

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

ÇEVRE VE ENERJİ TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI PROJE DETAY RAPORU

PROJE ADI: Tekstil Atık Sularının Renk Gideriminde Fotokatalizör Olarak Kullanılabilecek ZnO Nanopartiküllerinin Yeşil Sentez Yöntemiyle Üretilmesi

TAKIM ADI: YEŞİL KİMYA- KYN25

TAKIM ID: T3-27934-162

TAKIM SEVİYESİ: Lisans ve Lisansüstü

DANIŞMAN ADI: Prof. Dr. Handan KAMIŞ

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Son zamanlarda özellikle ülkemizde artan endüstrileşme yanında birçok olumsuz çevre şartlarını da beraberinde getirmiştir. Geliştirdiğimiz projede özellikle tekstil fabrikalarının atık sularındaki zararlı boyarmaddeleri, ürettiğimiz ZnO fotokatalizörü ile bozundurarak yararlı minerallere dönüştürmeyi amaç edindik. Fotokatalizörler ortamda bulunan zararlı mantarlar, virüsler ve bakteriler gibi biyolojik türlerin bozunmasını da sağlarlar. Ortamda bulunan organik zararlı maddeler fotokatalizörlerin kullanılmasıyla CO₂, H₂O ve zararsız inorganik türlere bozunurlar. Projemizde çevre dostu bir yaklaşım olan yeşil sentez yöntemi ile ZnO nanopartiküllerinin üretilmesi, karakterizasyonlarının yapılması ve tekstil atık sularında bulunabilecek boyaların fotokatalitik bozundurulmasında fotokatalizör olarak kullanılmasının incelenmesi amaçlanmaktadır. ZnO sentezinde taze kekik yapraklarından elde edilen ekstrakt kullanılmıştır. Sentezlenen malzemelerin fotokatalitik aktivitelerinin incelenmesi sırasında model bileşik olarak metilen mavisi boyası kullanılmış, optimum sentez koşulları belirlendikten sonra fotokatalitik aktiviteye katalizör miktarı, boya derişimi ve tekrar kullanımın etkilerinin incelenmesi planlanmıştır.

2. Problem/Sorun

Çevre kirliliği dünyanın en büyük problemleri arasında yer almaktadır. Özellikle atık sulardaki kirlilikler sucul yaşamı ve buna bağlı olarak bütün dünya üzerindeki yaşamı tehdit etmektedir. Buna yol açan ise endüstriyel ve evsel atıklar olarak görülmektedir. Bu kirliliklerin arıtımında hâlihazırda kullanılan teknolojilerin yetersiz kalması yeni teknolojilerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Zararlı organik kirleticilerin parçalanıp zararsız hale getirilmesinde heterojen fotokataliz büyük ümit vadetmektedir. Işığın aktif kullanıldığı fotokatalitik proseslerde, en büyük ve masrafsız enerji kaynağı olan güneşten yararlanılması için görünür ışıktaki etkin olan fotokatalizörlerin geliştirilmesi yönündeki çalışmalar hız kazanmıştır. Tekstil proses atık suları genellikle 10-20 mg/L konsantrasyon aralığında boya madde içermektedirler ve oldukça renkli atık sulardır. Herhangi bir arıtım uygulanmadan alıcı ortama direkt deşarj edildiklerinde; boyaların toksik etki göstermeleri ve doğada biyoakümülyasyona neden olmaları gibi problemlere yol açarlar. Boya maddeler kimyasal ve fotolitik olarak kararlı olduklarından, doğal çevrede inatçı ve kalıcıdır. Tüm bu sebeplerden, arıtılmadan çevreye deşarjı ekotoksik risk oluşturma, ayrıca estetik problemlere neden olmaktadır. Besin zincirine kadar giren boya kompleksinin besin maddesi olarak kullanılarak, sucul canlıların yanı sıra insan vücuduna kadar ulaşabildiği rapor edilmiştir. Boya maddeler, alıcı ortamda bulanıklığa neden olarak güneş ışınlarının geçişini engellerler. Buna bağlı olarak sudaki fotosentez yavaşlar ve çözünmüş oksijen seviyesi düşerek suda yaşayan canlılar arasındaki doğal denge bozulur. Boya bileşiklerinin sucul ortam sedimentlerinde indirgendiği ve kanserojen özellikli aromatik aminler üreterek ekosisteme yayıldığı bilinmektedir (Yiğit ve ark., 2013). Boyarmadde içeren atık suların arıtılmasında koagülyasyon, adsorpsiyon ve membran filtrasyonu gibi prosesler bulunmaktadır. Bu işlemler atık sulardaki kirliliğe neden olan organik esaslı bileşikleri ortadan kaldırmak yerine atık sulardaki kirletici unsurları bir fazdan başka bir faza aktarımını sağlayarak ikincil bir kirlilik oluşturur. Bu nedenle alternatif arıtım yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Selen ve ark., 2018).

