



Hakemli, Çevrim İçi Katılımlı

ÇALIŞTAY

**“Kimya ve Malzeme Alanında Güncel
Gelişmeler”**

17 Eylül 2023

**Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen-Edebiyat
Fakültesi, Kimya Bölümü**

BİLDİRİ KİTABI

Kütahya, 2023



Hakemli, Online Katılımlı ÇALIŞTAY

“Kimya ve Malzeme Alanında Güncel Gelişmeler”

Dünya nüfusunun hızlı artışı, iklim değişikliği, gıdaya ulaşma, siber güvenlik, çip krizi, pandemi gibi etkenler teknolojinin sürekli geliştiği şu dönemde hayat kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu alanlarda faaliyet gösteren sektörlerin tamamı (kimya, çevre, gıda, elektronik, enerji, sağlık vb.) bu olumsuzluklara teknolojik çözümler aramaktadır. Klasik yöntemlerin yerini modern hızlı ve güvenilir teknikler almaya başlamıştır.

Bu bağlamda “Kimya ve Malzeme” alanında güncel çalışmalar yapan araştırmacıların çalışmalarını yakından tanımak amacıyla hakemli bildirilerin sunulduğu bir çalıştayla karşınızdayız.

Prof. Dr. Zafer ÜSTÜNDAĞ

Çalıştay Başkanı

Çalıştayın Konuları:

- Analitik Kimya
- Anorganik Kimya
- Biyomühendislik
- Biyokimya
- Çevre
- Endüstriyel Kimya
- Enerji
- Fizikokimya
- Nanoteknoloji
- Organik Kimya
- Sensörler
- Multi-disipliner Çalışmalar

Kütahya, 2023

“Kimya ve Malzeme Alanında Güncel Gelişmeler”

KURULLAR

ONUR KURULU

Prof. Dr. Süleyman KIZILTOPRAK – Rektör
Prof. Dr. Rahmi KASIMOĞULLARI – Dekan
Prof. Dr. Cengiz YENİKAYA – Bölüm Başkanı

ÇALIŞTAY BAŞKANI

Prof. Dr. Zafer ÜSTÜNDAĞ

DÜZENLEME KURULU

Prof. Dr. Cengiz YENİKAYA
Prof. Dr. Rahmi KASIMOĞULLARI
Prof. Dr. Alper Tolga ÇOLAK
Prof. Dr. Zafer ÜSTÜNDAĞ
Prof. Dr. Orhan Murat KALFA
Prof. Dr. Bülent ZEYBEK
Doç. Dr. Nurgün BÜYÜKKIDAN
Doç. Dr. Rukiye SAYGILI-CANLIDİNÇ

Dr. Öğr. Üye. Bülent BÜYÜKKIDAN
Dr. Öğr. Üye. Çiğdem AY
Dr. Öğr. Halil İLKİMEN
Arş. Gör. Gönül YILDIZ
Arş. Gör. Merve GENÇOĞLU
Arş. Gör. Gülcan ÜNER
Arş. Gör. Selinsu DİKİM

BİLİM KURULU

Prof. Dr. Aybüke A. İSBİR-TURAN
Prof. Dr. Bora GARİPCAN
Prof. Dr. Gökhan DEMİREL
Prof. Dr. Halit ARSLAN
Prof. Dr. İbrahim Ender MÜLAZIMOĞLU
Prof. Dr. Lokman UZUN
Prof. Dr. Mustafa OĞUZHAN ÇAĞLAYAN

Prof. Dr. Orhan Murat KALFA
Prof. Dr. Özcan YALÇINKAYA
Doç. Dr. Samet ŞAHİN
Doç. Dr. Sinem Tunçer ÇAĞLAYAN
Prof. Dr. Yusuf DİLGİN
Prof. Dr. Zafer ÜSTÜNDAĞ

17 Eylül 2023 Pazar

ÇALIŞTAY PROGRAMI

“Kimya ve Malzeme Alanında Güncel Gelişmeler”

