

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ
FESTİVALİ

BİYOTEKNOLOJİ İNOVASYON YARIŞMASI

PROJE DETAY RAPORU

FİKİR KATEGORİSİ

PROJE ADI: Grafen-Manyetik Nanoparçacık Kompozit Yapılı Yapay Kulak Zarı Tasarımı

TAKIM ADI: GraPhone

TAKIM ID: T3-24930-156

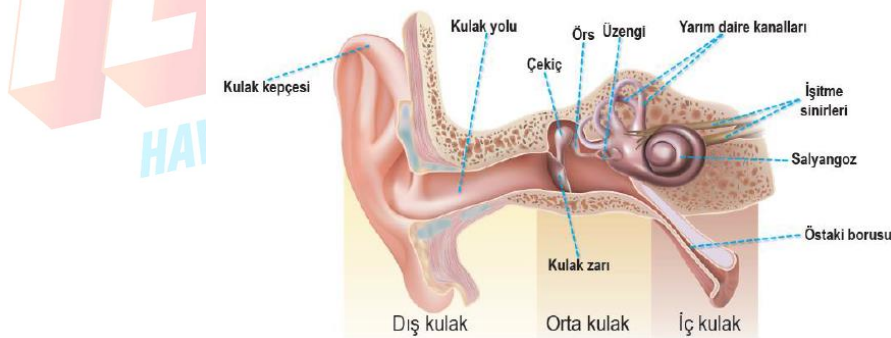
DANIŞMAN ADI: Dr. Öğr. Üyesi C.Gökhan ÜNLÜ

İçindekiler

1. Proje Özeti (Proje Tanımı).....	2
2. Problem/Sorun	3
2.1. Dış kulağa ilişkin nedenler.....	3
2.2. İç kulağa ilişkin nedenler.....	3
2.3. Orta kulağa ilişkin nedenler.....	4
3. Çözüm.....	4
3.1. Teori.....	7
4. Yöntem.....	8
4.1. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) Yöntemi ile Grafen Üretimi.....	8
4.2. Grafen/PMMA Nanokompozit Yapının Oluşturulması.....	9
4.3. Sol-Jel Yöntemi ile Metal Nanoparçacık Sentezi.....	9
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü.....	11
6. Uygulanabilirlik.....	11
7. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar).....	11
8. Proje Ekibi.....	12
9. Kaynaklar.....	12

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Duyma işlemi, kulak kepçesi ve kulak yolu içerisinde kulak zarına ulaşan ses dalgalarının iletimi ile gerçekleşir. Dış kulakta bulunan kulak kepçesi tarafından toplanan ses dalgaları kulak kanalına iletdikten sonra kulak zarına ulaşır ve ses dalgaları titreşimlere dönüştürülür. Bu ses dalgalarının frekansı zarın titreşim frekansına dönüştürülerek işitme siniri yoluyla bir elektriksel sinyal şeklinde beyne iletilir ve böylece duyma işlemi sağlanmış olur (Şekil 1).



Şekil 1. Kulağın iç yapısı.

Kulak zarı hasarının yanı sıra tamamen işitme kaybı olan hastalarda, kulak zarının titreşmesi ve bu titreşimin aktarılması tam olarak gerçekleşemez. Dolayısıyla titreşim bir elektriksel sinyal haline dönüşemez. İşitme hasarının giderilmesi adına kullanılan sistemlerde ise, kulak dışına ve kulak içine yerleştirilen bazı cihazlar ile alınan sinyalin beyne iletimi sağlanmaktadır.

Son yıllarda grafenin keşfedilmesi teknolojik uygulamalar açısından oldukça heyecanla karşılanmıştır. Bunun nedeni grafenin 2-boyutlu yapısı ve kristal diziliminden dolayı sahip olduğu üstün fiziksel özelliklerdir. Grafen, bal peteği şeklinde, hegzagonal yapıda tek tabakalı olarak

tamamen karbon atomlarından oluşmuş 2-boyutlu bir karbon allotropudur. Özellikle grafenin çok iyi elektriksel ve termal iletkenliğe sahip olması (bakır ve altına göre 100 kat), yapı çeliklerine göre 200 kata kadar dayanıklı olması, 120 derecelik bağ açısıyla kristal örgüsü oluşturması sonucu elastik bir yapıya sahip olması gibi üstün özellikler nedeniyle endüstrideki uygulama alanı kadar, gelecekte medikal uygulamalar açısından da oldukça geniş kullanım alanına sahip olması beklenmektedir. Ayrıca grafenin yüksek biyouyumluluğu sayesinde vücut içerisinde kullanımı insan sağlığı açısından herhangi bir risk oluşturmamaktadır.

Projemizin ana hedefi, nanoteknolojinin getirdiği imkanları kullanarak duyma engeli bulunan hastaların bu sorununa çözüm olabilecek, kulak zarının çalışmasını model alan ve ekibimizin ön çalışmalarla üretim aşamalarını deneyimlediği grafen/manyetik nanoparçacık/grafen kompozit yapısına sahip bir membran yapay kulak tasarımı gerçekleştirmek, ayrıca çalışma parametrelerini ve üretim süreçlerini geliştirmektir. Membran tasarımında, kulak zarı niteliğindeki bakır (Cu) halkalar (coil) içerisine yerleştirilecek ve manyetik nanoparçacıklarla donatılmış sandviç tipi grafenin elastik özelliği kullanılarak, dalga boyuna sahip ses dalgaları ile Faraday Yasası temel alınarak bu kompozit yapı içerisindeki manyetik nanoparçacıkların titreşimi sonucu bakır halka üzerinde elektriksel indüksiyon ile elektrik akımı oluşturulacaktır. Böylece çeşitli dalga boylarına spesifik bir elektrik akımı, doğrudan beynin duyma bölgesine aktarabilecek bir mikroelektronik sistem ile duyma engeli olan kişilerin duyması sağlanacaktır. Sandviç tipi grafen olarak adlandırılan iki grafen tabakası ile oluşturulmuş yapının arasına, manyetik özelliğe sahip Fe_3O_4 nanoparçacıklar katılarak kompozit yapı oluşturularak, grafenin elastik, akustik özellikleri ve manyetik nanoparçacıkların titreşimi sayesinde sağlanacak indüklenme ile duyma fonksiyonu gerçekleştirilecektir. Kulak zarı yerine yerleştirilecek bu sandviç tipi kompozit yapı, bir kulak zarı işlevi görerek yapay bir kulak gibi kullanılacak bir aygıt olacaktır.

