

# TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

BİYOTEKNOLOJİ İNOVASYON YARIŞMASI

PROJE DETAY RAPORU

ÜNİVERSİTE VE ÜZERİ SEVİYESİ SEVİYESİ FİKİR

KATEGORİSİ

TAKIM ADI

POLİTEK

PROJE ADI

BAŞVURU ID

464068



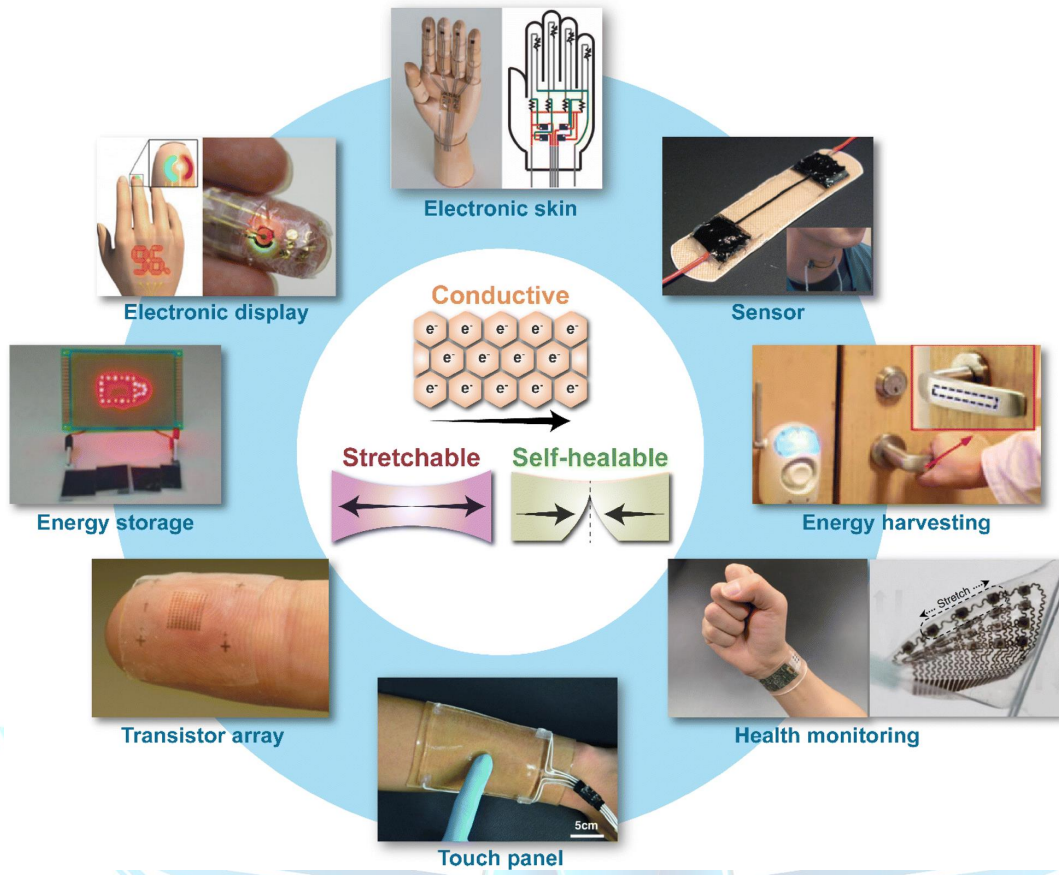
## İçindekiler

### 1. Proje Özeti (Proje Tanımı) (5 puan)

Önerilen proje kapsamında yeni polimerik malzeme geliştirmeyi hedefliyoruz. Polimerimiz kendi kendini onarabilme, sağlam, kendiliğinden yapışkan, iletken, şeffaf ve çeşitli uyarılara duyarlı olma özellikleri bakımından özgün olacaktır. Bu özelliklere sahip polimerler son yıllarda soft elektronik teknolojisinde ve robotik uygulamalarda önemli yere sahiptir. Soft elektronikler, sağlık izlemesinden tıbbi implantlara kadar uzanan uygulamalara doğru yaygın olarak kullanılmaya başlanan elektronik teknolojilerdir. Soft elektronik teknolojisinde kendinden yapışan, iletken polimer malzemeler, insan vücudunun fizyolojik elektrik sinyallerinin günlük aktiviteler sırasında izlenebilir ve görüntülenebilir olduğu giyilebilir ve rahat biyoelektronik cihazları daha da geliştirmek ve yaygın hale getirmek için umut vericidir. Projemizde kendi kendini onarabilen yüksek mekanik dayanıma, elastikiyete ve ara yüzey yapışma özelliğine sahip iletken, şeffaf polimerlerin sentezi, sentez edilen polimerlerin karakterizasyonu ve soft elektroniklerde uygulanabilirliğin test edilmesi ile ilgili ön denemelerin yapılması amaçlanmıştır.