Çağrılı Konuşmacılar

10:00	10:30	Prof. Dr. Gökhan Demirel, Biyo-esinlenilmiş Malzemeler Araştırma Laboratuvarı, Kimya Bölümü, Gazi Üniversitesi	Moleküler Mühendislik ve Yumuşak Robotik: Fonksiyonel Malzemelere Farklı Bir Bakış
10:30	11:00	Prof. Dr. Özcan Yalçınkaya, Kimya Bölümü, Gazi Üniversitesi	Moleküler Baskılı Manyetik Nanotanecikler Kullanarak Aflatoksinlerin Ayrılması ve Tayini
11:00	11:30	Prof. Dr. Bora Garipcan, Biyomedikal Mühendisliği, Boğaziçi Üniversitesi	Köpekbalığı Derisi Taklit Polimerik Membranlar
11:30	12:00	Prof. Dr. Dilek Ünal, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi	Polistiren Mikroplastik Partiküllerinin İnsan Kolon Kanseri ve Bitki Fidelerinde Oksidatif Stres Üzerine Etkisinin İncelenmesi
12:00	13:00	Ara	
13:00	13:30	Prof. Dr. Aybüke İsbir Turan / Gül Keklik Şah, Polis Akademisi Başkanlığı, Adli Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü	İnsan İdrarındaki Kokainin Aptasensör kullanılarak SPR ile Tayini
13:30	14:00	Prof. Dr. Lokman Uzun, Kimya Bölümü, Hacettepe Üniversitesi	Arayüz Baskılama: Seçici ve Hassas Materyaller Geliştirmek İçin Yeni Bir Yaklaşım
14:00	14:30	Prof. Dr. İbrahim Ender Mülazımoğlu, Kimya Bölümü, Necmettin Erbakan Üniversitesi	Kalem Grafit Elektrotların Antioksidanların Elektrokimyasal Olarak Bağımsız ve Eşzamanlı Tayinlerinde Kullanımı
14:30	15:00	Doç. Dr. Sinem Tunçer Çağlayan, Sağlık Bilimleri Yüksek Okulu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi	Oral Çözünür Filimler ve Uygulamalarında Güncel Trendler
15:00	16:00	Ara	
16:00	17:30	Sözlü Sunumlar	Video sunumların tartışılması
17:30	18:30	Poster Sunumları	Poster sunumların tartışılması

BİLDİRİ ÖZETLERİ

“Kimya ve Malzeme Alanında Güncel Gelişmeler”

- **Çağrılı Bildiri (ÇB) Özetleri**
- **Sözlü Bildiri (SB) Özetleri**
- **Sözlü Tam Metin (TMB) Bildiriler**

Doğrudan metanol yakıt hücresi (DMFC) uygulamalarında *Typha shuttleworthii* püskülü esaslı karbonsu nanomalzemenin hazırlanması ve karakterizasyonu

Bünyamin Şahin ve Mustafa Oğuzhan Çağlayan

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, Bilecik, Türkiye

Özet

Bu çalışmada doğal bir karbon kaynağı olarak hasırotu veya kedi kuyruğu olarak bilinen *Typha shuttleworthii* püskülünün (TT) karbonize edilmiş formu kullanılmıştır. TT'nin kimyasal aktivasyon ve karbonizasyon süreçlerinin ardından öğütülmesi ile boyutu 50-250 nm arasında olan karbonsu TT (CTT) elde edilmiştir. CTT nitrik asit kullanılarak okside edilerek -COOH fonksiyonel grupları oluşturulmuştur. -COOH fonksiyonel grupları üzerinden 1-etil-3-(3-dimetilaminopropil) karbodiimid (EDC) ile aktiflenerek 4-aminotiyofenol (4-ATP) ile amitleştirilmiştir. Karbonize malzemenin -SH fonksiyonelleştirilmiş uçlarına ortalama boyutu 30 nm olan altın nanoparçacıklar (AuNP'ler), CTT ile başarılı bir şekilde kompleks oluşturmuştur. Kompleks oluşturma işlemi karbodiimid rotası üzerinden kendiliğinden düzenlenme mekanizması ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen CTT-AuNP'ler SEM ve EDX analizleri ile karakterize edilmiştir. Üretilen nanomalzemenin doğrudan metanol yakıt hücresi (DMFC) uygulamalarında metanol oksidasyon reaksiyonu (MOR) için elektrot olarak kullanılabilceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hasır otu, *Typha shuttleworthii*, karbonsu malzeme, nanomalzeme, doğrudan metanol yakıt hücresi

