

Araştırma Makalesi - Research Article

Maya Bazlı Çinko Oksitlerin Gıda Boyası Gideriminde Kullanımı

Use of Yeast-Based Zinc Oxides in Food Dye Removal

Şennur Merve Yakut^{1*}, Hüseyin Avcı², Şahlan Öztürk³

Geliş / Received: 20/09/2024

Revize / Revised: 23/10/2024

Kabul / Accepted: 01/11/2024

ÖZ

Mevcut çalışmada, *Yarrowia lipolytica*'nın (maya) sulu özütü kullanılarak yeşil sentez yöntemiyle çinko oksit (ZnO) nanopartikülleri sentezlenmiştir. X-ışını kırınımı (XRD) desenleri ve termogravimetrik analizler pH 12'de 2:1 hacim oranında çinko sülfat çözeltisi (0,1 M) ve maya özütü kullanılarak, iyi kristalleşmiş ZnO nanopartiküllerinin oluşumunu doğrulamıştır. Sentezlenen ZnO nanopartikülleri (1 saatlik reaksiyon süresi ve pH 7), sulu bir çözeltiden amarant gıda boyasını uzaklaştırmak için kullanılmış ve adsorpsiyon süreçleri incelenmiştir. Adsorbanın kütlesi başına adsorbe edilen boya kütlesi, başlangıç boya konsantrasyonunun artırılmasıyla büyümüş ve daha çok boya giderim verimi elde edilmiştir. Maksimum bozunma verimliliği, litre başına 1 g ZnO kullanılarak elde edilmiştir. Sentezlenen ZnO nanopartiküller, özgün özellikleri ve %75'lik iyi adsorpsiyon kapasitesi ve kimyasal çözücüler kullanılmadan gerçekleştirilen sentezi sayesinde çevre dostu ve verimli bir yöntem olmuştur.

Anahtar Kelimeler- *Yarrowia lipolytica*, Gıda boyası giderimi, Yeşil sentez

ABSTRACT

In the present study, zinc oxide (ZnO) nanoparticles were synthesized by green synthesis method using aqueous extract of *Yarrowia lipolytica* (yeast). X-ray diffraction (XRD) patterns and thermo gravimetric analysis confirmed the formation of well-crystallized ZnO nanoparticles using zinc sulfate solution (0.1 M) and yeast extract at 2:1 volume ratio at pH 12. The synthesized ZnO nanoparticles (1 h reaction time and pH 7) were used to remove amaranth food dye from an aqueous solution and the adsorption processes were investigated. The quantity of dye adsorbed per unit mass of adsorbent increased with rising initial dye concentration, resulting in enhanced dye removal efficiency. The maximum degradation efficiency was obtained using 1 g of ZnO per liter. The synthesized ZnO nanoparticles were an environmentally friendly and efficient method due to their unique properties, good adsorption capacity of 75% and synthesis without using chemical solvents.

Keywords- *Yarrowia lipolytica*, Food dye treatment, Green synthesis

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: sennurmerve@nevsehir.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-9190-4061>)

Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Nevşehir, Türkiye

²İletişim: huseyin2018avci@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-9399-6457>)

Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Nevşehir, Türkiye

³İletişim: sahlan.ozturk@nevsehir.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-6064-3628>)

Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Nevşehir, Türkiye

I. GİRİŞ

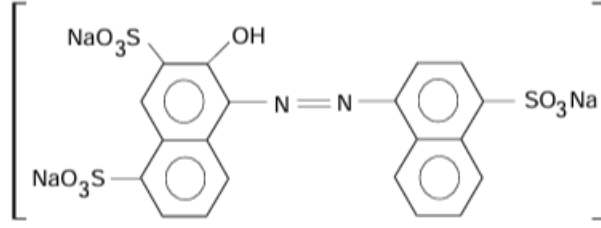
Nanoteknoloji üzerine yapılan araştırmaların giderek artması ve bu araştırmaların başarılı sonuçlar elde etmesiyle birçok bilim insanının ilgisi bu konuda yoğunlaşmıştır. Daha sonra nanoteknoloji ile ilgili çalışmalara biyolojik organizmaların eklenmesi bir başka deyişle biyoteknoloji ile birleştirilmesiyle nanobiyoteknoloji kavramı ortaya çıkmıştır. Nanobiyoteknoloji genel anlamda biyolojik yapıların nano düzeyde araştırılarak bilimsel açıdan faydalı bir ürüne dönüştürülmesi ile ilgilidir. Bu konudaki çalışmalar teknolojinin de gelişmesiyle yüksek bir ivme kazanmıştır. Yapılan son çalışmalara bakıldığında da bu konuda etkili çalışmalar karşımıza çıkmaktadır [1-3]. Fiziksel ve kimyasal analiz gibi geleneksel yöntemlerle nanomalzeme sentezi yapılmakta ancak bu yöntemlerin yapılışının zor olması ve çoğu zaman zararlı kimyasallar kullanılması endişe oluşturmaktadır. Bunun yerine çevre dostu yöntemler keşfedilmeye başlanmıştır. Yeşil sentez metodu adı verilen bu yöntemde biyolojik kaynak olarak, bazı bakteriler, mayalar, algler ve bitki özütleri kullanılmaktadır. Bu nanomalzemeler, antimikrobiyal, antioksidan, antibakteriyel, biyo-görüntüleyici, boya giderici malzeme olarak kullanılmaktadır. Mayalar ile gerçekleştirilen çalışmalarda, sentez aşamasında indirgeyici ve kaplayıcı ajanlara ihtiyaç duyulmakta ve bu görevi mayalar üstlenebilmektedir[2]. Böylece çevre dostu bir teknoloji ile ucuz, basit ve toksik olmayan nanomalzemeler elde edilmektedir.