### 2. Problem/Sorun (5 puan)

Soft robotik, sert ve kırılğan malzemeler yerine uyumlu elastik malzemeler kullanılarak robotların tasarlanması, kontrolü ve üretimini içermektedir. Özellikle biyomedikal uygulamalar için tasarlanan robotlarda metal, seramik gibi sert malzemelerin kullanılması yerine yumuşak malzemelerin kullanılması insan güvenliği açısından önemlidir. Biyolojik sistemlerin yumuşak olmasına karşın implante edilebilir elektronik cihazlarda kullanılan metal ve yarıiletkenlerin sert olmaları nedeniyle aralarında uyumsuzluk vardır (Shi ve Fang, 2019; Song vd., 2020). Biyolojik dokular ve kullanılan sert malzemeler arasındaki bu uyumsuzluk kullanılan implatın çevresindeki doku ve organlara zarar vermesine yol açabilmektedir (Lacour vd., 2016). Bu tür uyumsuzluklar özellikle in vivo sinir bilim için önemlidir. Beyne implante edilen sert elektronikler beyin dokuları ile mekanik uyumsuzluk, nöraglial aktivasyonu tetikleme ve dokuda hücre göçüne sebep olabilmektedirler (Venail vd., 2008). Son yıllarda araştırmacılar robotik sistemlerde polimerik yumuşak malzemelerin kullanılması için çalışmalar başlatmışlardır. Bu malzemeler hem biyoyumlulukları hem de düşük elastik modülüs değerleri sayesinde implate edilebilir elektronik cihazlardaki kullanım için daha uygundur (Qi vd., 2020). Esnek, gerilebilir iletken malzemeler akıllı sensörler (Yamada vd., 2011), enerji depolama (Zhu vd., 2014), yapay elektronik deri (Kim vd., 2012) gibi birçok uygulama alanında yer almaktadır. Gerilebilir iletken malzemelerin uygulama alanları dikkate alındığında, yüksek mekanik dayanıma ve uzama değerlerine (>%50), yüksek elektrik iletkenliğine sahip olmaları istenmektedir. Bu malzemelerin kullanımı sırasında esneme, bükülme, darbe ve sıcaklık gibi etkenler malzemede hasara sebep olabilmektedirler. Bu nedenle gerilebilir iletken malzemelerin kendi kendini onarabilme (self-healing) özelliğine sahip olması malzemenin kullanım ömrü açısından oldukça önemlidir.



**Şekil 1.** Gerilebilir polimerlerin uygulama alanları (Zhao vd., 2019).

Kendi kendini onarma özelliği malzemede oluşan hasarın malzemenin kendisi tarafından herhangi bir dış müdahaleye gerek olmaksızın onarabilmesi özelliğidir (Taylor ve Panhuis, 2016). Soft robotikte kullanılan malzemeler yorgunluk, kesilmeler, yırtılmalar ve ara yüzey bağlantılarının açılması gibi birçok hasara karşı hassastırlar. Bu tür malzemelerin maliyetinin oldukça yüksek olması nedeniyle üzerinde oluşan hasardan dolayı kullanılamaması ekonomik olarak istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle son yıllarda soft robotik malzemelerin geliştirilmesi çalışmalarında malzemenin kendi kendini onarma kabiliyetine sahip olması istenmektedir.

Literatürde soft robotik uygulamalar için sentezlenmiş iletken polimerler olmasına karşın yapışkan özelliğe sahip, tok (tough), kırılğan olmayan elastikiyeti yüksek ve kendi kendini onarabilen iletken polimerlerin eldesi, soft robotik uygulamalarda kullanımı ve elektrik iletkenlik dayanımı yüksek malzemelerin sentezi ile ilgili bazı eksiklikler bulunmaktadır. Soft robotik uygulamalarda kullanılan malzemelerin yüksek voltajda elektrik iletkenliğine dayanması istenmektedir. İletken polimerlerde elektriğin iletilmesi sırasında yüksek voltaj nedeniyle malzemede hasar meydana (dielectric breakdown) gelmektedir. Bu proje yukarıda değinilen mevcut eksiklikleri gidermek için planlanmıştır ve projede; metal kompleksi kullanılarak maliyeti nispeten düşük, hızlı, tekrarlanabilir, herhangi bir başlatıcıya ihtiyaç duymaksızın kendi kendini onarma özelliği gösteren, mekanik ve ısıl dayanımı yüksek soft robotik uygulamalarında kullanılmak üzere yeni polimer sentez edilmesi amaçlanmıştır.

### 3. Çözüm (20 puan)

Poli vinil alkol (PVA), sahip olduğu yüksek biyoyumluluk, eşsiz mekanik özellikler ve toksik olmaması nedeniyle soft robotik uygulamalarda kullanılmaktadır (Lin vd., 2016; Cai vd., 2017). Tüm bu avantajlarına karşın PVA soft robotik kullanımı sırasında kolayca hasar alarak mekanik özelliklerini yitirmektedir. PVA'ya çapraz bağlayıcı olarak boraks eklemek, borat esterlerinin ve PVA-boraks polimer ağının oluşumunu sağlar. Dinamik PVA-boraks polimer ağ yapılı hidrojel, bir taraftan kendi kendini onarma kabiliyeti kazanırken, diğer taraftan da yapısında nemi hapsederek yapıdan suyun buharlaşmasını azaltmaktadır. Ancak PVA- boraks polimerin genellikle kırılğan bir yapı oluşturduğu görülmüştür (Wang vd., 2020). Polidopamin (PDA), dopamin (DA) maddesinin serbest radikal polimerizasyonu ile elde edilen, biyoyumlu ve korozyon koruma uygulamalarında da önemli bir yere sahip olan bir polimerdir (Hauser vd., 2020, Chen vd., 2020). PDA ayrıca özellikle ıslak yüzeylerde yapışkan özelliğe sahip olma avantajına sahiptir (Hauser vd., 2020). Poli(4-stirensülfonik asit) katkıli poli(3,4-etilendioksitiyofen) (PEDOT/PSS) ticari olarak kullanılan iletkenliği en yüksek polimerlerden biridir. PEDOT: PSS geniş dalga boyu aralığındaki geçirgenliği, ayarlanabilir iletkenliği, yüksek termal kararlılığı ve iyi film oluşturma yeteneğinin yanı sıra üstün mekanik dayanıma ve esnekliğe sahip olması nedeniyle, tercih edilen bir polimerdir (Hu vd., 2020).