3. Çözüm

Boyahanelerde işlevini yitiren ya da görevini tamamlayan boya çözeltileri tasfiye kanallarına verildiğinde, ulaşabildiği tüm alanda büyük kirliliğe neden olacaktır. Ditiyonit gibi yükseltgen kimyasalların kullanılmasıyla giderilmesi durumunda, hem fazla miktarda kimyasala ihtiyaç duyulur, hem de bu tür yükseltgenler yeni kirliliklere yol açarlar. Fotokatalizörler görevlerini yaparken sadece ışık kullanmaları, artık bir kirlilik oluşturmamaları ve organik kirleticileri zararsız son ürünlere dönüştürmeleri gibi özellikleri nedeniyle, kirliliklerin giderilmesinde önemli avantajlara sahiptirler. UV ya da görünür ışıkta etkili fotokatalitik sistemlerin hazırlanması bu konuda var olan bilimsel bilgi birikimine önemli katkılar sağlayacak ve bu alandaki çalışmalara ivme kazandıracaktır. Uygun fotokatalizör sistemiyle yapılacak organik kirlilik giderme tesisleri sayesinde deşarj suları kirli olarak değil doğaya zarar vermeyecek şekilde salıverilecektir. Akarsu yatakları kirlenmeyecek, böylece kirli akarsulardan tarımsal sulama adı altında arazilere akıtılan sularla kirlenen topraklar temiz kalacak, kirlilikle birlikte oluşan kötü kokuların rahatsız edici durumu ortadan kalkacaktır. İnsanlar daha temiz ortamlarda yaşayacaklar, daha temiz su içecekler ve temiz sularla yetiştirilmiş ürünlerden kullanacaklardır. Böylece insanların daha temiz bir çevrede yaşaması sağlanacaktır. Ülkemizin konumu gereği yılın büyük bir kısmı güneş ışığından fazlasıyla yararlandığımız göz önüne alınırsa, bu projede üretilen fotokatalizörlerin kullanılması ile atık su arıtımı için ışık kaynağı için bir enerji harcanmasına gerek kalmayacaktır. Bu şekilde atık suyun bertaraf edilmesi için gerekli olan maliyet düşecektir. Tekstil atık sularından rengin gideriminde kullanılan biyolojik yöntemler, fiziksel ve kimyasal yöntemlere göre ekonomik ve çevre dostu olması bakımından avantajlıdır. Ancak birçok boyanın biyolojik olarak parçalanma hızı çok düşüktür ve bu yöntem verimli olarak kullanılamaz. Projemizde çevre dostu bir yöntem olan yeşil sentez yöntemini kullanarak atık su arıtımında fotokatalizör olarak kullanılabilir ZnO nanopartikülleri ürettik. ZnO diğer metal oksit nanopartikülleri ile karşılaştırıldığında ucuz ve biyoyumlu olduğu için daha geniş uygulama potansiyeline sahiptir (Erdoğan ve ark., 2019). Ayrıca ZnO, yüksek fotokimyasal reaktivitesi, fotokararlılığı, zehirsiz olması nedeni ile en çok dikkat çeken ve çalışılan bir metal oksittir. ZnO fotokatalizör olarak kullanıldığında, yüksek katalitik aktivite, büyük yüzey alanı, yüksek elektron mobilitesi, mükemmel elektrokimyasal kararlılığı ve yüksek Fermi seviyesi nedeniyle önemli avantajlar sağlar (Shanavas ve ark., 2019). ZnO, oda sıcaklığında, 3.3 eV luk bir bant aralığına sahiptir, doğada bol miktarda bulunmaktadır ve çevre dostu bir malzemedir (Çolak, 2018). Ürettiğimiz bu malzeme sayesinde daha ucuz ve güvenilir bir şekilde atık sudaki boyarmaddeleri kolaylıkla arındırmayı başardık.

