

EKG Elektrot Sensör Kalıbının Grafen Katkılı Nanolifile Kaplanması

Çiğdem SERDENGEÇTİ^{1*}, Yaşar Barış DOLUKAN¹, Gözde ÇEKİÇ² ve Murat ÇINAR³

¹Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı / MYO, OSTİM Teknik Üniversitesi, Türkiye

²Nanografi Nanoteknoloji A.Ş., Türkiye

³Fezamedikal Ltd. Şti., Türkiye

[*cigdem.serdengecti@ostimteknik.edu.tr](mailto:cigdem.serdengecti@ostimteknik.edu.tr)

(Received: 11 September 2024, Accepted: 18 September 2024)

(3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024, September 11-12, 2024)

ATIF/REFERENCE: Serdengeçti, Ç., Dolukan, Y. B., Çekiç, G. & Çınar, M. (2024). EKG Elektrot Sensör Kalıbının Grafen Katkılı Nanolifile Kaplanması. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 8(8), 91-98.

Özet – Göğüs bölgesine yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla kalpte oluşan elektriksel aktiviteyi algılayarak hastalık teşhisine yardımcı olan EKG cihazında, vücut dokusu üzerinden non-invaziv yöntemle elektrofizyolojik sinyalleri toplayan sensörün iletkenliği önemli yer tutmaktadır. Mevcut durumda, sensör kalıbının üstü Ag/AgCl ile kaplanarak iletkenliği artırılmaktadır. Bu çalışmada üstün mekanik, elektriksel ve esneklik özellikleriyle son yıllarda biyomedikal alanda sıklıkla tercih edilen grafen kullanılarak elektriksel iletkenliği yüksek kaplama malzemesi üretilmesi hedeflenmiştir. Yöntem olarak elektroöğirme ile nanolif kaplama üretimi tercih edilmiş olup işlem yapılacak solüsyonun elde edilmesi için %10'luk oranda yani 50 mL su içinde 5 g PVA çözülmesi sağlanmıştır. Manyetik karıştırıcıda bir gece bekletilip homojen karışım elde edildikten sonra 5mL'lik enjektörlere alınarak elektroöğirme sistemi içinde bulunan sistemdeki infüzyon pompasına yerleştirilmiştir. Belirlenen en uygun parametreler; 15 kV gerilim, 1 mL/sa akış hızı, 12 cm iğne ucu-iletken toplayıcı mesafesi olarak uygulanmış ve en az 30 dk işleme tabi tutulmuştur. EKG elektrot kalıpları, elektroöğirme düzeneğinin alüminyum kaplanmış kısmına yerleştirilmiştir. Nanolif kaplama üretimi işlemi başarıyla gerçekleştirildikten sonra SEM, Raman Spektroskopisi, Termogravimetrik Analiz (TGA) ve IV analizi ile nanolif yapısında bulunan grafenin varlığı ve bu grafenin okside edilmemiş grafen olduğu teyit edilmiştir. Grafenin oksidasyon işleminden geçirilmemiş olması, elektriksel iletkenlik özelliğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre EKG elektrot kalıbının üst kısmı grafen katkılı PVA nanolif ile kaplanabilmiştir. Çalışmanın üç boyutlu elektroöğirme sistemi kullanılarak gerçekleştirilmesiyle tüm yüzeylerin homojen bir şekilde eşit miktarda kaplanmasının sağlanması, dolayısıyla daha verimli sonuçlar elde edilebilmesi mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler – Grafen, Nanolif, EKG Sensörü, Elektroöğirme, Elektriksel İletkenlik.

I. GİRİŞ

İki boyutlu ve tek atom kalınlığında en yeni keşfedilmiş karbon allotropu olan grafen, elektriksel, mekanik, termal ve optik özelliklerinin olağanüstülüğü sayesinde bilim dünyasında "mucize malzeme" olarak nitelendirilmiştir. 2004 yılında Rus bilim adamları Geim ve Novoselov tarafından keşfedilen grafen, yapısal olarak grafitin tek katmanlı halidir. Manchester Üniversitesi laboratuvarında çalışmakta

olan Geim ve Novoselov'un kurşun kalem ucunu şeffaf banda değdirmesi sonucu bant üzerine yapışan malzemeyi detaylı incelemesiyle keşfedilen bu mucize malzeme, mucitlerinin Nobel Fizik ödülü kazanmasını sağlamıştır. Grafenin atomik yapısında bulunan karbon atomları altıgen bir şekilde ve düzenli bal peteği yapısında yerleşmişlerdir. Bal peteği yapısında sağlam bağlarla yerleşime sahip olan elektronlar bu yapı içerisinde efektif kütlelerini (bir kuvvete karşı tepki verirken sahip olduğu var sayılan kütle) kaybederler ve dolayısıyla bu tek atom kalınlığındaki karbon tabakası içerisinde son derece yüksek mobilitelerle oldukça hızlı hareket ederler. Saf grafenin yapısındaki yük taşıyıcılarının kütle konsantrasyonu sıfıra yaklaşacak kadar düşse dahi iletkenliği asla sıfıra inmez, çok düşük seviyede bir değerde kalır [1].

