodotironin deiyodinaz enzimlerinin yapısında bulunur. Bu enzimler T4'ün aktif form olan T3'e dönüşümünü ya da hormonların inaktivasyonunu sağlar. Selenyum eksikliğinde T4'ün T3'e dönüşümü azalır ve hormon dengesizlikleri ortaya çıkar (Souza ve ark., 2025). İnsanlarda üç farklı deiyodinaz tanımlanmıştır. D1 (Tip 1 Deiyodinaz), T4'ü T3'e dönüştürerek dolaşımdaki aktif T3 seviyesini sağlar (Senthamarai ve ark., 2024). D2 (Tip 2 Deiyodinaz), beyin, kas ve kalpte hücre içi T3 sentezini gerçekleştirir ve hipotalamo-hipofizer geri bildirim döngüsünü düzenler. D3 (Tip 3 Deiyodinaz), T3 ve T4'ü inaktif formlara dönüştürerek aşırı hormon etkilerini önlemektedir. Bu enzim, dokuları aşırı aktif tiroid hormonlarının zararlı etkilerine karşı koruyarak tiroid hormon homeostazında önemli rol oynar (Pehlivan ve ark., 2023; Souza ve ark., 2025).

Selenyum eksikliği, iyodotironin deiyodinaz enzimlerinin işlevlerini bozarak T3 düzeyinde düşüşe ve T4 birikimine yol açar. Bu durum, hipotiroidi benzeri klinik bulgulara neden olabilmektedir (Duntas, 2010). Ayrıca, selenyumun antioksidan savunmadaki rolü de tiroid sağlığı için kritiktir. GPx ve (TrxR) gibi selenoproteinler, tiroid hormon sentezinde yan ürün olarak ortaya çıkan hidrojen peroksiti (H_2O_2) nötralize ederek hücreleri oksidatif hasardan korur (Schomburg ve Köhrle, 2008).

Klinik potansiyel ve güvenlik

SeNP'lerin klinik potansiyeli, geleneksel selenyum formlarına göre daha yüksek biyoyararlanım ve azaltılmış toksisite avantajı sunmalarından kaynaklanır. Örneğin, Ansari ve arkadaşları (2024) çalışmasında, SeNP'lerin hedeflenmiş ligandlarla fonksiyonelize edildiğinde ilaç taşıyıcısı olarak kullanılabilmesi ve çeşitli hastalıklarda etkinlik gösterebileceği vurgulanmaktadır. SeNP'ler, son yıllarda güvenlik profili ve hedefe yönelik etkileri sayesinde klinik araştırmalarda umut verici bir ajan olarak öne çıkmıştır. (Vasanthakumar ve ark., 2024). Yapılan çalışmalar, SeNP'lerin oksidatif stresi azaltıcı, antiinflamatuvar ve immünmodülatuvar özellikleri sayesinde özellikle tiroid fonksiyonlarının korunmasında ve otoimmün tiroid hastalıklarının seyrinde olumlu etkiler gösterebileceğini ortaya koyar. Ayrıca SeNP'lerin, yalnızca tiroid hastalıklarının yönetiminde değil; antikanser, antimikrobiyal ve antioksidan uygulamalarda da geniş bir terapötik potansiyele sahip olduğu bildirilmektedir (Karthik ve ark., 2024; Nagime ve ark., 2025).

Bununla birlikte SeNP'lerin güvenlik profili hâlâ araştırılmaktadır. Geleneksel Se formları dar terapötik aralığa sahip olup yüksek dozlarda toksisiteye yol açabilirken, SeNP'ler daha düşük toksisite eğilimi göstermektedir. Hayvan modellerinde yapılan çalışmalar, yüksek doz SeNP maruziyetinin karaciğer enzimlerinde değişiklikler, Se birikimi ve metabolik bozukluklar gibi toksikolojik etkilere yol açabileceğini göstermiştir (Ryabova et al., 2024). Ayrıca çevresel güvenlik açısından da SeNP'lerin birikimi ve uzun vadeli etkileri henüz netleşmemiştir. Bu nedenle, SeNP'lerin klinik kullanıma geçebilmesi için dozaj aralıklarının belirlenmesi, uzun dönem güvenlik çalışmalarının yapılması ve standart üretim protokollerinin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir (Vijayakumar ve ark., 2024).