4. Yöntem

Çalışmada ZnO nanopartikülü kekik ekstraktı kullanılarak yeşil sentez yöntemiyle sentezlenmiştir. Sentezlenen nanopartikülün spektroskopik karakterizasyonları UV-Vis. absorpsiyon ve FT-IR spektroskopisi yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Morfolojik incelemeler için SEM yöntemi kullanılmıştır. Pandemi nedeniyle ara verdiğimiz çalışmamızın devamında XPS, TEM, EDX ve XRD analizleri de yapılacaktır. Termal analiz için DSC yöntemi kullanılacaktır. Çalışmada izlenen yöntem ve deneysel parametreler aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır:

ZnO nanopartiküllerinin sentezi: Bu çalışmada, ZnO üretiminde yeşil sentez olarak adlandırılan ve kekik bitkisi ekstraktı varlığında gerçekleştirilen sentez yöntemleri kullanılmıştır. Yeşil sentez yöntemi ile üretilen ZnO nanopartiküllerin kimyasal yolla üretilen nanopartiküllerden daha küçük boyutta olduğu bilinmektedir (Çolak ve Karaköse, 2017). Bu projede, endüstriyel uygulamalar için

de uygun olan, yüksek sıcaklık ve basınç gerektirmeyen basit ve ucuz üretim yöntemleri tercih edilmiştir.

Kekik ekstraktının üretilmesi: Piyasadan satın alınan kekik bitkisi kullanılmıştır. Literatürde hem taze kekik hem de kurutulmuş kekiğin kullanıldığı çalışmalar vardır. Bu çalışmada hem taze yapraklar hem de kurutulmuş yapraklar kullanılarak üretilen ZnO'nun fotokatalitik aktivite incelenmiş ve daha yüksek aktivitenin elde edildiği taze kekik ile çalışmaya devam edilmiştir. Kekik yaprakları önce saf su ile birkaç kez yıkanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Sonra yaprakların 20 gramı 200 mL saf suya eklenerek 90°C'de bir saat boyunca kaynatılmıştır. Süzgeç kâğıdında süzülerek elde edilen berrak çözelti buzdolabında saklanmıştır (Çolak ve Karaköse, 2017).

Nanopartiküllerin sentezi: Literatürde verilen sentez yöntemleri incelenmiş genel olarak kullanılacak sentez prosedürü belirlenmiştir. Buna göre; metal iyonları belirli hacimdeki kekik ekstraktı ile karıştırılır ve hacim ultra saf su ile 50 mL'ye tamamlanır. Su tamamen buharlaşmaya kadar kaynatma ve karıştırma işlemine devam edilir. Oluşan nanopartiküller belirlenen sıcaklık ve sürede kalsine edilir (Çolak ve Karaköse, 2017).

