

**T.C.**  
**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**  
**BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ SONUÇ RAPORU**

**PROJE ADI:** İplik Gaz Sensörü Üretimi ve Uygulamaları

**PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ:** Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fatih GÖZÜKIZIL

**PROJE NOSU:** 2021-02.BŞEÜ.17-01

**ARAŞTIRMACILAR:**

- 1- Doç. Dr. Sinan TEMEL
- 2- Dr. Öğr. Üyesi Fatma Özge GÖKMEN
- 3- Dr. Öğr. Üyesi Elif YAMAN
- 4- Öğr. Gör. Enes NAYMAN

**Proje Sözleşmesi BAŞLAMA TARİHİ:** 24-01-2022

**Proje Sözleşmesi BİTİŞ TARİHİ:** 23-01-2023

**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**  
**BİLECİK, 2023**

## Özet

Bu çalışma kapsamında pamuk, viskon ve polyester iplikler üzerine polivinil alkol (PVA), polivinil alkol/grafen oksit (PVA/GO) ve polianilin (PANI) biriktirilmiştir. Biriktirilen numunelerin önce yarı iletken ve iletken özellikleri incelenerek sonrasında gaz sensörü olarak kullanılabilirlikleri test edildi. Altaş olarak kullanılan malzemelerin esnek ve giyilebilir yüzeyler olması çok geniş bir kullanım alanı sunmaktadır. Test süreçleri oda sıcaklığında yapıldı ve biriktirme yöntemi olarak hızlı, düşük maliyetli ve pratik olan daldırarak kaplama yöntemi kullanıldı. İlk aşamada katkısız ve GO katkılı PVA numuneleri sırasıyla iplik numuneler üzerine biriktirildi. GO katkılı ve katkısız PVA biriktirilmiş numunelerin yarı iletkenlik özelliği gösterdiği ve GO katkısının iletkenlik özelliğini arttırdığı tespit edildi. PVA/GO ve PVA kaplı ipliklerin farklı gazların gaz sensörü uygulamaları için alternatif olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. İkinci aşamada ise iletken polimer olan PANI malzemesi iplik numuneler üzerine biriktirilerek, tasarlanan gaz odası ve gaz kontrol sisteminde karbonmonoksit (CO) ve amonyak (NH<sub>3</sub>) gazlarına hassasiyetleri incelendi. Gaz odasında ortama NH<sub>3</sub> gazı verildiğinde tüm iplik numune sensörlerine bağlı direnç üzerindeki gerilim değerinin düştüğü ve ortama yeniden gaz verildiğinde bu düşüşün devam ettiği belirlendi. Pamuk iplik numunelerinin NH<sub>3</sub> gazı verildiğinde direnç üzerindeki gerilim değişim yüzdesinin en fazla olduğu ve diğer numuneler kıyasla tekrarlanabilir olduğu tespit edildi. PANI ile kaplı üç farklı iplik numunesi de CO gazının farklı yoğunluklarına karşı doğru orantılı olacak şekilde hassasiyet gösterdi. Yani gaz yoğunluğu arttıkça iplik gaz sensörlerine bağlı direnç üzerindeki gerilim değişimleri arttı. Pamuk iplik gaz sensörünün en iyi yarı iletkenlik gösterdiği, CO gazı için ideal gaz bir sensörü olarak kullanılabilmesi görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** İplik Gaz Sensörü, Yarıiletkenler, İnce Film Kaplama, Daldırarak Kaplama

## **Abstract**

In this study, polyvinyl alcohol (PVA), polyvinyl alcohol/graphene oxide (PVA/GO) and polyaniline (PANI) were deposited on cotton, viscose and polyester yarns. The semiconductor and conductive properties of deposited samples were examined first, and then their usability as a gas sensor was tested. The flexible and wearable surfaces of the materials used as substrates offer a wide range of uses. Test processes were carried out at room temperature and the fast, low-cost and practical dip coating method was used as the deposition method. In the first stage, pure and GO-doped PVA samples were deposited on yarn samples, respectively. It was determined that GO doped and undoped PVA deposited samples showed semiconducting properties and GO added increased conductivity. PVA/GO and PVA coated yarns can be used as alternatives for gas sensor applications of different gases. In the second stage, PANI material, which is a conductive polymer, was deposited on yarn samples and their sensitivity to carbon monoxide (CO) and ammonia (NH<sub>3</sub>) gases in the designed gas chamber and gas control system was examined. It was determined that the voltage value on the resistor connected to all yarn sample sensors decreased when NH<sub>3</sub> gas was given to the environment in the gas chamber, and this decrease continued when the gas was reintroduced into the environment. It was determined that cotton yarn samples had the highest percentage of voltage change on the resistor when NH<sub>3</sub> gas was given and it was reproducible compared to other samples. Three different yarn samples coated with PANI also showed sensitivity in direct proportion to the different densities of the CO gas. In other words, as the gas density increased, the voltage changes on the resistor connected to the yarn gas sensors increased. It was seen that the cotton yarn gas sensor showed the best semiconductivity and could be used as an ideal gas sensor for CO gas.