Literatürde maya ile gerçekleştirilmiş yeşil sentez çalışmaları kısıtlı olmasına rağmen mayalar, yeşil sentezde sabit üretime sahip olma, temel kültür ortamlarında hızlı büyüme, metalleri güçlü absorbe edebilme gibi başarılı sonuçlar göstermeleri nedeniyle tercih edilen biyolojik materyallerdir [4]. Nanomalzeme sentezi, sadece maya hücreleri, su ve reaktifler kullanılarak fazladan bir sabitleyiciye gerek kalmadan gerçekleşmektedir. Mayalardan metal temelli nanomalzeme üretim mekanizmasında maya hücresinin iç pH'ı artar daha sonra oksidoredüktazlar aktif hale gelirler. Böylece metal iyonları indirgenerek maya bazlı metal oksit sentezi gerçekleşip aynı zamanda nanomalzemenin toksisitesi ortadan kalkmaktadır [4].

Çalışmamızın nanomalzeme sentezi aşamasında biyolojik materyal olarak kullanılan *Yarrowia lipolytica* (*Y. lipolytica*) genel olarak güvenli tanınan ve yoğurt, zeytinyağı gibi temel besinlerden elde edilen bir maya türüdür. Lipit oranı yüksek olan ortamları tercih edip, hidrofobik karbon kaynağını kullanabilmektedir [5]. Ayrıca alkan, yağ asidi gibi organik bileşikler kullanma kabiliyeti sayesinde yağ atıklarının parçalanmasında iyileştirici olarak da güvenle kullanılabilir [6]. Lipaz enzimi üretme yeteneğine sahip olmasından dolayı, gıdalarda kullanıma sahiptir. Ayrıca ilaç ve kimya sektöründe de kullanımı yaygındır. DNA modifikasyonlarıyla elde edilmiş proteinler ve metabolizma sonucu ortaya çıkan ara ürünleri üretebilme yeteneği sayesinde, yağ üretimi, sitrik asit gibi temel asitlerin üretimi gibi alanlarda kendine yer bulmaktadır [7]. Çok hücreliler gibi protein salgılayabilmeleri, yüksek yoğunluklu fermantasyon yapabilmelerinden dolayı üretim için uygun olması bu maya türünün çalışmalarda tercih edilmesine sebep olmaktadır [7]. Bu nedenlerle çalışmamızda *Y.lipo* ile çinko oksit nanopartikül sentezi gerçekleştirilmiştir.

Çinko oksit nanopartiküller (ZnONP) katalitik verimi yüksek, adsorbsiyon kabiliyeti olan ve çevre alanında çeşitli kullanıma sahip olan malzemelerdir. Özellikle ultraviyole (UV) ışını altında valans bandında elektron transferi sağlaması yönüyle hidroksil radikali üretme ve bu radikallerin de kirleticileri parçalama özelliği sebebiyle titanyum dioksit (TiO₂) ile benzer özelliğe sahiptir. Ekmek mayası (*Saccharomyces cerevisiae*) kullanılarak ZnO sentezi gerçekleştirilen bir çalışmada [8], Eriochrome Black T boyasının fotokatalitik bozunması sonuçları değerlendirilmiştir. Buna ek olarak ZnONP'lerin, antimikrobiyal aktivite mekanizmaları incelenmiştir. Fotodegradasyon deneyleri sonucunda % 80'in üzerinde verim elde edilip, gram pozitif bakterilerden *Staphylococcus Aureus*'a (*S. aureus*) karşı etkili olmuştur. *Pichia kudriavzevii* mayası kullanılarak sentezlenen ZnO'ler ile ilgili başka bir çalışmada ise [9], ZnO-NP'lerin serbest radikal temizleme aktivitesi, sitotoksikite ve antibakteriyel yapısı incelenmiştir. Sentezlenen nanopartiküller hem gram pozitif hem de gram negatif bakterilere karşı antibakteriyel aktivite sergilemiştir. *Pichia fermentans* JA2 kullanılarak gümüş (Ag) ve ZnONP'lerin sentezinin gerçekleştirildiği başka bir çalışmada [10], ZnONP'ler *Pseudomonas aeruginosa*'yı inhibe edebilmişlerdir. Literatürde olumlu sonuçlar elde edilen ZnONP'lerin gıda boyası gideriminde etkili olup olmadığı bu çalışma kapsamında araştırılmıştır.