Yeni nesil mikrobesein yaklaşımları

Selenyum nanopartikülleri (SeNP'ler), geleneksel selenyum formlarına göre daha yüksek biyoyararlanım, düşük toksisite ve hedef dokularda etkinlik göstermeleriyle yeni nesil mikrobesein yaklaşımlarında öne çıkar. Klasik Se bileşikleri dar terapötik aralığa sahip olup, fazla alındığında toksik etkilere yol açabilmektedir. Buna karşılık SeNP'ler, düşük dozlarda dahi güçlü antioksidan ve immünmodülatuar etkiler sergilemekte, oksidatif stresin azaltılmasında ve hücresel hasarın önlenmesinde avantaj sunmaktadır (Karthik ve ark., 2024; Ansari et al., 2024).

Yeni nesil mikrobesein yaklaşımlarında kişiselleştirilmiş beslenme anlayışının önemi giderek artmaktadır. Bulgular, bireylerin genetik farklılıklarının selenyum metabolizmasını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Bu bağlamda SeNP'lerin, genetik profillere uygun olarak optimize edilmiş formülasyonlarla geliştirilmesi, özellikle otoimmün tiroid hastalıkları, yaşlanma ile ilişkili bozukluklar ve bağışıklık fonksiyonlarının desteklenmesinde umut verici bir strateji olarak değerlendirilmektedir (Sadler ve ark., 2024; Sampath ve ark., 2024). Böylece SeNP'ler yalnızca eksiklik giderici bir mineral takviyesi değil, bireye özgü hastalık önleme ve tedavi yaklaşımlarında kullanılabilecek yeni nesil bir mikrobesein olarak konumlanmaktadır (Hosnedlova ve ark., 2018).

Bununla birlikte, SeNP'lerin mikrobesein desteği olarak yaygın kullanımını sınırlayan bazı sorunlar bulunur. Yüksek doz veya uzun süreli kullanımda potansiyel toksisite, biyolojik birikim ve çevresel etkiler konusundaki belirsizlikler hâlen devam etmektedir (Ryabova ve ark.,

2024; Vijayakumar ve ark., 2024). Ayrıca üretim süreçleri için standart protokoller geliştirilmemiştir ve uluslararası regülasyonlar yetersizdir. Bu nedenle SeNP'lerin yeni nesil mikrobesein olarak güvenle kullanılabilmesi için geniş kapsamlı randomize kontrollü klinik çalışmalar, uzun dönem güvenlik verileri ve yeşil sentez yöntemleriyle desteklenmiş sürdürülebilir üretim stratejilerine ihtiyaç vardır (Nagime ve ark., 2024).

Sonuç

Selenyum, tiroid hormonlarının sentezi ve dönüşümünde kritik rol oynayan, aynı zamanda antioksidan savunma mekanizmalarında görev alan temel bir mikrobeseindir. Selenyum eksikliği, tiroid hormon dengesizliklerine, oksidatif stresin artmasına ve otoimmün tiroid hastalıklarının gelişmesine zemin hazırlayabilmektedir. Bu nedenle, selenyumun yeterli alımı endokrin sağlık açısından hayati önem taşır.