**Keywords:** Thread Gas Sensor, Semiconductors, Thin Film Coating, Dip Coating

## İçindekiler

1.Giriş.....	5
2. Proje Kapsamında Yapılan Çalışmalar .....	11
2.1. Literatür Araştırması .....	11
2.2.Yöntem .....	15
2.3. Deneysel Çalışma .....	16
2.3. Karakterizasyon.....	18
2.4. Deneysel Sonuçlar .....	19
3.Bilimsel Etkinlikler .....	30
Kaynakça.....	31

## Şekiller Dizini

Şekil 1 Web of Science Veri Tabanında Yayınlanan Yayınların anahtar kelimelere göre bibliyometrik ağ haritası .....	9
Şekil 2 Daldırarak Kaplama yöntemi .....	15
Şekil 3 PANI Başlangıç Çözeltisi Hazırlama.....	16
Şekil 4 Alttaş Hazırlık Aşamaları .....	17
Şekil 5 Alttaş Yüzeylerine PANI Kaplama Aşamaları .....	18
Şekil 6 (a) kaplamasız pamuk iplik, (b) Grafen kaplı pamuk ipliğe ait 250 x büyütme SEM görüntüsü. ....	19
Şekil 7 (a) kaplamasız pamuk iplik, (b) Grafen kaplı pamuk ipliğe ait 1kx büyütme SEM görüntüsü. ....	19
Şekil 8 Grafen kaplı pamuk ipliğe ait 3 kx büyütme SEM görüntüsü. ....	20
Şekil 9 PVA ve PVA-GO kaplı iplik numunelerinin sisteme sensör olarak bağlandığında zamana göre direnç üzerindeki gerilim grafiği .....	21
Şekil 10 PANI kaplı pamuk, polyester ve viskon ipliklerin 100 X büyütme FESEM görüntüleri. ....	22
Şekil 11 İplik üzerine kaplanan PANI oluşumlarının gösterimi. ....	22
Şekil 12 PANI kaplı pamuk, polyester ve viskon ipliklerin 500X büyütme FESEM görüntüleri. ....	23
Şekil 13 PANI'ye ait FTIR spektrumu .....	24
Şekil 14 Katkısız koton iplik ve PANI emdirilmiş koton ipliğe ait FTIR spektrumları .	25
Şekil 15 Katkısız polyester iplik ve PANI emdirilmiş polyester ipliğe ait FTIR spektrumları.....	26
Şekil 16 Katkısız viskon iplik ve PANI emdirilmiş viskon ipliğe ait FTIR spektrumları .....	27
Şekil 17 PANI kaplı pamuk, polyester ve viskon ipliklerin CO gaz uygulama verileri .	28
Şekil 18 PANI kaplı pamuk, polyester ve viskon ipliklerin NH <sub>3</sub> gaz uygulama verileri	29

## 1.Giriş

Tekstil sektörü geniş ürün yelpazesi ile kendisinden beklenen talebi karşılayabilmek için sürekli güncel kalmak zorundadır. Tekstil ürünleri sadece gündelik kullanımlarda değil aynı zamanda teknik anlamdaki faaliyetler içerisinde de yer almaktadır. Son yıllarda farklı branşlarla iç içe çalışmak bu sektör için de bir zorunluluk haline gelmiştir. Özellikle elektronik teknolojilerine yönelik gelişmeler teknik tekstillerinde o alana yönelmesine sebep olmuştur. Bu sebeple günden güne elektronik cihazlarla bütünleşik olarak çalışılması zorunlu hale gelmektedir.