1. Giriş

Küresel nüfusun hızla artması, fosil yakıt kullanımında dramatik bir artışa neden olmuş ve bu eğilim, sınırlı fosil yakıt kaynaklarının tükenmesi ve yakıt atıklarının insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri gibi ciddi sorunlara yol açmıştır. Ayrıca, alternatif enerji kaynaklarının genellikle yüksek maliyetleri ve bazen büyük çevresel etkileri, endişeleri daha da artırmıştır. Bu nedenle, bilim insanları ve araştırmacılar, enerji üretimi alanında yenilikçi çözümler arayışına girmişlerdir (Belge ve diğ. 2022).

Yakıt hücreleri kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için redoks reaksiyonlarını temel alır. Geleneksel pillerin aksine, yakıt hücrelerinde elektrotlar, zayıf asit içindeki metallere oluşmak yerine proton ileten malzemeler, karbon destekli katalizörler ve elektron ileten lifler gibi kompozitlerden üretilir. Yakıt hücrelerinin belirli avantajları vardır, örneğin elektrot malzemesinin tükenmeye karşı dayanıklılıkları ve sızıntı veya korozyon gibi sorunlardan kaynaklanan hücre bileşeni arızalarına karşı dirençleri gibi (Sharaf ve Orhan 2014). Yakıt hücreleri, temel olarak yakıt kutbu (anot), elektrolit, hava kutbu (katot) ve harici bir devre olmak üzere birkaç ana bileşeni içerir. Tipik bir yakıt hücresi düzenlemesinde, gaz halindeki yakıt (hidrokarbon veya hidrojen yakıtı) ve bir oksidasyon gazı (genellikle oksijen), sırasıyla anot ve katotta yarı hücre reaksiyonlarına girer.

Yakıt hücreleri çalışma sıcaklıkları, elektrolit bileşimi ve kullanılan yakıtların özelliklerine göre sınıflandırılır. Genel olarak, yakıt hücreleri şu çeşitlere ayrılabilir: polimer elektrolit membranlı yakıt hücreleri (PEMFC), alkalın yakıt hücreleri (AFC), katı oksit yakıt hücreleri (SOFC), fosforik asit yakıt hücreleri (PAFC), yüksek sıcaklıkta eriyen karbonat yakıt hücreleri (MCFC), doğrudan metanol yakıt hücreleri (DMFC) ve diğer varyantlar (Perry ve Fuller 2002; Qin ve diğ. 2022).

Proton değişim membranlı yakıt hücreleri gibi düşük sıcaklıkta çalışan yakıt hücreleri, bu kullanım kolaylığı açısından enerji araştırmalarında öne çıkan bir konu haline gelmiştir. Bu kapsamda, özellikle dikkate değer bir alt kategori olan doğrudan metanol yakıt hücreleri (DMFC'ler), son yıllarda yoğun bir şekilde araştırılmıştır. DMFC'ler, geleneksel hidrojen tabanlı yakıtlardan farklı olarak, metanolü birincil

yakıt olarak kullanır. Metanol'ün DMFC'lerde tercih edilen yakıt olarak seçilmesinin nedeni, depolama ve taşıma kolaylığının yanı sıra sıvı formunun yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasıdır (Ren ve diğ. 1996).

DMFC, üç temel bileşenden oluşur: anot, proton değişim membranı ve katot. Anot bölgesinde, metanol oksidasyon reaksiyonu (MOR) gerçekleşir ve bu noktada katolizörlerin rolü oldukça kritiktir. Proton değişim membranı, öncelikle protonların (H^+) transferini kolaylaştırırken, aynı zamanda elektronların (e^-) ve metanolün (CH_3OH) katod tarafına geçişini engelleyen bir bariyer görevi görür (Liu ve diğ. 2019). Hücre asidik bir elektrolit ortamında çalıştığında, metanol, anot bölgesinde CO_2 , protonlar ve elektronlar üretmek üzere oksidasyona uğrar. Aynı anda katot bölgesinde oksijen indirgeme reaksiyonu (ORR) gerçekleşir. Elektronlar dış devreyi kullanarak elektrik üretirken, protonlar elektrolit ve proton değişim zarı aracılığıyla katoda yönlendirilir (Scott ve diğ. 1999).