2. Problem/Sorun:

Ses bir ortamda yayılan mekanik bir dalgadır ve her dalga gibi frekans ve bir genliğe sahiptir. Duyma işlemi, kulak kepçesi ve kulak yolu içerisinden kulak zarına ulaşan ses dalgalarının beyne iletimi ile gerçekleşir. Beyne gelen titreşimlerin deşifre edilmesiyle birlikte duyum oluşturulur. Sesin, titreşimden algılanan bir duyuma dönüşmesi böylece sağlanmış olur. Bu işlemin gerçekleşmemesi durumunda oluşan işitme kaybı her yaşta ortaya çıkabilir, ancak yaşlılarda bu risk daha fazla görülebilir. İşitme kaybı kulağın farklı bölümlerinden kaynaklı olabilir [1].

2.1. Dış kulağa ilişkin nedenler

Bu nedenler kolaylıkla tespit edilebilir olup genellikle kulak kirene bağlı tıkanmalar ve kulak yolu kanalındaki enfeksiyonlar gibi sorunları içermektedir.

2.2. İç kulağa ilişkin nedenler

Bu kısım birçok işitme sorununun meydana geldiği bölümdür. En yaygın nedeni doğal yaşlanma sürecidir, ancak yüksek gürültü, bazı ilaç türleri veya kafatası kırıkları da işitmeyi etkileyebilir. İç kulaktaki ince tüy hücreleri hasar görür ve sinyallerin işitme sinirlerine aktarımı etkilenir. Genellikle iç kulak işitme kaybının tıbbi bir çözümü yoktur ancak bu sorun işitme cihazları ile düzeltilebilir.

2.3. Orta kulağa ilişkin nedenler

Enflamasyon, kulak zarı arkasında sıvı, kulak zarı perforasyonları ve otoskleroz (orta kulaktaki kemiklerin sertleşmesi), orta kulakta görülen sorunların en yaygın olanlarıdır. Dış ve orta kulakta meydana gelen sorunların çoğu ilaç tedavisi veya ameliyat ile etkili bir biçimde giderilebilir. Kulak zarı yırtılmalarının en sık nedeni, özellikle çocukluk çağında geçirilen orta kulak enfeksiyonlarıdır. Bu enfeksiyonların bir kısmında iltihap, zarı delerek dışarı akar. Bu durumda dış kulak ile orta kulak arasındaki bir bariyer olan kulak zarı ortadan kalkmış olduğu için, hastada zaman zaman tekrarlayan kulak akıntıları olmaya başlar. Her kulak akıntısı, aynı zamanda kemikçiklerde erozyona neden olur ve ilerleyen yıllarda erimelerine bağlı olarak işitme kayıpları daha da artar. Kulak zarından başlamak üzere işitme sinirlerine kadar olan tüm bölümlerde oluşan hasarlar nedeniyle ortaya çıkan tüm duyma kayıplarını ortadan kaldırmak için kulak zarı şeklinde çalışan bir yapay kulak tasarlamayı hedefliyoruz.

3. Çözüm

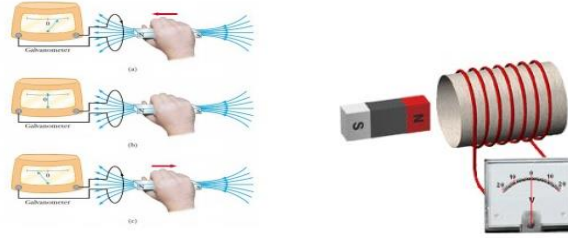
İşitme engeli olan hastalar adına tasarlanan bu projede, işitme fonksiyonunun sağlanabilmesi için kulak zarını model alan ve mikroelektronik sistemlere entegre edilebilecek bir nanoteknolojik membran üretimi planlanmaktadır. Bu amaca yönelik olarak ekibimizle grafen ve manyetik nanoparçacık kompozit tabanlı yapay kulak zarı tasarlanmaktadır. Membran tasarımında, bakır coil içerisine yerleştirilen ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi ile üretilen iki sandviç grafen tabaka arasına, manyetik özelliğe sahip Fe_3O_4 manyetik nanoparçacıklar katılacaktır. Üretilen bu membran sayesinde gelen farklı dalga boyuna sahip ses dalgalarının grafen/manyetik nanoparçacık/grafen kompozit yapıyı titreştirmesi sonucu bir elektrik akımı indüklenir ve böylece gelen ses dalgası, dalga boyuna bağlı olarak elektriksel bir sinyale dönüştürülecektir. Tasarlanan membranda ses dalgalarının oluşturacağı titreşim hareketiyle, yapıda bulunan manyetik nanoparçacıklar bakır coil içinde titreşerek bir elektromanyetik indüksiyon oluşturacaktır. Elektromanyetik indüksiyon, değişen bir manyetik alan nedeniyle bir elektriksel akımın oluşmasıdır. Bu durum, Michael Faraday deneysel çalışmaları ve James Clerk Maxwell'in matematiksel olarak 4 adet Maxwell Denklemleri ile ortaya konulmuştur. Bu denklemler sırasıyla, elektrik alanın elektrik yükler tarafından oluşturulduğunu (Gauss Yasası), manyetizma için Gauss yasası, değişken manyetik alanın elektrik alan ürettiğini (Faraday'ın İndüksiyon Yasası) ve yüklerin ve değişken elektrik alanların manyetik alan ürettiğini (Ampere-Maxwell Yasası) göstermektedir. Biz bu projede Faraday İndüksiyon Yasası'nı temel alarak projemizi tasarladık.