Fosil yakıt kullanımı, şehirleşmenin artması, teknolojik gelişmeler ile üretim ve tüketimin hızlanması gibi etmenlere bağlı olarak çevreye salınan gazların giderek artması, kaliteli hava miktarının azalması ile çevre kirliliğine buna bağlı olarak, insan sağlığının olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır. Üretim teknolojilerinin çeşitliliği farklı kimyasal tepkimeler oluşturmakta ve sonucunda çok çeşitli gazlar açığa çıkmaktadır. Uygun koşullar ve maliyetler ile bu gazların tespit edilmesi, izlenmesi, filtrelenmesi ve olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması bir gereklilik haline gelmiştir[1]. Gaz sensörleri yanıcı, patlayıcı, boğucu ve zehirleyici gazların tespitini, farklılıkların algılanmasını ve temiz hava miktarının ölçümünü yapmaktadır [2].

Kimyasal dedektörler altında sınıflandırılan, iletkenlik ölçümü yapan gaz sensörleri; bir kimyasal reaksiyonu, bir bileşiğin ortamdaki varlığını, direnç, akım, voltajdaki değişimleri algılayarak elektronik sinyal ve işaretlere dönüştürmektedir [3] Seçicilik, hassasiyet, tespit sınırı, doğruluk ve yanıt süresi gibi parametreler sensörün performansını belirlemektedir [4][5]. Sensörün direncindeki değişimler, gaz algılama tespitini ve hassasiyetin belirlenmesini gerçekleştirir [6]

Bir yarı iletkenin yüzeyindeki yük taşıyıcıların, çevreleyen atmosferin bileşimine duyarlı olduğu bilinmektedir Yüzeyler üzerine;  $TiO_2$ ,  $CuO$ ,  $ZnO$  ve Grafen oksit gibi farklı yarı iletken oksitler kaplanarak yüzeylerin yarı iletken özellik kazanması amaçlanmaktadır. Farklı yüzeylerde oluşturulan yarı iletken metal oksit ince filmler  $N_2$ ,  $H_2O_2$ , LPG, bütan ve CO gibi gazların gaz sensörleri uygulamalarında kullanılmaktadır.

İletken polimerler elektrik iletkenliklerinin yanı sıra farklı yüzeylere optik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri sayesinde biyomedikal uygulamalar, sensörler,

fotovoltaik hücreler, diyotlar ve transistörlerde [7] kullanılmaktadır [8][9]. Yaygın olarak kullanılan bu malzemelerin hızlı sentezlenmesi, düşük maliyeti, kolay hazırlama süreci, farklı asit ve boyarmadde gibi malzemelere kolay katılabilmesi [10], gerilebilir özelliklere sahip olması sebebiyle tekstil açısından da avantaj sağlamaktadır. Genellikle rijit, kırılğan ve sert yapıdaki elektronik malzemelerin tekstil yüzeylerine uygulanabilmesi için esnek ve dayanıklı olması gerekmektedir. Ayrıca giyim konforunu olumsuz yönde etkilemeden kullanım kolaylığı sağlamalıdır. Bu açıdan da sinyal, uyarı, algılama, tepki verme kabiliyetlerine sahip iletken polimerler esnek yüzeylere çeşitli kimyasal işlemler yardımıyla uygulanabilmektedir.

PANI, genellikle gaz sensörlerinde algılama malzemesi olarak kullanılan iletken bir polimerdir. İletken polimerler arasında en çok kullanılan malzemelerden bir tanesidir. Amonyak gibi bazı gazlara karşı yüksek hassasiyeti ve farklı ortamlarda kararlılığı ile bilinir. Katkılı ve katkısız PANI bazlı çalışmalar incelendiğinde amonyak (NH<sub>3</sub>) [11][12][13], hidrojen [14], asetik asit buharı [15], hidrojen sülfid [16], hidrojen peroksit gazlarının tespitinde dopamin [17], glucose [18], pH [19][20], nem [21] ve basınç [22] sensörlerinde kullanıldığı görülmektedir. Altlık malzemesi olarak cam, pamuk kumaş [23], selüloz kâğıt [24], platin tel [25], paslanmaz çelik, silikon [26], polietilen tereftalat [27] altlıklar, katkılama malzemeleri olarak TiO<sub>2</sub>, ZnO [28], CuO, Pd [29], Ag [30] gibi genellikle birbirinden farklı malzemeler kullanıldığı, biriktirme yöntemleri olarak daldırarak kaplama [31], döndürerek kaplama [32], elektrokimyasal biriktirme [33] yöntemlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir.

