

# TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

BİYOTEKNOLOJİ İNOVASYON YARIŞMASI

PROJE DETAY RAPORU

FİKİR KATEGORİSİ

TAKIM ADI

GraPhone

PROJE ADI

Nanokompozit Akıllı Stent Tasarımı

BAŞVURU ID

49545

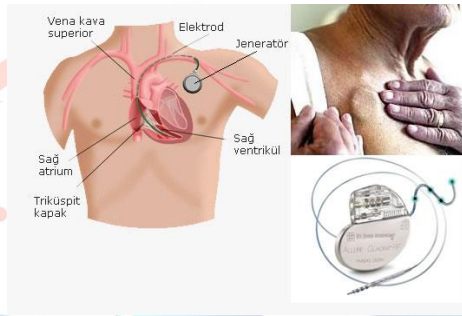
KATEGORİ

FİKİR

## İçindekiler

### 1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Kardiyovasküler hastalıklar, dünya çapında önde gelen ölüm nedenlerinden biridir ve hastalığın en önemli klinik belirtilerinden biri kalp yetmezliğidir. Bununla birlikte, kalp ritim bozukluğu ve kalp yetmezliği oldukça önemli ve hayati risk oluşturan sağlık problemlerinin başında gelmektedir. Bu tür kalp ileti sistemi problemlerinin tedavisinde, çoğunlukla sol göğüs üzerinde derinin altına bir cep yapılarak yerleştirilen kalp pilleri kullanılmaktadır. Bu tip cihazlar, kalpte hayati risk oluşturabilecek bir ritim bozukluğu meydana geldiğinde, uygun elektrik akımı veya şok vererek, ritmi düzeltebilen ve hayat kurtarabilen çok önemli cihazlardır. Kalp pillerinin ömürleri hastanın ihtiyacına ve pilin özelliğine bağlı olarak ortalama 4-6 yıl kadardır. Kalp pillerinin güncel fiyatları ise değişen kur değerlerine bağlı olarak 15000 ile 20000 TL arasındadır. Kalp pili ömrü azaldığı durumlarda piller bitmeden, bir cerrahi operasyon yardımıyla değiştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 1: Kalp pili şematik gösterimi.

Projemizde kalp pili bulunan kişilerde, kalp pilinin ömrünü artırmak adına damarda oluşan kan basıncını kullanarak kendi kendine elektrik enerjisi üretebilen ve ürettiği bu enerjiyle kalp pilini besleyebilecek bir akıllı stent tasarımı geliştirilecektir. Bu amaç doğrultusunda tasarımımızda piezoelektrik malzemeler ve indirgenmiş grafen oksit (rGO) katkılı nanoliflerin bir arada kullanıldığı, polimer matris nanokompozit yapı ile kaplanmış akıllı stentler geliştirilecektir. İndirgenmiş grafen oksit, polimer ve piezoelektrik kompozit malzeme elektrospinning yöntemi ile stent üzerine kaplanacak ve damar hareketi ile birlikte oluşan basıncın etkisiyle elektrik akımı üretilen olacaktır. Oluşturulan nanokompozit kaplı akıllı stentin mevcut kullanılan kalp pillerini besleyerek ömrünün artırılması amaçlanmıştır.

### 2. Problem/Sorun:

Kalp yetmezliği (KY) ciddi ve günden güne artış gösteren bir halk sağlığı problemidir ve dünya çapında oldukça yaygın bir hastalıktır. Günümüzde kalp yetmezliğinin görülme sıklığı, yaşlanan nüfus ve çeşitli genetik faktörler nedeniyle orantısız olarak artmaktadır. Bu durum, hastaneye yatış oranlarında ve dolayısıyla sağlık bakım maliyetlerinde daha fazla artışa neden olmaktadır (Savarese ve Lund, 2017). Kalp yetmezliği kalbin kanı pompalaması ve/veya doldurması yeteneğinin azalması ile karakterize edilmektedir (Coronel vd., 2001). Kalp yetmezliği görülen hastalarda kalp ritmi bozulur ve kalp yeterli düzeyde kasılamaz. Bu durum nabzın gereğinden fazla yavaşlamasına, hatta kalbin durmasına sebep olabilmektedir.

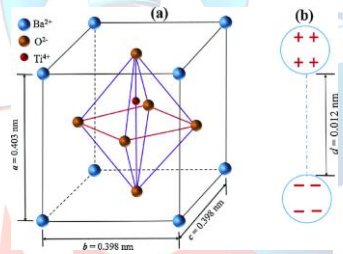
Kalp yetmezliğinin tedavisi için kalp pili gibi implante edilebilir elektronik kardiyak cihazları, dünya çapında kullanılmaktadır. Kalp pilleri, elektriksel uyarılarla gerektiği anlarda kalbin işlevini yerine getirmesini sağlayan ve farklı rahatsızlıklara göre tasarlanmış türleri olan cihazlardır. Fakat hastalar için hayati öneme sahip olan bu cihazların kısıtlı ömürleri hastalar için kritik öneme sahiptir. Kullanılan kalp pillerinin, türüne ve tedavi edilecek kalp rahatsızlığına göre 4-6 yıl arasında değişen sınırlı ömürlerinin olması, hastayı olumsuz yönde etkilemektedir. Hastaların sürekli olarak pil ömrünün sonunda veya pillerin arızalanması durumunda kalp pillerinin cerrahi bir operasyonla değiştirilmesi gerekmektedir. Bu durum hastayı hem bedenen hem de psikolojik

olarak yıpratmakta ve maliyetli bir işlem olmaktadır. Dolayısıyla cerrahi operasyonlarının azaltılması hastaların yaşam kalitesini artırmada oldukça önem arz etmektedir ve bu problemin önlenmesi için kalp pilinin ömrünün artırılması gerekmektedir.

### 3. Çözüm

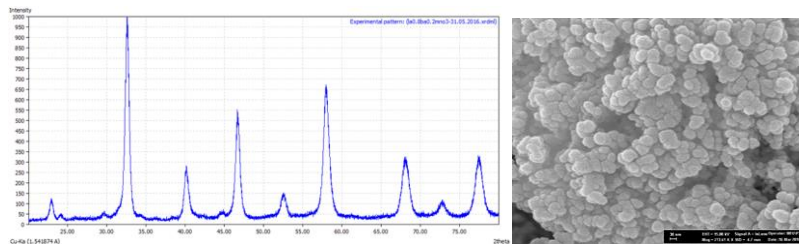
Piezoelektrik malzemeler, mekanik stres altında elektrik üretebilen malzeme grubudur. Bu malzemeler, mekanik bir enerjiyi elektriğe veya tam tersi bir durum olan elektrik enerjisini de mekanik enerjiye çevirebilme özelliğine sahiptir. Piezoelektrik etki, mekanik olarak bir kuvvet uygulandığında malzemede elektriksel bir potansiyel farkın oluşmasıdır. Bu mekanizma ile ortaya çıkan potansiyel farkın kaynağı malzemede moleküler kristal yapının bir simetri merkezine sahip olmamasıdır. Mekanik strese maruz kalmayan bir piezoelektrik kristaldeki yükler (elektrik dipol momentleri), simetrik olarak düzenlenmemiş olsalar da denge halinde bulunurlar. Uygulanan mekanik stres ile kristaldeki atomların birbirine uzaklığı değişir ve pozitif/negatif yük dengesi bozulduğu için net elektrik yükler oluşur. Oluşan bu yükler sayesinde kristalin iki yüzeyinde karşıt voltaj oluşumu gözlemlenir (Akgün, 2018).

Piezoelektrik malzemelere örnek olarak, Kurşun zirkonat titanat (PZT), Baryum titanat ( $BaTiO_3$ ) ve Lityum niyobat verilebilir. Baryum titanat, piezoelektrik özelliklere sahip bir ferroelektrik seramik malzemedir. Kurşun zirkonat titanat esaslı malzemeler daha üstün ferroelektrik, piroelektrik ve piezoelektrik özelliklere sahip olmasına rağmen, kurşun ve kurşun oksit içerdikleri için çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilere sahiptir. **Bu nedenle, projemizde kullanılması planlanan Baryum titanat, kurşun içermeyen piezoelektrik özellikleri tanımlanmış en iyi malzeme olmasının yanı sıra, polimer malzeme içinde kolay dağılarak kompozit yapıya uyum sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir (Şekil 2).** Baryum titanat kurşun içermediği gibi kimyasal ve mekanik olarak kararlı olması, yüksek dielektrik sabiti ve düşük dielektrik kaybı nedeniyle kapasitör, optiksel hafıza, enerji depolama aygıtları, termistör gibi birçok elektronik, elektromekanik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Akgün, 2018).