Gıda alanında renk verici madde olarak sıklıkla kullanılan Amarant suda çözünabilen azo boyar grubunda yer alan bir katkı maddesidir. Gıdalarda yemek ve tat vermek için kullanılan bu sentetik boyar maddelerin, çocuklarla yapılan çalışmalarda hiperaktivite artışına neden olduğu rapor edilmiştir [11]. Gıda endüstrisinde kullanılan bu boyaların proses sonucunda alıcı ortama ulaşmasıyla, artımadığı sürece özellikle sucul ortamda meydana gelebilmektedir. Bu boyaların giderimi üzerine ileri oksidasyon prosesleri, adsorbsiyon, biyolojik arıtım gibi yöntemler gerçekleştirilmektedir [12-14]. Amarant boyasının organik yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir [15].



Şekil 1. Amaranat boyasının organik yapısı

Bu çalışmada kullanılan *Y. lipolytica* mayası biyoteknolojik çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir mayadır. Çevre dostu bir yöntemle sentezlenmesi ve kendi izole ettiğimiz bir maya ile sentezin gerçekleşmesi çalışmanın sürdürülebilirliğini ve özgünlüğünü arttırmaktadır. Çalışma (i) *Y. lipolytica*'nın çoğaltılması, (ii) Yeşil sentez metoduna göre çinko nanopartiküllerin elde edilmesi, (iii) ZnONP'lerin gıda boyası gideriminde kullanımı olmak üzere 3 aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir.

II. MATERYAL VE METOD

A.Y. *lipolytica*'nın çoğaltılması

Çalışmamızda kullandığımız maya *Y. lipolytica* NCAIM Y00591 suşu olup, bir arıtma tesisinden izole edilmiştir [16]. Mayayı çoğaltmak için [17]: Nutrient broth (Merck KGaA) besiyerinin 8 g'ı 1000 ml distile suda çözülerek hazırlanan karışım 630 mL ve 70 mL'lik erlenmeyerlere dağıtılarak 121°C'de 15 dakika otoklavlanarak steril hale getirilmiştir. Nutrient broth besiyerine *Y. lipolytica* suşu 30°C'de inkübatörde 120 rpm çalkalama hızında 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. Kültür 2 defa aktifleştirildikten sonra 45 µm çapındaki membranlarda süzme işlemleri gerçekleştirilerek biyokütle elde edilmiş, elde edilen biyokütle 65°C'de etüvde 24 saat kurumaya bırakılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2.Yarrowia lipolytica üretme süreci (sol) ilk aşama, (sağ) son aşama

B. Yeşil sentez metoduna göre ZnONP'lerin elde edilmesi

İstenilen miktarda üretilen maya kullanılarak ZnONP sentezi gerçekleştirmek için, 2 g kuru haldeki *Y. lipolytica*'nın 100 mL saf su içerisinde maya ile aynı miktarda D- glikoz ile çözünmesi sağlanmıştır. Etüvde 30 °C'de yaklaşık 30 dakika bekletilen maya karışımı, 0,1 M hazırlanan ZnSO₄ çözeltisinin içerisine damla damla eklenilmiştir. Çözelti 2 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırılıp pH kontrolleri gerçekleştirilen çözelti yaklaşık 24 saat karanlık bir ortamda oda sıcaklığında bekletilmiştir [10]. Maya çözeltisi Whatman No.1 filtre kağıdından geçirilip santrifüj tüplerine konularak 4000 rpm'de 10 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Daha sonra 350 °C'de 1 saat kalsine edilmiştir. Böylece nanomalzemenin kristalize hale gelmesi sağlanmıştır. Elde edilen nanomalzemelerin karakterizasyonu amacıyla X Işını Kristalografisi (XRD) ve Termogravimetrik analiz (TGA/DTA) yapılmıştır. Malzemenin karakterizasyon işlemleri tamamlandıktan sonra mor renkli gıda boyası olan Amaranatın gideriminde kullanımı incelenmiştir.

