



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makale

Nano Altın Partikülleri ve Bazı Kullanım Alanlarına Genel Bir Bakış

 Bekir GÜNEY^{a,*},  Hanifi KÜÇÜKSARIYILDIZ^b

^{a,b} Otomotiv Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: guneyb@kmu.edu.tr

DOI : 10.29130/dubited.561973

ÖZET

Altın (Au) tarih boyunca insanoğlunun hep ilgisini çekmiş ve değerli bir metal olarak daima kullanılmıştır. Nano malzeme araştırmaları bilim dünyasının yoğun ilgi alanı içerisinde yer almaktadır. Nano altın partiküllerin (AuNPs) farklı ve şaşırtıcı özellikleri bu ilgiyi arttırmaktadır. Günümüzde altın nano partiküllerin üretimi, tıp, uzay, otomotiv, elektronik, tekstil, mücevher, gıda gibi çeşitli alanlardaki sayısız uygulamalarından dolayı çok yaygındır. Bu derlemenin amacı nano altın partikülleri ve bazı kullanım alanları hakkında genel bir bakış açısı sunmaktır. Derleme sonuçlarına göre, nano altın partiküllerin boyutuna ve şekline bağlı olarak makro boyuttaki altına göre çok farklı kimyasal, fiziksel, elektrik, optik ve mekanik özellikler gösterdiği tespit edilmiştir. Nano altın malzemeler ile ilgili çalışmalar her geçen gün hızla devam etmektedir. Bu alanda yeni ve ihtiyaca cevap verecek ürünlere ihtiyaç ortadadır. Bu çalışmaların organizeli ve kapsamlı olması için merkezi organizasyonlara ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nano, Altın, Partikül, İnsan sağlığı

An Overview of Nano Gold Particles and Some Use Areas

ABSTRACT

Gold (Au) has always attracted the attention of human beings throughout history and has always been used as a precious metal. Research of nano materials is of great interest to the world of science. Different and surprising features of nano gold particles (AuNPs) increase this interest. Today, the production of gold nanoparticles is very common due to their numerous applications in various fields such as medicine, space, automotive, electronics, textile, jewelry, food. The purpose of this review is to provide an overview of the nano gold particles and their uses. Based on the results of this review, it has been determined that nano gold particles have very different chemical, physical, electrical, optical and mechanical properties depending on the size and shape of the nano gold particles, compared to their features of macro size. The studies on nano gold materials have been growing continuously. There is an unmet need for new products in this field. It is thought that there is a need for central organizations for well-organized and comprehensive studies

Keywords: Nano, Gold, Particules, Human health

1824

I. GİRİŞ

Malzeme bileşenlerinin insanoğlu tarafından bilinmeyen sayısız özellikleri mevcuttur. Nano malzemeler yeni değildir ve sonlandırılması da mümkün değildir. Nano teknoloji, her türlü nesnenin yapıtaşı olan atomları, istenilen şekilde düzenleyerek her alanda, daha dayanıklı, daha hafif ve doğaya daha az zarar vererek üretim yapılmasını sağlayan bir teknolojidir. Klasik olarak bilinen nano yapılar sigara dumanı, kan hücresi örümcek yuvası vs. olarak sıralanabilir. Teknolojiyi ve ekonomik seviyeyi yükseltmek, daha rahat ve konforlu hayat idame ettirmek günümüz dünyasının birincil hedefleri arasındadır. İstenilen hedefe varmak, alanda çok kapsamlı ve spesifik bilimsel çalışma yapmayı zorunlu kılmaktadır.