Faraday Yasası, aynı zamanda Faraday'ın İndüksiyon Yasası olarak adlandırılır. Bir akım halkasından bir manyetik akı geçtiğinde ortaya çıkan gerilim, akımın zamana göre değişim oranı ile doğru orantılıdır (Denklem 1).

$$\int E \cdot d\vec{s} = - d\Phi\vec{B} / dt \quad (\text{Denklem 1})$$

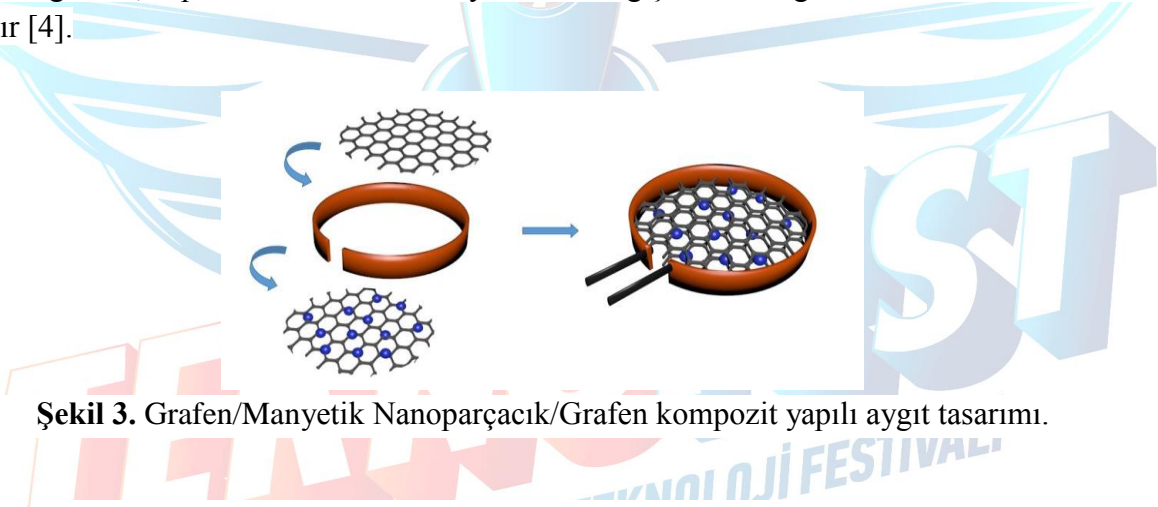
Faraday bu durumu bir deneyle açıklamıştır (Şekil 2). Faraday'ın İndüksiyon Yasası deneyinde, akım ölçer (Galvanometre) bir tel halkaya bağlandıktan sonra, bir mıknatısın tel halkaya yaklaştırılıp uzaklaştırılması ile galvanometrenin ibresinin hareket ettiği gözlenmiştir. Mıknatısın halka içindeki hareketi ile akım oluşur. Mıknatıs halkanın içinde hareketsiz olduğunda galvanometrenin ibresi hareket etmez. Faraday bu deneyinde, akım ile değişen manyetik alan

arasında bir ilişki olduğunu ispatlamıştır. İndüklenen gerilim tarafından oluşan akıma indüksiyon akımı denilmektedir [2].



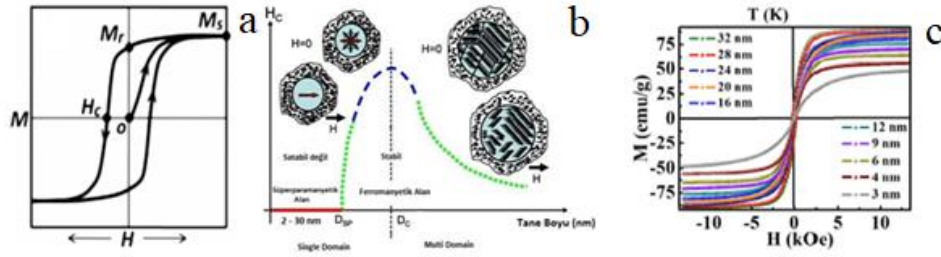
Şekil 2. Faraday'ın İndüksiyon Yasası Deneyi.

Projemizde, Faraday'ın deneyine benzer bir tasarımla nanoteknolojiyi de kullanarak farklı ses dalgalarına spesifik olarak elektriksel sinyal elde edilebilecek bir aygıt tasarlanmıştır (Şekil 3). Burada mıknatıs görevini yapması için üzerinde kalıcı mıknatıslanmaya sahip olan boyut olarak 100 nm'nin üzerinde manyetik nanoparçacıkların üretilmesi planlanmıştır. Bunun nedeni, ferromanyetik özelliğe sahip manyetik nanoparçacıklar genel olarak 100 nm altındaki boyutlara inildikçe ferromanyetik özelliklerini kaybedip süperparamanyetik özellik göstermeleridir. Böylece boyut olarak nanometre mertebesinde elde edilen manyetik nanoparçacıkların yoğunluğu daha fazla olacağından, toplam elde edilen manyetik akı değişimi de doğru orantılı olarak daha fazla olacaktır [4].



Şekil 3. Grafen/Manyetik Nanoparçacık/Grafen kompozit yapı aygıt tasarımı.

Ferromanyetik malzemeler, çiftlenmemiş manyetik momentleri bulunan, alınganlıkları çok yüksek ve uygulanan dış manyetik alanla aynı yönde tepki veren malzemelerdir (Şekil 4a). Zayıf bir manyetik alan içine konulduğunda dahi birbirleriyle paralel olarak yönelerek çok güçlü mıknatıslanmaya sahip olan ve uygulamalarda sıklıkla kullanılan malzemelerdir. Bu güçlü mıknatıslanma özelliklerinin nedeni iç yapılarındaki domain adı verilen bölgeler içerisinde gruplar halinde birbirleriyle aynı yönde yönelmiş bulunan manyetik momentlerden kaynaklanmaktadır. Ferromanyetikler gibi iç yapılarında manyetik düzenlemelere sahip olan malzemeler de mevcuttur. Bunlara ferrimanyetik malzemeler denir ve ferromanyetikler gibi alanla aynı yönde yönelirler. Biyomedikal uygulamalarda sıkça kullanılan bir manyetik malzeme olan Manyetit (Fe_3O_4) nanoparçacıklar için genellikle ferromanyetik tanımı yapılır. Çünkü ters spinel yapısında oktahedral ve tetrahedral bölgelerdeki anti paralel Fe^{3+} iyonları birbirlerinin manyetik momentini etkisiz hale getirir ve ferromanyetik etki oktahedral bölgedeki Fe^{2+} iyonları tarafından sağlanır. Eğer oktahedral bölgelerdeki Fe^{2+} iyonlarının bazıları okside olursa manyetik doygunluk değeri de düşecektir. Manyetit nanoparçacıklarının boyutları genellikle 30-40 nm değerinin altına düşürüldüğünde süperparamanyetik özellik gösterirler [6].