Son yıllarda geliştirilen selenyum nanopartikülleri, geleneksel selenyum formlarına kıyasla daha yüksek biyoyararlanım, düşük toksisite ve hedeflenmiş biyolojik etkiler sunmalarıyla öne çıkmıştır. SeNP'lerin oksidatif stresin azaltılmasında, immün yanıtın düzenlenmesinde ve tiroid hormon metabolizmasının desteklenmesinde etkili olabileceği yönünde artan sayıda deneysel ve klinik bulgu mevcuttur. Ayrıca SeNP'ler, kişiselleştirilmiş beslenme ve yeni nesil mikrobesein yaklaşımlarında kullanılabilecek yenilikçi adaylar olarak değerlendirilmektedir.

Bununla birlikte, SeNP'lerin klinik kullanımlarına ilişkin bazı kısıtlılıklar söz konusudur. Üretim standartlarının henüz oluşturulmamış olması, dozaj konusundaki belirsizlikler, uzun dönem güvenlik verilerinin sınırlı bulunması ve çevresel etkilerin tam olarak bilinmemesi, bu alanda daha fazla araştırma yapılmasını gerekli kılmaktadır. Gelecekte, yeşil sentez yöntemleriyle geliştirilecek güvenli üretim protokolleri ve geniş ölçekli randomize kontrollü çalışmalar SeNP'lerin hem tiroid sağlığında hem de genel insan sağlığında güvenle kullanılabilen bir mikrobesein desteği olarak kabul edilmesine olanak sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1]Ansari, J. A., Malik, J. A., Ahmed, S., Manzoor, M., Ahemad, N., & Anwar, S. (2024). Recent advances in the therapeutic applications of selenium nanoparticles. *Molecular biology reports*, 51(1), 688.
- [2]Bai, S., Zhang, M., Tang, S., Li, M., Wu, R., Wan, S., ... & Feng, S.

- (2024). Selenyumun insan sağlığı üzerindeki etkileri ve etkisi, bir inceleme. *Moleküller*, 30 (1), 50.
- [3]Bano, I., Hassan, MF ve Kieliszek, M. (2025). Tiroid Sağlığında Önemli Bir Düzenleyici Olarak Selenyumun Kapsamlı Bir İncelemesi. *Biyolojik İz Element Araştırması*, 1-15.
- [4]Chen, G., Yang, F., Fan, S., Jin, H., Liao, K., Li, X., Liu, G. B., Liang, J., Zhang, J., Xu, J. F., & Pi, J. (2022). Immunomodulatory roles of selenium nanoparticles: Novel arts for potential immunotherapy strategy development. *Frontiers in immunology*, 13, 956181. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.956181>
- [5]Çakına, S. (2022). The relationship between oxidative stress and selenium. *Etoxec*, 2(1), 22–29.
- [6]Duntas L. H. (2010). Selenium and the thyroid: a close-knit connection. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 95(12), 5180–5188. <https://doi.org/10.1210/jc.2010-0191>
- [7]Duntas, L. H. & Benvenega, S. (2015). Selenium: an element for life. *Endocrine*, 48(3), 756–775.
- [8]Erdem, E., & Aydın Acar, Ç. (2024). Selenium nanoparticles synthesized via green methods from Calluna vulgaris extract: Exploring their antioxidant and antibacterial activities. *International Journal of Secondary Metabolite*, 11(3), 462-471. <https://doi.org/10.21448/ijsm.1415795>
- [9]Hosnedlova, B., Kepinska, M., Skalickova, S., Fernandez, C., Ruttkay-Nedecky, B., Peng, Q., Baron, M., Melcova, M., Opatrilova, R., Zidkova, J., Bjørklund, G., Sochor, J., & Kizek, R. (2018). Nano-selenium and its nanomedicine applications: a critical review. *International Journal of Nanomedicine*, 13, 2107–2128. <https://doi.org/10.2147/IJN.S157541>
- [10] Kangalgıl, M., & Yardımcı, H. (2017). Selenyumun insan sağlığı üzerine etkileri ve diyabetes mellitusla ilişkisi. *Bozok Tıp Dergisi*, 7(4), 66-71.
- [11] Karthik, K. K., Cheriyan, B. V., Rajeshkumar, S., & Gopalakrishnan, M. (2024). A review on selenium nanoparticles and their biomedical applications. *Biomedical Technology*, 6, 61-74.
- [12] Kocatepe, D., Büyükkol, D., & Öztürk, G. (2021). Selenyum, Su