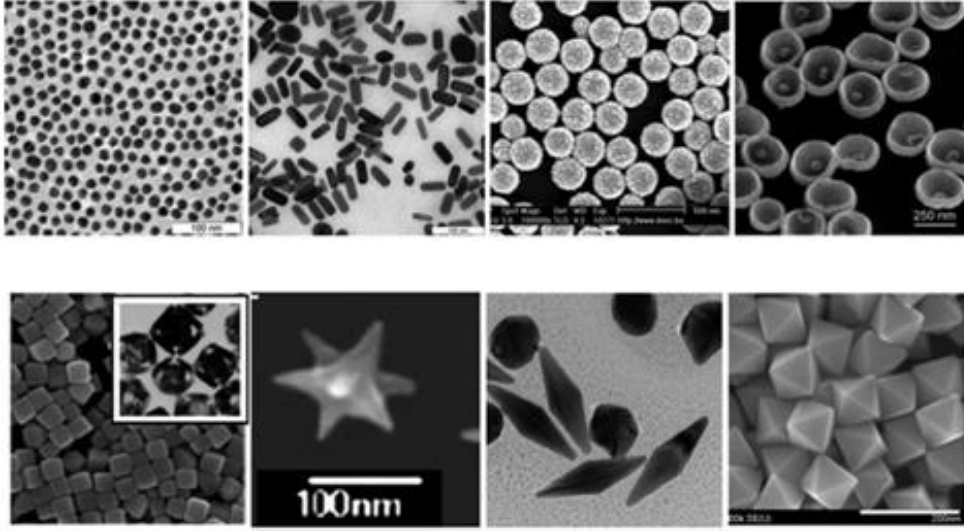
Nano partikül, 1 ile 100 nm aralığında kütle çapına sahip atomlar ve moleküllerden meydana gelmiş tamamen yeni fiziksel, kimyasal, biyolojik özelliklere sahip yapılar olarak tanımlanır [1]. Nano partiküller aynı malzemelerin makro kütleli parçacıkları ile karşılaştırıldığında boyuta bağlı olarak üstün ve yeni özellikler sergilemektedir. Günümüzde teknolojik olarak üretilmiş veya doğal olarak meydana gelmiş yaygın nano malzemeler veya parçacıklar bulunabilmektedir [2].

Eski çağlardan beri gündelik hayatta süsleme, mücevher ve madeni para olarak kullanılan altının çok göze çarpan önemli bir tarihi geçmişi vardır. Eski medeniyetlerde kralların mezarlarında, saraylarda tezyinata, bazı toplumlarda insanların diş malzemesinde altın kullanılmıştır. Değerli madenler sınıfında olan altının günlük hayatın içine bu kadar girmiş olmasının nedenlerinden biriside toksik etkiye sahip olmaması sebebiyle insan vücudu üzerinde alerjik etki oluşturmamasıdır. Günümüzde ise nano büyüklükte, çok farklı amaçlara yönelik olarak kullanılmaktadır

II. NANO ALTIN

Altın nano partiküller kimyasal, fiziksel ve biyolojik yöntemlerle sentezlenerek elde edilir [3]. Isıl ve optik özelliklerini optimize etmek için kararlı ve dayanıklı nano akışkan altın hazırlamak zorunludur. Bu amaçla, metaller, oksitler, nitrürler, metal karbürler ve diğer ametallerin su, etilen glikol veya yağlar gibi sıvılarda dağıtılabilen nano partiküllerin bir çok kombinasyonu belirli uygulamalar için kullanılır [4]. Bununla birlikte, metalik altının kimyasal indirgeme yöntemiyle nano-parçacıklı altın haline dönüştürülmesi, altın nano partiküllerin sentezinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Kararlı ve boyut kontrollü altın nano partikül sentezi için kullanım amacına göre farklı yöntemler kullanılmaktadır [5].

Altın nano partiküller, 1 nm ila 100 nm arasında değişen boyutlarda ve aynı zamanda üretim yöntemlerine bağlı olarak çeşitli boyutlarda küresel, oktahedral, decahedral, icosahedral çoklu twined, amorf, tetrahedral, nanotriangles, nanoprisms, altıgen trombositler, tel, levha gibi farklı kristal yapıları şekillerde olabilir [3]. TEM mikroskobu ile elde edilen farklı morfolojilerdeki nano altın yapıları Şekil 1'de gösterilmiştir [6-8]. Tüm bu şekiller arasında üçgen şekilli nano partiküller küresel şekilli nano partiküller ile karşılaştırıldığında çekici optik özellikler göstermektedir [9].