Şekil 2: Projemizde üretilecek olan perovskite yapısına sahip  $BaTiO_3$ 'ün birim hücresi.

Projemizde kullanılmak üzere  $BaTiO_3$  bileşiği, ekibimizin uzun süredir deneyimlediği  $ABO_3$  kimyasal formülasyonuna sahip perovskite bileşiklerinden olup, üretim yöntemi olarak Sol-Jel yöntemi ile üretilmesi planlanmıştır. Ekibimiz tarafından Sol-Jel yöntemi ile üretilen perovskite tipi  $La_{0.8}Ba_{0.2}MnO_3$  nanoparçacıklarına ait ön çalışma sonuçları Şekil 3'te verilmiştir.

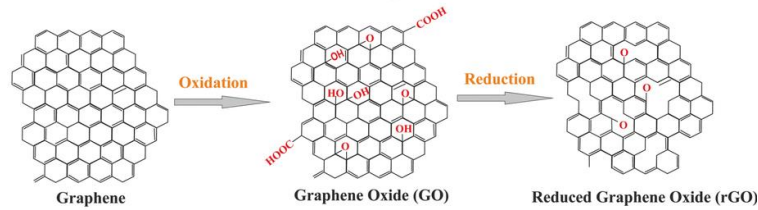


Şekil 3: Sol-Jel yöntemi ile hazırlanmış Perovskite tipi  $La_{0.8}Ba_{0.2}MnO_3$  nanoparçacıklarına ait ön çalışma sonuçları.

2004 yılında keşfiyle beraber grafen üzerine birçok çalışma yapılmış ve grafenin yapısı ve özellikleri aydınlatılmaya çalışılmıştır. Grafen, karbon atomlarının altıgen düzende bir araya gelmesi sonucu oluşan grafit malzemesinin yalnızca bir atom kalınlığında bulunan halidir. Grafen,

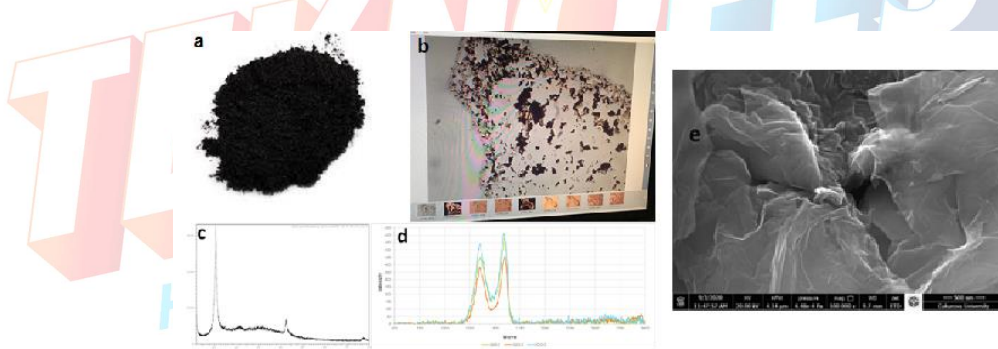


iki boyutta çok sayıda atoma sahip olmasına rağmen, üçüncü boyutta sadece bir katman karbon atomu içermesinden dolayı bilinen en üstün yüzey/ağırlık oranına sahiptir. Bilinen altın ve gümüş malzemelerinden yaklaşık 100 kat daha iyi iletkenidir. Tek tabaka grafen yüzey için  $100.000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  'den daha yüksek mobilité ve  $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  mertebesinde bir yük taşıyıcı yoğunluğuna sahiptir. Ayrıca şu ana kadar belirlenmiş en dayanıklı malzemedir. Çekme dayanımı, 130000 MPa ile normal çeliğin çekme dayanımından (300 MPa) yaklaşık 400 kat daha fazladır. Bunların da ötesinde tek bir atom kalınlığında olduğu için çok hafif ve esnek bir malzemedir. Bir metrekaresinin ağırlığı sadece 0.77 mg iken yoğunluğu da  $2 \text{ gcm}^{-3}$  'dür (Tiyek, 2016).



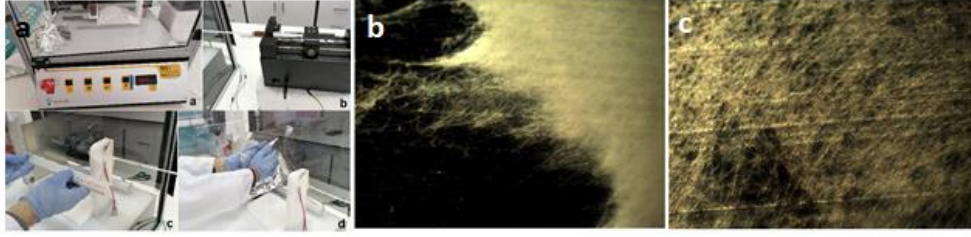
Şekil 4: Grafen ve türevleri.

Grafen oksit (GO) ve indirgenmiş grafen oksit (rGO) grafenin türevleridir (Şekil 4). Grafite oksidasyon işlemi ile fonksiyonel gruplar kazandırılmakta ve böylece hidrofilik özellikli GO sentezlenmektedir. Elde edilen GO'nun indirgeyiciler ile reaksiyonu sonucunda hidrofobik özellikli rGO elde edilmektedir. Bu malzeme bol oksijenli, hidroksil, epoksit, karbonil ve karboksilik fonksiyonel gruplar içeren grafen türevli tabakalardan oluşmaktadır (Kotov, 2006). Karbon/Oksijen (C/O) oranı arttıkça rGO yapısı, özellikleri bozulmamış grafene daha çok benzemektedir ve neredeyse grafen kadar iyi olan mükemmel elektriksel iletkenlik göstermektedir. Yapılan kan uyumluluğu çalışmalarında rGO ile direkt temas eden kan hücrelerinde rGO miktarı arttıkça hemoliz oranının güvenli aralık (%0,08-%0,1) içinde kaldığı belirlenmiştir (Nalvuran, 2016). Biyouyumluluğu sayesinde rGO biyomedikal alanda birçok çalışmada kullanılmıştır. Projemizde rGO, Hummers yöntemi ile üretilen olup ekibimizin yapmış olduğu ön çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir. Proje kapsamında rGO-biyopolimer-piezoelektrik kompozit yapısı elde edilerek elektrospinning yöntemiyle stent üzerine homojen bir şekilde kaplanması planlanmaktadır.



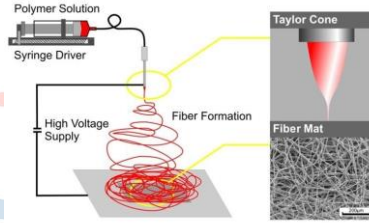
Şekil 5: Ekibimiz tarafından Hummers yöntemiyle üretilen rGO'ye ait a) Toz resmi b) Optik mikroskop görüntüleri c) Xrd sonucu d) Raman spektroskopisi e) Taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri.

Nanolifler, genel olarak bir mikrondan daha düşük çapa sahip olan lifler olarak tanımlanmaktadır. Nanoliflerden oluşan yüksek yüzey alanına sahip ve gözenekli yüzeyler, düşük özgül ağırlık, yüksek biyouyumluluk ve mukavemet, pürüzsüz yapısı ve kaplama özellikleri sebebiyle pek çok alanda kullanım olanağına sahiptir. Nanolif üretim yöntemleri arasında elektrostatik yöntemle elde edilen lifler, istenilen tüm özellikleri sağlayabilmekte ve lif inceliği kontrol altında tutulabilmektedir. Bu yöntemde, polimer çözeltisi veya lif eriyiğinden lif eldesi için elektrostatik kuvvet kullanılmaktadır. Elektrostatik kuvvetler kullanılarak polimerlerden filament lif üretilme işlemine elektrospinning yöntemi denilmektedir. (Şekil 6)



**Şekil 6:** a) Ekibimiz tarafından elektrospinning yöntemiyle nanolif üretimi. b-c) Ekibimiz tarafından elektrospinning yöntemiyle üretilen nanoliflerin dark field optik mikroskop görüntüleri.