Fotokatalitik aktivitenin incelenmesi: Mevcut uygulamalarda kullanılan yöntem kullanılmıştır. 0,6 mg/ml olacak şekilde katalizör yüklemesi yapıp atık su model bileşiği olarak 10^{-5} M metilen mavisi çözeltisi eklenmiştir. UV ve halojen ışık altında belirli aralıklarla UV-Vis Spektrumlarından boya derişimi belirlenmiştir. Ayrıca katalizör eklenmiş boya çözeltileri karanlıkta bekletilerek adsorpsiyon miktarları da belirlenmiş ve adsorpsiyonun oldukça düşük olduğu boya gideriminde etkin mekanizmanın fotokatalitik aktivite olduğu belirlenmiştir. Pandemi sürecinde yeni normalleşme döneminde çalışmalar devam edilecek ve gerçek atık su uygulamaları yapılacaktır.

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Literatürde ZnO nano yapıların üretiminde en sık kullanılan yöntemler arasında Sol-Jel yöntemi, mikro emülsiyon, ultrasonik radyasyon yöntemi, mikrodalga ile üretim ve elektrokimyasal anotlama yöntemi ile ZnO nanoyapı eldesi bulunmaktadır. Son yıllarda ise geleneksel metotlara alternatif olarak verimli, ucuz ve çevresel olarak güvenli “yeşil” üretim olarak da adlandırılan sentez yöntemi ön plana çıkmaktadır. Biyolojik sentez olarak da adlandırılan bu yöntem bitki, yosun, bakteri, mantar ve hatta insan hücreleri kullanılarak yapılan yöntemlerdir. Bu yöntemde inorganik metal iyonları, canlı organizma içindeki indirgeyici özellikteki protein ve metabolizmaya ait maddelerce nanopartiküllere dönüştürülmektedir. Yapılan literatür araştırmasında kekik ekstresi kullanılarak ZnO sentezi ile ilgili sadece iki adet çalışmanın olduğu (Zarea ve ark., 2019; Çolak ve Karaköse, 2017) ve bunlardan birinde fotokatalitik aktivitenin incelendiği, gerçek atık su uygulamasının ise hiç yapılmadığı belirlenmiştir. Zarea ve çalışma grubu tarafından yapılan çalışmada her ne kadar “green synthesis” terimi kullanılsa da uygulanan yöntem %100 yeşil sentez değildir, çinko nitrat sodyum hidroksit ile çöktürülerek metal oksit elde edilmiş kekik suyu ortama eklenmiştir. Elde edilen ZnO nanopartiküllerinin anti oksidant, anti mikrobiyal ve fotokatalitik aktiviteleri incelenmiştir. Çolak ve Karaköse tarafından yapılan çalışmada ise yeşil sentez yöntemi kullanılmış ve üretilen ZnO nanopartiküllerinin elektriksel ve optik özellikleri incelenmiştir. Çalışmamız %100 yeşil sentez yöntemi kullanılarak üretilen ZnO nanopartiküllerinin organik boyaların fotokatalitik arıtılmasındaki uygulamasını inceleyen ve gerçek atık su uygulamasının yapılacağı ilk çalışmadır.

6. Uygulanabilirlik

Fotokatalizörlerin atık su arıtımı, hava kirliliğinin giderilmesi gibi alanlarda mühendislik uygulamaları deneysel olarak Avrupa'nın birçok ülkesinde pilot bölgelerde uygulanmaktadır. Atık suların arıtılmasında kullanılan geleneksel yöntemlerin gerek işletme maliyeti gerek kurulum maliyeti ile çok ilerisinde olan fotokatalitik prosesler, arıtım sonrası ikincil bir kirlilik de oluşturmamaktadır.