Grafenin biyomedikal alanda pek çok uygulamaları bulunmaktadır. Bunlardan en önemlilerini beş başlık altında toplamak mümkündür; biyosensörler [2],[3], biyogörüntüleme [4], ilaç salım sistemleri ve gen taşınımı [5], ışık ve ısı ile birlikte kullanılan fototermaal terapi [6], rejeneratif tıp ve doku mühendisliği [7].

Grafen kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda, farklı fazlara sahip malzemelerle hazırlanan grafen katkılı kompozitlerin pek çok avantajlı özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu malzemelerden biri olan Polivinilalkol (PVA) kullanılarak hazırlanan grafen katkılı kompozit malzemelere oldukça az oranda bile eklenen grafenin mekanik ve elektriksel özelliklerde güçlendirici etkiler oluşturduğu gözlenmiştir [8].

Grafenle yapılan çalışmaların büyük bir kısmında, malzemenin daha kolay fonksiyonelleştirilmesi ve bağ kurmasının kolaylaştırılmasının sağlanması amacıyla grafene oksijen atomu eklenerek grafen oksit haline getirilir [9], [10], [11]. Oksidasyon işlemi, grafenin atomik yapısındaki yük taşıma mekanizmasını etkiler ve güçlü π -bağının kırılmasına, buna bağlı olarak da enerji seviyelerindeki band aralığının artmasına neden olur. Bu durum, elektriksel iletkenlik özelliğinin azalmasına, oksijen miktarının artırılmasıyla meydana gelen valans bant ile iletkenlik bant aralıklarının genişlemesi sonucu grafenin yalıtkan hale gelmesine de sebebiyet verebilmektedir [12],[15].

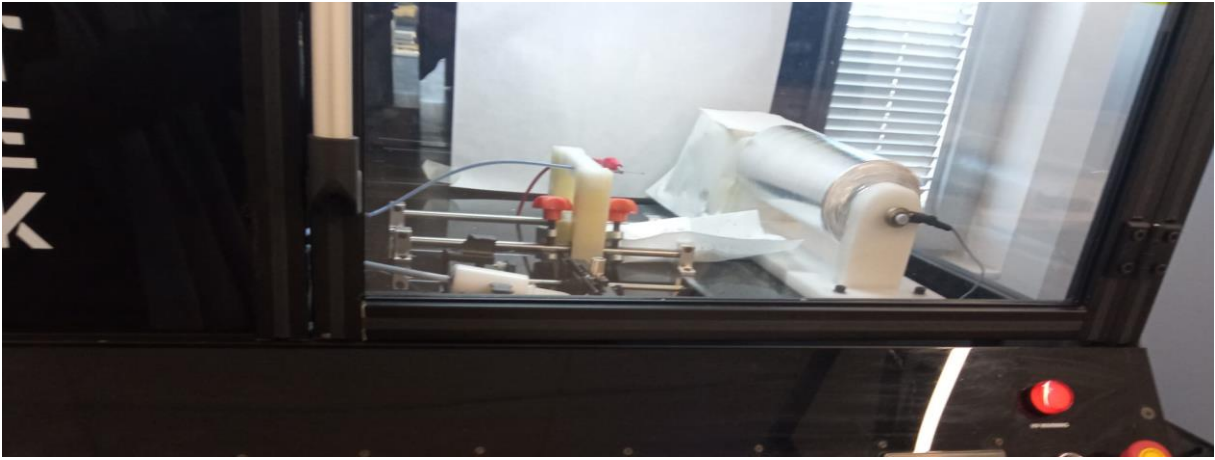
EKG cihazı ile kalbin elektriksel aktivitesinin monitörize edilmesi pek çok kalp hastalığının tüm aşamalarında teşhisi kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla EKG, kalp hastalıklarının teşhisinde ve/veya takip edilmesinde tüm dünyada en yaygın kullanılan tıbbi cihazdır [16], [17]. EKG'nin çalışma prensibi biyopotansiyel sinyallerin canlı üzerinden sensörler yardımıyla algılanması ve dönüştürülmesidir. Bu tür cihazlarda en büyük sorun, alınan sinyalin gürültüye maruz kalarak kalitesinin düşmesidir [18]. Buna engel olunması için kullanılan malzemeler genellikle sert yapıya sahiptir. Bu durum maliyeti artırmakla birlikte hastanın dokusu ile elektrot arasında birtakım olumsuzluklar yaratarak başta doku tahrişi olmak üzere çeşitli sorunlara sebep olmaktadır. Dolayısıyla son yıllarda esnek malzemelere eğilim artmıştır [19], [20]. Alınan sinyalin kalitesini artırmada etkili diğer önemli faktör de elektriksel iletkenlik özelliğidir. Günümüzde tercih edilen Ag/AgCl elektrotlarla ölçüm alınırken doku ile iletişimi artırmak için elektrolitik iletken jel kullanılmaktadır. Bu jel özellikle uzun süreli uygulamalarda kuruyabilmekte veya terle etkileşime girerek özelliklerini yitirebilmektedir. Bu gibi durumlara engel olabilmek adına jelin kullanımına ihtiyaç duyulmayan, iletkenlik özelliği daha güçlü elektrotlar geliştirilmesi üzerine çalışmalar artmıştır [21], [22]. Hastanın dokusuna zarar vermeyen esneklikte ve elektriksel iletkenliği yüksek malzeme olarak grafen bu tür kullanımlar için uygun görülmüş, son yıllarda grafen katkılı EKG elektrot sensörü uygulamaları çalışmaları yoğunluk kazanmıştır. Grafenin özdirenç gümüşten oldukça düşüktür ve grafen bu özelliği ile bilinen en düşük özdirence sahip malzeme olarak kabul edilmiştir [9], [23], [24], [25].