- Ürünleri ve Sağlık. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 162-173. <https://doi.org/10.33484/sinopfbd.879034>
- [13] Nag, S., Kar, S., Mishra, S., Stany, B., Seelan, A., Mohanto, S., ... & Subramaniyan, V. (2024). Selenyum nanopartiküllerinin (SeNP'ler) yeşil sentezi ve biyomedikal terapötik paradigmalarının açığa çıkarılması - son teknoloji kapsamlı bir güncelleme. *Uluslararası Eczacılık Dergisi*, 662, 124535.
- [14] Nagime, P. V., Pandey, V. K., Rajpal, C., Jayeoye, T. J., Kumar, A., Chidrawar, V. R., & Singh, S. (2025). Biogenic selenium nanoparticles: a comprehensive update on the multifaceted application, stability, biocompatibility, risk, and opportunity. *Zeitschrift fur Naturforschung. C, Journal of Biosciences*, 10.1515/znc-2024-0176. Advance online publication. <https://doi.org/10.1515/znc-2024-0176>
- [15] Pehlivan, Ö., Waliczek, M., Kijewska, M., & Stefanowicz, P. (2023). Selenium in Peptide Chemistry. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 28(7), 3198. <https://doi.org/10.3390/molecules28073198>
- [16] Puri, A., Mohite, P., Ansari, Y., Mukerjee, N., Alharbi, HM, Upaganlawar, A. ve Thorat, N. (2024). Bitki kaynaklı selenyum nanopartikülleri: benzersiz morfolojileri araştırmak, terapötik kullanımları geliştirmek ve kişiye özel tıbbi tedavilerde öncü olmak. *Materials Advances*, 5 (9), 3602-3628.
- [17] Raturi, P., Ahmad, N., Rawat, N., & Singhvi, N. (2025). Synthesis and Biomedical Based Applications of Selenium Nanoparticles: A Comprehensive Review. *Indian Journal of Microbiology*, 65(1), 204–215. <https://doi.org/10.1007/s12088-024-01302-w>
- [18] Ryabova, Y. V., Sutunkova, M. P., Minigalieva, I. A., Shabardina, L. V., Filippini, T., & Tsatsakis, A. (2024). Toxicological effects of selenium nanoparticles in laboratory animals: A review. *Journal of Applied Toxicology : JAT*, 44(1), 4–16. <https://doi.org/10.1002/jat.4499>
- [19] Sadler, R. A., Mallard, B. A., Shandilya, U. K., Hachemi, M. A., & Karrow, N. A. (2024). The Immunomodulatory Effects of Selenium: A Journey from the Environment to the Human Immune System. *Nutrients*, 16(19), 3324. <https://doi.org/10.3390/nu16193324>
- [20] Sampath, S., Sunderam, V., Manjusha, M., Dlamini, Z., & Lawrance, A. V. (2024). Selenium Nanoparticles: A Comprehensive Examination