Sistemin kurulumu ve uygulaması oldukça kolaydır. Yapılacak çok basit UV ve halojen ışık kaynağının ya da doğrudan güneş ışınlarının kullanıldığı bir fotoreaktöre, sentezlenen fotokatalizör belirli bir miktarda konulup ışığa altında atık su beslemesi yapılmaktadır. Işık ile aktive olan fotokatalizör ise atık suyun içerisindeki organik boyaları mineral tuzlarına parçalayarak yok eder ve sistemin sonundan temiz su elde edilir. Ülkemiz tekstil endüstrisinde dünyanın sayılı ülkeleri arasındadır. Tekstil endüstrisi, atık suların çok yüksek kısmının sebebidir. Bu sebeple özellikle ülkemizde atık suların arıtılması için yeni ve düşük maliyetli sistemlerin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu proje takım kaptanı Zuhâl Aydoğan'ın TÜBİTAK 2209B Sanayi Odaklı Bitirme Projeleri kapsamında Arıkan Holding ile iş birliği yapılarak yürütülmektedir.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

1 gr çinko nitrattan 0,82808 gr çinko oksit elde edildiği sentez esnasında ve sonrasında yapılan tartımlarla bulunmuştur.

1 ton atık su arıtımı için çinko nitrat maliyeti hesabı:

$$\frac{405,83 \text{ lira}}{500 \text{ gr Çinko Nitrat}} \times \frac{1 \text{ gr Çinko Nitrat}}{0,82808 \text{ gr Çinko Oksit}} \times \frac{0,6 \text{ gr Çinko Oksit}}{1 \text{ litre atık su}} \times \frac{1000 \text{ litre atık su}}{1 \text{ ton atık su}} = 588,16 \frac{\text{lira}}{1 \text{ ton atık su}}$$

1 ton atık su arıtımı için kekik maliyeti hesabı:

$$\frac{20 \text{ gr kekik}}{100 \text{ ml su}} \times \frac{3,95 \text{ lira}}{100 \text{ gr kekik}} \times \frac{200 \text{ ml su}}{100 \text{ ml kekik ekstraktı}} \times \frac{2,5 \text{ ml kekik ekstraktı}}{1 \text{ gr çinko oksit için gereken ekstrakt}} \times$$

$$\frac{0,6 \text{ gr çinko oksit}}{1 \text{ litre atık su}} \times \frac{1000 \text{ litre atık su}}{1 \text{ atık su}} = 23,7 \frac{\text{lira}}{1 \text{ ton atık su}}$$

Toplam 1 ton atık su için katalizör maliyeti 611,86 liradır. Üretilen fotokatalizör en az 5 döngüde kullanılabilir. Böylece 1 ton atık su arıtımı için katalizör üretiminde hammadde maliyeti 122,37 lira olmaktadır. Fakat bu fiyatlar laboratuvar ortamında yapılan sentezler için piyasadan temin edilmiş hammadde fiyatlarıdır. Fabrika boyutunda alım yapıldığında hammadde maliyeti %50-%70 daha düşecektir.

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar)

Tekstil endüstrisinin en büyük sorunlarından birisi olan boyama banyosu içerisinde kalan atık boyarmaddelerin yaklaşık %15'lik kısmını alıcı ortamlara verilmektedir. Fiziksel ve kimyasal arıtım yöntemlerinin başarılı sonuç vermesi, endüstriyel atık suların karakteristiğinin değişmesi, arıtılması ve kararlı kirleticilerin varlığı, çevre politikaları gereği oldukça sınırlı bir düzeye çekilen emisyon ve deşarj limitleri nedeniyle oldukça zorlaşmıştır. Bu nedenle hazırladığımız projede geliştirilen yöntemin endüstriye uygulanması halinde, daha uygun maliyetler ve daha basit arıtım

prosesi ile sektördeki firmalar için önemli bir avantaj sağlanmış olacaktır. Bununla birlikte hem çevremizi hem de ekolojik dengeyi korumuş olacağız.

Projemizin ana kullanıcıları tekstil fabrikaları olmakla birlikte aynı yöntem kullanılarak birçok farklı sektöre uyarlanabilecek kapsamlı bir projedir. Sonuçlar endüstriye aktarıldığı takdirde hem ulusal ekonomiye önemli katkılar sağlanacaktır, hem de dünyamızı tehdit eden, insanların ve bütün diğer canlıların hayatını tehlikeye sokan bir çevre problemi kolaylıkla bertaraf edilmiş olacaktır.