Bununla birlikte son yıllarda özellikle giyilebilir teknolojilerde esnek ve iletken elektrotlar elde edebilme amacına yönelik nanolif dokulara eğilim artmıştır [26], [27]. Elektrodeğirme yöntemiyle elde edilen nanoliflerin geniş yüzey alanları, gözenekli yapıları, yüksek verimlilik, düşük maliyet gibi özellikleri sayesinde sensörlerde kullanımı yaygınlaşmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

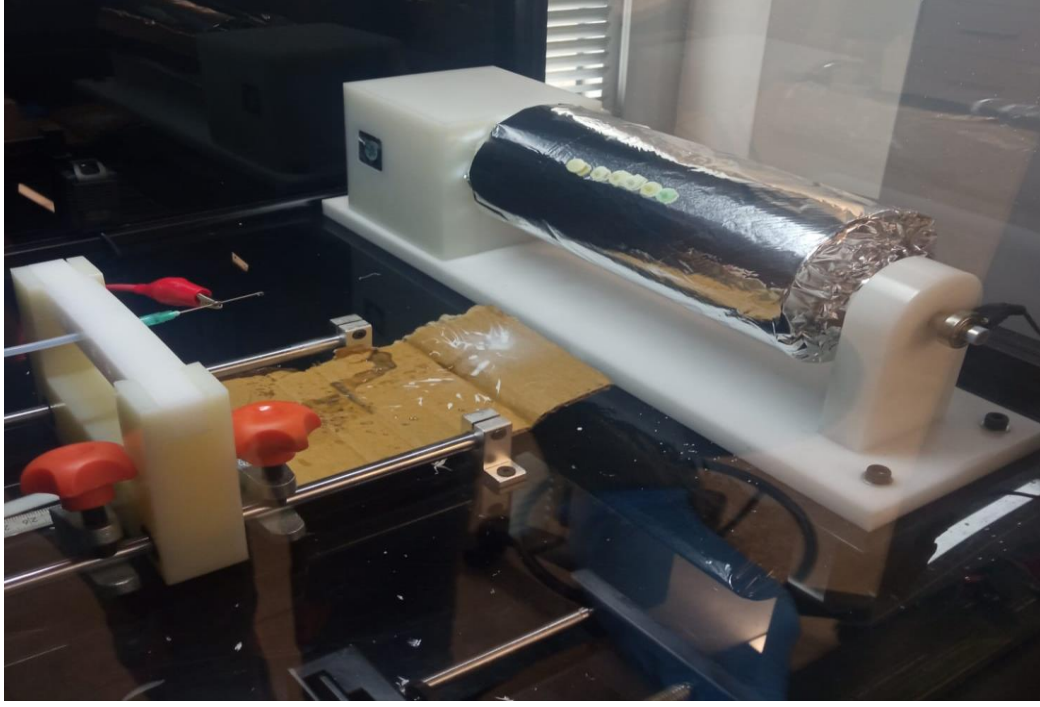
Yöntem uygulamasında sırasıyla; üretim aşaması ve üretilen malzemelerin hedeflenen amaca uygun olduğunun doğrulandığı karakterizasyon aşaması gerçekleştirilmiştir.