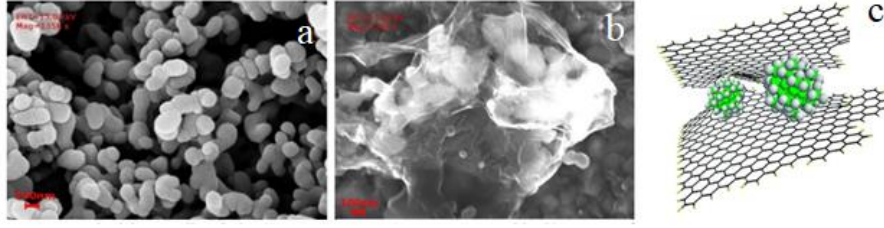


Şekil 4. a) Ferromanyetik malzemelerde histeresis eğrisi b) Parçacık boyutuna bağlı olarak manyetik özelliklerdeki değişim c) Fe_3O_4 nanoparçacık boyutlarına göre oda sıcaklığında histeresis eğrileri

Süperparamanyetik malzemeler boyutları nedeniyle tek bir domain içeren malzeme gibi davranır. Dolayısıyla her bir nanoparçacık tek bir domain halini alır. Dış manyetik alan uygulandığında alan yönüne dönerken, alan kaldırıldığında tekrar rastgele yönelerek toplam mıknatıslanmaları sıfırlanır [7]. Bu özellikleri nedeniyle süperparamanyetik parçacıklarda ferromanyetiklerde görülen histeresis davranışı gözlemlenmez. Yüksek doyum mıknatıslanma değerleri olmasına rağmen kalıcı mıknatıslanma ve koersivite değerleri sıfırdır. Bazı manyetik özellikler, özellikle koersivite ve mıknatıslık tane boyutuna bağlı olarak değişir. Şekil 4b’de manyetit için tane boyutuna bağlı olarak koersivite değişimini betimlenmektedir ve 30 nm altına düştüğünde süperparamanyetik özellik gösterdiği görülmektedir. Proje tasarımında kullanılacak olan Fe_3O_4 nanoparçacıklar, oda sıcaklığı civarında kalıcı mıknatıs gibi davranacağından süperparamanyetik özellik yerine 40 nm’nin üzerindeki boyutlarda ferromanyetik özellik gösteren nanoparçacıklar sol-jel yöntemiyle üretilecektir (Şekil 4c). Ayrıca projemizde Fe_3O_4 nanoparçacıkların kullanılmasının bir diğer nedeni biyoyumlu özellik göstermesidir. Günümüzde bu nanoparçacıklar kanser tedavisi için hipertermi gibi biyomedikal uygulamalarda kullanılmaktadır.

Grafen, bir karbon allotropudur ve kovalent bağlanma ile bağlı karbon atomlarının bal peteği kristal kafes yapısı içinde sıkıca paklendiği, tek atom kalınlığına sahip düzlemsel yapıdır. Fiziksel özellikler açısından, kusurları ve safsızlıkları olmayan bir grafen, yüksek elektronik hareketlilik ($\sim 250.000 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), yüksek optik geçirgenlik ($\sim \% 97,7$), yüksek elektriksel ve termal iletkenlik ($3000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; in üstünde) gibi üstün niteliklere sahiptir. Grafen ayrıca yüksek mekanik sertliğe, mukavemete ($\sim 130 \text{ GPa}$) ve esnekliğe ($\sim 1.0 \text{ TPa}$) sahiptir. Grafenin ultra düşük kütlesi, elastikiyeti ve yüksek mekanik mukavemet özellikleri, onu ses iletim uygulamaları için son derece cazip bir malzeme haline getirmektedir [5]. Literatürde CVD ile üretilmiş grafenin basit üretim yöntemi ve düşük maliyeti sonucu grafen temelli mikrofon ve ultrasonik radyo komponenti olarak kullanılabileceği gösterilmiştir [8,9]. Projemizde grafen CVD yöntemi ile üretilecektir.

Grafene destek malzemesi olarak kullanılması düşünülen Poli-Metil Metakrilat (PMMA) amorf yapılı, lineer zincirli ve düşük imalat fiyatına sahip termoplastik bir polimerdir. Grafen ile PMMA'nin birleşmesi, PMMA'in mikro yapısını ve viskoelastik özelliklerini önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir. PMMA biyoyumluluğu nedeniyle lens malzemesi olarak biyomedikal uygulamalarda kullanılmaktadır. Metalik nanoparçacık ile grafen fonksiyonelleştirmenin en yaygın yöntemleri kovalent ve kovalent olmayan kimyasal modifikasyonlardır [3]. Üretilen nanoparçacıkların grafene immobilizasyonu için kovalent bağ yerine çift katlı (sandviç tipi) tek tabakalı grafen ile Fe_3O_4 nanoparçacıklarının enkapsüle edilmesi planlanmış ve bu amaca yönelik olarak yapmış olduğumuz ön çalışmalarımız sonucu üretilen grafen ve nanoparçacıkların elektron mikroskop görüntüsü Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü **a)** Fe nanoparçacıklar **b)** CVD grafen ile kompoze edilmiş Fe nanoparçacıklar **c)** Sandviç yapıda enkapsüle edilmiş nanoparçacıkların şematik gösterimi.