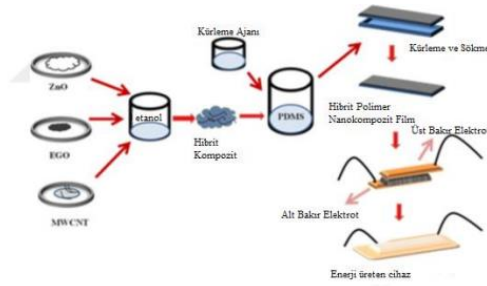
5 kV ile 30 kV arasındaki elektrik akımı, bir polimerin yüzey gerilimini yok etmektedir. Herhangi bir yüzey gerilimine sahip olmayan polimer çözeltisi, özel tasarlanmış ve çok ince yapıdaki püskürtme düzeneğinden, karşısına yerleştirilmiş olan topraklanmış iletken hedefe doğru püskürtülmektedir. Lif topağı şeklinde topraklanmış yüzeyde biriken lifler ise sürekli olarak çekilmektedir. Böylece elektrospinning yöntemi, polimerlerin önce çok yüksek voltajlı elektrik akımı ile yüklenmesi, daha sonra da bir düzenekten topraklı bir plakaya doğru akması esnasında katılaşması ve lif halini alması şeklinde özetlenebilmektedir(Şekil 7).



**Şekil 7:** Elektrospinning Yöntemi.

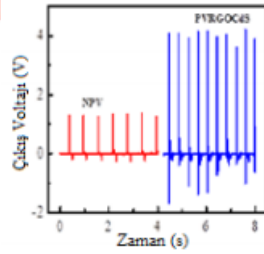
Poliviniliden diflorür (PVDF), piezoelektrik, piroelektrik ve ferroelektrik özelliklere sahip, yarı kristalin yapıda ve merkezi simetrik olmayan, daimi elektrik dipolleri gösteren bir polimerdir. Poliviniliden diflorür ilk keşfedilen polimer esaslı piezoelektrik malzeme olup biyotıp, enerji üretimi ve depolama, sensörler gibi geniş uygulama alanları bulunmaktadır. Piezoelektrik polimerler seramikler gibi stres altında elastik deformasyona uğramadıklarından kuvvet, basınç, titreşim gibi mekanik uygulamalar için uygundur. Poliviniliden diflorürün piezoelektrik gerilme katsayısı piezoelektrik seramiklerden daha yüksek olup mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirme kabiliyeti çok üstündür (Akgün, 2018). Ayrıca PVDF uygun üretim teknikleri kullanıldığında polarizasyon işlemi gerektirmediği için projemize en uygun malzeme olarak tercih edilmiştir. Yapılan literatür araştırmalarında farklı polimer nanoliflerin çeşitli nano katkı malzemeleri ile kendiliğinden enerji üreten piezoelektrik nanojeneratörlerde kullanımı üzerine çalışmaların mevcut olduğu görülmüştür. Elektrospinning tekniğinin bu nanojeneratör üretiminde kullanılması nanojeneratörlere lifsi yapısından dolayı esneklik, gözenekli yapısından dolayı da ince filmlere göre daha yüksek performans gösterdiği bulunmuştur. Ayrıca elektrospinning sürecince piezopolimere uygulanan elektrik alan ve mekanik oryantasyon nedeniyle piezopolimerlere voltaj üretim karakteristiği katan  $\beta$  ve  $\gamma$  faz oluşumu tetiklenmektedir.

Yapılan bir çalışmada, kütlece %20 ZnO nanotüp, %0,5 indirgenmiş grafen oksit ve %0,5 karbon nanotüp ile hazırlanmış hibrit toz, Polidimetilsiloksan (PDMS) ile kompozit haline getirilmiş ve bakır folyo ile üst ve alt elektrotları oluşturulmuştur (Şekil 8). İletken katkı, yalıtkan PDMS matris içerisinde üretilen voltajın bakır elektrotlara ulaştırılması amacıyla kullanılmıştır (Rajeev vd., 2017).



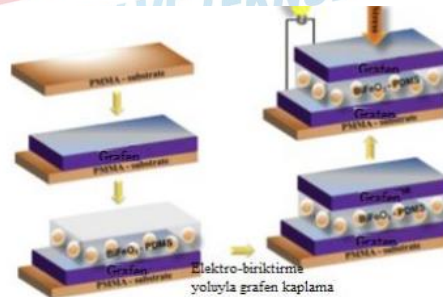
**Şekil 8:** Hibrit piezoelektrik nanomalzeme ile piezoelektrik nanojeneratörün üretim şeması (Rajeev vd., 2017).

Roy ve Mandal tarafından yapılan bir çalışmada PVDF nanolifler üretilerek, nanoliflere katkı olarak kütlece %0,25 oranında CdS ile fonksiyonelleştirilmiş indirgenmiş grafen oksit (CdS/rGO) ilave edilerek ve piezoelektrik etkinin yoğunluğunu artırılması hedeflenmiştir. Yapılan piezoelektrik ölçümler sonucunda CdS/rGO katkılı PVDF nanolifler, katkısız nanoliflere kıyasla 3 kattan fazla bir performans göstererek yaklaşık 4 V gerilim üretmiştir. (Şekil 9).



**Şekil 9:** Katkılı (mavi grafikler) ve katkısız (kırmızı grafikler) nanoliflerin piezoelektrik ölçüm sonuçları. (Roy ve Mandal, 2017)

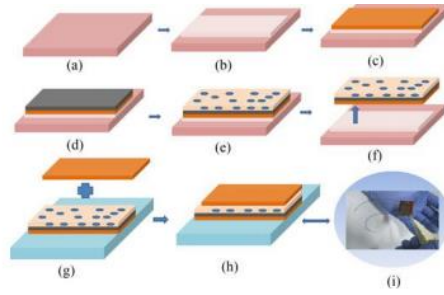
Piezoelektrik nanojeneratörlerde piezopolimer ve metal oksit kullanımının haricinde perovskite olarak adlandırılan kompleks metal oksitler de kullanılmaktadır. Ganesh ve çalışma arkadaşlarının, 2017 yılında yayınladığı çalışmada, BiFeO<sub>3</sub>/PDMS kompozit reçine hazırlamış ve bu filmi piezoelektrik tabaka olarak kullanmıştır. Piezoelektrik katmanın altına grafen kaplı polimetil metakrilat (PMMA) levha kullanılmıştır. BiFeO<sub>3</sub>/PDMS reçine PMMA elektrodun üzerine döner kaplama metodu ile kaplanmıştır. Üst elektrot olarak da piezoelektrik katmanın üzerine elektro-biriktilme metodu ile grafen kaplanmıştır (Şekil 10). Nanojeneratöre düzenli basınç ve düzensiz basınç uygulanarak iki ayrı test uygulanmış ve 0,4 V gerilim ölçülmüştür.



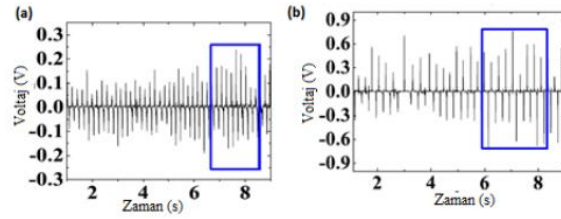
**Şekil 10:** Grafen elektrotlu piezoelektrik nanojeneratörlerin üretiminin şematik gösterimi (Ganesh vd., 2017).

İnsan hareketlerinden enerji kazanımı amacıyla yapılmış bir çalışmada, UV ışık ile kürlenebilir bir epoksi türü olan SU-8 ile iki farklı piezoelektrik inorganik (ZnO ve BaTiO<sub>3</sub>) nanoparçacıklardan ayrı ayrı kompozit film üretilmiştir (Şekil 12). Kompozit filmler, bakır folyo üzerine döner kaplama metodu ile kaplanarak, ardından ön ısıtma ve UV kılma aşamaları ile çapraz bağlanma gerçekleştirilmiştir (Şekil 11). Bu cihazlardan alınan voltaj değerleri ZnO kullanılan cihaz için 237 mV, BaTiO<sub>3</sub> kullanılan cihaz için 736 mV olarak kaydedilmiştir (Kandpal vd., 2017).



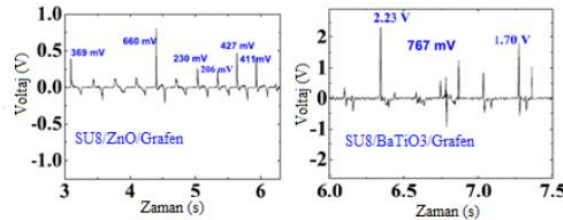


**Şekil 11:** Nanojeneratör için üretim süreci aşamalarının çizimi **a)** Yüzey **b)** Cu folyoyu nanojeneratörün alt elektroduna yapıştırmak için çift taraflı yapışkan bant **c)** Cu folyo **d)** SU8-2005'in pasifleştirme katmanı **e)** Piezoelektrik nanokompozit ince filmin spin kaplaması **f-g)** Filmin alt tabakadan Kapton esnek tabakasına aktarılması **h)** Cu üst elektrotun yapıştırılması **i)** Fabrikasyon SU-8 kompozit nanojeneratörün bir resmi (Kandpal vd., 2017).