9. Riskler

Proje kapsamında yapılan çalışmalarda, yeşil sentez yöntemi ile nanopartiküllerin üretiminin başarı ile gerçekleştirildiği ve üretilen nanopartiküllerin hem UV hem de görünür bölge ışınları altındaki fotokatalitik aktivitesinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Projede uygulanan üretim yöntemi oldukça ucuz ve büyük miktardaki üretimler için uygulanabilecek bir yöntemdir. Yani fotokatalizör üretimi ve aktivitenin elde edilmesi açısından bir risk söz konusu değildir. Gerçek atık su uygulamasında bir aktivite azalması görülür ise pH ayarlaması ya da seyreltme ile problemin aşılması düşünülmektedir. Önceki deneyimlerimizden bu risk oldukça düşüktür.

Üretilen nanomalzemelerin endüstride atık su arıtımında kullanılması sırasında ortaya çıkabilecek en önemli risk çalışanların nanomalzemelere maruz kalma olasılığıdır. Çalışanlar; nano-boyutlu partiküller içeren duman, sis veya toz soluyarak, cilt temasıyla, yutarak, göz temasıyla maruz kalabilir. Projemizde kullandığımız nanomalzeme her ne kadar zehirsiz olsa da insan vücuduna bir zarar verip vermediği konusunda ayrıntılı bir veri bulunmadığından çalışanların bu maruziyet yolları dikkate alınmalıdır.

10. Proje Ekibi

Takım Lideri: Zuhal Aydoğan

Adı Soyadı	Projedeki Görevi	Okul	Projeye veya problemle ilgili tecrübesi
Zuhal AYDOĞAN	Deney çalışmalarını gerçekleştirmek ve rapor etmek.	Konya Teknik Üniversitesi	Bitirme tezini yine aynı problem üzerine çalışarak Tübitak 2209 B kapsamında destek alarak tamamlamaktadır.
Muhammed Hüseyin ORHAN	Literatür çalışmaları ve sonuçların değerlendirilmesi.	Konya Teknik Üniversitesi	Kosova'da düzenlenen Uluslararası Bilim ve Teknoloji Konferansı'na (ICONST'19) fotokatalizörlerin atık suların arıtılması ile ilgili yaptığı iki adet sözlü sunum ile katılmıştır

11. Kaynaklar

Çolak, H. Karaköse, E. 2017. "Structural, electrical and optical properties of green synthesized ZnO nanoparticles using aqueous extract of thyme (*Thymus vulgaris*)". J Mater Sci, Mater Electron 28,12184

Çolak, H. 2018, "Siyah Çay (*Camellia sinensis*) Sulu Ekstraktı Kullanılarak Nanotanecikli ZnO İnce Filminin Üretilmesi ve Karakterize Edilmesi", Journal of the Institute of Science and Technology 8(4): 163-170.

Erdoğan, Ö. Birtekoçak, O. F. E. Abbak, M. Demirbol, G. M. Paşa, S. Çevik, Ö. 2019. "Enginar Yaprağı Sulu Ekstraktı Kullanılarak Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi, Karakterizasyonu, Anti-Bakteriyel ve Sitotoksik Etkileri". Düzce Tıp Fakültesi Dergisi / Duzce Medical Journal 21(1), 19-26.

Selen, V. Tanyıldızı, A. Ve Dursun, G,2018. "Reactive Red 195 Boyarmaddesinin TIO2/UV-C Prosesi Kullanılarak

Fotokatalitik Renk Giderimi”. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, (8), 125-134.

Shanavas, S. Duraimugañş J.Kumar, S.G. Ramesh, R. Acevedo, R. Anbarasan, P. M. ve Maadeswaran. P. 2019.”Ecofriendly Green Synthesis of ZnO Nanostructures using Artaborys Hexapetalu and Bambusa Vulgaris Plants Extract and İntestigation on Their Photocatalytic and Antibacterial ”. Materials Research Express.105098.