C. ZnONP'lerin Gıda Boyası Gideriminde Kullanımı

Boyar maddenin dalga boyu taraması yapılmış ve maksimum absorbands değeri tespit edildikten sonra farklı konsantrasyonlarda absorbands verileri elde edilerek kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Farklı miktarlarda eklenen nanomalzemenin boyar madde giderimindeki verimi bu kalibrasyon eğrisi kullanılarak tespit edilmiştir. Gıda boyasının giderim verimini arttırmak amacıyla H₂O₂ ilavesi yapılarak giderim verimine etkisi incelenmiştir. Boyar madde giderimi ölçümünde spektrofotometre (Hach Lange, Amerika Birleşik Devletleri) kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Mor gıda boyasının (Amarant) giderim yapılmadan önceki hali

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Maya bazlı ZnO elde edildikten sonra malzemenin içeriğini doğrulamak için karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

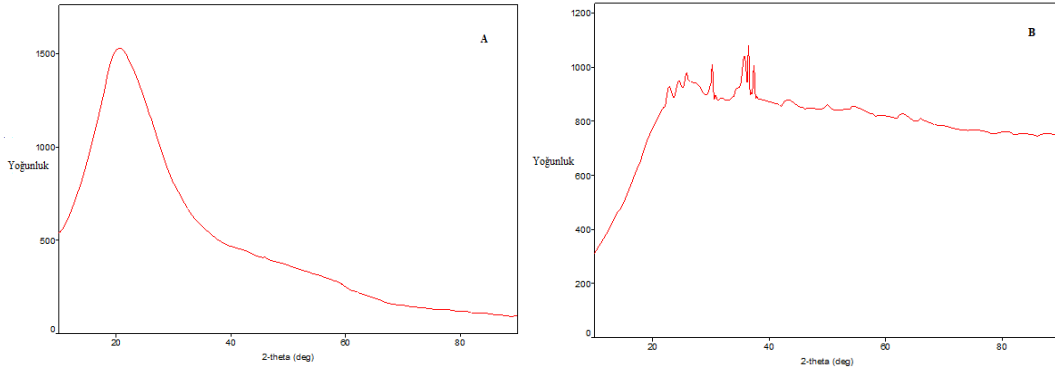
A. Yeşil Sentez Metoduna Göre Sentezlenen Çinko Oksit Nanopartiküllerin Karakterizasyonu

X-Işını Kırınımı (XRD) Analizi

Toz halindeki örnek, ZnO'nun varlığını doğrulamak ve yapıyı analiz etmek için bir Cu K α - X Ray Difraktometresi tarafından analiz edilmiştir. ZnONP'ler 350 °C'de kül fırınında yakıldıktan sonra XRD analizi yapılmış ancak ZnO pikleri gözlemlenememiştir. Daha sonra 600 °C'de yakılan ZnONP'lere yapılan analiz sonucunda pik değerleri elde edilmiştir (Şekil 4). Pikler 2 θ değerinde ortaya çıkmış, en büyük pikler 35,49°, 36,441°, 37,315° değerlerinde elde edilmiş, bu pikler kütüphane ile karşılaştırıldığında ZnO'ya karşılık geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca piklerin konumu literatür değerleriyle karşılaştırılmış ZnO parçacıklarının varlığı doğrulanmıştır. Daha sonra parçacıkların ortalama boyutu Debye-Scherrer [18] formülü kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 1). Kristal nanopartikülün ortalama boyutu 3,46 nm olduğu tespit edilmiştir.