**Şekil 12:** SU-8 içerisinde **a)** ZnO katkılı nanojeneratörlerin ve **b)** BaTiO<sub>3</sub> katkılı nanojeneratörlerin piezoelektrik voltaj çıkışları (Kandpal vd., 2017).

Aynı kompozit filmlere 1:10 oranında grafen nano plaka ilave edilerek aynı metotlar ile yeni nanojeneratör cihazlar üretilmiştir. Bu cihazlarla yapılan piezoelektrik testlerin sonucunda ise performansın yaklaşık 3 kat arttığı gözlenmiştir. SU8/ZnO/grafen nanojeneratör maksimum 600 mV, SU-8/BaTiO<sub>3</sub>/grafen nanojeneratör ise maksimum 2,23 volt üretmiştir (Şekil 13).



**Şekil 13:** Grafen katkısı yapılmış nanojeneratörlerin piezoelektrik ölçümlerine ait grafikler (Kandpal vd., 2017).

Abu Bakar ve ark.'larının yaptığı bir çalışmada, piezoelektrik malzeme olarak bir piezopolimeri (PVDF) ve bir perovskit bileşiği (BaTiO<sub>3</sub>) birlikte kullanmıştır. Piezoelektrik ölçümler sonucunda tepeden tepeye (peak-to-peak) maksimum çıkış voltajı numunede 1,29 V olarak ölçülmüştür (Abu Bakar vd., 2017).

Ömer Faruk Ünsal tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışması kapsamında, kendi enerjisini üreten sistemlerde kullanılacak, rGO, polianilin (PANI) ve PANI ile fonksiyonelleştirilmiş indirgenmiş grafen oksit (rPANIGO) içeren polivinildenflorür (PVDF) piezoelektrik nanojeneratörler geliştirilmiştir. Çalışmada, iletken malzemeler piezoelektrik nanolifli malzeme içerisine katkılanmıştır. Piezoelektrik nanojeneratörde, esnek elektrot elde edilebilmesi için; rGO Hummers yöntemi ile üretilirken, anilin ise yerinde polimerizasyon yöntemiyle elde edilmiş ve aynı metot ile anilin, grafen oksit varlığında sentezlenip rPANIGO hibrit malzemesi üretilmiştir. Piezoelektrik katman olarak, elektrospinning cihazında, PVDF nanolifli yapı üretilmiş ve iletken malzemeler, belirlenen miktarlarda nanolif içerisine entegre edilmiştir. Oluşturulan nanolif yapı iki metal plaka arasına alınmış ve bu plakalara cihazdan çıkarılan elektrotlardan voltaj uygulanarak polarlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Polarlama işleminden sonra nanolifler, iç yüzeyi alüminyum folyo kaplı ve alüminyum yüzeyden elektrik kontağı alınmış PDMS filmler arasına alınarak nanojeneratör oluşturulmuştur (Şekil 14).



Şekil 14: Alüminyum elektrotlu PDMS filmlerin görüntüsü (Ünsal, 2018).

Nanojeneratörden alınan piezoelektrik ölçümler sonucunda herhangi bir işlem uygulanmamış saf PVDF nanolif için maksimum voltaj 1,92 V olarak ölçülürken, katkılı nanoliflerde maksimum gerilim %1,0 rGO katkılı numunede 7,84 V, %0,5 rGO katkılı numunede 1,84 V ve %0,1 rGO katkılı numunede 3,44 V ölçülürken %1,0 rPANIGO dolgulu nanoliflerde 5,0 V olarak elde edilmiştir.

**Bu literatür bilgileri ışığında projemizde, elektrospinning yöntemi kullanılarak piezoelektrik özelliğe sahip ve biyoyumlu bir polimer malzeme olan PVDF matrikse, polimerin gözenekli yapısından yararlanılarak iletkenliği arttırmak adına rGO ve piezoelektrik özelliğini arttırmak için BaTiO<sub>3</sub> nanoparçacıklar katkılanacaktır.** Oluşturulan bu nanokompozit yapının alt ve üst yüzeyine kaplanacak Polianilin (PANI) malzemesi ve rGO ile iletken elektrot yapısı oluşturulacaktır. Elde edilen bu yapıya biyoyumluluk özelliği gösteren ve aynı zamanda yalıtkanlık özelliği de bulunana PMMA yapısı kaplanacaktır.

Oluşturulan bu nanokompozit yapı stent yüzeyine kaplanarak akıllı stent sistemi geliştirilecektir. Nanokompozit katkılı stent yapısında bulunan BaTiO<sub>3</sub> katkılı PVDF piezoelektrik malzeme, damar içinden geçen kanın meydana getirdiği basınçla beraber stent yüzeyinde bir elektrik akımı meydana gelmesini sağlayacaktır. Kullanılan rGO'nun ve PANI'nin iletken yapısı sayesinde stent yüzeyinde meydana gelen elektrik akımının kalp piline aktarılması yoluyla mevcut kullanılan kalp pillerinin ömrünün artırılması hedeflenmiştir.

## 4. Yöntem

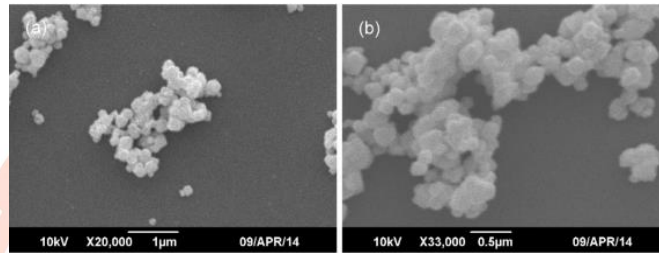
### 4.1 Elektrospinning Yöntemi ile Poliviniliden Diflorür (PVDF) Polimer Nanolif Üretimi

Proje önerimizde nanolif üretimi için elektrospinning yöntemi kullanılacaktır. Bu yöntemde nanolif üretmek amacıyla kütlece 2:1 oranında Aseton/Dimetilformamid (DMF) karışımı hazırlanacak ve bu karışımda kütlece %10 polimer içerecek miktarda PVDF çözülecektir. Çözelti hazırlama işlemi 50 °C'de inkübatörde gerçekleştirilecek ve oda koşullarına kadar soğutulduktan sonra üretime başlanacaktır (Ünsal, 2018). Daha sonra elde edilen polimer çözelti stente kaplanmadan önce elektrik üretim analizlerinin yapılabilmesi ve üretim optimizasyonlarının belirlenmesi için ilk olarak elektrospinning cihazında bulunan ucu açık bir şırıngaya yerleştirilerek uygulanan elektrik alan şiddetiyle toplayıcıya püskürtülecektir. Toplayıcı üzerinde lif birikimi sonucunda ise biyoyumlu PVDF polimer nanolifleri elde edilecektir. Elektrospinning ile elde edilen ipliksi fiber yapılar kolay işlenebildiği, pürüzsüz ve biyoyumlu özellik sergilediği için özellikle biyotıp ve doku mühendisliğinde stentlerde, optik uygulamalarda, kemik rejenerasyonunda, yapay böbrek geliştirilmesinde, yara dolgu malzemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretilen PVDF'nin yapısal analizi için Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) ve X-Ray Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) yöntemleri kullanılacaktır.



## 4.2 Sol-Jel Yöntemi İle Baryum Titanat (BaTiO<sub>3</sub>) Üretimi

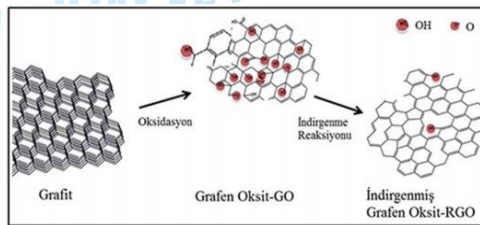
Baryum titanat nanoparçacık üretimi için Sol-Jel yöntemi kullanılacaktır. Titanyum iyonlarının kaynağı olarak Titanyum alkoksit (Ti(OEt)<sub>4</sub>), Baryum titanat kaynağı olarak ise Baryum karbonat (BaCO<sub>3</sub>) kullanılacaktır. Sentez için öncelikle BaCO<sub>3</sub> saf suda 1:1 oranında disperse edilecek ve 70° C'de 2 saat karıştırılacaktır. Titanyum alkoksit de 1:1 oranında etanol içinde çözülecek ve 1 saat sonra bu çözeltiye 1:20 oranında saf su eklenecektir. Daha sonra bu iki çözelti karıştırılıp 1:1 oranında baryum ve titanyum içeren bir sol oluşturmak üzere tekrar karıştırılacaktır. Belli bir süre sonra berrak bir jel oluşacaktır. Son aşamada ise Ba ve Ti, 24 saat boyunca 100 °C'de bir fırında kurutulacak ve sonra kristal formunda BaTiO<sub>3</sub> tozunu elde etmek için öğütülüp 600 °C ısıtılacaktır (Şekil 15). Bütün bu işlemler sonucunda BaTiO<sub>3</sub> nanoparçacığı toz halinde elde edilecektir (Saidi A, Kavian R., 2008). Yapısal doğrulama için X-ışını kırınım yöntemi (XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve XPS analiz yöntemleri kullanılacaktır.