Şekil 2. Farklı morfolojilere sahip nano altın yapıları [6-8]

Nano partikül, element atom ve molekülünden daha büyük, makroskobik boyutlu katıdan daha küçük boyuttadır. Bu yüzden nanometre boyutlu materyaller, makroskobik katı ile atomik veya moleküler yapı arasında bir davranış sergiler. Elektronik yapı, iletkenlik, reaktivite, erime sıcaklığı ve mekanik özellikler parçacıkların kritik bir boyuttan daha küçük olduğu zaman değişmektedir. Nano metre boyutlarına sahip malzemelerin özellikleri, atom ve dökme materyallerden önemli ölçüde farklıdır. Bu farklılıklar, yüksek yüzey-hacim oranı, kuantum boyut etkisi ve elektrodinamik etkileşimlere bağlıdır. Böylece, çözünürlük ve kararlılık gibi nano parçacıkların fiziksel özelliklerinin çoğu nano partikül yüzeyinin doğası tarafından kontrol edilir. Malzeme boyutunun nano metre aralığına indirilmesinin doğrudan etkilerinden biri, elektronların hareketinin hapsedilmesinden dolayı kuantizasyon etkilerinin ortaya çıkmasıdır. Bu, yapının büyüklüğüne bağlı olarak ayrı enerji seviyelerine yol açar. Böylece ana malzemeden farklı özelliklere sahip yapay yapılar oluşturulabilir. Üretim aşamasında kristal yapıların yanı sıra boyutlarında kontrol edilmesi, malzeme özelliklerinin istenilen yönde oluşmasını mümkün kılar [10,11]. Mikro yapıları nano ölçekli malzemeler elastik, süneklik, tokluk, sertlik, yüksek mukavemet, süper esneklik ve sürünme davranışı kazanmaktadır [12].

Element olarak soy metaller grubunda yer alan makro kütle altın doğada genellikle saf halde veya gümüş ve diğer metallerle birlikte bulunur. Genellikle gümüş, bakır ve nikkelle alaşım yaparak kullanılır. Makro kütle altın atom numarası 79, özgül ağırlığı 19,3 kg/dm³, ergime ısısı 1063 °C, kaynama ısısı 2966 °C'dir. Çok kolay işlenebilen, şekil verilebilen, elektrik ve ısıyı iyi ileten bir metaldir. Süs eşyalarında, dekorasyon işlerinde, elektrolizle kaplamada, çinicilikte, kimya endüstrisinde potaların yapımında, elektrik endüstrisinde kullanılmaktadır.

Buffat ve arkadaşlarına göre altın nano partikülleri altın külçelerine göre 300°C daha düşük sıcaklıkta erimektedir. Bütün metallerde olduğu gibi altınında tane boyutunun düşürülmesiyle erime noktası sürekli olarak düşer. Yaklaşık 2 nm büyüklüğünde nano partikül altın 200 °C civarında ergir [13,14]

Makro kütle altın inerttir, doğada sarı renkli ve katı halde bulunur. Altın nano partiküller ise Şekil 2'de gösterildiği gibi kırmızı, mavi ve mor renkte ve sülsiyon olarak üretilir. Partikül üretim teknikleri ve oluşan kafes yapıları malzemenin özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynar [15].



Şekil 2. Nano altının görüntüsü [16]

Altın nano partiküller en kararlı metal nano parçacıklardan biridir. Altın nanopartiküller, altının sudaki çözeltisinde nano boyutlu parçacıkların askıda kalmasıyla meydana gelmektedir. Farklı renk, boyut ve şekillerde bulunabilirler. Renklerin farklılığı parçacık büyüklükleri ile alakalıdır [17].

III. KULLANIM ALANLARI

Nano partikül altın başta elektronik, tıp, uzay, gıda, otomobil, inşaat, tekstil, bilişim ve mücevherat alanları olmak üzere geniş alanda kullanılmaktadır. Pahalı maden olması kullanım alanını azaltmakla beraber özellikle tıp alanında, ilaç taşınımı, teşhis, tanı, tıbbi görüntüleme ve tedavi alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Nano partikül altının kullanım alanlarından bazıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Nano partikül altının kullanım alanlarından bazıları[18-31]