İnsan hayatı için zararlı olan birçok gaz insanların algılama eşiğinin dışında yer almaktadır. Bu sebeple bu gazları algılayıcı ve uyarıcı gaz sensör sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. İletken ya da yarıiletken tabanlı gaz sensörleri bu sistemlerin vazgeçilmez bir bölümünü oluşturur. Teknik anlamda zararlı gazlara maruz kalınan yerlerde sensörler bir yerde sabit olabildiği gibi kişiler üzerine de entegre edilebilmektedir. İnsanlar üzerine yerleştirilen sensörlerin hafif olması, rahatsız edici olmaması, dayanıklı olması ve yapılan işe engel olmaması gerekmektedir. Bu nedenle esnek yüzeyler üzerinde yapılan çalışmaların sayısı da son yıllarda bir hayli artmıştır. İnsan üzerine fazladan bir parça yerleştirmek yerine hali hazırda kullanılan kıyafet üzerine bir gaz sensörü sistemi entegre edilmesi büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Aynı zamanda sensör malzemesini tamamen zararlı gazı algılayıcı malzemedan yapmak yerine, bu malzemeyi çeşitli fiziksel ve

kimyasal işlemler yardımıyla substrat üzerine biriktirme işlemi de birçok anlamda daha avantajlı olabilmektedir.

Esnek yüzeyler üzerine biriktirilmiş PANI uygulamalarının gaz sensörü olarak kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Özellikle tek iplik altlıkların göze çarptığı tekstil tabanlı esnek gaz sensörlerinde, katkısız ve katkılı PANI bileşenlerinin pamuk iplikleri üzerine biriktirilerek çeşitli gazların tespitinde kullanıldığı bazı çalışmalarda görülmüştür [34][35][36][37]. Aynı zamanda altlık olarak kumaşların olduğu uygulamalar da mevcuttur [38][39]. İplik üzerinde biriktirmelerin kumaşlara göre birtakım avantajları bulunmaktadır. İpliklerden örme ve dokuma yoluyla elde edilen kumaş yüzeylerine biriktirme yapılmak istendiğinde, biriktirme yöntemlerinin tek bir iplik kadar homojen ve etkin kaplanmayacağı düşünüldü. Ayrıca ipliklerin diğer avantajları kumaş yüzeyi oluşturabilmesi, dikişte kullanılabilirlikleri ve hafif olmalarıdır. Doğal pamuk ipliklerinin haricinde sentetik esaslı akrilik and polyester ipliklerinin de altlık olarak çeşitli çalışmalarda yer aldığı ve kaplama yapılan ipliklerin çeşitli gazları algıladıkları gaz sensörü olarak kullanılabilirlikleri gözlemlendi. Yapılan çalışmalarda sensör ipliklerin esnekliği, tekrarlı kullanılabilirliği [40] , düşük maliyetleri, kolay üretilmeleri ve birçok yüzeyle hızlı olarak entegre edilebilmeleri gibi belirgin özellikleri, pratik gaz sensörlerinin elde edilmesinde önemli üstünlük sağlamaktadır.

Web of Science veri tabanında yazarların anahtar kelimelerine göre “gas sensor” ve “Thin Film” başlığı ile arama yapıldığında 3376 adet yayın yapıldığı görülmüştür. Bu yayınlar anahtar kelimelerine göre süzülendiğinde 1963 kelime tespit edilmiş ve en az 5 yayında kullanıldığı 121 anahtar kelime bulunmuştur. Bu Anahtar kelimeler baz alınarak aynı anlamdaki ve alakasız olan sözcükler çıkarılıp anahtar sözcük ağ haritası oluşturulmuştur. Bu veri tabanında yapılan arama VOSviewer programında analiz edilerek, yazarların yayın için belirledikleri anahtar kelimelere göre dağılımın bibliyometrik ağ haritaları Şekil ‘1 de gösterilmiştir.



kullanılabilecek yarı iletken iplikler oluşturabilmek iplik yüzeylerine iletken ve yarı iletken maddeler biriktirilmiştir. Proje kapsamında tekstil sektöründe çeşitli ara ve nihai mamullerde yaygın olarak kullanılan doğal ve sentetik esaslı iplikler içerisinde belirlenen numunelere çeşitli üretim yöntemleri kullanılarak ince filmler kaplanmıştır. Üretilecek olan ince film kaplı iplik yüzeyleri Elektron Mikroskopisi (FESEM), incelenerek karakterize edilmiştir. Yarıiletken ipliklerin gaz sensörü olarak kullanılabilirliği algılama ve hassasiyet özelliklerini ölçmek amacıyla özgün gaz odası oluşturmuştur. Oluşturulan gaz odasına belirlenen gazların farklı konsantrasyonlarında giriş sağlanarak iplik sensörün bu koşullarda gerçekleşecek direnç değişimleri ölçümleri yapılarak gaz tespit hassasiyeti, algılama kapasitesi ve algılama hızı parametreler incelenmiştir. Yeni bir gaz sensörünün literatüre kazandırılmış ve kullanıma sunulmuştur.