Şekil 15: Sol-Jel Yöntemi ile üreteceğimiz BaTiO<sub>3</sub>'ün SEM görüntüleri (Haneef vd., 2016)

## 4.3 Hummers Metodu ile Grafen Oksit Sentezi

Grafitten, grafen oksitin eldesi için kimyasal yöntemlerden modifiye Hummers metodu kullanılacaktır. Grafit tabakaları oksitlendiğinde, oksit türevleri sayesinde tabakalar arası açılmakta ve açılan bu tabakalar sonikasyon işlemine tabi tutularak tabakalar birbirinden ayrılmaktadır. Bu işlemle grafen oksit tabakaları elde edilebilmektedir. Grafen oksit eldesi için ilk aşamada, 2,5 g grafit tozu, 1,25 g sodyum nitrat (NaNO<sub>3</sub>) ve 57,5 mL sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) buz banyosunda karıştırılacaktır. İkinci aşamada kuvvetli bir yükseltgeyici olan 7,5 g potasyum permanganat (KMnO<sub>4</sub>) çözeltiye yavaşça ilave edilerek karıştırılacaktır. Üçüncü aşamada 1 saat süreden sonra buz banyosu kaldırılacak ve karışıma 250 mL deiyonize su eklenerek karıştırmaya devam edilecektir. Son aşamada ise karışıma 5 mL hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ilave edilerek karıştırmaya devam edilecektir. Bu işlemlerin sonunda karışım deiyonize su ile pH:7 oluncaya kadar yıkanacak ve filtrelenecektir. Filtreleme işleminden sonra malzeme kurutularak, toz halinde GO elde edilecektir. Üretilen GO'nin yapısal analiz için Raman spektroskopisi, XRD ve SEM kullanılacaktır.



Şekil 16: Grafitten rGO sentez mekanizması.

## 4.4 Polianilin (PANI) Üretimi

Polianilin, 1M HCl asit ortamında ve buz banyosunda sentezlenecektir. 2,1 g anilin, 1M 360 mL HCl içerisine alınarak 15 dakika ultrasonik su banyosunda disperse edilecektir. Ardından 5,64 mmol amonyum persülfat (APS), 80 mL 1M HCl içerisinde çözülecektir. Anilin çözeltisi 30 dakika buz banyosuna alınarak çözeltinin soğumasının sağlanması ardından APS çözeltisi bir büret yardımı ile anilin çözeltisine damla damla ilave edilecektir. Reaksiyon 12 saat boyunca karıştırma ile devam edecek ve 12 saat sonunda, polianilin süzülecek ve 3 kez saf su ile yıkanacaktır. Elde edilen PANI, yalıtkan pernigranilin fazında olacağı için 500 mL 1M HCl içerisinde 12 saat

karıştırılarak doplanacak ve emeraldin formuna geçecektir. Ardından süzülüp 1 kez etanol ile yıkanacaktır. Polianilin kurutulup tartıldıktan sonra konsantrasyonu 1 mg/mL olacak şekilde PANI/etil alkol çözeltisi hazırlanacaktır (Ünsal, 2018).

#### 4.5 BaTiO<sub>3</sub>/rGO Hibrit Yapımın Sentezi

BaTiO<sub>3</sub>-rGO nanokompozitini üretmek için mikrodalga destekli birlikte çökeltme yöntemi kullanılacaktır. Üretimleri gerçekleştirilen BaTiO<sub>3</sub> ve GO'dan uygun miktarlarda alınarak 50 ml suya ilave edilip ortam sıcaklığında 1 saat karıştırılacaktır. Daha sonra bu çözeltiliye 10 ml NaOH sulu çözeltisi damlatılarak oluşan çözeltinin, bir mikrodalga fırında 1 saat ısıtılmasıyla çözelti renginin kahverengiden siyaha değişmesi beklenecektir. Bu renk değişimi, GO'nun rGO'ya indirgenmiş olduğunu doğrulayacaktır. Elde edilen birlikte çökeltmiş kompozit yapı yıkanarak ardından deiyonize su ve etanol kullanılarak süzülecektir. Son olarak kompozit, BaTiO<sub>3</sub>-rGO nanokompozitini elde etmek için bir fırında 60° C'de 12 saat kurutulacaktır (Khan M., 2020).

Sonuç olarak elde edilen BaTiO<sub>3</sub>-rGO nanokompozitinin, rGO'nun yüksek elektron mobilitesi, geniş yüzey alanı, iyi yapısal esnekliği ve BaTiO<sub>3</sub>'in de kimyasal ve mekaniksel olarak kararlı olması, yüksek dielektrik sabiti, düşük dielektrik kaybı gibi üstün özelliklerinin birleştirilmesiyle mükemmel elektriksel özellik sergilemesi sağlanacaktır. Bu hibrit yapının Raman spektroskopisi ve SEM yöntemleri ile yapısal karakterizasyonu yapılacaktır.

#### 4.6 BaTiO<sub>3</sub>/rGO Katkılı PVDF Polimer Nanokompozit Yapımın Elektrosinning Yöntemi ile Üretimi

Piezoelektrik özellikli polimer esaslı nanokompozit malzeme üretmek için literatürde ve uygulamada spin kaplama, elektrosinning ve sıcak presleme gibi farklı üretim teknikleri kullanılmaktadır. Poliviniliden diflorür, kullanılan üretim tekniklerine göre,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  ve  $\epsilon$  fazında bulunmaktadır. En yüksek ferroelektrik ve piezoelektrik özellikleri ise  $\beta$ -kristal fazında bulunmaktadır (Akgün, 2018). Elektrosinning yöntemi ile PVDF'den piezoelektrik  $\beta$ -fazında kolayca kutuplanan nanolifler üretildiği için bu yöntem proje önerimizde tercih edilmiştir.

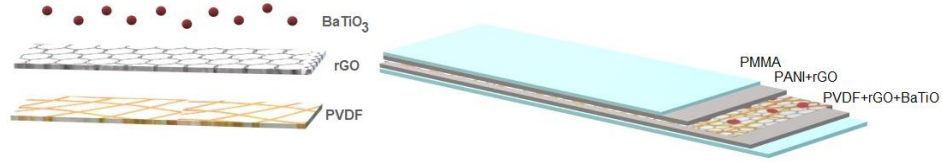
Elde edilen PVDF nanoliflerinin performansını artırmak üzere polimer matrisi üzerine piezoelektrik özellik göstermesi için Sol-Jel yöntemi ile ürettiğimiz BaTiO<sub>3</sub> nanoparçacıkları, üstün iletkenlik özellik sergilemesi için ise Hummers yöntemi ile ürettiğimiz rGO, bir önceki basamakta anlatıldığı gibi üretilerek nano katkı malzemeleri olarak katılacaktır.

Elektrosinning için çözeltiler hazırlanmadan önce nano katkı maddeleri DMF içinde dağıtılarak 20 dakika sonikasyona tabi tutulacaktır. Daha sonra farklı miktarlarda katkı içeren DMF içerisinde PVDF çözeltileri hazırlanacaktır. Toplam çözelti konsantrasyonu, ağırlıkça %20'de tutularak gece boyunca 60° C'de karıştırıldıktan sonra elektrosinning için hazır hale gelecektir. Oluşturulan yapıda kullanılan nano katkı maddelerinden farklı oranlarda hazırlanarak elde edilen yapılar karşılaştırılacaktır. İstenilen özelliklere en yakın oran optimum değer olarak belirlenecektir. Nano katkı malzemeleriyle katılan PVDF nanolifler katkısız PVDF nanolifler ile karşılaştırıldığında çok daha yüksek voltaj değeri sergileyeceği beklenmektedir (Azimi vd., 2021). Yapısal analiz için optik mikroskop, SEM ve FTIR analizleri yapılacaktır. Çalışmada farklı numuneler hazırlanarak üç farklı parametrenin piezoelektrik özelliklere etkisi incelenecektir. Kalınlık kontrol optimizasyonu için zamana, mesafeye ve uygulanan gerilime bağlı olarak kalınlık optimizasyon çalışmaları yapılacaktır.