Yiğit ve ark., 2013, “Boyarmadde İçeren Atıksu Arıtma Tesislerinin İşletilmesine Yönelik El Kitabı”, 109G083 no’ lu Tübitak KAMAG Projesi, Ankara.

Zare, M. Namratha, K. Alghamdi, S. Mohammad, Y. H. E. Hezam, A. Zare, M. Drmosh, Q. A. Byrappa, K. Chandrashekar, B. N. Ramakrishna, S. Zhang, X. 2019. “Novel Green Biomimetic Approach for synthesis of Zn-Ag Nanocomposite; Antimicrobial Activity against Food-borne pathogen, Biocompatibility and solar photocatalysis”.

EK:

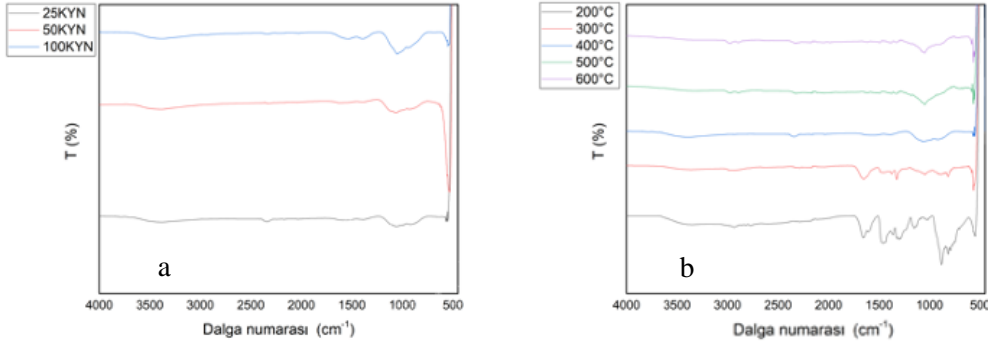
Sentez aşamasında farklı kekik ekstraktı konsantrasyonları ve farklı kalsinasyon sıcaklıkları denenerek en iyi aktiviteye sahip nanopartiküller belirlenmiştir. Tablo 1’de farklı başlangıç tuzları kullanılarak üretilen nanopartiküllerin 15. dakikadaki fotokatalitik aktivite sonuçları verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi Zn(NO₃)₂ ve yeşil kekik kullanılarak sentezlenen nanopartiküller UV ışık altında 15 dakika gibi kısa bir sürede boyayı tamamen bozdu muştur. Görünür ışık altında ise 60 dakikada tamamen bozunma elde edilmiştir.

Zn(NO ₃) ₂	% Bozunma (15. Dakika)			
	Kuru Kekik		Yeşil Kekik	
% Kekik Ekstraktı	UV	Halojen	UV	Halojen
% 25	54	27,85	98,03	35,67
% 50	57,16	18,89	80,98	26,22
% 100	49,18	29,47	68,68	24,42
ZnCl ₂	% Bozunma (15. Dakika)			
	Kuru Kekik		Yeşil Kekik	
%Kekik Ekstraktı	UV	Halojen	UV	Halojen
% 25	68,89	67,47	69,81	30,34
% 50	82,75	54,07	38,96	42,37
% 100	88,34	46,67	64,14	43,70
ZnAc ₂	% Bozunma (15.dakika)			
	Kuru Kekik		Yeşil Kekik	
% Kekik Ekstraktı	UV	Halojen	UV	Halojen
% 25	75,92	49,18	82,84	28,55
% 50	23,71	32,17	72,04	20,47
% 25	42,44	34,81	21,97	29,74

Tablo 1. Farklı başlangıç tuzları kullanılarak üretilen nanopartiküllerin 15. dakikadaki fotokatalitik aktivite sonuçları