Metanolün doğrudan metanol yakıt hücrelerinde (DMFC) kullanılması, taşınabilir elektronik cihazlara güç sağlamak için pratik bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Wang 2008). Elektrokimyasal yakıt hücreleri, DMFC'lerin önemli bir bileşeni olarak, özellikle metanol ve etanol gibi elektroaktif maddeleri hidrojen kaynağı olarak kullanma avantajına sahiptirler. Ancak DMFC'lerde anot ve katotta meydana gelen reaksiyonların yavaş ve seçici olmaması nedeniyle, platin, rutenyum, paladyum ve rodyum gibi nanokatalizörlerin kullanılmasını gerektirir (Qin ve diğ. 2022). DMFC'lerde MOR'ını artırmaya yönelik bir strateji, katalizör yüklemesini artırmak olmuştur. Ancak bu yaklaşım, metanol geçişi gibi sorunlara ve artan maliyetlere yol açabilen platin tabanlı elektrokatalizörlerin daha fazla kullanılmasına neden olabilir. Ancak platinin nadirliği nedeniyle azaltılmış platin içeriğine sahip katalizörler geliştirilmiştir (Kloke ve diğ. 2011). Bu endişeleri ele almak amacıyla, işlevsellik ile maliyet arasında bir denge sağlayan katalizörleri belirlemek için alternatif enerji kaynakları olarak yakıt hücrelerinin operasyonel verimliliğini ve ticari uygulanabilirliğini artırmaya yönelik birçok araştırma çalışması yürütülmüş ve devam etmektedir. Bu çalışmalarda, platinin rutenyum, paladyum, nikel, demir ve kobalt gibi diğer soy veya soy olmayan metallerle alaşımlanması veya platinin metal oksitlerin içine gömülmesiyle hibrit katalizörler geliştirilmiştir (Ataee-Esfahani ve diğ. 2010; Jiang ve diğ. 2016; Li ve diğ. 2018a; Li ve diğ. 2018b; Wang ve diğ. 2011a; Wang ve Yamauchi 2011; Yamauchi ve diğ. 2013). Ayrıca, gözenekli ve iletken katalizör desteklerinin kullanılması, katalizör dayanıklılığını artırır ve yük transfer verimliliğini artırır. Karbon nanotüpler, aktif karbon, grafen ve karbonlu olmayan malzemeler arasında metal oksitler ve mezogözenekli silika gibi çeşitli destek malzemeleri bulunur (Yuda ve diğ. 2022).

Katalizör malzemelerinin maliyet etkinliğini artırmaya çalışan bilim insanları, çeşitli kompozit malzemeleri elektrot olarak kullanma yönünde çalışmalar yürütmektedir (Cui ve diğ. 2016). Bu bağlamda, yüksek iletkenliğe sahip nanopartiküllerin veya alaşımların kullanımını içeren stratejiler, genellikle altın ve gümüş gibi soy metalleri de içerir (Chu ve Su 2016).

Karbon bazlı nanomalzemelerin üretilmesi için geleneksel yöntemler genellikle asetilen, etilen, propilen, metan ve diğer fosil yakıtlardan türetilen hidrokarbonları içerir. Büyük ölçekli karbon bazlı nanoparçacıkların sentezi için çevre dostu yaklaşımların geliştirilmesi ve keşfedilmesi gereklidir. Bu yaklaşımlarda özellikle organik kaynaklardan türetilmiş öncüllerin kullanılması tercih edilir (Hamid ve diğ. 2017). Çeşitli karbon malzeme üretimlerinde doğal ve bol bulunan karbon kaynaklarının kullanımı rapor edilmiştir (Wang ve diğ. 2018)(Peng ve diğ. 2015)(Frindy ve Sillanpää 2020; Primo ve diğ. 2012)(Wang ve diğ. 2011b). Farklı yeşil sentez yöntemleriyle üretilmiş nanomalzemeler mevcuttur (Goswami ve diğ. 2021). Ayrıca, yeşil sentez ile üretimi ve uygulamalarıyla ilgili kuantum noktacılarıyla ilgili bir inceleme makalesi bulunmaktadır (Caglayan ve diğ. 2022).