Nanolif kaplamaların üretimi için gerçekleştirilen ilk aşama, katı haldeki biyopolimerlerin elektroegirme işlemine uygun viskozitede hazırlanması amacıyla uygun çözücüler kullanılıp çözünmesi sağlanarak homojen sıvı hale getirilmesidir. Viskozite, elektroegirme işlemi için en önemli parametrelerden biridir. Bu çalışmada, uygun viskoziteye sahip homojen çözelti elde edilmesi amacıyla %10'luk oranda saf su ile hazırlanan PVA'lı çözeltiler manyetik karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. PVA çözeltisini hazırlamak için 5g PVA ile 50 mL su kullanılmıştır. Bu karışıma 0,05 g grafen eklenmiştir. Nanolif kaplamaların üretimi için kullanılan elektroegirme sisteminde; programlanabilir infüzyon pompası, cihaza yeterli yüksek gerilimi sağlayan güç kaynağı, 5 mL'lik enjektör ile 21 G küt uçlu iğne bulunmaktadır. Karıştırıcılar yardımıyla hazırlanan çözeltiler, 5mL'lik enjektörlere alınarak elektroegirme sistemindeki infüzyon pompasındaki uygun bölmeye yerleştirilmiştir. Literatür doğrultusunda belirlenen parametreler; 15 kV gerilim, 1 mL/sa akış hızı, 12 cm iğne ucu-iletken toplayıcı mesafesi olarak ayarlanmış ve en az 30 dk süreyle işlem uygulanmıştır [28]. Sistemin en önemli kısmından biri de iletken toplayıcıdır. Bu çalışmada iletken toplayıcı görevini yerine getirmek üzere iğnenin hedefindeki yüzey alüminyum folyo ile kaplanmıştır. (Şekil 1).



Şekil 1. Nanolif üretimi için kullanılan elektroegirme sistemi

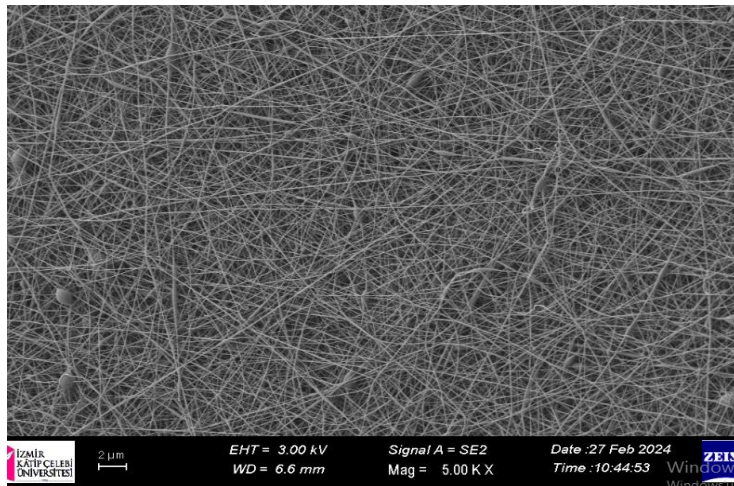
Üzerine grafen katkı PVA nanolif kaplanmasını hedeflediğimiz EKG elektrot sensörleri, alüminyum folyo üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. EKG Elektrot sensörlerinin kaplanması

III. BULGULAR

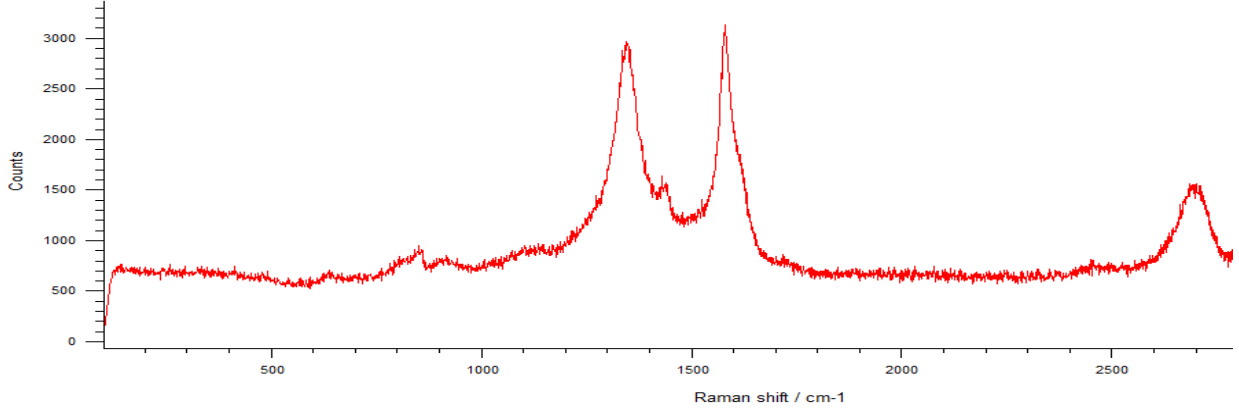
Grafen katkılı PVA ile gerçekleştirilen nanolif üretim çalışmalarında düzgün nanolif yapılar elde edildiği FEI Quanta 250 FEG taramalı elektron mikroskobu ile alınan görüntülerde görülmektedir (Şekil 3). SEM görüntülerinde nanoliflerin arasında grafen dağılımı görülmekle birlikte grafenin yapı içindeki varlığını kesinleştirmek ve teyit edebilmek için daha detaylı tetkiklere ihtiyaç duyulmuş, buna binaen Raman Spektroskopisi ve TG Analizi yöntemleri uygulanmıştır. Bu iki yöntem bize malzemede grafenin varlığını ve kullanılan grafenin oksitlenmemiş olduğunu göstermede yardımcı olmuştur. Ayrıca iletkenlik tespiti için IV ölçümü de yapılmıştır.