Bu projede PVA/PEDOT:PSS/PDA-Zn/boraks içeren polimer sentezlenecektir. Projede, PDA ile çinko kompleksi oluşturularak hem yapıya kendi kendini onarma özelliği geliştirilecek hem de metal kompleksi sayesinde polimerin yapışkanlık özelliği arttırılacaktır. Ayrıca metal ligand kompleksinin malzemenin dielektrik dayanımını (dielectric strength) arttırması hedeflenmektedir (Li vd., 2016). PDA kompleksinde, metal iyonu olarak çinko tercih edilecektir. Çinko metalinin vermiş olduğu komplekslerin renksiz olması sayesinde, şeffaf bir polimer sentezlenmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte PVA/PEDOT:PSS/PDA-Zn karışımına boraks eklenerek hem polimer çapraz bağlanacak hem de boraksın yapısında yer alan dinamik bor- diol bağları sayesinde malzemenin kendi kendini onarma özelliğine katkı sağlanacaktır.

### 4. Yöntem (20 puan)

**Projemizde kullanılacak yöntemler 5 iş paketinden oluşmaktadır ve her iş paketi aşağıda detaylı olarak sunulmuştur;**

#### **İş paketi 1: PVA/ PEDOT:PSS/PDA/Boraks içeren polimerlerin sentezi**

##### **PDA sentezi ve karakterizasyonu**

Sentez pH nın iki farklı kimyasal kullanılarak ayarlandığı ortamlarda yapılacaktır. İlk sentezde; 400 mg DA, 100 mL Tris-HCl tamponu (10 mM, pH 8.5) içinde dağıtılacak ve daha sonra bir ultrasonik ile banyo yardım ile çalkalandıktan sonra bir behere aktarılacaktır. Karıştırılarak ısıtılan DA çözeltisi ardından 30°C'de bir su banyosunda 24 saat boyunca geri distilasyon tabii tutulacaktır. Sentezlenen PDA soğutulurak bir vakum pompasıyla süzülecek, birkaç kez etanol ve H<sub>2</sub>O ile yıkanacaktır. Ardından 12 saat boyunca dondurarak kurutulacaktır. Elde edilen siyah katı toz halindeki PDA sağlacaktır (Gong vd, 2022). Elde edilen PDA FTIR ve H-NMR ile karakterize edilecektir.

İkinci sentezde; 90 mL deiyonize su ve 40 mL etanol oda sıcaklığında karıştırıldı. Hazırlanan bu alkol-su karışımına sulu amonyak çözeltisi ( $\text{NH}_4\text{OH}$ , 1 mL, %25) eklendi ve elde edilen karışım 30 dakika boyunca karıştırılmaya devam edildi. Dopamin hidroklorür (0.5 g) 10 mL deiyonize su içinde çözüldü, alkol-su karışımına enjekte edildi ve 24 saat oda sıcaklığında (hava ile temas edecek şekilde) karışım karıştırıldı. Oluşan PDA santrifüj ile ayrıldı ve kurutuldu (Luo vd., 2015; Wang vd., 2020). Elde edilen PDA FTIR, SEM, STEM EDS ve XRD ile karakterize edilecektir (Wang vd., 2020).

Her iki yöntemle sentezlenen PDA'nın karakterizasyonu sonucunda partikül büyüklüğü ve dağılımı değerlendirilerek en uygun sentez yöntemi belirlenecektir.

#### **PDA-Zn-kompleks sentezi ve karakterizasyonu**

Önceki adımda elde edilen 0.05 g PDA, 100 ml deiyonize su -etanolda çözüldürülüp, karıştırılacaktır. Daha sonra bu çözeltiye 0.08 g çinko tuzu ilave edilecek ve çözeltinin pH'sı NaOH ile 8'e ayarlanacak ve karışım 1 saat boyunca karıştırılacaktır. Elde edilen solüsyon yıkanacak, santrifüjlenecek ve saklanacaktır (Habibiyan vd, 2020). Elde edilen PDA-Zn-kompleks Uv-Vis spektrofotomere, EDS, FTIR ve H-NMR ile karakterize edilecektir.

#### **PVA/PEDOT:PSS hazırlanması**

PVA'nın deiyonize su içinde  $95^\circ\text{C}$ 'de mekanik karıştırma altında çözülmesiyle bir PVA çözeltisi elde edilecektir. Daha sonra, belirli bir miktarda PEDOT:PSS belirli miktarı DMSO içinde çözülecektir. Hazırlanan PVA ve farklı oranda (%5-%50) PEDOT:PSS çözeltileri birbirleriyle karıştırılacaktır. İletkenlik değerine bağlı olarak bu oran optimize edilecektir (Zhang vd, 2020).

#### **PVA/PEDOT:PSS/PDA-Zn/boraks hidrojelinin eldesi**

Önceki aşamda hazırlanan PVA/PEDOT:PSS karışımına PDA-Zn-kompleksi eklenecektir. Daha sonra boraks ilave edilecek, karışım petri kabına aktarılarak oda sıcaklığında bekletilerek hidrojel elde edilecektir.