Kullanım alanı	Nano altın yapısı	Kullanım amacı
Organik moleküllerin tespit edilmesi	Siyanürik asitli altın nanopartiküller	Melanin tespiti
	Nanosensör	Suda siyanür tespitinin gliadin tespiti
	Nano ölçekli lipozom bazlı dedektör	Sudaki siyanür'ün tespiti
	Altın nanopartiküller ve glikoz duyarlı enzimler	Glikoz konsantrasyonlarının ölçülmesi
Lipofilik ilaçların biyo faydasını artırma	Polivinil-prolidon'un nano altın yüzeyine güçlü şekilde bağlanmasıyla	İlaçların etkisini artırma
Hücre ve hücre içi hedefleme, biyo dağılımın düzenlenmesi	Hücre zarına bağlanmasıyla	Hücre geçirgenliğini artırma
Nükleik asitleri taşıma (RNA/DNA)	İşlevselleştirilmiş nano altın partikül	Gen terapisi
Hücre içine protein ve peptitlerin verilmesi	Kovolent olmayan tek tabakalı nano altın	Protein aktivitesi sağlama
Kanser ve tümör hücrelerinin biyo görüntülenmesi ve tedavisi	İşlevsel ve yüzey modifikasyonu yapılmış nano altın partikül	Kanser ve tümör tedavisi
Bağışıklık sistemi tahlilleri	İşlevsel ve yüzey modifikasyonu yapılmış nano altın partikül	Antikorlar, küçük peptitler, aptamerler ve küçük molekülleri tespit etme
Biyo görüntüleme	İşlevselleştirilmiş nano altın partikül	Hücre görüntüleme ve yüzey analiz spektroskopisi

Altın nano partiküleri tıbbi kullanımları için biyosentez tekniği ile üretilirler. Bitki özünden elde edilen tek aktif maddenin kullanılması nano partiküllerin saflaştırılmasını temin eder. Altın nano partiküller radyasyon artırıcı olarak radyasyon tıbbi alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [32].

Altın nano partikülleri ayrıca optik enerjiyi ışınsal olmayan elektron relaksasyon dinamikleri yoluyla ısıya çevirir [33]. Bu durum partiküllere yoğun fototermal özellikler kazandırmaktadır. Özellikle altın nanoçubuk, nanoküre, ve nanoyüzey gibi yapılar fototermal tedavi ile kanser hücrelerini öldürme gibi çeşitli uygulamalara sahiptir [3,32]. Ayrıca hedefe yönelik ilaç verilmesi tekniğinde etkin kullanılabilme özelliği nedeniyle tümörlerin radyasyonla tedavisinde önemli bir artış sağlamaktadır. Altın nano partiküller kanser hücrelerinin teşhisinde hücre içindeki protein ve etkin ajanların tespiti ve tanımlanmasında kullanılır [32].

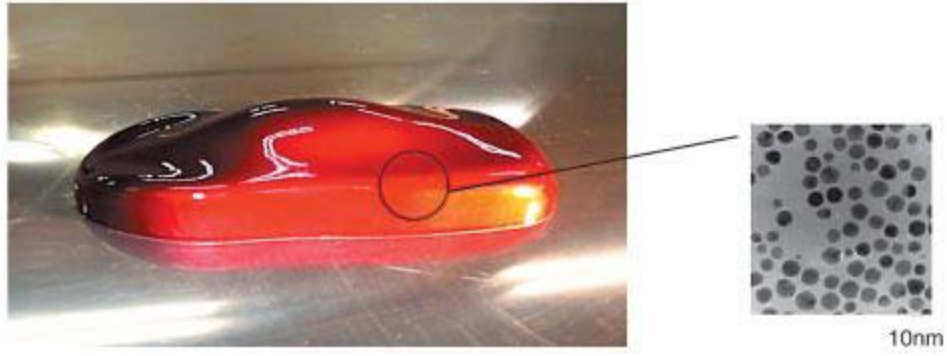
Altın nano partiküllerinin diğer önemli özelliği toksik özellikte olmaması nedeniyle büyük bir biyoyoumluluk özelliğine sahiptir [33]. Bu partiküller küçük boyut, geniş yüzey, farklı kristal yapılarına sahiptir. Bu nedenle hedef biyohücrelere kolayca gidebildikleri, yüksek ilaç yükü taşıyabildikleri için mükemmel etkin tedavi ajanları oldukları ispatlanmıştır [34].

Nano parçacıklar, hipertermi veya radyoterapi kanser tedavilerinde, gen tedavisinde, fotodinamik tedavide, tümörlere ilaç taşıyıcı olarak, elektron mikroskobu ile parçayı tanımlama yoluyla biyo-etiketleme ve fototermal mikroskopide başarıyla kullanılmaktadır [35].