Bu bilgiler doğrultusunda manyetik özelliğe sahip Fe_3O_4 nanoparçacıkları sandviç tipi grafen olarak adlandırılan iki grafen tabakası ile oluşturulmuş yapının arasına eklenip kompozit yapı oluşturulacaktır. Oluşturulan yapı ile grafenin akustik özellikleri ve manyetik nanoparçacıkların titreşimi sayesinde sağlanacak indüklenme yardımıyla oluşturulacak elektrik akım sinyalinin bir mikro elektronik sistem yardımıyla duyma sinirlerine sinyal göndermesi ile duyma fonksiyonu gerçekleştirilecektir.

3.1. Teori: m manyetik momentlerden oluşmuş bir V hacimdeki bir manyetik nanoparçacığın sahip olduğu M mıknatıslanması,

$$\vec{M} = Nm/V = n \cdot m \quad (\text{Denklem 2})$$

formülü ile verilir. Burada; m : manyetik moment, V : hacim, N : V hacmindeki manyetik moment sayısı, n : birim hacimdeki manyetik moment sayısı'dır.

Bir nanoparçacığın oluşturacağı B manyetik alanı,

$$\vec{B} = \mu \cdot (H + \vec{M}) \quad (\text{Denklem 3})$$

dış manyetik alanın olmadığı durumlarda ise $H=0$ olacağından denklem,

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{M} \quad (\text{Denklem 4})$$

şeklini alır. Burada μ ortamın manyetik geçirgenliğidir. Buradaki B mıknatıslanması deney sonucu üretilecek olan manyetik nanoparçacıklarının oda sıcaklığı civarında elde edilecek histerisis eğrisinden bulunacaktır. Ses dalgası diyafram görevi gören membrana çarptığında sesin basıncı ve frekanstaki değişimine bağlı olarak membranı titreştirecek ve böylece mekanik bir titreşim meydana gelecektir. Bu titreşim aynı zamanda manyetik nanoparçacıkların akım halkası içinde titreşmesi demektir. Burada M mıknatıslanmasına sahip olan ve bir mıknatıs gibi davranan nanoparçacıkların bir yüzey alanı içinde oluşturduğu manyetik akı denklemi,

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int \mu \cdot \vec{M} \cdot d\vec{s} \quad (\text{Denklem 5})$$

ile verilir. Faraday Yasası bize birim zamanda manyetik akı değişiminin bir gerilim oluşturduğunu açıklamaktadır.

$$-d\Phi / dt = \mathcal{E} = \Delta V \quad (\text{Denklem 6})$$

$$\mathcal{E} = \Delta V = -d/dt(\int \mu \cdot \vec{M} \cdot ds) \quad (\text{Denklem 7})$$

Bu formül bize M mıknatıslanmasına sahip nanoparçacıklarının ses dalgası sonucu akım halkası içerisinde meydana getirdiği akı değişiminin akım halkası uçları arasında bir gerilim meydana getirdiğini göstermektedir. Oluşacak bu gerilim hareket eden nanoparçacıkların titreşim hız ve frekansına bağlıdır.

Benzer olarak bobinlerde sabit dış bir manyetik alan içinde hareket eden akım halkası için gerilimin (\mathcal{E}) frekans bağıllığı şu şekilde verilir.

$$\Phi = \Phi_p \cos \theta \quad (\text{Denklem 8})$$

$$\mathcal{E} = -d\Phi / dt = -d/dt (\Phi_p \cos \theta) = + \Phi_p \cdot \sin \theta d\theta / dt$$

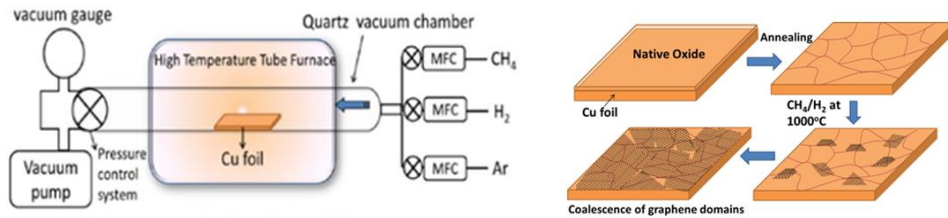
$$\mathcal{E} = \Phi_p \cdot \omega \cdot \sin \omega t \quad (\text{Denklem 9})$$

Buradan açısal frekans $\omega = d\theta / dt$ (Denklem 10) ve $\omega = 2\pi f$ (Denklem 11) ile frekansa bağlanır. Benzer olarak projemizde geliştirdiğimiz yapay kulak zarının frekansa bağımlılığının yanında grafen membran yapının elastikiyet özellikleri de dikkate alınarak indüklenen akım değeri hesaplanacaktır.

4. Yöntem

4.1. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) Yöntemi ile Grafen Üretimi

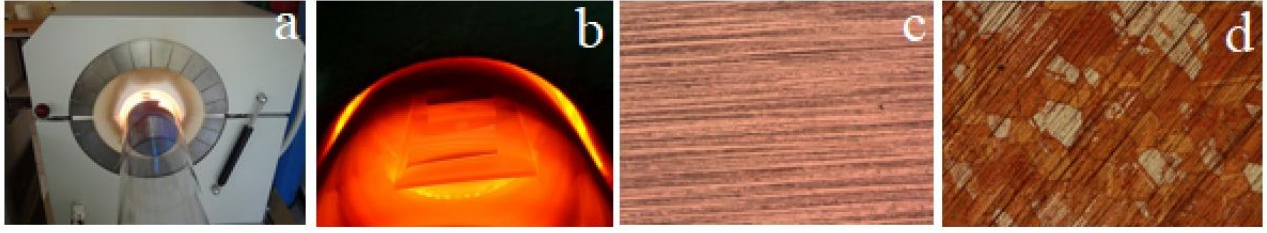
Grafenin üretilmesi adına aşağıdan yukarıya ya da yukarıdan aşağıya olmak üzere birçok yöntem bulunur. Kimyasal yollarla mikro yapıları küçük parçalı grafen elde edilirken, CVD Yöntemi ile metal geniş yüzeylerde tek katmanlı veya birkaç katmanlı yüksek kalitede grafen kolaylıkla üretilebilmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Kimyasal Buhar Biriktirme(CVD) Yöntemi ile Grafen Üretimi.