Bu çalışmada, kedi kuyruğu veya hasırotu püskülü olarak bilinen bir ıslak alan bitkisi olan *Typha shuttleworthii*'nin (TT) ucuz ve bol bulunabilecek bir karbon kaynağı olarak kullanılmış ve nano-karbonsu malze üretilmiştir. Üretilen karbonsu TT'nin (CTT) Au nanoparçacık ile modifiye edilmesi ile elde edilen nanomalzemenin (CTT-AuNP) elektrot yüzeyinde modifikasyon malzemesi olarak kullanılma potansiyelini değerlendirmek üzere sentezi ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

2. Yöntem

Bu çalışmada kullanılan tüm kimyasallar (hidrojen tetra-kloroaurat hidrat (HAuCl_4), p-aminothiophenol (4-ATP), trisodyum sitrat dihidrat ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{H}_2\text{O}$), 1-etil-3-[3-dimetilaminopropil]karbodiimid hidroklorür (EDC) vb.) Sigma-Aldrich'in yerel temsilcilerinden temin edilmiştir ve en az analitik saflıktadır. Çalışma sırasında yapılan ölçümler, tekrarlanabilirlik koşullarını sağlamak üzere en az üç tekrar şeklinde gerçekleştirilmiştir ve ölçümlerin ortalaması ve standart sapması ($\pm\sigma$) rapor edilmiştir.

2.1. Hasırotu püskülünden karbonsu nanomalzemenin hazırlanması

Hasır otu (TT) ince bir toz halinde öğütülmeden önce toplandı, yıkandı ve kurutuldu. Daha sonra, TT tozu, konsantre nitrik asit ile geri akış, deiyonize su ile nötrleştirme ve %5 sodyum hidroksit çözeltisi ile hidrotermal işlemi içeren aktivasyon ve kimyasal işleme tabi tutuldu. Bir tüp fırında azot atmosferi altında, 1000°C 'lik bir sıcaklık 2 saat boyunca muhafaza edilerek karbonizasyona tabi tutuldu. Ardından değirmende 4 saat süre ile öğütme işlemi gerçekleştirildi. Ortaya çıkan karbonlu nanomateryalin (CTT) karakterizasyonu için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanıldı.

2.2. Altın Nanopartiküllerin (AuNP'ler) Sentezi

AuNP'ler sentezi, literatüre uygun olarak gerçekleştirildi (Nguyen ve diğ. 2010). Bu yöntemde, altın öncüsü olarak hidrojen tetra-kloroaurat hidrat (HAuCl_4) kullanılmış ve pH'ı 10'a ayarlanmış sulu bir çözelti içerisinde indirgeyici madde olarak trisodyum sitrat dihidrat ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{H}_2\text{O}$) kullanılarak indirgenmiştir. AuNP'lerin karakterizasyonu UV-Vis spektrofotometre ile gerçekleştirildi ve elde edilen spektrum Mie-teorisi kullanılarak elde edilen spektrumla karşılaştırılarak Au-NP'lerin boyutları tahmin edildi (<https://nanocomposix.com/pages/mie-theory-calculator>).

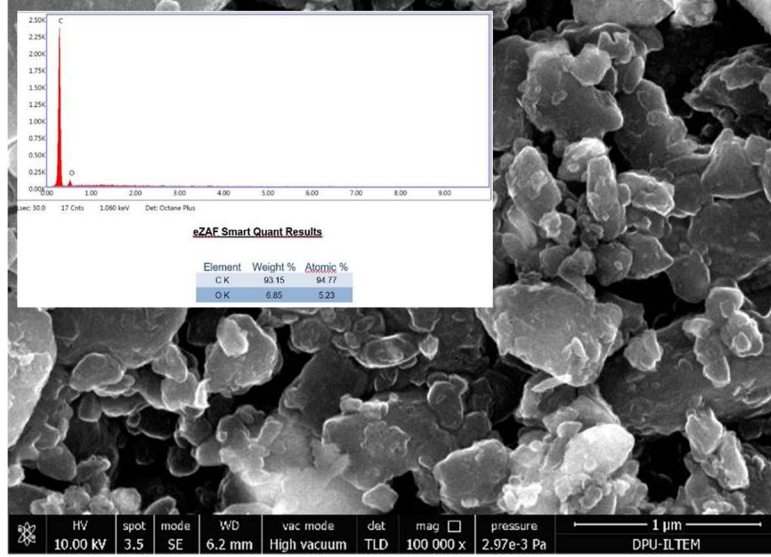
2.3. CTT'nin Au-Nanoparçacık ile Modifikasyonu