#### **İş paketi 2: Morfolojik ve kimyasal karakterizasyonu**

SEM Analizi sentezlenen malzemenin görüntülenmesi için kullanılacaktır. XRD ile Malzemenin yapısı, fazları belirlenecektir. Karakterizasyonda kullanılacak teknikler için KİTAMdan hizmet alımı ile gerçekleştirilecektir. Sentezlenen polimerler FTIR (Fourier Transform Infrared) spektroskopisi kullanılarak analiz edilecektir. Absorpsiyon dalga boyundaki değişim ve yeni bir absorpsiyon pikinin oluşumu incelenerek UV-Vis spektroskopisi kullanılarak bakılacaktır. Sentezlenen hidrojellerin ısıl dayanımları termogravimetrik analiz (TGA) yöntemi ile belirlenecektir.

#### **İş paketi 3: Hidrojellerin mekanik ve yapışma performansının ölçümü**

Mekanik dayanım; Analiz için uygun papyon şeklinde kesilen hidrojellerin mekanik analizleri ASTM D412 standardına uygun olarak gerçekleştirilecek ve hidrojelere ait kopmadaki uzama

ve kopmadaki kuvvet değerleri elde edilecektir (Xue vd., 2022).

#### **İş paketi 4: Hidrojellerin şişme testi ve kendi kendini onarabilme (self-healing) özelliklerinin belirlenmesi**

Dondurularak kurutulmuş hidrojellerin şişme davranışı, oda sıcaklığında zaman içinde sudaki ağırlık değişimlerini kaydederek analiz edilecektir. şişme oranı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanacaktır. Bu denklemde  $W_0$  kurutulmuş hidrojellerin başlangıç ağırlığı,  $W$  hidrojellerin farklı zaman aralıklarındaki ağırlığıdır.

$$\text{şişme oranı} = (W - W_0) / W_0 * 100$$

Kendi kendini onarabilme deneyleri için hidrojeller ikiye bölünecek ve daha sonra kesilen parçalar temas ettirilerek parçaların bir araya gelme süreleri tespit edilecektir. İyileşme sonrası orijinal ve iyileştirilmiş jel numunelerine çekme testleri uygulanacaktır. Orijinal ve iyileştirilmiş numunelerin çekme mukavemeti davranışları karşılaştırılacaktır (Wang vd., 2020).

#### **İş paketi 5: İletkenlik ölçümü ve elektronik uygulamalar**

**İletkenlik ölçümü;** Sentezlenen polimerlerin iletkenlik ölçümü öncelikle labımızda mevcut Gamry Referans 600 cihazı ile 2 elektrotlu sistem de yapılacaktır. Farklı frekans aralıkları denerek optimum şartlar belirlenecektir. Ancak iletken polimerlerin iletkenlik ölçümlerinde genel olarak dört problu AC impedans cihazı kullanılmaktadır. Öncelikle ölçüm için numunelerin yerleştirildiği küçük aparat yapılarak ölçümler denenecektir. Sonuç elde edilemezse hizmet alımı ile iletkenlik ölçümü yaptırılacaktır.

**Elektronik uygulamalar:** Sentezlenen polimerler insan derisi ile elektromiyograf arasında iletken arayüzler olarak uygulanacaktır. Biyolojik EMG sinyalleri, farklı kavrama kuvvetlerinde labda mevcut ölçüm sistemi ile izlenecektir. Sonuçlar, yapışkan ve iletken film elektrotunun performansı ile ticari bir Ag/AgCl elektrotunun performansı ile karşılaştırılarak ortaya konacaktır.

#### **Ön çalışma sunumu**

##### **Kendi kendini onaran PVA/Boraks hidrojelinin sentezi**

Projemizde ön çalışma olarak PVA/Boraks hidrojeli sentezlenmiştir. Bu sentez için Üniversitemizin Malzeme Mühendisliği bölümünden az miktarda PVA ve Boraks maddeleri ödünç alınmıştır. İlk olarak boraks oranının kütlece %1,5 olduğu boraks çözeltisi ve kütlece %10'luk PVA kullanılarak bir hidrogel hazırladık. Bu jelimizin video linki aşağıda yer almaktadır. Bu jelimizin çok akışkan, şeffaf ve kendi kendini onarabilen özellikte olduğunu gördük (şekil 2). Boraks oranını biraz daha arttırarak ve yapıya Zn metal kompleksi ekleyerek elastikiyet ve şekil alma bakımından daha stabil hidrogel elde etmek istedik. Kütlece %10'luk PVA ve boraks çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltiler hacimce farklı oranlarda ( $V_{PVA}/V_{boraks}$  oranları sırasıyla 1/1 ve 2/1) birbirine eklenerek hidrojellerimiz küçük parçalar halinde sentezlenmiştir.  $V_{PVA}/V_{boraks}$  oranının 1/1 olduğu hidrojelimiz ayrıca Zn metal kompleksi

ilaveli olarak hazırlanmıştır. Bu amaçla hazırlanan jellerimiz video linkleri de aşağıda yer almaktadır. Bu hidrojellerimizde boraks oranı arttıkça kendi kendini iyileştirebilme özelliklerinin yanı sıra, şekil olarak daha kararlı olduklarını gözlemledik. Zn metal kompleksi katkılı jelimiz ise, elastikiyet bakımından daha kararlı özellik sergiledi.



Şekil 2. PVA-boraks hidrojelinin kendi kendini onarabilmesi

Videoları sisteme yükleyemediğimiz için linklerini aşağıya ekledik. Linklerle videolara ulaşılabilir.