Projenin ilk altı aylık sürecinde öncelikle literatür taraması yapılmış, çalışma kapsamında gerekli malzemeler ve cihazlar tespit edilmiştir. İlk altı aylık periyotta temin edilen malzemelerle, belirlenen iplik numunelerinin yüzeylerine ilk olarak PVA ve devamında grafen katkılı PVA kaplamaları daldırarak yapılmıştır. Kaplaması yapılan iplik numunelerinin FESEM görüntüleri incelenmiştir. Ayrıca yarı iletkenlik özellikleri oluşturulan sistem ile ölçülmüştür. PVA kaplamalı ipliklerde Grafen katkılı PVA kaplaması yapılan ipliklerde yarı iletken özellik göstermişlerdir. Grafen katkılamanın yarı iletkenlik özelliğini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Projenin ikinci altı aylık kısmında ise ilk altı aylık yapılan çalışmalar geliştirilerek nihai bir iplik gaz sensörü üretmek amaçlanmaktadır. Bu kapsamda düşük yoğunlukta gaz tespiti için esnek, tekrarlanabilir tek katmanlı iplik gaz sensörleri tasarlandı. Daldırarak biriktirme için %100 saflıkta ve farklı numaralarda pamuk, polyester ve viskon iplikler altlık olarak ve hedef kaplama materyali olarak iletken PANI malzemesi yapılan çalışmalar ve ön demeler sonucunda tercih edildi. PANI kaplaması yapılan iplik numunelerinin gaz sensörü olarak kullanımı testleri için özgün olarak gaz kontrol sistemi geliştirildi. Esnek iplik sensörlerinin algılama, tespit süresi ve uyarı çalışmaları oda sıcaklığında yapıldı. Kaplaması yapılan 3 farklı iplik numunesinin iletkenlik özellikleri ve CO, NH<sub>3</sub>, bütan gazlarına karşı tepkileri ölçülerek, gaz sensörü olarak kullanıma uygunlukları test edildi. Tüm iplik numunelerinin CO gazlarına maruz kaldıklarında iletkenlikleri artarak tepki verdikleri tespit edildi. NH<sub>3</sub>'ün yoğun konsantrasyonlarında iplik gaz sensörlerinin iletkenliklerinin azalarak tepki verdiği ve bazı numunelerini tamamen iletkenlik özelliklerini kaybettiği görüldü.

Bunun da sebebi olarak deney metodunun son aşamasında kullanılan HCl asidinin NH<sub>3</sub> buharı ile nötralleşme tepkimesi oluşturabileceği düşünüldü. Ortama bütan gazı verildiğinde ise iplik numunelerinin iletkenliklerinde belirgin olarak değişim olmadığı ve gaz sensör uygulamalarında yeterli iletkenlik değişimi olmadan tam anlamıyla algılama ve uyarma olamayacağından bütan gaz sensör olarak kullanımı uygun bulunmadı.

## 2. Proje Kapsamında Yapılan Çalışmalar

### 2.1. Literatür Araştırması

Proje çalışması kapsamında ilk olarak; metal oksit ince filmlerin üretilmesi için daldırarak kaplama yöntem tercih edilmiştir. Daldırarak kaplama yöntemi için gerekli makine, teçhizata karar verilmesi ve sistemin kurulumu ayrıca her bir bileşik için gerekli çözeltilerin hazırlanmasında kullanılacak kimyasalların belirlenmesi ve deney parametrelerinin oluşturulması için ilk olarak literatür taraması yapılmıştır.

Indarit N, ve ark., polianilinden (PANI) kaplı ticari iplikler üzerine iletken tek iplik bazlı bir gaz sensörü yapmışlardır. Bu sensör bir ortamdaki veya bir çalışma alanındaki amonyak gazı konsantrasyonunu tespit edebilmektedir. Daldırarak kaplama yöntemi kullanılan çalışmada altlık olarak pamuk, suni ipek ve polyester iplikler kullanılmıştır. Sonuçlar, iletken polyester ipliğin, iletken pamuk ve iletken suni ipek ipliklerle karşılaştırıldığında daha iyi bir mekanik mukavemet ile daha yüksek bir algılama tepkisi sergilediğini göstermektedir. İletken polyester iplik ayrıca diğer toksik gazlara kıyasla NH<sub>3</sub> gazına en yüksek tepkiyi göstermektedir. Bu sensörün hafifliği ve bir dikiş makinesi kullanılarak kumaşa dikilebilmesi büyük bir avantaj sağlamaktadır [41].