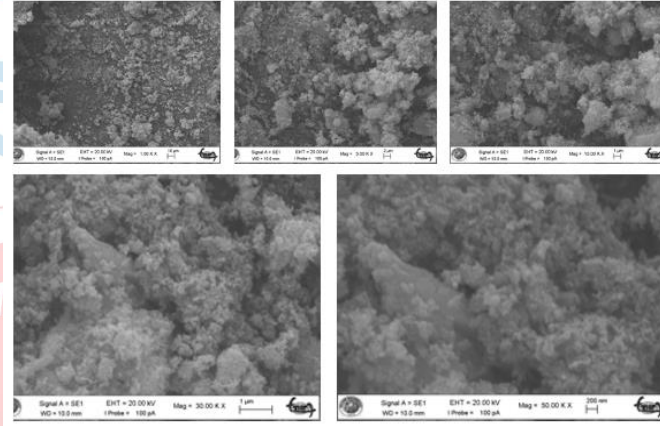
Şekil 1.a’da %25, %50 ve %100 oranlarında kekik ekstraktı ve Zn(NO₃)₂ kullanılarak üretilen nanopartiküllerin FTIR spektrumları bulunmaktadır. 550 cm⁻¹ dalga sayısındaki pik metal oksite aittir. 1500 cm⁻¹ dalga sayısı civarındaki pikler ise organik malzemelere ait C-O, O=O, C-H gibi

bağları temsil etmektedir. Kekik oranı arttıkça organik madde oranı da artmıştır. Şekil 1.b'de kalsinasyon sıcaklığının etkisi görülmektedir. Sıcaklık arttıkça organik safsızlıklar ortamdandır giderilmiştir ve FTIR spektrumlarındaki safsızlık pikleri kaybolmuştur.

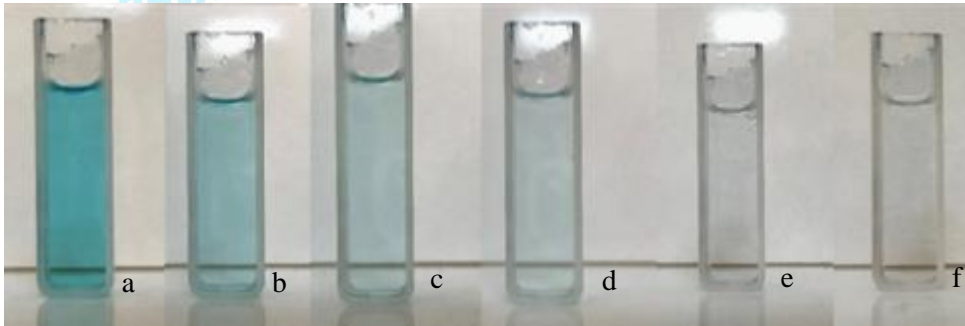


Şekil 1. Farklı Parametrelerde Sentezlenen Çinko Oksit Nanopartiküllerinin FTIR Spektrumları (a) Farklı Kalsinasyon Sıcaklıklarında Sentezlenen Çinko Oksit Nanopartiküllerinin FTIR Spektrumları (b)

Optimum koşullarda sentezlenen nanopartiküllere ait farklı büyütmelelerde SEM görüntüleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'deki görüntüler incelendiğinde morfolojinin az miktarda aglomerasyonla birlikte homojen dağılmış küresel yapılardan oluştuğu görülmektedir. Optimum koşullarda sentezlenen fotokatalizörün metilen mavisi boyasının bozundurulmasındaki boya rengi değişimi Şekil 3.'te verilmiştir.



Şekil 2. Sentezlenen Çinko Oksit Nanopartikülünün Farklı Büyütmelelerde SEM Görüntüleri



Şekil 3. Optimum Koşullarda Sentezlenen ZnO Nanopartikülleri Varlığında MM boyasının UV Işıma ile Bozundurulması Sırasında Farklı Zamanlardaki Fotoğrafları. a) 0.dk, b) 3.dk, c) 6.dk d) 9.dk, e) 12.dk, f)15.dk