Metal nano partiküller güçlü elektrik iletme özelliğinden dolayı yüzey analiz spektroskopisi, optik veri depolama, optik cihazlar, görüntüleme cihazlar için uygun bileşenlerdir. Altın nano partiküller, yüzey plazmon rezonans özelliğiyle görünür ve yakın kızılötesi bölgelerde (NIR) güçlü ışık absorpsiyonu ve saçılımı yapar [36]. Nano partiküllerin boyutuna, şekline ve dielektrik çevresine bağlı olan bu optik özellikleri, partiküllerin görüntüleme ve algılama sensörü olarak kullanılmasına imkân sağlar [37].

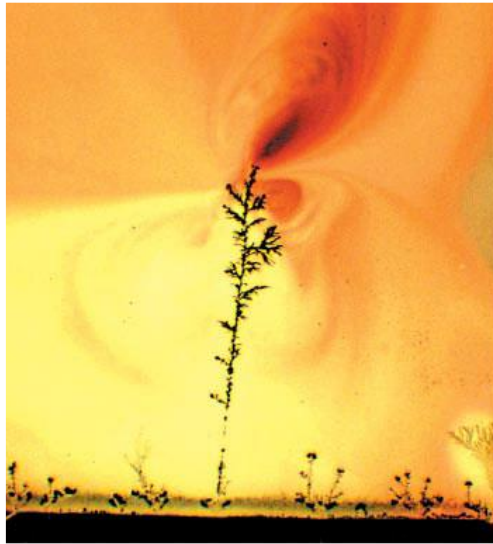
Metalik demir oksidasyona ve korozyona oldukça dayanıksızdır. Demirin altın ile kaplandığında korozyona ve oksitlenmeye karşı dayanımı artmaktadır. Ticari nano partiküller altınla kaplandığında yüksek korozyon direnci göstermektedir [38]. Yakıt hücrelerinde enerji verimliliği, kirlilik, emisyon kontrol teknolojilerinde nano altın kullanılmaktadır [39]. Otomotiv sektöründe üretilen araçların emisyon değerlerini avrupa standartlarına indirilmesi gerekmektedir. Yanma ürünlerinden olan zararlı karbon monoksitin emisyonunun minimize edilmesinde katalitik konvertörde kullanılmaktadır [40,41].

Kollaidal altın kırmızı renk cam yapımında ve seramiğin renklendirilmesinde kullanılmıştır ve günümüzde de hala kullanılmaya devam etmektedir [42]. Cam ve cam emayelerini renklendirmek için altın kullanımından sonra araba boya için nano altın kullanım teknoloji geliştirilmiştir. Bu boya gölgeli alanlarda siyah ve aydınlatılmış alanlarda kırmızı görünmektedir. Değişen ışık şartlarından dolayı araç hareket halinde olduğu için dinamik bir etki vermektedir. Dinamik renk etkisi güvenlik cihazları, değerli ve gizli belgelerin tespit edilmesi gibi durumlar için kullanılabilir (Şekil 3.) [43]



Şekil 3. Dinamik boya efekti[43]

Altının yüksek maliyetine karşılık elektrik, elektronik, güvenlik ve sağlık gibi birçok alanda değişik uygulamaları mevcuttur [44]. Hermanson ve arkadaşları [45], sulu bir çözelti içinde süspansiyon edilmiş küçük altın parçacıklarından 1 mikron çapında 5 mm'den uzun altın teller elde etmişlerdir. Bu sayede kendi kendini toplayan ve tamir eden altın mikrofonları geliştirmişlerdir. Şekil 4'te fotoğrafı verilen bu tellerin tiyol ve siyanür gibi belirli kimyasallar için mikroskobik sensör olarak kullanılabilceği belirtilmiştir.



Şekil 4. Nanopartikül süspansiyonunda nano altın tellerin büyümesi [45]

Diğer kıymetli metallerle kıyaslandığında altının endüstriyel alanda kullanımı düşüktür. Açıklanan bu üstün özellikleri geliştirilerek altının alandaki heyecan verici özelliklerinden yararlanılmalıdır.

IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Nano malzemeler ile ilgili çalışmalar her geçen gün hızla devam etmektedir. Bu alanda yeni ve ihtiyaca cevap verecek ürünlere ihtiyaç ortadadır. Bu çalışmaların organizeli ve kapsamlı olması için merkezi organizasyonlara ihtiyaç vardır.

Elde edilen ürün ve tecrübelerin kurumsallaşması, akademik ve sanayi işbirliği sağlanarak geliştirilmesi gerekmektedir.

Elde edilen çıktılarının gerek sanayi gerekse bilimsel çalışmalarda aktif olarak kullanımını sağlanmalıdır. Malzemelerin özellikleri ve kullanım alanları onlar üzerinde tecrübe edilerek öğrenilir. Değişik malzeme ve kombinasyonları ve bunların özellikleri daha fazla üzerinde çalışmayı gerektir.

Mevcut çip mikroişlemci ve çalıştırdıkları bilgisayarlar küçülüyor. Daha fazla minyatürleşmeyi engelleyen fiziksel teknolojilere karşı nano partikül altın kullanılarak tamamen yeni bir bilgisayar türü tasarlanabilir.

Nano malzemeler çok geniş alanı ihtiva etmektedir. İhtiyaca göre malzemeler üzerinde yoğunlaşarak yeni ve üstün özellikler elde edilmelidir.

Ülke kalkınmasını sağlamak için yüksek teknolojinin kendi kontrolümüzde olması sağlanmalıdır.

V. KAYNAKLAR

- [1] Ö. Gençer, “Bakır ve bakır oksit nano parçacıklarının ultrasonik sprey piroliz (USP) yöntemi ile üretimi,” Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [2] E. Yazıcı, “Ultrasonik sprey piroliz tekniğiyle küresel gümüş nano-parçacıklarının üretimi,” Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [3] A.K. Khan, R. Rashid, G. Murtaza and A. Zahra, “Gold nanoparticles: Synthesis and applications in drug delivery tropical,” *Journal of Pharmaceutical Research*, vol. 13, no. 7, pp. 1169-1177, 2014.
- [4] P. Keblinski, J.A. Eastman and D.G. Cahill, “Nanofluids for thermal transport,” *Materialstoday*, vol. 8, no. 6, pp. 36-44, 2005.
- [5] N. Sharma, G. Bhattand and P. Kothiyal, “Gold nanoparticles synthesis, properties, and forthcoming applications-a review,” *Indian Journal of Pharmaceutical and Biological Research*, vol. 3. no. 2, pp. 13-27, 2015.
- [6] N. Khlebtsov and L.A. Dykman, “Biodistribution and toxicity of engineered gold nanoparticles: a review of in vitro and in vivo studies,” *Chemical. Society. Reviews*, vol. 40, no. 3, pp. 1647-1671, 2011.
- [7] N.G. Khlebtsov and L.A. Dykman, *Handbook of Photonics for Biomedical Science*, 1rd ed., Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2010, ch. 2, pp. 37-85.