Sentezlenen CTT (karbon bazlı malzeme), 2 mg mL^{-1} konsantrasyonda etanol içerisinde ultrasonik çalkalama yardımıyla 1 saat süreyle çözüldürüldü ve karboksilat gruplarını aktive etmek 8 saat boyunca 0,2 M EDC çözeltisine maruz bırakıldı. Aktive edilmiş CTT süspansiyonu, 1:1 hacim oranında 1.0 mM 4-ATP ile 2 saat boyunca iyice karıştırıldı.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Yerel kaynaktan toplanarak hazırlanan CTT'ye ait SEM görüntüleri ve EDX analiz sonuçları Şekil 1'de verilmiştir. Doğal yapısı küçük boyutlu olan TT püskülünün karbonize edilmiş formunun da mikron altı karbonize parçacık oluşturduğu görülmektedir. EDX analizleri ile yapıda molce %5 O ve %95C olduğunu ortaya koymuştur.

CTT taneciklerin boyut analizi, Gwyddion yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Görüntü üzerinden temsili 100 tanecik için gerçekleştirilen boyut analizi sonucu elde edilen dağılım da aynı grafikte gösterilmiştir. Dağılımın yüksek oranda (~%60) 50 nm ağırlıklı parçacıklardan oluştuğu, azalan oranda (~%20) yığılma merkezi 150 nm olan parçacıklardan oluştuğu belirlenmiştir. Yığılma merkezi 250 nm ve üzeri olan dağılımın %5'ten daha düşük olduğu gözlenmektedir.

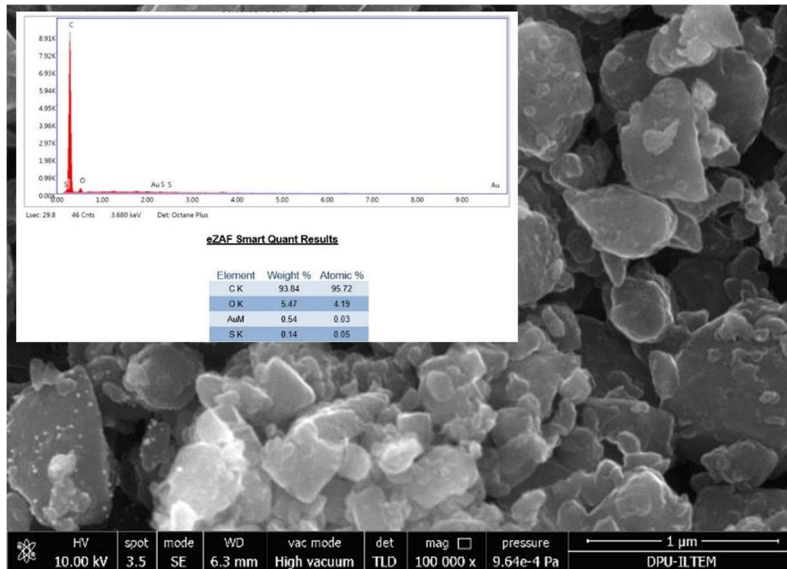


Şekil 1 – CTT'ye ait SEM görüntüsü ve EDX analiz sonucu

3.1. CTT'nin Au-Nanoparçacık ile Modifikasyonu

Üretilen AuNP'lere ait UV-Vis absorbans grafiği ve 20 nm küresel nanoparçacık için teorik (Oldenburg) absorbans eğrisi ile karşılaştırılmıştır. Teorik hesaplamaya göre 30 nm'lik nanoparçacık için absorpsiyon yoğunluğunun maksimum olduğu dalga boyu 528 nm, 20 nm'lik nanoparçacık için 524 nm olarak bulunmuştur. Bu çalışmada üretilen AuNP için belirlenen pik ise 526 nm'dedir. Bu nedenle nanoparçacık boyutunun 30 nm civarında olduğu tahmin edilmiştir.