$$D = \frac{0.9/\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

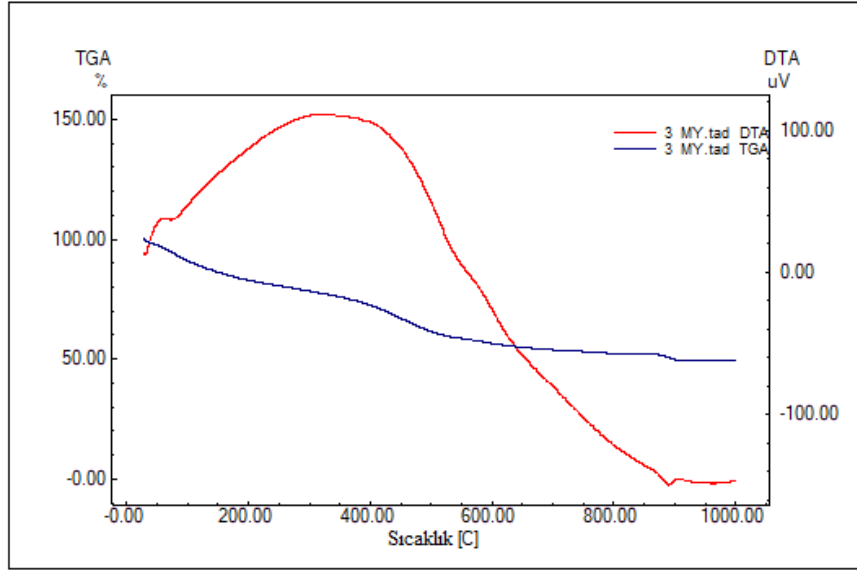
Burada “ λ ” X-ışını dalga boyunu (0.154 nm), “ β ” radyan cinsinden maksimumun yarısında genişleyen çizgiyi ve “ θ ” Bragg açısını ifade etmektedir [18]. Yazılım arama eşleştirmesi aracıyla, ICDD ZnO Referans Deseni ile 01-073-8765 ile eşleştirdiği bulunmuştur. Ayrıca (002), (002),(002),(002),(002) olmak üzere 5 adet düzlemde ana tepe noktaları tespit edilmiştir.



Şekil 4.XRD analiz sonuçları (A) 350 °C'de kalsinasyon, (B) 600°C'de kalsinasyon

Termal Analiz

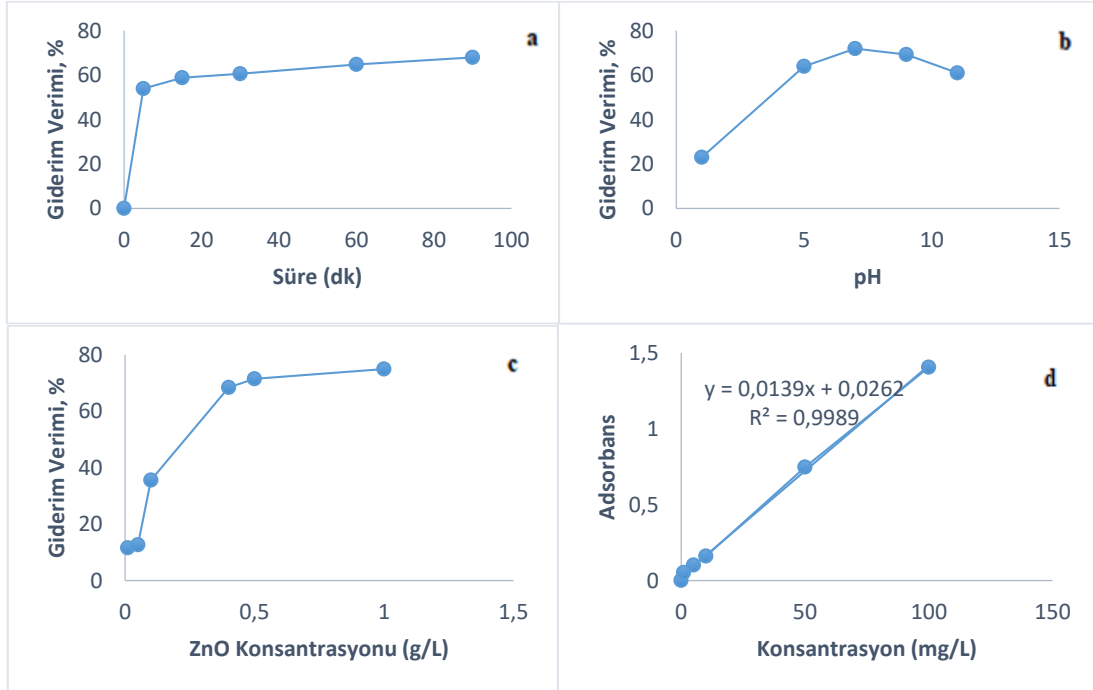
ZnONP'lerin kararlılığını ve ZnO bozulmasının kararlılık üzerindeki etkisini belirlemek ve malzemenin termal davranışını öngörmek için TGA/DTA ölçümleri yapılmıştır. ZnONP'lere ait analiz sonucu Şekil 5'te gösterilmektedir. Grafığe bakıldığında işlemin ekzotermik olduğu anlaşılmakla birlikte bunun yüksek sıcaklıkta kristalizasyon gerçekleşmesiyle ilişkili olduğu düşünülebilir. 1000 °C'ye kadar ısıtılan nanopartiküller, yaklaşık %50 oranında kütle kaybına uğramıştır. Kütle kaybı yaklaşık 700 °C'de gerçekleştiğinden ZnONP'lerin kristalleşmesi 700 °C üzerinde gerçekleşmiştir. Geniş ve yoğun ekzotermik tepe saf ZnO fazının oluşumunu göstermiştir. Bu sonuçlar literatürdeki çinko nanopartikül araştırmaları ile uyumludur [19].