- [8] N.G. Khlebtsov and L.A. Dykman, "Optical properties and biomedical applications of plasmonic nanoparticles," *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, vol. 111, no. 1, pp. 1-35, 2010.
- [9] M. Ganeshkumar, T.P. Sastry, M. Sathish Kumar, M.G. Dinesh, S. Kannappan and L. Suguna, "Sun light mediated synthesis of gold nanoparticles as carrier for 6-mercaptopurine: Preparation, characterization and toxicity studies in zebrafish embryo model," *Materials Research Bulletin*, vol. 47, no. 9, pp. 2113-2119, 2012.
- [10] K.U. Von Raben, R.K. Chang and B.L. Laube, "Surface enhanced raman scattering of Au(CN)₂-ions adsorbed on gold colloids," *Chemical Physics Letters*, vol. 79, no. 3, pp. 465-469, 1981.
- [11] A. A. Lazarides and G. C. Schatz, "DNA-linked metal nanosphere materials: Fourier-transform solutions for the optical response." *The Journal of Chemical Physics*, vol. 112, no. 6, pp. 2982-2987, 2000.
- [12] H. Taufeeque, "Mechanical properties of nanomaterials: A Review," *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, vol. 2, no. 4, pp. 1131-1138, 2016.
- [13] Ph. Buffat and J. P. Borel, "Size effect on the melting temperature of gold particles," *Physical Review A*, vol. 13, no. 6, pp. 2287-2298, 1976.
- [14] T. Castro, R. Reifengerger, E. Choi and R.P. Andres, "Size-dependent melting temperature of individual nanometer-sized metallic clusters," *Physical Review B*, vol. 42, no. 13, pp. 8548-8556, 1990.
- [15] S. Deb, H.K. Patra, P. Lahiri, A.K. Dasgupta, K. Chakrabarti and U. Chaudhuri, "Multistability in platelets and their response to gold nanoparticles," *Nanomedicine*, vol. 7, no. 4, pp. 376-384, 2011.
- [16] Anonim, (2019, 08 Mayıs). Altın nano-partikül, [Online]. Erişim: <https://www.turklab.com.tr/projeler/altin-nano-partikul>.
- [17] M. Faraday, "Experimental relations of gold (and other metals) to light," *Philosophical Transactions*, vol. 147, no.1, pp. 145-181, 1857.
- [18] T. V. Duncan, "Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 363, no. 1, pp. 1-24, 2011.
- [19] K. Ai, Y. Liu and L. Lu, "Hydrogen-bonding recognition-induced color change of gold nanoparticles for visual detection of melamine in raw milk and infant formula," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 131, no. 27, pp. 9496-9497, 2009.
- [20] M. Staiano, E.G. Matveeva, M. Rossi, R. Crescenzo, Z. Gryczynski, I. Gryczynski, L. Iozzino, I. Akopova and S. D'Auria, "Nanostructured silver-based surfaces: new emergent methodologies for an easy detection of analytes," *ACS Applied Materials Interfaces*, vol. 1 no. 12, pp. 2909-2916, 2009.

- [21] Y. Liu, K. Ai, X. Cheng, L. Huo and L. Lu, "Gold-nanocluster-based fluorescent sensors for highly sensitive and selective detection of cyanide in water," *Advanced Functional Materials*, vol. 20, no. 6, pp. 951-956, 2010.
- [22] R.K. Gangwar, V.A. "Dhumale, D. Kumari, U.T. Nakate, S.W. Gosavi, R.B. Sharma, S.N. Kale and S. Datar, "Conjugation of curcumin with PVP capped gold nanoparticles for improving bioavailability," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 32, no. 8, pp. 2659-2663, 2012.
- [23] W.S. Cho, M. Cho, J. Jeong, M. Choi, B.S. Han, H.S. Shin, J. Hong, B.H. Chung, J. Jeong and M.H. Cho, "Size-dependent tissue kinetics of PEG-coated gold nanoparticles," *Toxicology and Applied Pharmacology*, vol. 245, no. 1, pp. 116-123, 2010.
- [24] S.H. Lee, K.H. Bae, S.H. Kim, K.R. Lee and T.G. Park, "Amine-functionalized gold nanoparticles as noncytotoxic and efficient intracellular siRNA delivery carriers," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 364, no. 1, pp. 94-101, 2008.
- [25] N. Wangoo, K.K. Bhasin, S.K. Mehta and C.R. Suri, "Synthesis and capping of water-dispersed gold nanoparticles by an amino acid: Bioconjugation and binding studies," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 323, no. 2, pp. 247-254. 2008.
- [26] L. Sun, D. Liu and Z. Wang, "Functional gold nanoparticle-peptide complexes as cell-targeting agents," *Langmuir*, vol. 24, no. 18, pp. 10293-10297, 2008.
- [27] A.G. Tkachenko, H. Xie, Y. Liu, D. Coleman, J. Ryan, W.R. Glomm, M.K. Shipton, S. Franzen and D.L. Feldheim, "Cellular trajectories of peptide-modified gold particle complexes: comparison of nuclear localization signals and peptide transduction domains," *Bioconjugate Chemistry*, vol. 15, no. 3, pp. 482-490, 2004.
- [28] A. Sharma, Z. Matharu, G. Sumana, P.R. Solanki, C.G. Kim and B.D. Malhotra, "Antibody immobilized cysteamine functionalized-gold nanoparticles for aflatoxin detection," *Thin Solid Films*, vol. 519, no.3, pp. 1213-1218, 2010.
- [29] Y. Liu, Y. Liu, R.L. Mernaugh and X. Zeng, "Single chain fragment variable recombinant antibody functionalized gold nanoparticles for a highly sensitive colorimetric immunoassay," *Biosensors-Bioelectronics*, vol. 24, no. 9, pp. 2853-2857, 2009.
- [30] J.H. Kim, H.H. Jang, S.M. Ryou, S. Kim, J. Bae, K. Lee and M.S. Han, "A functionalized gold nanoparticles-assisted universal carrier for antisense DNA," *Chemical Communications*, vol. 46, no. 23, pp. 4151- 4153, 2010.
- [31] L. Tong, Q. Wei, A. Wei and J.X. Cheng, "Gold nanorods as contrast agents for biological imaging: optical properties, surface conjugation and photothermal effects," *Photochem Photobiol*, vol. 85, no. 1, pp. 21-32, 2009.
- [32] P. Wust, B. Hildebrandt, G. Sreenivasa, B. Rau, J. Gellermann, H. Riess, R. Felix and P.M. Schlag, "Hyperthermia in combined treatment of cancer," *The Lancet. Oncology*, vol. 3, no. 8, pp. 487-497, 2002.