Pan, J, ve ark., polianilin/grafen (GPANI) - polivinil bütiral (PVB) kompozit film bazlı bir sıcaklık sensörü önermişlerdir. Sensör, 25-80 °C sıcaklık aralığında negatif bir öz direnç katsayısı (-1.2%· °C<sup>-1</sup>) göstermiştir. GPANI-PVB filminin direnci 120 °C 'nin altına düşmüş ve sıcaklık eşik sıcaklığının üzerinde olduğunda artmıştır, bu da daha yüksek ısı direncine sahip alt tabakalar kullanılarak daha geniş bir sıcaklık aralığının tespit edilmesini sağlamıştır. Sıcaklık sensörü, düşük basınç altında (<30 kPa) hem basıncın hem de sıcaklığın algılanmasına izin vermiş, basınç ve sıcaklık sensörlerini tek bir katmana entegre etmiştir [42].

Ouadil ve Ark., örme polyester kumaşların (PES) mekanik, elektriksel ve UV koruma özellikleri için grafen oksit (PES-GO), grafen (PES-G) ve grafen/gümüş (PES-G/Ag) nanokompozitlerle kaplayarak yüzey modifikasyonunu incelemeyi amaçlamışlardır. Basit bir "daldırma ve kurutma" yaklaşımı kullanılarak, grafen oksit nano tabakaların (GO) örme polyester kumaş üzerine adsorpsiyonunu sağlanmıştır. Yaptıkları çalışmada kaplanmış kumaşların, yüksek gerilme mukavemeti, kopmada uzaması ve mükemmel elektrik iletkenliği dâhil olmak üzere mükemmel mekanik özellikler sergilediğini belirtmiştir. Dahası, polyester kaplı grafen/gümüş nanopartiküller, başka bir yerde bildirilmeyen diğer kaplanmış olanlara kıyasla mükemmel esneklik, gerilebilirlik ve UV koruma özellikleri gösterdiğini belirtmişlerdir [43].

Su, P, G., ve Liao, Z, H., (GO / PAH)<sub>n</sub> çok katmanlı ince filmlerin tek bir iplik üzerinde katman katman kendi kendine montajı ile yeni tek iplikli bir NH<sub>3</sub> gaz sensörünü başarıyla üretmişlerdir. Tek iplik tipi NH<sub>3</sub> gaz sensörlerinin gaz algılama özellikleri, büyük ölçüde GO'nun çok katman sayısına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. GO yüzeyindeki polar oksijen içeren fonksiyonel gruplar ve polielektrolit (PAH), (GO / PAH)<sub>1</sub> çok katmanlı ince filmin yüzey özelliklerini iyileştirmiş ve su moleküllerini adsorbe etme kapasitesini artırmıştır. (GO / PAH)<sub>1</sub> çok katmanlı ince filmde yapılan tek iplik tipi NH<sub>3</sub> gaz sensörü, en yüksek tepkiyi (5 ppm NH<sub>3</sub>'te 8,45), iyi LOD'yi (1,5 ppm), en büyük doğrusalılığı (R<sup>2</sup> = 0,9804) kısa tepki süresi (68 s), iyi seçicilik, yüksek esneklik, yüksek geri döndürülebilirlik ve çok çeşitli konsantrasyonlarda yüksek tekrarlanabilirlik sergilemiştir. Bu nedenle gelecekteki giyilebilir elektronik uygulamalarda kullanım için uygun olduğunu belirtmişlerdir [37].

Jang, J. H., ve Han, J. I. silindirik şekle sahip olan ve sadece bir stanttan oluşan bir PET monofilament altlık üzerine daldırarak kaplama yöntemini kullanarak PVA ile kaplamışlardır. Yan elektrotlar için de RF magnetron püskürtme tekniği ile bakır ince film uygulayarak nem sensörü imal etmişlerdir. Daldırma yöntemini 1 mm/s, 2.5 mm/s, 3.5 mm/s ve 5 mm/s olmak üzere dört farklı şekilde uygulamışlardır. Bağlı nem artarken, her numunenin direnç değeri yaygın olarak azalmıştır. Sonuçların, daldırma kaplama hızı yavaşladığında başlangıç değerine göre yükseldiğini belirtmişlerdir. Tek kat ve 5 mm/s daldırma kaplama hızı ile üretilen numunelere, nem sensörünün dayanıklılığını belirlemek için 50 kez, 100 kez ve 500 kez olmak üzere farklı tekrarlanan bükme süreleri uygulanmıştır ve bağlı nem yükseldikçe tüm numuneler için direnç değeri düşmüştür. 50