Kendiliğinden düzenlenme mekanizması ile CTT'nin Au modifikasyonunun tamamlandığı SEM ve EDX analizleri ile doğrulanmıştır (Şekil 2). CTT'nin karbonize yapısının korunduğu, boyut dağılımının anlamlı bir şekilde değişmediği gözlenmiştir. Ayrıca Au-nanoparçacıkların karbon yüzeyinde gözlendiği de tespit edilmiştir. Bununla birlikte EDX analizleri sonucu Au nanoparçacıkların varlığına dair (kütlece %0,54'lük) sinyal de elde edilmiştir. CTT-AuNP'lerin başarı ile sentezlendiği doğrulanmıştır.



Şekil 2 – CTT-AuNP'ye ait SEM görüntüsü ve EDX analiz sonucu

Kaynaklar

- Ataee-Esfahani H, Wang L, Nemoto Y, Yamauchi Y (2010) Synthesis of bimetallic Au@Pt nanoparticles with Au core and nanostructured Pt shell toward highly active electrocatalysts *Chemistry of Materials* 22:6310-6318
- Belge AT, Mishra S, Alegavi S A Review on Alternative Energy Sources. In: 2022 5th International Conference on Advances in Science and Technology (ICAST), 2-3 Dec. 2022. pp 558-563. doi:10.1109/ICAST55766.2022.10039637
- Caglayan MO, Mindivan F, Şahin S (2022) Sensor and Bioimaging Studies Based on Carbon Quantum Dots: The Green Chemistry Approach *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 52:814-847 doi:10.1080/10408347.2020.1828029
- Chen A, Holt-Hindle P (2010) Platinum-based nanostructured materials: synthesis, properties, and applications *Chemical reviews* 110:3767-3804
- Chu C, Su Z (2016) Gold-decorated platinum nanoparticles in polyelectrolyte multilayers with enhanced catalytic activity for methanol oxidation *Applied Catalysis A: General* 517:67-72
- Cui P, He H, Liu H, Zhang S, Yang J (2016) Heterogeneous nanocomposites of silver selenide and hollow platinum nanoparticles toward methanol oxidation reaction *Journal of Power Sources* 327:432-437
- Feng Y, Huang B, Yang C, Shao Q, Huang X (2019) Platinum porous nanosheets with high surface distortion and Pt utilization for enhanced oxygen reduction catalysis *Advanced Functional Materials* 29:1904429
- Ferrin P, Nilekar AU, Greeley J, Mavrikakis M, Rossmeisl J (2008) Reactivity descriptors for direct methanol fuel cell anode catalysts *Surface Science* 602:3424-3431
- Frindy S, Sillanpää M (2020) Synthesis and application of novel α -Fe₂O₃/graphene for visible-light enhanced photocatalytic degradation of RhB *Materials & Design* 188:108461
- Goswami AD, Trivedi DH, Jadhav NL, Pinjari DV (2021) Sustainable and green synthesis of carbon nanomaterials: A review *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9:106118
- Hamid ZA, Azim AA, Mouez FA, Rehim SA (2017) Challenges on synthesis of carbon nanotubes from environmentally friendly green oil using pyrolysis technique *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 126:218-229
- Jha N, Reddy ALM, Shaijumon M, Rajalakshmi N, Ramaprabhu S (2008) Pt–Ru/multi-walled carbon nanotubes as electrocatalysts for direct methanol fuel cell *International Journal of Hydrogen Energy* 33:427-433
- Jiang B, Li C, Malgras V, Imura M, Tominaka S, Yamauchi Y (2016) Mesoporous Pt nanospheres with designed pore surface as highly active electrocatalyst *Chemical science* 7:1575-1581
- Kamarudin SK, Achmad F, Daud WRW (2009) Overview on the application of direct methanol fuel cell (DMFC) for portable electronic devices *International Journal of hydrogen energy* 34:6902-6916
- Kloke A, von Stetten F, Zengerle R, Kerzenmacher S (2011) Strategies for the fabrication of porous platinum electrodes *Advanced Materials* 23:4976-5008
- Li C et al. (2018a) Electrochemical deposition: an advanced approach for templated synthesis of nanoporous metal architectures *Accounts of chemical research* 51:1764-1773
- Li C et al. (2018b) Emerging Pt-based electrocatalysts with highly open nanoarchitectures for boosting oxygen reduction reaction *Nano Today* 21:91-105
- Liu F, Dang D, Tian X (2019) Platinum-decorated three dimensional titanium copper nitride architectures with durable methanol oxidation reaction activity *International Journal of Hydrogen Energy* 44:8415-8424
- Nguyen DT, Kim D-J, So MG, Kim K-S (2010) Experimental measurements of gold nanoparticle nucleation and growth by citrate reduction of HAuCl₄ *Advanced Powder Technology* 21:111-118
- Oldenburg S *Light Scattering from Gold Nanoshells*, Diss. Rice University, 2000.
- Peng L et al. (2015) An iron-based green approach to 1-h production of single-layer graphene oxide *Nature communications* 6:5716
- Perry ML, Fuller TF (2002) A historical perspective of fuel cell technology in the 20th century *Journal of the electrochemical society* 149:S59