Video 1 (%10'luk PVA-% 1,5 boraks hidrojel) link

<https://youtu.be/cnMcIgL3wKQ>

Video 2 (%10'luk PVA-% 10 boraks hidrojel) link

<https://youtu.be/4oE7F1QwZtU>

Video 3 (%10'luk PVA-% 10 boraks-Zn metal kompleks hidrojel ) link

<https://youtube.com/shorts/sYsj9jdNE9E?feature=share>

##### 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü (15 puan)

Bu proje kapsamında PDA- metal kompleksinin PEDOT: PSS ile sinerjik etkisinden yararlanılarak iletkenliği yüksek, yapışkan ve metal ile ligand arasındaki koordine kovalent bağın dinamik özelliğinden yararlanılarak kendi kendini onarabilen PVA temelli polimer sentez edilecektir. Bu proje metal ligand kompleksinin dielektrik dayanımı sayesinde dielektrik hasara karşı dayanımı yüksek olan malzemeler geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Sentez edeceğimiz polimer yüksek mekanik dayanım, yüksek elastikiyet, yüksek ara yüzey yapışma özelliği, kendi kendini onarabilme, yapışkanlık ve iletkenlik özellikleri sayesinde özgün olacaktır. Literatürdeki diğer polimerlere göre yapışma ve kendini onarabilme kapasitesi fazla olup, rahat giyilebilir elektronik cihazların geliştirilmesine imkân sağlayacaktır.

##### 6. Uygulanabilirlik (10 puan)

Önerilen proje kapsamında kendi kendini onarabilme, sağlam, kendiliğinden yapışkan, iletken, şeffaf ve çeşitli uyaranlara duyarlı olma özellikleri bakımından özgün polimerik malzeme geliştirmeyi hedefliyoruz. Bu özelliklere sahip polimerler son yıllarda soft elektronik teknolojisinde ve robotik uygulamalarda önemli yere sahiptir. Soft elektronikler, sağlık izlemesinden tıbbi implantlara kadar uzanan uygulamalara doğru yaygın olarak kullanılmaya

başlanan elektronik teknolojilerdir. Bu teknolojiye kendinden yapışan, iletken polimer bazlı elektronikler, insan vücudunun fizyolojik elektrik sinyallerinin günlük aktiviteler sırasında izlenebilir ve görüntülenebilir olduğu giyilebilir ve rahat biyoelektronik cihazları daha da geliştirmek ve yaygın hale getirmek için umut verici özelliklere sahiptir. Projemizde kendi kendini onarabilen yüksek mekanik dayanıma, yüksek elastikiyete, yüksek ara yüzey yapışma özelliğine sahip iletken, yumuşak ve şeffaf polimerlerin sentezi amaçlanmıştır.

Soft robotik, sert ve kırılğan malzemeler yerine uyumlu elastik malzemeler kullanılarak robotların tasarlanması, kontrolü ve üretimini içermektedir. Özellikle biyomedikal uygulamalar için tasarlanan robotlarda metal, seramik gibi sert malzemelerin kullanılması yerine yumuşak malzemelerin kullanılması insan güvenliği açısından önemlidir. Literatürde soft robotik uygulamalar için sentezlenmiş iletken polimerler olmasına karşın yapışkan özelliğe sahip, tok (tough), kırılğan olmayan elastikiyeti yüksek ve kendi kendini onarabilen iletken polimerlerin eldesi ve soft robotik uygulamasında gerilme sensörü olarak kullanımı ile ilgili bazı eksiklikler bulunmaktadır. Bu proje kapsamında dopamin- metal kompleksinin PEDOT: PSS ile sinerjik etkisinden yararlanılarak iletkenliği yüksek, yapışkan ve metal ile ligand arasındaki koordine kovalent bağın dinamik özelliğinden yararlanılarak kendi kendini onarabilen PVA temelli polimer sentezlenecek ve bu polimerin gerilme sensörü olarak kullanımı test edilecektir.

Literatür taraması ile kendi kendini onaran polimerin ve araştırmaların formüle edilmesi, sentez ve üretim aşaması için bilimsel bir metodolojinin geliştirilmesi, kendi kendini onaran polimerin çalışma mekanizmasını destekleyen temel prensipler ve bilimsel kurallarının tanımlanması, temel prensiplerin gözlemlenmesi ve doğrulanması, gözlem ve doğrulama araştırmaları sonucunda kendi kendini onaran soft polimerlere ilişkin bilimsel bilgilerin geliştirilmiş olması, geliştirilen bilimsel bilginin potansiyel uygulamalarının kapsamı ve bileşenlerinin karakteristik özelliklerinin tanımlanması, masa başı çalışmalar ile potansiyel uygulamaların yapılabiliğinin doğrulanması, yapışkan özelliğe sahip, tok (tough), kırılğan olmayan elastikiyeti yüksek ve kendi kendini onarabilen iletken polimerlerin eldesi ve soft robotik uygulaması gibi potansiyel uygulama ve bileşenlere yönelik teorik tasarımların tamamlanması, herbir potansiyel uygulama için performans tahminlerinin belirlenmesi ve potansiyel uygulamaların analizi için analitik araçların belirlenmesi sebebi ile projenin başlangıç teknoloji hazırlık seviyesi THS 2 olarak belirlendi.

Bu aşamadan sonra geliştirilmesi hedeflenen polimerler modellenerek potansiyel uygulama için performans tahminleri deney çalışmaları ile doğrulanacaktır. Polimerlerin yapılabiliği deneyler ile ortaya konulacak ve teknolojinin hedeflenen kullanımına ilişkin uygulanabilirliği kanıtlanarak teknoloji performans istekleri oluşturulacak ve son kullanıcının teknoloji gereksiminin dokümantasyonu yapılacaktır.