#### 4.7 Nanokompozit Kaplı Akıllı Stent Tasarımı

1. aşamada piezoelektrik malzemenin akım üretim sonuçlarını görmek için düz bir yüzey üzerinde yukarıda tanımlandığı gibi bir PMMA-(PANI+rGO)-(PVDF+BaTiO<sub>3</sub>+rGO)-(PANI+rGO)-PMMA sandviç yapısı üretilen olacaktır. Ardından kalınlık ve yapısal özellikleri SEM ve elektriksel karakterizasyon yöntemleriyle incelenecek daha sonra piezoelektrik ölçümleri alınacaktır. Bu yapıda PMMA yalıtkan ve biyouyumlu katman, PANI+rGO iletken elektrot olarak kullanılacaktır. Uygulanabilirliği açısından metal elektrotlara göre stentin üzerinde, elektrotun elastik bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Bu da ancak elektrosinning yöntemiyle üretilen iletken bir

polimer yapının olmasıyla mümkündür. Piezoelektrik ölçümlerin yapılması için öncelikle her bir nanolif numunenin kalınlığı belirlenecektir. Kalınlığa göre polarlama işleminin yapılabilmesi için gerekli elektrik alan değerleri hesaplanarak uygulanacaktır. Bu sayede tasarım optimize edilecektir. Daha sonra üzerine kuvvet uygulanarak zamana bağlı çıkış voltajı ve akım değerleri alınacaktır.



Şekil 17: Oluşturulması planlanan nanokompozit yapı.

2. aşamada ise piezoelektrik ve tüm karakterizasyon optimizasyonları belirlenmiş yapı, elektrosinning yöntemi ile stent yüzeyine kaplanacaktır. Bunun için stent sabit bir rpm değerinde döndürülerek belirlenmiş kalınlıkta ve katkı oranlarında PMMA-(PANI+rGO)-(PVDF+BaTiO<sub>3</sub>+rGO)-(PANI+rGO)-PMMA sandviç yapısı oluşturulacak biçimde katman katman kaplanacaktır. Elde edilen bu kompozit yapı ile kaplanmış akıllı stentin ürettiği akım voltaj değerleri tekrar analiz edilecektir.

In-vitro çalışmada, gerçek damar yapısı içinde aygıtın çalışmasını simüle etmek için kuzu bağırsağı içine bir balon yardımıyla şişirilen ve yerine yerleştirilen akıllı stent içinde saf su akışı meydana getirilerek akım voltaj değerleri incelenecektir. Bu akıllı stent üretimi sonunda damar içinden geçen kanın meydana getirdiği basınçla beraber stent yüzeyinde, bir elektrik akımı meydana gelmesi sağlanacaktır. Böylece kendiliğinden enerji üreterek, ürettiği enerjiyi kalp piline aktaracak ve kalp pillerinin ömrünün artırılması gerçekleştirilmiş olacaktır.

## 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Kalp ritim bozuklukları tedavisinde genellikle kalp pilleri kullanılmaktadır. Fakat bu kalp pillerinin değişken bir ömre sahip olmaları nedeniyle kullanımı sınırlıdır. Projemizde kalp pili ömrünü artırmak adına damar basıncı kullanılarak elektrik enerjisi üretebilen kompozit yapı akıllı stent tasarımı gerçekleştirilecektir. Stent kaplama için uygulanan biyoyumlu polimer tabakalar, yetersiz mekanik mukavemeti sebebiyle stent yüzeyinde çatlama veya delaminasyona neden olmaktadır. Bu durum stent kaplama teknolojisinde önemli bir sınırlayıcı faktördür. Bu nedenle stent yüzeyinde stabil polimerik katman geliştirmek için yeni stratejiler ve akıllı malzemeler gereklidir.

Çalışmamızda bu sınırlayıcı faktörlerin önüne geçmek için, rGO'nin üstün mukavemeti, 120 °C bağ açısı sayesinde gösterdiği üstün esnekliği ve en önemlisi iletkenliğinden yararlanılırken ayrıca yapıdaki polimer malzemelerden PANI'nin iletkenliği, PMMA'in biyoyumluluğundan ve PVDF'nin piezoelektriksel özelliğinden yararlanılacaktır. Ayrıca piezoelektrik özellik sergileyen BaTiO<sub>3</sub> ile katkılanarak PVDF'nin piezoelektriksel özelliği arttırılacaktır. Bu malzemelerin üstün özellikleri kullanılarak tasarlanan akıllı stent yapı ile damar içerisindeki kan akışı etkisiyle kendi kendine enerji üreterek kalp pillerinin beslenmesi amaçlanmaktadır.

## 6. Uygulanabilirlik

Proje önerimizde nanolif üretimi için, biyoyumlu ve piezoelektrik özellik gösteren PVDF polimeri kullanılacaktır. Bu piezoelektrik polimer, basınç gibi mekanik kuvvetlere karşı dayanımı yüksek olması nedeniyle elastik deformasyona uğramamaktadır. Ayrıca bu polimerin enerji üretimi, sensörler ve biyotıp gibi geniş kullanım alanına sahip olması ve ticari olarak ulaşılabilirliğinin oldukça yüksek olması, tercih edilme nedenlerinden birisini oluşturmaktadır.

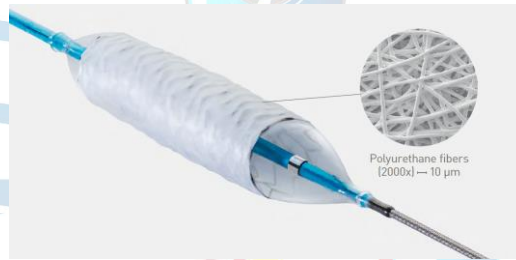
Projemizde kullanılacak olan PVDF'in piezoelektrik özelliklerini artıracak olan BaTiO<sub>3</sub> nanoparçacıkları, ekibimizin uzun süredir deneyimlediği ABO<sub>3</sub> kimyasal formülasyonuna sahip



perovskite bileşiklerinden olup, üretim yöntemi olarak Sol-Jel yöntemi kullanılacaktır. Sol-Jel yöntemi ile hem çok yüksek saflık ve homojenliğe sahip nanoparçacık üretimi, hem de diğer yöntemlere göre daha düşük maliyetli üretim sağlaması nedeniyle projemizin hayata geçirilmesini kolaylaştırmaktadır.

Ayrıca elektriksel iletkenliği artırıcı rol oynayacak olan biyoyumlu özellik gösteren rGO, Hummers yöntemi ile ekibimiz tarafından uzun yıllardır üretimi deneyimlenen bir diğer malzemedir ve projemizin gerçekleştirilmesi doğrultusunda, önemli bir avantaj sağlamaktadır. Üretimi planlanan PVDF+BaTiO<sub>3</sub>+rGO nanokompoziti, biyoyumlu PMMA kaplı PANI+rGO iletken elektrotlar arasına alınarak, stent üzerine mevcut teknoloji ürünü olan elektrospinning cihazı ile kaplanacaktır. Elektrospinning yöntemi ile PVDF'den piezoelektrik β-fazında kolayca kutuplanan nanolifler üretildiği için proje önerimizde bu yöntem tercih edilmiştir. Elektrospinning yönteminde ekibin hali hazırda bulunan tecrübesi, projenin gerçekleştirilmesi adına avantaj sağlamaktadır. Oluşturulacak yapı için nano katkı maddelerinden (BaTiO<sub>3</sub>, rGO) farklı oranlarda hazırlanarak elde edilen yapılar karıştırılacak ve optimum değer belirlenecektir. Daha sonra tasarımımızın biyoyumluluğunu sağlayacak olan PMMA polimeri ile alt ve üst elektrot yüzeyleri kaplanacaktır.

Benzer bir yapı Biotronic Firması tarafından kalp damar yırtılmalarında yama işlemi gören ve elektrospinning yöntemi ile kaplanmış, tek tabakalı PK Papyrus ismini verdikleri tek tabakalı stent geliştirilmiş ve ticari olarak satışa sunulmuştur (Şekil 18). Stent dizaynının, geleneksel stent tasarımlarından %58 oranında daha fazla esnekliğe sahip olduğu ve tek tabaka halinde kaplanmasından dolayı stent kalınlığının %23 oranında azaldığı bildirilmiştir (<https://www.biotronic.com/en-de/products/coronary/pk-papyrus>).



Şekil 18: Biotronic Firması'na ait polyurethane kaplı stent tasarımı.