- Primo A, Atienzar P, Sanchez E, Delgado JM, García H (2012) From biomass wastes to large-area, high-quality, N-doped graphene: catalyst-free carbonization of chitosan coatings on arbitrary substrates *Chemical communications* 48:9254-9256
- Qin C, Tian S, Wang W, Jiang Z-J, Jiang Z (2022) Advances in platinum-based and platinum-free oxygen reduction reaction catalysts for cathodes in direct methanol fuel cells *Frontiers in Chemistry* 10:1073566
- Ren X, Wilson MS, Gottesfeld S (1996) High performance direct methanol polymer electrolyte fuel cells *Journal of the Electrochemical Society* 143:L12
- Scott K, Taama W, Argyropoulos P (1999) Engineering aspects of the direct methanol fuel cell system *Journal of Power Sources* 79:43-59
- Sharaf OZ, Orhan MF (2014) An overview of fuel cell technology: Fundamentals and applications *Renewable and sustainable energy reviews* 32:810-853
- Sun J, Dou M, Zhang Z, Ji J, Wang F (2016) Carbon nanotubes supported Pt-Co-P ultrafine nanoparticle electrocatalysts with superior activity and stability for methanol electro-oxidation *Electrochimica Acta* 215:447-454
- Wang C-Y Principles of Direct Methanol Fuel Cells for Portable and Micro Power. In: Kakaç S, Pramuanjaroenkij A, Vasiliev L (eds) *Mini-Micro Fuel Cells*, Dordrecht, 2008// 2008. Springer Netherlands, pp 235-242
- Wang H et al. (2011a) Shape-and size-controlled synthesis in hard templates: sophisticated chemical reduction for mesoporous monocrystalline platinum nanoparticles *Journal of the American Chemical Society* 133:14526-14529
- Wang JG, Liu H, Zhang X, Li X, Liu X, Kang F (2018) Green synthesis of hierarchically porous carbon nanotubes as advanced materials for high-efficient energy storage *Small* 14:1703950
- Wang L, Yamauchi Y (2011) Strategic synthesis of trimetallic Au@ Pd@ Pt core– shell Nanoparticles from poly (vinylpyrrolidone)-based aqueous solution toward highly active electrocatalysts *Chemistry of Materials* 23:2457-2465
- Wang X, Ding B, Yu J, Wang M (2011b) Highly sensitive humidity sensors based on electro-spinning/netting a polyamide 6 nano-fiber/net modified by polyethyleneimine *Journal of Materials Chemistry* 21:16231-16238
- Yamauchi Y, Li C, Sato T (2013) Electrochemical synthesis of one-dimensional mesoporous Pt nanorods using the assembly of surfactant micelles in confined space *Angew Chem Int Ed* 52:1-5
- Yuda A, Ashok A, Kumar A (2022) A comprehensive and critical review on recent progress in anode catalyst for methanol oxidation reaction *Catalysis Reviews* 64:126-228
doi:10.1080/01614940.2020.1802811