Proje ekibi olarak uzun yıllardır CVD yöntemi ile grafen üretimi konusunda deneyime sahibiz. Genelde katalizör malzemesi olarak kolay bulunurluğu, düşük maliyeti ve özellikle tek tabaka grafen elde edilmesi için kendi kendine kontrol yeteneği sebebiyle katalizör olarak bakır tercih edilmektedir. Projemizde yapay kulak tasarımında kullanılacak tek tabaka grafen üretilmesi için 2*2 cm² boyutlarında 2 farklı bakır folyo ön temizleme aşamasından sonra vakum altında çalışan bir termal fırına yerleştirilecek ve ortam vakum altına alınacaktır. Bakır yüzeyinde bulunan doğal oksidi uzaklaştırmak ve bakır grainlerini oluşturmak için Argon/Hidrojen indirgeme ortamında 1000 °C'ye kadar ısıtılacak, yaklaşık 30 dk civarında tavlama işlemi gerçekleştirilecektir (Şekil 7a-7b). Daha sonra gaz akışına ilaveten belirli miktarda metan (CH₄) akışı ilave edilecektir. Bu aşamada grafen oluşumu birkaç çekirdeklenme bölgesi ile başlar, ardından tek atomik tabaka grafen kristalleri ile bakır yüzeyin tamamen kaplanmasıyla yanıl büyümesi devam eder. Metan, bakır yüzeyde parçalanır ve adsorbe edilmiş karbon atomları, grafen kristalleri ile birleşene ve grafen kristallerine eklenene kadar yüzey üzerinde hareket eder. Böylece gaz akış oranına bağlı olarak 5 ila 30 dakikalık kısa bir büyüme süresinden sonra tek atomik tabaka grafen (SLG), Cu

folyo üzerinde elde edilir [10]. Şekilde ön çalışmamızda gerçekleştirilen CVD yöntemiyle bakır üzerinde grafen üretimi ve üretimden önce ve üretimden sonra bakır yüzeyinin optik mikroskop görüntüsü görülmektedir (Şekil 7c-7d).



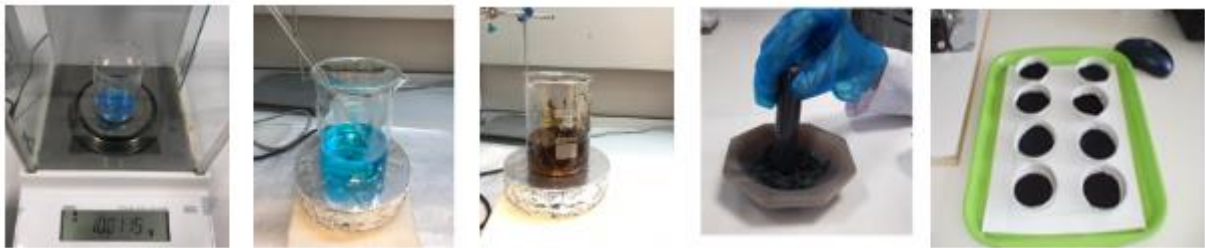
Şekil 7. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) yöntemiyle bakır üzerinde grafen üretimi ve ısıl işlem uygulanması c) Üretimden önce d) Üretimden sonra bakır yüzeyinin optik mikroskop görüntüsü.

4.2. Grafen/PMMA Nanokompozit Yapının Oluşturulması

Bakır yüzeyinde elde edilen tek tabakalı grafen yüzeyi biyouyumlu PMMA polimeri ile kaplanarak membran oluşturulacaktır. Oluşturulan Grafen/PMMA kompozit yapısı grafenin sertlik, mukavemet, boyut ve termal dengesini sağlayacaktır.

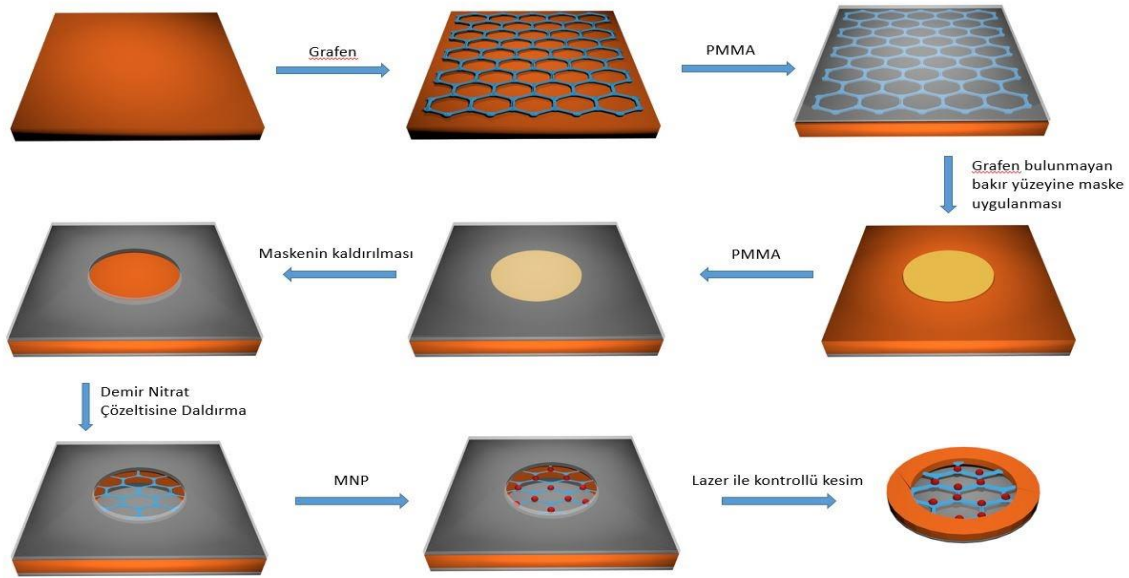
4.3. Sol-Jel Yöntemi ile Metal Nanoparçacık Sentezi