Şekil 3. Grafen katkılı PVA kompozitten elde edilen elektroçizme sonucunun SEM görüntüsü

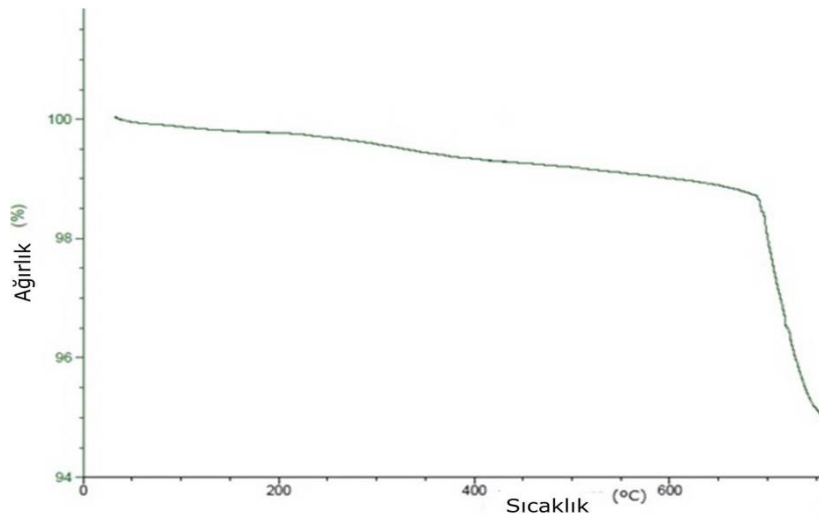
Raman spektroskopisi özellikle grafenle grafitin ayırt edilmesinde en doğru ve güvenilir sonucu veren yöntem olarak kullanılmaktadır [29]-[31]. Şekil 4'te Renishaw marka In via model eş odaklı Raman cihazında 0,43 mW enerjili, 785 nm dalga boylu lazerle yapılan spektral analiz görülmektedir.

Grafenin Raman spektroskopisi analizinde, 1350 cm^{-1} civarında görülen D-bandı piki tek omuz şeklinde ise malzemenin grafen olduğu, eğer birden fazla omuz var ise malzemenin çok katmanlı yani grafit olduğu anlamını taşır [32], [33]. 1580 cm^{-1} civarında görülen G-bandı piki, grafen yapısının ana spektral özelliğini taşır [33], [34].



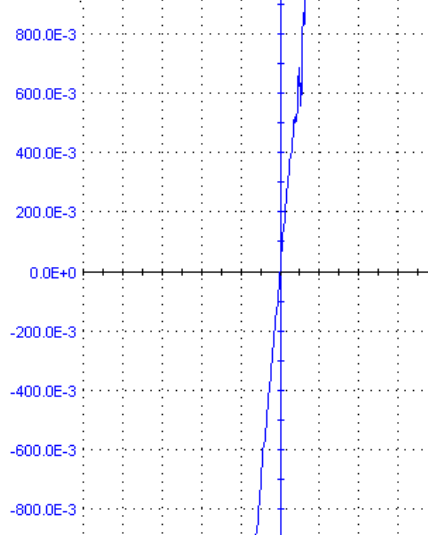
Şekil 4. Grafen katkılı PVA kompozitten elde edilen elektroçizme sonucunun Raman Spektroskopisi