Projemizde gerçekleştireceğimiz akıllı stent tasarımı için THS-1'den yola çıkmıştır, teori ve bilimsel prensipler göz önünde bulundurularak Teknofest 2021 Biyoteknoloji İnovasyon Fikir Kategorisi final aşamasında ürünün, THS-3 aşamasında sunulması planlanmıştır. Halihazırda patent başvuru aşamaları devam etmektedir.

## 7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Kalp pili kullanımı ve belirli periyotlarla yapılan pil değişim operasyonlarının hastalar üzerindeki etkileri kişilerin yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir. Dolayısıyla yaşam kalitesini artırmak adına bu alanda yapılan çalışmalar hastalar için oldukça önemlidir. Ülkemizde bu alanda üretim yapan bir firma bulunmamaktadır. Tüm bu sorunlara yönelik olarak yaptığımız tasarımımızla inovatif bir çözüm sunarak kalp pili ömrünü artırmayı hedeflemekteyiz.

Yapılan bir araştırmada ülkemizde 2009 Nisan - 2013 Şubat dönemi arasında ilaçlı stent takılan kişilerin toplam stent, ilaç ve tedavi maliyetleri toplamı 332.673.319 TL olup, ilaçsız stent takılan kişilerin toplam maliyetleri 305.904.232 TL'dir. Bu dönem aralığında stent takılan kişilerin toplam maliyetleri tutarı 638.577.551 TL'dir. Kişi başı toplam maliyet açısından bakıldığında, ilaçlı stent takılan kişilere ait kişi başı toplam maliyet 4.826 TL iken, ilaçsız stent takılan kişiler için 1.436 TL'dir. Kalp pili fiyatları ise çeşitlerine göre değişiklik göstermekle birlikte 15000-20000 TL civarındadır. Tasarımımızın ana malzemelerinden olan rGO'in ülkemizdeki yerli bir firmanın satış fiyatı 1 gramı için 48 Euro'dur. Bu kapsamda çalışmalarımızın İş-Zaman Çizelgesi (Tablo-1), yapılacak olan deneysel çalışmalar ile birlikte hesaplanan Dönemsel Harcama Planı (Tablo-2) ve üretim parametrelerine bağlı olarak materyal analizleri ise Dönemsel Analiz Planı (Tablo-3)' te bulunmaktadır.

**Tablo 1: Proje İş-Zaman Çizelgesi**

İP No	İş Paketi Adı ve İçeriği	Görevli Takım Üyesi	Zaman					
			Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1	<b>Elektrospinning Yöntemi ile Poliviniliden Diflorür (PVDF) Polimer Nanolif Üretimi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Planlanan üretim yöntemlerinin literatür araştırmasının yapılması</li> <li>Polimer nanolif üretimi ve karakterizasyonunun yapılması</li> </ul>	Sinem Karatekin						
2	<b>Sol-Jel Yöntemi İle Baryum Titanat (BaTiO<sub>3</sub>) Üretimi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sol-Jel Yöntemi ile BaTiO<sub>3</sub> piezoelektrik nanoparçacık sentezi ve karakterizasyonu</li> </ul>	Çiğdem Yener Hatice Dilay Yazıcı						
3	<b>Hummer's Metodu ile Grafen Oksit Sentezi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hummer's Metodu ile Grafen Oksit Sentezi ve Karakterizasyonu</li> </ul>							
4	<b>BaTiO<sub>3</sub>/rGO Hibrit Yapının Sentezi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>İndirgenmiş grafen oksit sentezi ve sentezlenen piezoelektrik nanoparçacıklar ile hibrit yapının elde edilmesi</li> <li>Hibrit yapının karakterizasyonu</li> </ul>							
5	<b>Polianilin (PANI) Üretimi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pani polimerinin sentezi</li> </ul>	Hatice Nur Koyun Elif Gökoğlan Aleyna Akçay						
6	<b>BaTiO<sub>3</sub>/rGO Katkılı PVDF Polimer Nanokompozit Yapının Elektrospinning Yöntemi ile Üretimi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>BaTiO<sub>3</sub>/rGO Katkılı PVDF Polimer Nanokompozit Yapının Elektrospinning Yöntemi ile Üretimi ile Karakterizasyonu</li> </ul>	Çiğdem Yener						
7	<b>Akıllı Nanokompozit Tasanımı</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hazırlanan stentin, yapısına uygun olarak in-vitro deneylerin yapılması</li> <li>Elektriksel sinyal ölçümlerinin alınması</li> </ul>							

**Tablo 2: Dönemsel Harcama Planı**

İP No	Malzeme Adı	Kullanım Gerekçesi	Tutar		
			Miktar	Marka	Fiyat
1	PVDF (Poly(vinylidene fluoride))	PVDF Polimer Nanolif Üretimi	100 G	Sigma-Aldrich/Merck	101.00 Euro
	Aseton		500 mL	Sigma-Aldrich/Merck	25.30 Euro
	DMF(Dimetilformamid)		3 X 1,2 mL	Sigma-Aldrich/Merck	89.90 Euro
2	Titanyum alkoksit (Ti(OEt) <sub>4</sub> )	Piezoelektrik Nanoparçacık Sentezi	100 mL	Sigma-Aldrich/Merck	43.90 Euro
	Baryum karbonat (BaCO <sub>3</sub> )		500 G	Sigma-Aldrich/Merck	101.00 Euro
	Etanol		1 L	Sigma-Aldrich/Merck	25.10 Euro
3	Grafit Tozu	İndirgenmiş Grafenoksit Sentezi	25 g	Sigma-Aldrich	42.80 Euro
	KMnO <sub>4</sub>		25 g	Sigma-Aldrich	37.30 Euro
	Sodyum Nitrat		500 g	Sigma-Aldrich/ Merck	51.60 Euro
	Sülfirikasit		1 L	Sigma-Aldrich/Merck	33.20 Euro
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		1 L	Tekkim Kimya	57,79 TL
	HCl		2.5L	Emsure-Merck	249.46TL
	Hidrazin Hidrat		100 m	Sigma-Aldrich/Merck	17.90 Euro
4	NaOH	BaTiO <sub>3</sub> /rGO Hibrit Yapının Sentezi	25 G	Sigma-Aldrich/Merck	22.00 Euro
	Etanol		1 L	Sigma-Aldrich/Merck	25.10 Euro
5		Polianilin (PANI) Üretimi	100 mL	Sigma-Aldrich/Merck	12.10 Euro
	Anilin				
	HCl		500 mL	Sigma-Aldrich/Merck	87.60 Euro
	Amonyum Persülfat		25 G	Sigma-Aldrich/Merck	57.20 Euro
	Etanol		1 L	Sigma-Aldrich/Merck	25.10 Euro
7	Stent	Elektriksel Sinyal Ölçümlerinin Alınması ve In-Vitro Deneylerin Yapılması	1 adet	BioSync Scientific	5.000 TL
	Kalp Pili		1 adet	St. Jude Medical	15.000 TL
<b>TOPLAM = 798,1Euro + 20.307,25 TL</b>					

**Tablo 3: Dönemsel Analiz Planı**

İP No	Analiz Adı	Analiz Hizmeti Alınacak Laboratuvar	Analiz Miktarı (Saat)	Analiz Gerekçesi	Tutar (TL)
1	FTIR	PAU-ILTAM-Pamukkale Üniversitesi	1	Polimer Nanolif Yapının Yapısal Karakterizasyonu	100 TL
	SEM	PAU-ILTAM-Pamukkale Üniversitesi	1		250 TL
2	XRD	PAU-ILTAM-Pamukkale Üniversitesi	1	Nanoparçacık Boyut Analizi ve Yapısal Karakterizasyonu	150 TL
	SEM	PAU-ILTAM-Pamukkale Üniversitesi	1		250 TL
	XPS	UNAM-Bilkent Üniversitesi	1		70 TL
3	Raman	ÇÜMERLAB-Çukurova Üniversitesi	1	Grafen Oksit Yapısal Karakterizasyonu	135 TL
	SEM	PAU-ILTAM-Pamukkale Üniversitesi	1		250 TL
	XRD	PAU-ILTAM-Pamukkale Üniversitesi	1		150 TL
4	Raman	ÇÜMERLAB-Çukurova Üniversitesi	1	BaTiO <sub>3</sub> /rGO Hibrit Yapının Karakterizasyonu	135 TL
	SEM	PAU-ILTAM-Pamukkale Üniversitesi	2		250 TL
6	FTIR	PAU-ILTAM-Pamukkale Üniversitesi	1	BaTiO <sub>3</sub> /rGO Katkılı PVDF Polimer Nanokompozit Yapının Stent Yüzeyinde İncelemesi	100 TL
	SEM	PAU-ILTAM-Pamukkale Üniversitesi	1		250 TL
	Optik Mikroskop	PAU-Biyo-Nano Malzeme Laboratuvarı	2		-
<b>TOPLAM = 2,090 TL</b>					

## 8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

Ülkemizde yaklaşık 2 milyon 800 bin kalp hastası bulunmaktadır. Her yıl 250 bin kişi kalp damar hastalığına yakalanırken, 160 bin kişi ise hayatını kaybetmektedir. İstatistiklere göre Türkiye'deki ölüm nedenlerinin başında %40 ile koroner kalp hastalıkları gelmektedir. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre de kalp hastalığı ve buna bağlı ölümler 2030 yılına kadar insan sağlığını tehdit eden birinci faktör olmaya devam edeceği düşünülmektedir. Kalp yetmezliği ciddi ve günden güne artış gösteren halk sağlığı problemlerinden biridir ve dünya çapında oldukça yaygın bir hastalıktır. Center for Disease Control verilerine göre 1999 yılında dünyada dokümanite edilmiş 3 milyon KY hastası bulunurken, bu sayının 2030 yılında 5,7 milyona çıkması beklenmektedir.