Şekil 5. TGA/DTA analiz sonuçları

B. Gıda Boyası Giderimi

Mor gıda boyasının (Amarant) giderim çalışmaları için spektrofotometrede dalga boyu taraması gerçekleştirilmiş ve en yüksek pike 505 nm'de ulaşılmıştır. Ardından farklı konsantrasyonlarda hazırlanan numuneler (1-100 mg/L) bu dalga boyunda okutulmuş ve Şekil 6 (d)'da verilen kalibrasyon grafiği elde edilmiştir. DeneySEL aşamada elde edilen adsorbans değerleri elde edilen denkleme göre konsantrasyona çevrilmiştir. Adsorpsiyon süreci sırasında kirletici ve nanomalzeme arasında nanomalzeme-boya, boya-boya, kimyasal bağlar, hidrojen bağları, Van der Waals kuvvetleri, iyon değişimi ve hidrofobik çekimler gibi çok sayıda faktör süreci etkilemektedir [20]. Gıda boyası içerikli çözeltinin pH'ı 9,46 olarak ölçülmüştür. Giderim çalışmaları kapsamında, süre, pH ve nanomalzeme konsantrasyonu parametreleri ile denemeler yapılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Gıda Boyası Giderim Çalışmaları ve Kalibrasyon Grafiği (a) Sürenin boya giderimi üzerine etkisi, (b) pH'ın boya giderimi üzerine etkisi, (c) Nanomalzemenin boya giderimi üzerine etkisi, (d) Kalibrasyon grafiği

Boya başlangıç konsantrasyonu 10 mg/L olarak hazırlanarak kendi pH değerinde, 0,5 g/L ZnO ile belirli sürelerde giderim çalışmaları yapılmıştır. Burada 5. dakikada boyanın yarıdan fazlası giderilmiş olup, 30. dakikadan sonra sabit bir düzeyde giderim devam etmiştir. Maksimum giderim verimi 90. dakikada % 68 olarak tespit edilmiştir. XRD analiz sonuçlarında hesaplanan malzeme boyutu da dikkate alındığında, ZnONP'ler ilk

dakikalarda boya moleküllerini muhtemelen geniş yüzey alanı sayesinde tutmuştur. Daha sonra en uygun pH belirleme çalışmalarına başlanılmıştır. Deneysel aşamayı başlatırken giderim verimini arttırmak için 0,5 mL H₂O₂ eklenmiştir. H₂O₂ eklenmesiyle yüksek bir verim elde edilememiştir. Bu durum fazla H₂O₂'in radikal süpürücü etkisinden dolayı oksidasyon verimliliğini azaltmasına dayandırılabilir [21]. Değişen pH değerlerinde (1-11) gerçekleştirilen deneyler 90 dakika ile 60 dakika temas süresi arasında önemli bir fark olmamasından dolayı enerji kaybını azaltmak için 60 dakika boyunca devam etmiştir. Çok düşük ve çok yüksek pH değerlerinde giderim düşük kalırken nötr pH değerinde %72'ye varan giderim elde edilmiştir. Alkali koşullarda alım kapasitesindeki azalma hidroksil iyonları arasındaki rekabete atfedilebilir [22]. Çünkü alkali koşullarda hidroksil iyonları bol miktarda bulunacaktır ve bu durum bir süre sonra giderim veriminin durmasına yol açabilecektir. Daha sonra 7 pH değerine ayarlanan çözeltinin, farklı ZnO konsantrasyonlarında adsorbans ve derişimleri ölçülmüştür. Buna göre ZnO miktarı arttıkça boyar madde giderimi de artmıştır. Gıda boyasının giderimi 1 g/L konsantrasyon değerinde % 75'e ulaşmıştır. Bu durum malzemenin konsantrasyonunun artmasıyla yüzey alanının artması ve daha çok boyanın malzemeye tutunarak çözeltiden giderimi ile ilgili bir durumdur. Çözeltinin, bu sonuçlar elde edilmeden önceki ve sonraki görselleri Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. Amarant giderimi öncesi (solda), sonrası (sağda)

Görüldüğü üzere Amarant boyasının giderimi büyük miktarda 60 dakikalık sürede gerçekleşmiştir. Literatürdeki Amarant giderim çalışmalarına bakıldığında, manyetik kitosan biyokömürü kullanılarak 1500 dakikada başarılı bir giderim gerçekleştiğini görmekteyiz [23]. Başka bir çalışmada ise 5. günün sonunda %99'luk bir amarant giderimi elde edilmiştir [24].