Bu çalışma için grafenin oksidasyon işlemine tabi tutulmamış olması, iletkenlik özelliğini desteklemesi açısından oldukça önemlidir. Şekil 5'te görülen TGA grafiğinde yaklaşık 600°C 'ye kadar sabit giden termogram eğrisi grafenin karakteristik özellikleriyle uyum göstermektedir [35]-[37]. Bununla birlikte yapısındaki fonksiyonel grupların bozunmasına bağlı olarak kütle kaybının grafen oksitte 400°C civarında, grafende ise sahip olduğu yüksek termal stabilite sebebiyle 600°C civarında gerçekleştiği bilgisi [9], [35], [36] kullandığımız grafenin oksidasyon işlemine tabi tutulmadığını desteklemektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Grafen katkılı PVA kompozitten elde edilen elektroçizme sonucunun Termogravimetrik Analizi

İletkenlik özelliğinin tespitinde kullanılan en önemli yöntemlerden olan IV ölçümünde, uygulanan gerilimle geçen akım arasındaki ilişki grafiksel olarak incelenebilir. Bu grafikte, yatay eksen gerilimi, dikey eksen ise akımı temsil eder. Ohm kanunu göz önünde bulundurularak, eğimin yüksek olması; direncin düşük olduğu ve dolayısıyla iletkenliğin yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 6'da görülen IV grafiği, 4200-SCS Keithley cihazı ile alınan ölçümlerden elde edilmiştir.



Şekil 6. Grafen katkılı PVA kompozitten elde edilen elektroğirme sonucunun IV Grafiği

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Biyoyumlu polimer ve grafenden elde edilen kompozit malzeme ile EKG elektrot sensörü üretimi ve karakterizasyonu amaçlanan bu çalışmada grafen katkılı PVA kompozit, elektroğirme yöntemi ile nanolif haline getirilmiş ve EKG elektrot sensör kalıplarının üstü bu malzeme ile kaplanmıştır. Yapılan karakterizasyonlarda; Raman spektroskopisine göre malzemenin grafen olduğu, TG analizi ve IV ölçüm sonuçlarına göre de grafenin oksidasyon işlemine tabi tutulmamış olduğu ve iletkenliğinin yüksekliği görülmektedir. Bu çalışmadan elde edilen verilere göre; EKG elektrot sensörlerinde kullanılan Ag/Cl kaplamalara göre; gümüşten daha iletken bir malzeme olan grafenin kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. İlerleyen çalışmalarda sensörün diğer yüzeylerinin de kaplanması daha verimli sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Söz konusu çalışma için 3 boyutlu elektroğirme cihazı kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların olumlu olması göz önünde bulundurularak çalışmanın daha geniş kapsamlı bir proje haline dönüştürülme potansiyeline sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu çalışmanın en önemli tarafı; oksitlenmemiş grafen kullanılmasıdır. Çalışmaların çoğunda kolay bağ kurması sebebiyle okside edilmiş grafen kullanılmıştır fakat grafen okside edildiğinde iletkenlik özelliği azalmakta hatta yalıtkan bir malzeme haline gelmektedir. IV grafiği ile iletkenliğin yüksek olduğu görülmüş olmakla birlikte kullanılan grafenin saf grafen olduğunun yapılmış olan karakterizasyonlarla gösterilmesi de iletkenliğin yüksekliğini destekler niteliktedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma OSTİM Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: BAP202328