kez ve 500 kez bükülen numunelerde direnç yaklaşık 13.0 MΩ'dan 6.7 MΩ'a, 100 kez bükülen numunelerde ise 10.4 MΩ'dan 3.8'e düştüğünü gözlemlemişlerdir. Genel olarak, PVA tabanlı nem sensörünün, basit üretim süreci ve yüksek düzeyde geliştirilmiş performansı nedeniyle giyilebilir cihazlarda uygulanabilirliğe sahip olduğunu önermişlerdir [44].

Paulraj, R., ve ark., PANI-CdO nanokompozit ince filmleri, daldırma kaplama tekniği kullanılarak cam altlıklar üzerine kaplamışlardır. PANI (0.25 M), CdO (0.2 M) nanopartiküller ve PANI– CdO (CdO'nun ağırlıkça %10, ağırlıkça %20 ve ağırlıkça %30) nanokompozit ince filmlerin yapısal ve morfolojik özelliklerini, x-ışını kırınımını kullanılarak incelenmişlerdir. Ayrıca PANI–CdO nanokompozit ince filmlerin oda sıcaklığında metanol sensör algılama performansını incelenmişlerdir. Ağırlıkça %10 0,2 M CdO ince film içeren 0,25 M PANI kompozitinin yüksek yüzey/hacim oranı ve gözenekli yapısı, gelişmiş algılama tepkisi ile sonuçlandığı tespit etmişlerdir. Sırasıyla 19 s ve 41 s'lik yanıt ve geri kazanım süreleri ile oda sıcaklığında 1580'in metanol algılama yanıtı almışlardır [31].

Chi, H., Ze, L. J., Zhou, X., ve Wang, F. daldırma kaplama tekniği kullanılarak silikon gofret, Al folyo ve mPET üzerinde grafen oksit (GO) ince film bazlı kolorimetrik nem sensörü üretmişlerdir. Nem tepkisini etkileyen üretim koşullarını sistematik olarak araştırmışlardır. Metalize polietilen tereftalat (mPET) film üzerindeki GO ince filmin, sulu dispersiyondan üretilmişse zayıf çözünürlük ve hassasiyet gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, aseton dispersiyonundan üretilmişse, mPET üzerindeki GO filminin hem spektrum çözünürlüğü hem de yansıma renginin arttığını tespit etmişlerdir. Substratlar üzerinde optimize edilmiş çekme hızlarını da incelemişlerdir. Sonuçlar, 150 mm/dak çekme hızına sahip ağırlıkça %1.6 aseton çözeltisinden silikon substrat üzerindeki GO filminin, tüm nem ortamında görünür aralıkta daha iyi bir spektrum çözünürlüğü ve nem tepkisi gösterdiğini belirtmişlerdir. Oluşturulan GO filminin mPET üzerinde bükülme testi, 10.000 bükülme döngüsü üzerinde aşırı bir spektrum kararlılığı görmüşlerdir. Bunun, cihazların hem kişisel fizyolojik durum izlemede hem de ortam koşulu değişikliği algılamasında esnek cihaz uygulamaları için oldukça uygun olduğunu ortaya koyduğunu belirtmişlerdir [45].

Wicaksono, D. H. B., ve ark., Titanyum dioksit ( $\text{TiO}_2$ ) nanoparçacıkları sol-gel yöntemi ile pamuklu kumaşların üzerine kaplayıp, Titanyum ve Silikon Oksitleri birleştirmişlerdir. Nominal direnci azaltmak için pamuklu kumaşlar üzerindeki metal oksit tabakasının üstüne grafen tabakası kaplanmışlardır. Grafen katmanlarının, metal oksit kaplı pamuklu kumaşların nominal direncini azalttığını tespit etmişlerdir. Gazlara karşı duyarlılığın önemli ölçüde gelişmediğini,  $\text{NO}_2$ , Toluen, Aseton, Etanol ve Metanol gibi oksitleyici gazların eklenmesiyle dirençlerin arttığı gözlemlenmiştir. Bu düşük hassasiyetin, gaz ve alttaki metal oksit nanoparçacık katmanları arasındaki etkileşimi azaltan grafenin üst üste kaplanmasından kaynaklanabileceğini düşünmüşlerdir [46].