- of Synthesis Techniques and Their Diverse Applications in Medical Research and Toxicology Studies. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 29(4), 801. <https://doi.org/10.3390/molecules29040801>
- [21] Selamoğlu, Z. (2025). Mikro-Besin Selenyum Ve Biyolojik Özellikleri. *Wah Academia Journal of Health and Nutrition*, 1(1), 14-17.
- [22] Senthamarai, MD, Hillary, VE, Rajan, MR ve Ceasar, SA (2024). Selenyum nanopartiküllerinin biyosentezi ve biyolojik uygulamaları: Sistemik bir inceleme. *Nano-Yapılar ve Nano-Nesneler*, 39, 101261.
- [23] Schomburg, L., & Köhrle, J. (2008). On the importance of selenium and iodine metabolism for thyroid hormone biosynthesis and human health. *Molecular nutrition & food research*, 52(11), 1235–1246. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700465>
- [24] Skalickova, S., Milosavljevic, V., Cihalova, K., Horky, P., Richtera, L., & Adam, V. (2017). Selenium nanoparticles as a nutritional supplement. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 33, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2016.05.001>
- [25] Soliman, MK, Amin, MAA, Nowwar, AI, Hendy, MH ve Salem, SS (2024). Cassia javanica çiçek özünden selenyum nanopartiküllerinin yeşil sentezi ve bunların tıbbi ve tarımsal uygulamaları. *Bilimsel Raporlar*, 14 (1), 26775.
- [26] Souza, L. S. A. L. D., Campos, R. D. O., Braga Filho, J. D. S., Jesus, J. D. S. D., Ramos, H. E., Anunciação, S. M., ... & Hecht, F. (2025). Selenium nutritional status and thyroid dysfunction. *Archives of Endocrinology and Metabolism*, 69(1), e230348.
- [27] Süzen, B., Güneş Şahin, G., Küçükkatırcı Baykan, H., Yaşar, Ş., Serçe, M. K., & Kaya, İ. (2022). Selenyum ve kanser. *Kapadokya Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1(1), 13–24. <https://doi.org/10.58241/ksbd.2>
- [28] Vaivode, I., Zake, T., Strele, I., Upmale-Engela, S., Gogins, D., Gersone, G., Skesters, A., Dambrova, M., & Konrade, I. (2023). Stress-Related Immune Response and Selenium Status in Autoimmune Thyroid Disease Patients. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 2440. <https://doi.org/10.3390/ijms24032440>
- [29] Vasanthakumar, S., Manikandan, M. ve Arumugam, M. (2024). Biyo-dönüştürülmüş selenyum nanopartiküllerinin yeşil sentezi,

karakterizasyonu ve fonksiyonel doğrulaması. *Biyokimya ve Biyofizik Raporları*, 39, 101760.

- [30] Vijayakumar, S., Sanchez, Z. I. G., AlSamghan, A. S., Amanullah, M., Tungare, K., Bhor, M., ... & Anbu, P. (2024). Evaluating the biomedical and environmental safety of selenium nanoparticles synthesized from black pepper seed extract. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 703, 135199.
- [31] Wang, W., Xue, H., Li, Y., Hou, X., Fan, C., Wang, H., Zhang, H., Shan, Z., & Teng, W. (2015). Effects of Selenium Supplementation on Spontaneous Autoimmune Thyroiditis in NOD.H-2h4 Mice. *Thyroid: Official Journal of the American Thyroid Association*, 25(10), 1137–1144. <https://doi.org/10.1089/thy.2014.0568>
- [32] Wang, W., Jiang, Q. L., Xu, Q., Zeng, Y., Jiang, R., & Jiang, J. (2023). Selenium regulates T cell differentiation in experimental autoimmune thyroiditis in mice. *International immunopharmacology*, 124(Pt B), 110993. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2023.110993>
- [33] Yuan, S., Zhang, Y., Dong, P. Y., Chen Yan, Y. M., Liu, J., Zhang, B. Q., Chen, M. M., Zhang, S. E., & Zhang, X. F. (2024). A comprehensive review on potential role of selenium, selenoproteins and selenium nanoparticles in male fertility. *Heliyon*, 10(15), e34975. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34975>
- [34] Zou, B., Xiong, Z., Yu, Y., Shi, S., Li, X. ve Chen, T. (2024). Osteoklastogenezi ve patolojik kemik kaybını baskılamak için selenyum nanopartikülleri tarafından hızlı selenoprotein aktivasyonu. *Gelişmiş Malzemeler*, 36 (27), 2401620.