KAYNAKLAR

- [1] Novoselov, K.S., Geim, A.K., S.V. Morozov, S.V., Jiang, D., M. I. Katsnelson, M.I., Grigorieva, I.V., Dubonos, S.V., Firsov, A.A., “Two-Dimensional Gas of Massless Dirac Fermions in Graphene”, *Nature*, 438(7065), pp. 197-200. 2005
- [2] Liu, Y., Dong, X., Chen, P., “Biological and chemical sensors based on graphene materials”, *Chem Soc Rev*, vol. 41, pp. 2283-2307. 2012.
- [3] Wu, P., Qian, Y., Du, P., Zhang H., Cai, C., “Facile synthesis of nitrogen- doped graphene for measuring the releasing process of hydrogen peroxide from living cells”, *J Mater Chem*, vol. 22, pp. 6402-6412. 2012.
- [4] Tetsuka, H., Asahi, R., Nagoya, A., Okamoto, K., Tajima, I, Ohta, R., “Optically Tunable Amino-Functionalized Graphene Quantum Dots”, *Adv Mater*, vol. 24(39), pp.5333-5338. 2012.
- [5] Das, M.R., Sharma, R. K., Borah, S. C., Kumari, R., Saikia, R., Deshmukh, A.B., Shelke, M. V., Sengupta, P., Boukherroub, R., 2013, “The synthesis of citrate-modified silver nanoparticles in an aqueous suspension of graphene oxide nanosheets and their antibacterial activity”, *Colloid Surf B: Biointerfaces*, vol. 105, pp. 128-136. 2013.
- [6] Hu, S.-H., Chen, Y.-W., Hung, W.-T., Chen, I.-W. and Chen, S.-Y., “Quantum-Dot-Tagged Reduced Graphene Oxide Nanocomposites for Bright Fluorescence Bioimaging and Photothermal Therapy Monitored In Situ”, *Adv. Mater.*, vol. 24, pp. 1748–1754. 2012.
- [7] Lee, W.C., Lim, C.H., Shi, H., Tang, L.A., Wang, Y., Lim, C.T., Loh, K.P., “Origin of enhanced stem cell growth and differentiation on graphene and graphene oxide”, *ACS Nano*, vol. 5(9), pp. 7334-7341. 2011.
- [8] Rao, C.N.R., Sood, A.K., Subrahmanyam, K.S., Govindaraj, A., “Graphene: The new two-dimensional nanomaterial”, *Angew Chem Int Ed Engl*, vol. 48(42), pp. 7752-7777. 2009.
- [9] Stankovich, S., Dikin, D A, Dommett G H B, Kohlhaas K M, Zimney E J, Stach E A, Piner R D, Nguyen S T and Ruoff R S., “Graphene- based compositematerials”, *Nature*, vol. 442(7100), pp. 282-286. 2006.
- [10] Ang, P.K., Wang, S., Bao Q, Thong J T L and Loh K P, “High throughput synthesis of graphene by intercalation– exfoliation of graphite oxide and study of ionic screening in graphene transistor”, *ACS Nano*, vol. 3(11), pp.3587- 3594. 2009.
- [11] Tian, H.C., Liu, J.Q., Wei, D.X., Kang, X.Y., Zhang, C., Du, J.C., Yang, B., Chen, X., Zhu, H.Y., NuLi, N.Y., Yang, C.S., “Graphene oxide doped conducting polymer nanocomposite film for electrode-tissue interface”, *Biomaterials*, vol. 35(7), pp 2120-2129. 2014.
- [12] Zhang, H.B., Zheng W.G., Yan, Q., Yang, Y., Wang, J.W., Lu, Z.H., Ji, G.Y., Yu, Z.Z., “Electrically conductive polyethylene terephthalate/graphene nanocomposites prepared by melt compounding”, *Polymer*, vol. 51(5), pp. 1191– 1196. 2010
- [13] Kim, Y-J., Kim, Y., Novoselov, K., Hong, B. Y., “Engineering electrical propertiesof graphene: chemical approaches”, *2D Mater*, vol. 2, p.042001. 2015.
- [14] Sreeprasad, T. S. and Berry, V., “How Do the Electrical Properties of Graphene Change with its Functionalization?”, *Small*, vol. 9, pp. 341–350. 2013.
- [15] Mokhtar M.M, Abo El Enein S.A., Hassaan M.Y., Morsy M.S., Khalil M.H., “Thermally Reduced Graphene Oxide: Synthesis, Structural and Electrical Properties”, *Int J Nanoparticles Nanotech*, vol. 3, 008p. 2017.
- [16] Javorka, M.; Krohova, J.; Czipelova, B.; Turianikova, Z.; Lazarova, Z.; Wiszt, R.; Faes, L., “Towards understanding the complexity of cardiovascular oscillations: Insights from information theory”, *Comput. Biol.Med.*, vol. 98, pp. 48–57. 2018.
- [17] Serhani, M.A.; T El Kassabi, H.; Ismail, H.; Nujum Navaz, A., “ECG Monitoring Systems: Review, Architecture, Processes, and Key Challenges”, *Sensors*, vol. 20, p. 1796. 2020.
- [18] Acharya, V. *Improving Common-Mode Rejection Using the Right-Leg Drive Amplifier*, Application Report, SBAA188- Texas Instruments: Dallas, TX, USA, 2011.
- [19] Sekitani, T; Yokota, T; Kuribara, K; Kaltenbrunner, M; Fukushima, T; Inoue, Y; Sekino, M; Isoyama, T; Abe, Y; Onodera, H; Someya, T., “Ultraflexible organic amplifier with biocompatible gel electrodes”, *Nature Communications* vol. 7, 11425. 2016.
- [20] Koo JH, Jeong S, Shim HJ, Son D, Kim J, Kim DC, Choi S, Hong JI, Kim DH., “Wearable Electrocardiogram Monitor Using Carbon Nanotube Electronics and Color-Tunable Organic Light-Emitting Diodes”, *ACS Nano*, vol. 11(10), pp.10032-10041. 2017.
- [21] Xu, S., Dai, M., Xu, C. *et al.*, “Performance Evaluation of Five Types of Ag/AgCl Bio-Electrodes for Cerebral Electrical Impedance Tomography”, *Ann Biomed Eng*, vol. 39, pp. 2059–2067. 2011.
- [22] Baek, J.Y.; An, L.H.; Choi, J.M., “Flexible polymeric dry electrodes for the long-term monitoring of ECG”, *Sens. Act. A Phys.* vol. 143, pp. 423–429. 2008.
- [23] Liang, J, Wang, Y., Huang, Y., Ma, Y., Liu, Z., & Cai, J., “Electromagnetic interference shielding of graphene/e.oxy composites”, *Carbon*, vol. 47, pp. 922–5. 2009.
- [24] Wu, Q., Xu, Y. X., Yao, Z. Y., Liu, A. R., & Shi, G. Q., “Supercapacitors based on flexible graphene/polyaniline nanofiber composite films”, *ACS Nano*, vol.4, pp. 1963–1970. 2010.
- [25] (2024) IUPACwebsite [Online]. Available; <https://iupac.org/materialschemistryedu/computing/conductors/#:~:text=Graphene%20is%20another%20material%20that,matal%20on%20the%20periodic%20table>