Kalp yetmezliği tedavisinde kullanılan kalp pilleri türüne ve tedavi edilecek kalp rahatsızlığına göre 4-6 yıl arasında değişen sınırlı ömre sahiptir. Bu nedenle hastalar bu süre zarflarının sonunda pil değişiminin yapılması için cerrahi bir operasyon geçirmek zorunda kalmaktadırlar. Belirli periyotlarla gerçekleşen bu cerrahi operasyonlar hastaları hem fiziksel hem de psikolojik olarak olumsuz etkilemektedir. Hastaların sürekli bir cerrahi işleme maruz kalmalarını ve psikolojik yıpranmalarını önlemek için geliştireceğimiz nano kompozit akıllı stent tasarımı, stent yapısında bulunan iletken ve piezoelektrik özelliğe sahip malzemeler ile elektriğini kalp damar basıncından üretecektir. Bu sayede kalp pili ömrü artırılarak hastaların yaşam kalitesinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

## 9. Riskler

1. Elektrosinning yöntemi ile stent yüzeyi istenilen oranlarda yeterince kaplanamaması.

**B Planı:** Kullanılan elektrosinning cihazının voltaj ve zaman parametrelerini değiştirerek deneyin iyileştirilmesi.

2. Üretilen kaplamaların istenilen piezoelektrik verimlerini oluşturamaması.

**B Planı:** Piezoelektrik özellikleri iyileştirdiği bilinen BaTiO<sub>3</sub> katkı oranları değiştirilerek ölçümler tekrar edilecektir.

## 10. Kaynaklar

Abu Bakar E, Mohamed M.A, Majlis B.Y, Hassan O.H, Che Omar F, Kudin T.I.T, 2017. All-Solution Process Flexible Nanocomposite Generator Made of BaTiO<sub>3</sub> Nanoparticles and Graphene Quantum Dots. IEEE Regional Symposium on Micro and Nanoelectronics.

Akgün, Mensur. Piezoelektrik Özellikli, Polimer Nano Kompozit Malzeme Geliştirilmesi ve Titreşim Sensörü Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, 2018.

Azimi S, Golabchi A, Nekookar A, Rabbani S, Amiri M.H, Asadi K, Abolhasani M.M, 2021.



Coronel, R., de Groot, J.R., van Lieshout, J.J. (2001). Defining heart failure. *Cardiovasc Res.*, 50(3),419-22.  
Dosh, S.A. (2004). Diagnosis of heart failure in adults. *Am Fam Physician.* 70(11), 2145–2152.

Ganesh R.S, Sharma S.K, Divyapriya B, Durgadevi E, Raji P, Ponnusamy S, Muthamizhchelvan C, Hayakawa Y, Kim D.Y, 2017. *Current Applied Physics*, 17, 409-416.

Haneef, M., Saleem H., Habib A. 2016. Use of graphene nanosheets and barium titanate as fillers in PMMA for dielectric applications., *Synthetic Metals*,223,101-106.

He, J., Ogden, L.G., Bazzano, L.A., Vupputuri, S., Loria, C. ve Whelton, P.K. (2001). Risk factors for congestive heart failure in US men and women: NHANES I epidemiologic follow-up study. *Arch Intern Med.*, 161(7), 996–1002.

Hunt, S.A., Abraham, W.T., Chin, M.H., Feldman, A.M., Francis, G.S., Ganiats, T.G., Jessup, M., Konstam, M.A., Mancini, D.M., Michl, K., Oates, J.A., Rahko, P.S., Silver, M.A., Stevenson, L.W. ve Yancy, C.W. 2009 focused update incorporated into the ACC/AHA 2005 guidelines for the diagnosis and management of heart failure in adults: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines: developed in collaboration with the International Society for Heart and Lung Transplantation. *Circulation*, 119(14), 391-479.

Kandpal M, Palaparthi V, Tiwary N, Rao R, 2017. Low Cost, Large Area, Flexible Graphene Nanocomposite Films for Energy Harvesting Applications. *IEEE Transactions On Nanotechnology*, 16(2), 259-264. Digital Object Identifier

Kımkıoğlu, Murat. Kalp Krizi, Kalp Hastalıkları, Kolesterol, Stent, Anjiyo, Bypass Hakkında.“  
<https://www.doktormurat.net/print.asp?ID=435> 21.06.2009”

Kutluer S, 2015. Koroner Arter Hastalığının Tedavisinde Çıplak Metal Stent ile İlaç Salımlı Stentin Maliyet Etkililik Analizi. *Sosyal Güvenlik Dergisi.* Cilt 5, Sayı 1, Sayfa 190-233.

Majeed Khan M. A, Kumar S, Ahamed M, Ahmed J, Kumar A, Shar M.A, 2020. BaTiO<sub>3</sub>@rGO Nanocomposite: Enhanced Photocatalytic Activity as well as Improved Electrode Performance. *J Mater Sci: Mater Electron* s10854-020-04514-0.

Nalvuran, Hande. Biyomedikal Uygulamalar İçin Nanofibröz İpek Fibroin/İndirgenmiş Grafen Oksit İskelelerin Üretilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, 2016.

Özdoğan E, Demir A, Seventekin N. 2006. Nanoteknoloji ve Tekstil Uygulamaları. *Tekstil ve Konveksiyon.* 3/2006.

Rajeev, S. P., Karimuthil, S. C., Bhanuprakash, L. & Varghese, S., 2017. Piezo-Tribo Nanoenergy Harvester Using Hybrid Polydimethyl Siloxane Based Nanocomposite. *Nano Energy*, 40, 487-494.

Roy K, Mandal D, 2017. CdS Decorated rGO Containing PVDF Electrospun Fiber Based Piezoelectric Nanogenerator for Mechanical Energy Harvesting Application. *AIP Conference Proceedings*, 1942, 050125.

Saidi A, Kavian R. 2008. Synthesis of BaTiO<sub>3</sub> Powder by SOL-GEL Method. *Proceeding of the 4th ICEE Conference.*

Savarese, G. ve Lund, L.H. (2017). Global Public Health Burden of Heart Failure *Card Fail Rev.*, 3(1), 7–11.

Self-Powered Cardiac Pacemaker by Piezoelectric Polymer Nanogenerator Implant. *Nano Energy* 83 (2021) 105781.

Şekil-1 kaynak: <https://ahmetalpman.com/kalp-pili-olan-hastalarin-bilmesi-gerekenler>

Şekil-4 kaynak:<https://shop.nanografi.com.tr/blografi/grafen-oksit-ve-indirgenmi-grafen-oksit-arasndaki-farklar-nelerdir/>

Şekil-7 kaynak:<https://www.oxolutia.com/technology/electrospinning/>

Şekil-16 kaynak: <http://www.saujs.sakarya.edu.tr/en/download/article-file/227626>

Tiyek İ, Dönmez U, Yıldırım B, Alma M.H, Ersoy M.S, Karataş Ş, Yazıcı M. 2016. Kimyasal Yöntem ile İndirgenmiş Grafen Oksit Sentezi ve Karakterizasyonu. *SAÜ Fen Bilimler Dergisi.* 20. Cilt, 2. Sayı, s. 349-357.

Ünsal, Ömer Faruk. İletken Polimer ve Grafen Oksitle Fonksiyonelleştirilmiş Nanolif Tabanlı Piezoelektrik Nanojenaratörler. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, 2018.