## 7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması (5 puan)

Projede yer alan iş paketleri ve bunlar için önerilen iş-zaman çizelgesi ve görev alan proje personeli aşağıda sunulmuştur. Proje için öngörülen süre 4 aydır.



İş Paketi Ad/Tanım	Görev Alan Proje Personeli	Aylar	
		Mayıs Haziran	Temmuz Ağustos
PVA/ PEDOT:PSS/Dopamine-Borax içeren polimerlerin sentezi	Prof.Dr.Müberra Andaç, Elif KAYMAZLAR, Çigdem DİKBAŞ, Ghassan H.MATAR	x	
Morfolojik ve kimyasal karakterizasyon	Prof.Dr.Ömer ANDAÇ, Elif KAYMAZLAR, Çigdem DİKBAŞ, Ghassan H.MATAR	x	
Hidrojellerin mekanik ve yapışma performansının ölçümü	Prof.Dr.Ömer ANDAÇ, Elif KAYMAZLAR, Çigdem DİKBAŞ, Ghassan H.MATAR	x	
Hidrojellerin şişme testi ve kendi kendini onarabilme (self-healing) özelliklerinin belirlenmesi	Prof.Dr.Ömer ANDAÇ, Elif KAYMAZLAR; Ghassan H.MATAR	x	
İletkenlik ölçümleri, Elektronik uygulamalar	Prof.Dr.Ömer ANDAÇ, Prof.Dr.Müberra Andaç, Elif KAYMAZLAR; Ghassan H.MATAR		x

Proje kapsamında alınması önerilen tüketime yönelik malzeme listesi ve malzeme alımı için öngörülen bütçe aşağıda sunulmuştur.

Alınması Önerilen Tüketime Yönelik Mal ve Malzeme Alımı Listesi (Sarf Malzemesi )				
Adı, Modeli	Birim Fiyatı	Adet	Toplam Bedeli (KDV Dahil, TL)	Gerekçesi
Poly vinyl alcohol 363170 500 g (Ma 13,000-23,000)	1,648.80	1	1,945.58	Polimer sentezi
Poly vinyl alcohol 363138-500G (31,000-50,000)	2,106.00	1	2,485.08	Polimer sentezi
Poly vinyl alcohol 360627-500G (9,000-10,000)	2,088.00	1	2,463.84 ₺	Polimer sentezi
Ammonium persulfate 215589-100G	376.20	1	443.92 ₺	Polimer sentezi
Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrenesulfonate) 655201-	3,564.00	2	8,411.04 ₺	Polimer sentezi

25G				
Dopamine hydrochloride H8502-25G	2,286.00	2	5,394.96 ₺	Polimer sentezi
Sodium tetraborate decahydrate B9876-500G	846.00	1	998.28 ₺	Polimer sentezi
Dimethyl sulfoxide 2,5 L	916.20	1	1,081.12 ₺	Polimer sentezi
Mutlak etanol 2.5L	396.00	4	1,869.12 ₺	Polimer sentezi
Nitril eldiven, S, pudrasız, 0.12mm kalınlığında	270.00	4	1,274.40 ₺	Polimer sentezi
UV kuveti bir çift	1,044.00	1	1,231.92 ₺	UV ölçümleri
Metanol	108.00	1	127.44 ₺	Polimer sentezi
Karbon kaplı Cu TEM grid, 300 mesh 50 adet/kutu	2,340.00	2	5,522.40 ₺	Karakterizasyon
Zinc chloride 208086-500G	1,656.00	1	1,954.08 ₺	Polimer sentezi
4 problu iletkenlik ölçüm için örnek yerleştirme aparatı	4250	1	4250	İletkenlik ölçümü
<b>Toplam</b>			39.453,00	

Proje kapsamında alınması önerilen hizmet alımı ve hizmet alımı için öngörülen bütçe aşağıda sunulmuştur.

<b>Hizmet Alımı</b>				
<b>Mahiyeti (Analiz)</b>	<b>Birim Fiyatı</b>	<b>Adet</b>	<b>Toplam Bedeli (KDV Dahil, TL)</b>	<b>Gerekçesi</b>
Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM,STEM, EDS)	200	25 saat	5900	Sentezlenen malzemenin mikroyapı ve elemental analiz
XRD Toz örnek/ince film kırınım deseni çekimi	75	25 saat	2212	Sentezlenen malzemenin faz analizi
Antimikrobiyal Aktivite Testi	200	10 numune	2360	Sentezlenen polimerin Antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi

DSC analizi	75	25 saat	2212	Polimerin Erime, kristallenme sıcaklıkları ve entalpi değişimi
Mekanik testler	100	20	2360	Mekanik dayanımı ölçmek
TGA	75	25	2212	Isıl davranışını incelemek
Proton NMR	100	10	1180	Karakterizasyon
<b>Toplamı</b>				<b>18.436,00</b>

Projenin gerçekleştirilmesi için sarf malzeme ve hizmet alımının ilk üç ay içerisinde tamamlanması planlanmaktadır. Projede planlanan polimerlerin sentezi ve karakterizasyonun gerçekleştirilmesi için öngörülen maliyet 57.889,00 TL'dir.

#### 8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar) (5 puan)

Önerilen proje özellikle soft elektronik uygulamalar için ve biyomedikal uygulamalar için tasarlanan robotlarda önemlidir ve bu alanda teknolojik gelişmeler ile uğraşan kitleye hitap edecek niteliktedir.