- [33] Q. Guo, Q. Guo, J. Yuan and J. Zeng, "Biosynthesis of gold nanoparticles using a kind of flavonol: Dihydromyricetin," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 441, pp. 127-132, 2014.
- [34] M.Y. Lan, Y.B. Hsu, C.H. Hsu, C.Y. Ho, J.C. Lin and S.W. Lee, "Induction of apoptosis by high-dose gold nanoparticles in nasopharyngeal carcinoma cells," *Auris Nasus Larynx*, vol. 40, no. 6, pp. 563-568, 2013.
- [35] Z. Krpetic, S. Anguissola, D. Garry, P.M. Kelly and K.A. Dawson, "Nanomaterials: impact on cells and cell organelles," *Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol. 8, no. 11, pp. 135-156, 2014.
- [36] X. Huang, P.K. Jain, I.H. El-Sayed and M.A. El-Sayed, "Gold nanoparticles: interesting optical properties and recent applications in cancer diagnostics and therapy," *Nanomedicine*, vol. 2, no. 5, pp. 681-693, 2007.
- [37] Y. Sun and Y. Xia, "Increased sensitivity of surface plasmon resonance of gold nanoshells compared to that of gold solid colloids in response to environmental changes," *Analytical Chemistry*, vol. 74, no. 20, pp. 5297-5305, 2002.
- [38] M. Chen, S. Yamamuro, D. Farrell and A.S. Majetich, "Gold-coated iron nanoparticles for biomedical applications," *Journal of Applied Physics*, vol. 93, no. 10, pp. 7551-7553, 2003.
- [39] C.W. Corti and R.J. Holliday, "Commercial aspects of gold applications: From materials science to chemical science," *Gold Bulletin*, vol. 37, no. 1-2, pp 20-26, 2004.
- [40] V. Zielasek, B. Jürgens, C. Schulz, J. Biener, M.M. Biener, and M. Bäumer, "Gold catalysts: Nanoporous gold foams," *Angewandte Chemie*, vol. 45, no. 48, pp. 8241-8244, 2006.
- [41] D.L. Trimm, "Minimisation of carbon monoxide in a hydrogen stream for fuel cell application," *Applied Catalysis A: General*, vol. 296, no. 1, pp. 1-11, 2005.
- [42] M.C. Daniel and D. Astruc, "Gold nanoparticles: assembly, supramolecular chemistry, quantum-size related properties, and applications towards biology, catalysis and nanotechnology," *Chemical Review*, vol. 104, no. 1, pp. 293-346, 2004.
- [43] A. Iwakoshi, T. Nanke and T. Kobayashi, "Coating materials containing gold nanoparticles," *Gold Bulletin*, vol. 38, no. 3, pp. 107-112, 2005.
- [44] P. Goodman, "Current and future uses of gold in electronics," *Gold Bulletin*, vol. 35, no.1, pp. 21-26, 2002.
- [45] K.D. Hermanson, S.O. Lumsdon, J.P. Williams, E.W. Kaler and O.D. Velev, "Dielectrophoretic assembly of electrically functional microwires from nanoparticle suspensions," *Science*, vol. 294, no. 5544, pp. 1082-1086, 2001.