- [26] Lee, J.W., Yun, K.S., “ECG Monitoring garment using conductive carbon paste for reduced motion artifacts”, *Polymers*, vol. 9, p. 439. 2017.
- [27] Liu, B., Luo, Z., Zhang, W., Tu, Q., Jin, X., “Carbon nanotube-based self-adhesive polymer electrodes for wireless long-term recording of electrocardiogram signals”, *J. Biomater. Sci. Polym. Ed.*, vol. 27, pp. 1899–1908. 2016.
- [28] Abedalwafa, M., Wang, F., Wang, L., “Biodegradable poly-epsilon- caprolactone (PCL) for tissue engineering applications: a review”, *Rev Adv Mater Sci.*, vol. 34, pp. 123–140. 2013.
- [29] Bokobza, L., Bruneel, J-L., Couzi, M., “ Raman spectroscopy as a tool for the analysis of carbon-based materials (highly oriented pyrolytic graphite, multilayer graphene and multiwall carbon nanotubes) and of some of their elastomeric composites”, *Vibr Spec*, vol. 74, pp. 57-63pp. 2014.
- [30] Kuilla, T., Bhadra, S., Yao, D., Hoon Kim, N., Bose, S., Lee, JH., “Recent advances in graphene based polymer composites”, *Prog Polym Sci*, vol. 35(11), pp. 1350-1375. 2010.
- [31] Sazali, N.E.S., Deraman, M., R. Omar, M. A. R. Othman, M. Suleman, S. A. Shamsudin, N. S. M. Tajuddin, M. F. Y. M. Hanappi, E. Hamdan, N. S. M. Nor, N. H. Basri, “Preparation and structural characterization of turbostratic-carbon/graphene derived from amylose film”, *AIP Conference Proceedings*, 1784, 040009. 2016.
- [32] Vidano, R. P., Fischbach, D. B., Willis, L. J., Loehr, T. M., “Observation of Raman band shifting with excitation wavelength for carbons and graphites”, *Solid State Com*, vol. 39(2), pp. 341-344. 1981.
- [33] Ferrari, A.C., Meyer, J.C., Scardaci, V., Casiraghi, C., Lazzeri, M., Mauri, F., Piscanec, S., Jiang, D., Novoselov, K.S., Roth, S., Geim, A.K., Raman Spectrum of Graphene and Graphene Layers, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 97, 187401p. 2006.
- [34] Gayathri, S., Jayabal, P., Kottaisamy, M., Ramakrishnan, V., “Synthesis of few layer graphene by direct exfoliation of graphite and a Raman spectroscopic study”, *AIP Adv*, vol. 4(2), 027116p. 2014.
- [35] Eswaraiah, V., Aravind, J., Ramaprabhu, S., “Top down method for synthesis of highly conducting graphene by exfoliation of graphite oxide using focused solar radiation”, *J Mater Chem*, vol. 21, pp. 6800-6803. 2011.
- [36] Sharma, P., Darabdhar, G., Reddy, T.M., Borah, A., Bezboruah, P., Gogoi, P., Hussain, N., Sengupta, P., Das, M.R., “Synthesis, characterization and catalytic application of Au NPs-reduced graphene oxide composites material: an eco-friendly approach”, *Catal. Commun.* vol. 40, pp. 139–144. 2013.
- [37] Assal, M.E., Shaik, M.R., Kuniyil, M., Khan, M., Al-Warthan, A., Alharthi, A.I., Varala, R., Siddiqui, M.R., Adil, S.F., “Ag₂O nanoparticles/MnCO₃, -MnO₂ or -Mn₂O₃/highly reduced graphene oxide composites as an efficient and recyclable oxidation catalyst”, *Arabian J Chem*, vol. 12(1), pp. 54-68. 2019.