100 nm üzerinde Fe_3O_4 nanoparçacıkların elde edilmesi için sol-jel (solüsyon-jelleşme) yöntemi kullanılması amaçlanmıştır. Sol-jel yöntemi, başlangıç malzemesinin hidrolizi ve yoğunlaşması kademelerinden oluşmaktadır. Başlangıç malzemesi olarak alkoksitler, inorganik ve organik tuzlar kullanılabilir. Sol-jel prosesinde metal alkoksit gibi bir reaktif metal başlangıç malzemesi su ile hidrolize uğrar ve hidrolize uğrayan türlere metal oksit nanoparçacık çökeltilerinin oluşturulması amacıyla birbirleriyle yoğunlaşmaları için izin verilir. Çökelti daha sonra yıkanır ve kurutulur. Bundan sonraki aşamada kristal metal oksit nanoparçacıklarının oluşumu için yüksek sıcaklıkta kalsine edilir. Hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonlarının meydana gelme hızı önemlidir. Bu parametre son ürünün özelliklerini etkiler. Örnek olarak, yavaş ve çok kontrollü hidroliz daha düşük boyutlu partikül oluşumuna olanak sağlar [9]. Buna ek olarak katalizör temelli yoğunlaşma reaksiyonları ise daha yoğun partikül oluşumuna sebebiyet verir. Ön çalışmalarımızda sol-jel yöntemi ile elde edilen nanoparçacıkların üretim aşamaları Şekil 8'de görülmektedir.



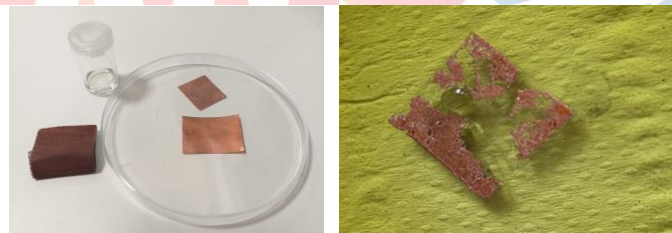
Şekil 8. Sol-jel yöntemi ile nanoparçacık üretim aşamaları.

Çalışmada üretilecek olan yapay kulak zarı için üretim aşamaları Şekil 9'da görüldüğü gibi planlanmıştır.



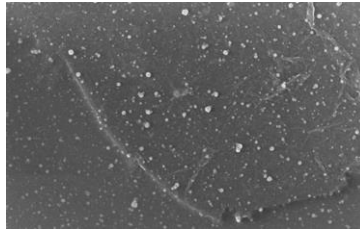
Şekil 9. Grafen/Manyetik Nanoparçacık/Grafen kompozit yapı aygıt üretim aşamaları.

Aygıt tasarımı için ilk olarak CVD yöntemiyle üretilen grafen kaplı 2 farklı bakır folyonun grafen kaplı tarafı PMMA ile spin-kaplama yöntemi kullanılarak homojen olarak 4000 rpm de 40s süresince döndürülerek kaplanacaktır. Bakırın diğer boş kalan kısmı (grafen bulunmayan) PMMA ile kaplanmadan önce tam orta noktası merkez olacak şekilde 1 cm çapında bir dairesel etiketle yapıştırılacak ve üzeri PMMA ile bir önceki yöntemle aynı şekilde kaplanacaktır. PMMA kurutulduktan sonra etiket çıkartılıp orta kısmın PMMA'siz kalması sağlanacaktır. Böylece elimizde 2 adet, bir tarafı PMMA/Grafen/Cu olan diğer tarafı ortası 1 cm çapında boşluk olan Cu folyo elde edilecektir. Bu boşluğun oluşturulmasının amacı 2 adet, 1 cm çapında boşluk oluşturulan Cu yüzeyin Demir(III) Nitrat ($Fe(NO_3)_3$) solüsyonunda etching edilmesidir (Bu işleme örnek olarak Şekil 10'da etching işleminin resimleri verilmiştir). Bu amaç için saf su Demir(III) Nitrat solüsyonu içerisine bırakılmış Cu folyolar bir müddet sonra sadece bakırın boş olan kısmında yok olması sebebiyle 1 cm çapında grafen/PMMA tabakasının kalması sağlanacaktır.



Şekil 10. Grafenin PMMA ile kaplanması ve bakır folyonun etching edilmesi.

Daha sonra 1 adet boşluk oluşturulan bakırın grafen kısmı sol-jel yöntemi ile üretilmiş olan manyetik özelliğe sahip Fe_3O_4 nanoparçacıklar drop-casting yöntemiyle eklenecektir. Grafenin üzerine Fe_3O_4 nanoparçacıklarının sabitlenmesinin ardından boşluk oluşturulmuş ikinci bakır folyo grafensiz kısımları üst üste gelecek şekilde bir araya getirilerek sandviç yapı oluşturulacaktır. Bu aşamadan sonra merkezden 1.25 cm çapında bir halka elde edebilmek için geri kalan kısım lazer kontrollü kesim ile kesilip çıkarılacaktır. Uçlarına oluşturulan gerilim sonucu meydana gelen akımın okunabilmesi için 2 tane bakır tel kontak yapılacaktır. Böylece yapay kulak için sandviç tipi kulak zarı tasarımı gerçekleştirilmiş olacaktır. Ön çalışmamızda grafen üzeri katkılanan nanoparçacıkların SEM görüntüsü Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 11. Grafen üzeri katkılanan nanoparçacıkların SEM görüntüsü.

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Kulak zarı niteliğindeki membran tasarımında bakır coil içerisinde CVD yöntemiyle üretilen sandviç grafen tabakalar arasına sol-jel yöntemiyle sentezlenen manyetik özelliğe sahip Fe_3O_4 nanoparçacıklar katkılanacaktır. Bu nanoparçacıkların grafen yüzeyine tutunması için herhangi bir ara linker-bağlayıcı molekül kullanılmamış, bunun yerine nanoparçacıkları immobilize etmek için ikinci bir grafen tabakasıyla parçacıklar örtülmüştür. Böylece nanoparçacıkların stabil kalması yanında PMMA ile desteklenmiş grafenin iki katlı olması sebebiyle dayanımı daha da arttırılmıştır. Bu yöntem aygıtın vücut içerisinde kullanılması sebebiyle kimyasal olarak herhangi bir bağlayıcının kullanılmaması sonucu bir biyouyumluluk sorunu yaratmayacaktır. Halihazırda kullanılan PMMA ve grafen biyouyumlu malzemelerdir. Ayrıca bu yöntem ticari olarak maliyeti de azaltacak bir yöntemdir. Projemizde önerilen tasarım ekibimize ait özgün bir tasarımdır, literatürde ve piyasada benzer bir ürüne rastlanmamıştır. Parçacıkların üretimi için önerdiğimiz sol-jel yöntemi ise diğer nanoparçacık üretim yöntemleri arasında çok yönlü ve ekonomik bir yöntem olarak görülmektedir. Bu yöntem kullanılarak çeşitli şekillere, boyutlara ve yapılarla sahip nanomalzemelerin üretimi mümkündür.