IV. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında ZnONP'ler sentezlenip karakterize edilmiştir. XRD analiz sonuçları kütüphanede bulunan ZnO ile kıyaslanıp doğrulanmıştır. Kalsinasyon yöntemiyle 350 °C'de kristalize olma işlemi gerçekleşmemiş ancak 600 °C'de istenilen kristalize yapı elde edilmiştir. Amarant boyasının ZnONP'lerle gerçekleştirdiği yüzey yüklenmesinde pH oldukça etkili olmuştur. Sunulan sonuçlar ve tartışmalarla, yüksek oranda çözünen boya Amarant'ın, yeşil sentez metoduyla sentezlenen ZnONP'lerin biyosorbent olarak kullanarak sulu çözeltilerinden başarıyla uzaklaştırılabileceği açıktır. Ön çalışmalar, 7 pH'ta, 60 dakikada ve 0,1 g/L ZnONP'lerle sulu çözeltilerden Amarant'ın neredeyse %75'ini adsorbe edebileceğini göstermektedir. Ek olarak, 0,5 g/L'de giderim verimi % 71,6 olduğundan %5'in altında bir fark mevcuttur. Bu durumda daha ekonomik bir giderim olması açısından maksimum malzeme konsantrasyonu 0,5 g/L seçilebilir. Sulu çözeltilerdeki boyar maddeleri gidermek için yaygın olarak kullanılan adsorpsiyon malzemeleriyle karşılaştırıldığında, hazırlanan ZnO nanomalzemesi ucuz, basit hazırlama, çözeltiden kolay ayırma ve başarılı adsorpsiyon kapasitesi avantajları sergilemiştir. Ayrıca tartışma kısmında bahsedildiği üzere bazı Amarant giderim çalışmalarına göre daha kısa sürede verim elde edilmiştir. Sonuç olarak maya bazlı çinko oksitlerin gıda boyaları tarafından gerçekleşen su kirliliğini kontrol etmek için yararlı bir adsorban olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Salem, S. S. (2022). Baker's yeast-mediated silver nanoparticles: Characterisation and antimicrobial biogenic tool for suppressing pathogenic microbes. *BioNanoScience*, 12(4), 1220-1229.