Soft elektronikler, sağlık izlemesinden tıbbi implantlara kadar uzanan uygulamalara doğru yaygın olarak kullanılmaya başlanan elektronik teknolojilerdir. Soft elektronik teknolojisinde kendinden yapışan, iletken polimer malzemeler, insan vücudunun fizyolojik elektrik sinyallerinin günlük aktiviteler sırasında izlenebilir ve görüntülenebilir olduğu giyilebilir ve rahat biyoelektronik cihazları daha da geliştirmek ve yaygın hale getirmek için önem taşımaktadır.

Ayrıca geliştirilen polimer EKG ölçümleri için elektrot olarak da kullanılabilir niteliktedir. Bu yönü ile de geniş bir kitleye hitap eden sağlık sektöründe de önemli olabilecek niteliktedir.

#### 9. Riskler (10 puan)

Projemizde iletkenliğin, esnekliğin ve kendi kendini iyileştirebilme özelliklerinin yeterince sağlanamaması durumları risk oluşturmaktadır. Bu durumlarda izlenecek yollar aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

Elde edilen iletken polimerin kendi kendini onarma kabiliyetinin düşük olması bir risk oluşturmaktadır. Bu duruma sebep olabilecek iki etken bulunmaktadır. Birincisi PDA ile çinko metali arasında gerçekleşen kompleks oluşum reaksiyonunun veriminin düşük olması veya PDA ile çinko arasında oluşan koordine kovalent bağın dinamik özellik göstermemesinden kaynaklanabilmektedir. Bu durumda kullanılan çinko tuzu değiştirilerek kompleksteki tamamlayıcı iyon değiştirilecektir. Bunun için farklı çinko tuzları kullanılması planlanmaktadır. Literatürde tamamlayıcı iyonunun (counter- ion) polimerin kendi kendini onarma etkinliğini önemli ölçüde etkilediği ortaya koyulmuştur (Bode vd., 2013). İkincisi ise matriks yapısındaki

boraks oranıdır. Boraks miktarı arttıkça PVA-boraks hidrojellerinin daha sert, elastik ve kararlı oldukları bildirilmektedir (Wang vd., 2022). Kendi kendini iyileştirme ve mekanik dayanıklılık özelliklerinin optimizasyonu için hidrojel yapısındaki PVA ve boraks oranları ayarlanacaktır.

Sentezlenen polimerin esnekliğinin düşük olması bir risk oluşturmaktadır. Bu durumda farklı molekül ağırlığı dağılımına sahip PVA polimerleri kullanılarak sentez gerçekleştirilecektir. Düşük molekül ağırlığına sahip PVA polimerinin camsı geçiş sıcaklığının (T<sub>g</sub>) daha düşük olması nedeniyle daha esnek olması beklenmektedir (Balani vd., 2015). Bunun yanı sıra yapıya gliserin ilavesi yapılarak polimer esnekliğinin ayarlanması sağlanacaktır (Watanabe vd., 2020).

Elde edilen polimerin iletkenliğinin düşük olması durumu da risk faktörleri arasındadır. Bu durumda hidrojel yapısındaki PEDOT:PSS oranı ayarlanarak veya lityum tuzları (LiClO<sub>4</sub> gibi) kullanılarak (Zhu vd., 2015) iletkenlik değerleri artırılmaya çalışılacaktır.

## 10. Kaynaklar (5 puan)

- Balani, K., Vivek, V., Agarwal, A., Narayan, R. 2015. *Biosurfaces: A Materials Science and Engineering Perspective*. London: John Wiley & Sons
- Bode, S., Bose, R. K., Matthes, S., Ehrhardt, M., Seifert, A., Schacher, F. H., Paulus, R. M., Stumpf, S., Sandmann, B., Vitz, J., Winter, A., Hoepfner, S., Garcia, S. J., Spange, S., van der Zwaag, S., Hager, M. D. and Schubert, U. S. 2013. Self-healing metallopolymers based on cadmium bis(terpyridine) complex containing polymer networks. *Polymer Chemistry*, 4:18.
- Cai, G., Wang, J., Qian, K., Chen, J., Li, S. and Lee, P. S. 2017. Extremely Stretchable Strain Sensors Based on Conductive Self-Healing Dynamic Cross-Links Hydrogels for Human-Motion Detection. *Advanced Science*, 4:2.
- Chen, K., Liu, S., Wu, X., Wang, F., Chen, G., Yang, X., ... & Zhang, D. (2020). Mussel-inspired construction of Ti6Al4V-hydrogel artificial cartilage material with high strength and low friction. *Materials Letters*, 265, 127421.
- Gong, Z., Qian, L., Shao, S., Fan, B., Peng, J., Lu, K. ve Gao, S. 2022. Effects of solvent composition on the synthesis of polydopamine Schiff base Cu complex to activate peroxydisulfate for methyl-paraben degradation. *Chemical Engineering Journal*, 436, 135034.
- Habibiyan, A., Ramezanzadeh, B., Mahdavian, M., Bahlakeh, G. ve Kasaeian, M. 2020. Rational assembly of mussel-inspired polydopamine (PDA)-Zn (II) complex nanospheres on graphene oxide framework tailored for robust self-healing anti-corrosion coatings application. *Chemical Engineering Journal*, 391, 123630.
- Hauser, D., Septiadi, D., Turner, J., Petri-Fink, A. and Rothen-Rutishauser, B. 2020. From Bioinspired Glue to Medicine: Polydopamine as a Biomedical Material. *Materials*, 13:7.
- Hu, L., Song, J., Yin, X., Su, Z. and Li, Z. 2020. Research Progress on Polymer Solar Cells Based on PEDOT:PSS Electrodes. *Polymers*, 12:1.
- Kim, D.-H., Ghaffari, R., Lu, N. and Rogers, J. A. 2012. Flexible and Stretchable Electronics for Biointegrated Devices. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 14:1, 113-128.
- Lacour, S. P., Courtine, G. and Guck, J. 2016. Materials and technologies for soft implantable