6. Uygulanabilirlik

Tek katmanlı veya birkaç katmanlı yüksek kalitede grafen CVD yöntemiyle kolaylıkla üretilmektedir. Çok geniş yüzey alanına sahip grafen kolayca sentezlenebilmektedir. Üretilen grafen metal katalistin kimyasal dağlanması ile bir sonraki işlemler için başka yüzeylere rahat bir şekilde transfer edilebilmektedir. Yöntem katalizör tipi, basınç, hammadde, taşıyıcı gaz türleri, sıcaklık vb. gibi birçok değiştirilebilir deneysel parametreye sahiptir. Grafenin özellikleri bu parametreler değiştirilerek istenilen hale getirilebilir. Nanoboyuttaki manyetik nanoparçacıklar, nispeten kolay ve düşük maliyette sentezlenebilme olanakları ve sahip oldukları manyetik özellikleri ile manyetik veri depolamadan, manyetik soğutmaya, mikrodalga uygulamalarından biyomedikal uygulamalara kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Manyetik nanoparçacıklar biyolojik uygulamalar için elverişlidir. Mevcut tasarım, üretim ve deneme aşamalarından sonra bu projenin kapsamı dışında geliştirilmiş veya geliştirilecek olan elde elektrik sinyalini işleyen mikroelektronik aygıt tasarımından sonra ticari bir ürüne dönüştürülebilecektir.

7. Proje Fikrinin Hedef Kitlesi (Kullanıcılar):

Tam veya kısmi işitme kaybı yaşayan kişilerin mevcut duyma yeteneği kazandırmak için, dışarıdan gelen sesleri bastırıp konuşma seviyesini yükselterek kulağın duymasına yardımcı olan işitme cihazları kullanılmaktadır. Projemizde kulak zarından başlamak üzere işitme sinirlerine

kadar olan tüm aşamalarda oluşan hasarlara sahip bireylerin duyma kayıplarını ortadan kaldırmak için kulak zarı şeklinde çalışan bir yapay kulak tasarlanmıştır. Tasarladığımız aygıt bir mikroelektronik sisteme entegre edilerek duyma sorununa sahip kişilerin duyma fonksiyonu geri kazandırılabilir.

8. Proje Ekibi

Takım Lideri: Elif GÖKOĞLAN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cumhur Gökhan ÜNLÜ

Adı Soyadı	Projedeki Görevi	Okul	Projeye veya problemle ilgili tecrübesi
Elif GÖKOĞLAN	Yapay kulak tasarımı ve modellemesi	Pamukkale Üniversitesi	Biyomedikal Mühendisliği Yüksek Lisans
Aleyna AKÇAY	Manyetik nanoparçacık hesabı ve üretim parametreleri	Pamukkale Üniversitesi	Biyomedikal Mühendisliği Yüksek Lisans
Hatice Nur KOYUN	Elektromanyetik anten için litografi yöntemi ile anten tasarımı	Pamukkale Üniversitesi	Biyomedikal Mühendisliği Yüksek Lisans
Sinem KARATEKİN	Kompozit yapının oluşturulması	Pamukkale Üniversitesi	Biyomedikal Mühendisliği 4. sınıf
Çiğdem YENER	Grafen membran üretimi	Pamukkale Üniversitesi	Biyomedikal Mühendisliği 4. sınıf
Hatice Dilay YAZICI	Titreşim frekans hesaplaması	Pamukkale Üniversitesi	Biyomedikal Mühendisliği 3. sınıf

9. Kaynaklar

- [1] İşitme kaybının nedenleri. Phonak life is on. <https://www.phonak.com/tr/tr/isitme-kaybi/isitme-kaybi-belirtileri-ve-yapilmasi-gerekenler/isitme-kaybinin-nedenleri.html>
- [2] What is Faraday's law?. Khan Academy. <https://www.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-flux-faradays-law/a/what-is-faradays-law>
- [3] Hussien Mai. S. A., Mohammed M.I., Yahia I.S. 2020. "Multifunctional Applications of Graphene-Doped PMMA Nanocomposite Membranes for Environmental Photocatalytic", Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials.
- [4] Çiftçi, Hakan. Manyetit / Modifiye Manyetit Nano-Taneciklerin Sentezi Ve Sulu Ortamlardan Cr(VI) Giderimi. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi,2015.
- [5] Bayev, V.G. 2018. "CVD graphene sheets electrochemically decorated with "core-shell" Co/CoO nanoparticles", Applied Surface Science,440,1252-1260.
- [6] Genç, Övgü. Bakır Ve Bakır Oksit Nanopartiküllerinin Ultrasonik Sprey Piroliz(USP) Yöntemi İle Üretimi. İstanbul. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. 2009.
- [7] Ünlü C.G. 2018. "Manyetik nanomalzemeler". Nanoteknoloji 1. Editörler:Ersöz, M. Işıtan, A. Balaban,M.
- [8] Lee, H., Yook, Jong-Gwan. 2019. "Graphene Nanomaterials-Based Radio- Frequency/ Microwave Biosensors for Biomaterials Detection",Materials, 12, 952.
- [9] Zhou, Q. Zhenga, J. Onishia, S. Crommiea M.F. Zettla, A.K. 2015. "Graphene electrostatic microphone and ultrasonic radio", PNAS, vol. 112. 29. 8942–8946.
- [10] Bayram Yıldız,Grafenin Kaymalı Yataklara Uygulanması, Denizli: Pamukkale Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi,2016.