- [2] Shu, M., He, F., Li, Z., Zhu, X., Ma, Y., Zhou, Z., ... & Zeng, M. (2020). Biosynthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles using yeast extract as reducing and capping agents. *Nanoscale research letters*, 15, 1-9.
- [3] AswaMurillo-Rábago, E. I., Vilchis-Nestor, A. R., Juarez-Moreno, K., Garcia-Marin, L. E., Quester, K., & Castro-Longoria, E. (2022). Optimized synthesis of small and stable silver nanoparticles using intracellular and extracellular components of fungi: An alternative for bacterial inhibition. *Antibiotics*, 11(6), 800.
- [4] Roychoudhury, A. (2020). Yeast-mediated green synthesis of nanoparticles for biological applications. *Indian J Pharm Biol Res*, 8(03), 26-31.
- [5] Kiymaci, M. E., Şimşek, D., & Altanlar, N. (2022). Molecular Identification And Lipolytic Activity Of Yarrowia Lipolytica Isolated From Yoghurt Cream. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 46(2), 450-457.
- [6] Gonçalves, F. A. G., Colen, G., & Takahashi, J. A. (2014). Yarrowia lipolytica and its multiple applications in the biotechnological industry. *The Scientific World Journal*, 2014.
- [7] Ünver, Y. (2022). Biyofarmasötik Proteinlerin Üretiminde Kullanılan Mayalar. *Fen Bilimleri ve Matematikte Güncel Araştırmalar*, 1940.Mart, 2022.
- [8] El-Khawaga, A. M., Elsayed, M. A., Gobara, M., Suliman, A. A., Hashem, A. H., Zaher, A. A., ... & Salem, S. S. (2023). Green synthesized ZnO nanoparticles by Saccharomyces cerevisiae and their antibacterial activity and photocatalytic degradation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-12.
- [9] Boroumand Moghaddam, A., Moniri, M., Azizi, S., Abdul Rahim, R., Bin Ariff, A., Zuhainis Saad, W., ... & Mohamad, R. (2017). Biosynthesis of ZnO nanoparticles by a new Pichia kudriavzevii yeast strain and evaluation of their antimicrobial and antioxidant activities. *Molecules*, 22(6), 872.
- [10] Chauhan, R., Reddy, A., & Abraham, J. (2015). Biosynthesis of silver and zinc oxide nanoparticles using Pichia fermentans JA2 and their antimicrobial property. *Applied nanoscience*, 5, 63-71.
- [11] Llewellyn, G. C., Penberthy, J. K., & Parker, J. M. (2020). Food Color Additives in the US Food Supply: Review of Neurobehav-ioral Safety. *J Pediatr Neurol Neurosci*, 4(1), 55-72.
- [12] Palas, B., Ersöz, G., & Atalay, S. (2023). Tabakalı Çift Hidroksit Katalizörler Kullanılarak Peroksimonosülfat ve Hidrojen Peroksit Aktivasyonu ile Gıda Boyalarının Giderimi: Box-Behnken Tasarımı ile Reaksiyon Koşullarının Optimizasyonu. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(4), 2790-2808.
- [13] Biswal, A. K., Sahoo, M., Suna, P. K., Panda, L., Lenka, C., & Misra, P. K. (2022). Exploring the adsorption efficiency of a novel cellulosic material for removal of food dye from water. *Journal of molecular liquids*, 350, 118577.
- [14] Esquerdo, V. M., Cadaval Jr, T. R. S., Dotto, G. L., & Pinto, L. A. A. (2014). Chitosan scaffold as an alternative adsorbent for the removal of hazardous food dyes from aqueous solutions. *Journal of colloid and interface science*, 424, 7-15.
- [15] Mittal, A. (2006). Removal of the dye, Amaranth from waste water using hen feathers as potential adsorbent. *Electron. J. Environ. Agric. Food Chem*, 5(2), 1296-1305.
- [16] Kilic, I. H., Karakucuk-Iyidogan, A., Al-Aaazi, N., Bayil-Oguzkan, S., & Ozaslan, M. (2018). Bioremediation of wastewater contaminated with petroleum hydrocarbons from Baiji Thermal Power Station in Iraq. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(8), 5223-5229.
- [17] Avcı, H., Öztürk, Ş., & Aslim, B. (2021). Farklı Adli Biyolojik Örnekler Üzerinde Gelişen Mantar Türleri ile İlgili Bazı Doğal Ekstraktların Antifungal Etkileri: Deneysel Çalışmalar. *Türkiye Klinikleri Journal of Forensic Medicine & Forensic Sciences*, 18(3).
- [18] Bokunjaeva, A. O., & Vorokh, A. S. (2019, December). Estimation of particle size using the Debye equation and the Scherrer formula for polyphasic TiO₂ powder. In *journal of physics: Conference series* (Vol. 1410, No. 1, p. 012057). IOP Publishing.
- [19] Kayani, Z. N., Saleemi, F., & Batool, I. (2015). Effect of calcination temperature on the properties of ZnO nanoparticles. *Applied Physics A*, 119, 713-720.
- [20] Dobe, N., Abia, D., Tcheka, C., Tejeogue, J. P. N., & Harouna, M. (2022). Removal of amaranth dye by modified Ngassa clay: Linear and non-linear equilibrium, kinetics and statistical study. *Chemical Physics Letters*, 801, 139707.
- [21] Sahinkaya, S., & Yakut, S. M. (2020). A comparative study on applicability of nano-sized iron (II, III) oxide in ultrasonicated Fenton process. *Environmental Engineering Research*, 25(1), 36-42.
- [22] Romdhane, D. F., Satlaoui, Y., Nasraoui, R., Charef, A., & Azouzi, R. (2020). Adsorption, Modeling, Thermodynamic, and Kinetic Studies of Methyl Red Removal from Textile-Polluted Water Using Natural and Purified Organic Matter Rich Clays as Low-Cost Adsorbent. *Journal of Chemistry*, 2020(1), 4376173.
- [23] Wang, F., Li, L., Iqbal, J., Yang, Z., & Du, Y. (2022). Preparation of magnetic chitosan corn straw biochar and its application in adsorption of amaranth dye in aqueous solution. *International Journal of Biological Macromolecules*, 199, 234-242.

- [24] Rajashekarappa, K. K., Mahadevan, G. D., Neelagund, S. E., Sathynarayana, M., Vijaya, D., & Mulla, S. I. (2022). Decolorization of amaranth RI and fast red E azo dyes by thermophilic *Geobacillus thermoleovorans* KNG 112. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(2), 482-489.