- neuroprostheses. *Nature Reviews Materials*, 1:10.
- Li, C. H., Wang, C., Keplinger, C., Zuo, J. L., Jin, L., Sun, Y., Zheng, P., Cao, Y., Lissel, F., Linder, C., You, X. Z., Bao, Z. 2016. A highly stretchable autonomous self-healing elastomer. *Nat Chem*, 8: 6, 618-624.
- Lin, S., Yuk, H., Zhang, T., Parada, G. A., Koo, H., Yu, C. and Zhao, X. 2016. Stretchable Hydrogel Electronics and Devices. *Advanced Materials*, 28:22, 4497-4505.
- Lu, N., Lu, C., Yang, S. and Rogers, J. 2012. Highly Sensitive Skin-Mountable Strain Gauges Based Entirely on Elastomers. *Advanced Functional Materials*, 22:19, 4044-4050.
- Luo, H., Gu, C., Zheng, W., Dai, F., Wang, X., & Zheng, Z. (2015). Facile synthesis of novel size-controlled antibacterial hybrid spheres using silver nanoparticles loaded with polydopamine spheres. *Rsc Advances*, 5(18), 13470-13477.
- Qi, D., Zhang, K., Tian, G., Jiang, B. and Huang, Y. 2020. Stretchable Electronics Based on PDMS Substrates. *Advanced Materials*, 33:6.
- Shi, J. and Fang, Y. 2018. Flexible and Implantable Microelectrodes for Chronically Stable Neural Interfaces. *Advanced Materials*, 31:45.
- Song, E., Li, J., Won, S. M., Bai, W. and Rogers, J. A. 2020. Materials for flexible bioelectronic systems as chronic neural interfaces. *Nature Materials*, 19:6, 590-603
- Taylor, D. L., Panhuis, M. 2016. Self-Healing Hydrogels. *Adv Mater*, 28: 41, 9060-9093.
- Terryn, S., Langenbach, J., Roels, E., Brancart, J., Bakkali-Hassani, C., Poutrel, Q.-A., Georgopoulou, A., George Thuruthel, T., Safaei, A., Ferrentino, P., Sebastian, T., Norvez, S., Iida, F., Bosman, A. W., Tournilhac, F., Clemens, F., Van Assche, G. and Vanderborght, B. 2021. A review on self-healing polymers for soft robotics. *Materials Today*, 47, 187-205
- Wang, Z., Yang, H., Liang, H., Xu, Y., Zhou, J., Peng, H., Zhong, J. ve Xi, W. 2020. Polydopamine particles reinforced poly(vinyl alcohol) hydrogel composites with fast self healing behavior. *Progress in Organic Coatings*, 143, 105636.
- Wang, C., Shen, Z., Hu, P., Wang, T., Zhang, X., Liang, L., ... & Zhang, K. (2022). Facile fabrication and characterization of high-performance Borax-PVA hydrogel. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 101(1), 103-113.
- Watanabe, M., Li, H., Yamamoto, M., Horinaka, J. i., Tabata, Y. and Flake, A. W. 2020. Addition of glycerol enhances the flexibility of gelatin hydrogel sheets; application for in utero tissue engineering. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 109:6, 921-931.
- Venail, F., Sicard, M., Piron, J. P., Levi, A., Artieres, F., Uziel, A., Mondain, M. 2008. Reliability and Complications of 500 Consecutive Cochlear Implantations. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg/Vol*, 134:12.
- Xue, Y., Yang, W., Yue, R., & Chen, Y. (2022). Aqueous Strippable Polymer Coating for Highly Efficient Primary Radioactive Uranium Decontamination with Versatility on Diversified Surface. *Polymers*, 14(9), 1656.
- Yamada, T., Hayamizu, Y., Yamamoto, Y., Yomogida, Y., Izadi-Najafabadi, A., Futaba, D. N. and Hata, K. 2011. A stretchable carbon nanotube strain sensor for human-motion detection. *Nature Nanotechnology*, 6:5, 296-301.

- Zhang, Y.-F., Guo, M.-M., Zhang, Y., Tang, C. Y., Jiang, C., Dong, Y., Law, W.-C. ve Du, F.-P. 2020. Flexible, stretchable and conductive PVA/PEDOT:PSS composite hydrogels prepared by SIPN strategy. *Polymer Testing*, 81, 106213.
- Zhang, S., Chen, Y., Liu, H., Wang, Z., Ling, H., Wang, C., Ni, J., Çelebi-Saltik, B., Wang, X., Meng, X., Kim, H. J., Baidya, A., Ahadian, S., Ashammakhi, N., Dokmeci, M. R., Travas-Sejdic, J. and Khademhosseini, A. 2020. Room-Temperature-Formed PEDOT:PSS Hydrogels Enable Injectable, Soft, and Healable Organic Bioelectronics. *Advanced Materials*, 32:1.
- Zhu, G., Yang, W. Q., Zhang, T., Jing, Q., Chen, J., Zhou, Y. S., Bai, P. and Wang, Z. L. 2014. Self-Powered, Ultrasensitive, Flexible Tactile Sensors Based on Contact Electrification. *Nano Letters*, 14:6, 3208-3213.
- Zhu, Z., Song, H., Xu, J., Liu, C., Jiang, Q., & Shi, H. (2015). Significant conductivity enhancement of PEDOT: PSS films treated with lithium salt solutions. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26(1), 429-434.