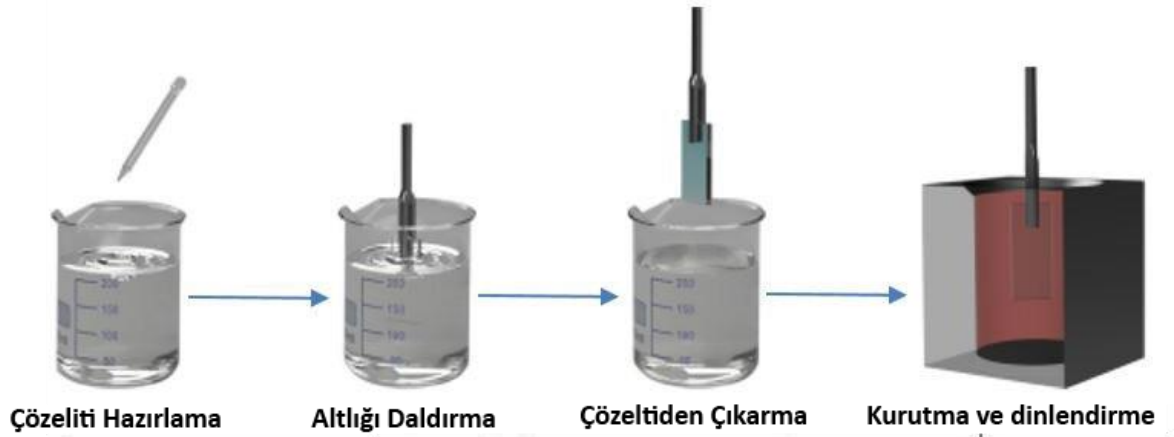
Wang, Z., ve ark., PANI/ $\text{TiO}_2$  nanokompoziti, yerinde kimyasal oksidatif polimerizasyon yöntemiyle hazırlayarak, oda sıcaklığında UV ışınması altında CO gazı duyarlılığını değerlendirmişlerdir.  $\text{TiO}_2$ 'ye PANI eklenmesi,  $\text{N}_2$  atmosferinde film sensör numunesinin foto-yardımlı iletkenliğini zayıflatıyor gibi görünse de, CO'ya foto-destekli gaz duyarlılığını arttırdığını görmüşlerdir.  $\text{TiO}_2$ 'ye eklenmiş PANI kompozitinin, UV ışınması altında CO'ya karşı gaz duyarlılığını arttırdığı görülmüştür. Ayrıca, PANI/ $\text{TiO}_2$ 'nin  $\text{TiO}_2$ 'den daha iyi bir fotokatalitik oksitleyici CO sergilediği gözlemlenmiştir [47].

Flor katkılı kalay oksit (FTO) cam substrat üzerinde yeni bir çift katmanlı polianilin- $\text{WO}_3$  (PANI- $\text{WO}_3$ ) ince filmi, hidrotermal sentez ve yerinde kimyasal oksidatif polimerizasyon yöntemleri ile hazırlamışlardır.  $50\text{ }^\circ\text{C}$ 'lik bir çalışma sıcaklığında  $\text{NO}_2$  gazına karşı aşırı duyarlılığı olduğunu gözlemlenmiştir. Konsantrasyon sınırı 2 ppm'dir. Ayrıca, çiçek benzeri  $\text{WO}_3$  yüzeyinde nanofiber PANI büyütülerek yapısı elde edilen sensör, iyi bir stabilite ve seçicilik gösterdiğini belirtmişlerdir. Gaz algılamasındaki iyileşmenin sebebi olarak, p-tipi PANI ve n-tipi  $\text{WO}_3$ , daha geniş spesifik yüzey, oksijen boşluklarının artması ve PANI tarafından sağlanan geniş bir iletim kanalı arasında p-n heteroeklemlerinin oluşmasının olduğunu düşünmüşlerdir.  $\text{NO}_2$  gaz tespiti ve benzeri uygulamalar için düşük dirençli  $\text{WO}_3$  tabanlı bir gaz sensörü hazırlamak için yeni yapılacak çalışmalara ışık tutacağını öngörmüşlerdir [48].

Yapılan literatür incelemeleri derlenerek tespit edilen kimyasalların, makine ve teçhizatın alımları yapılarak, sisteminin kurulumu tamamlanmıştır.

## 2.2.Yöntem

İnce Film Üretim teknikleri içerisinde ekonomikliği, kurulumun kolaylığı, basit ve tekrar edilebilirliği gibi özellikleri ile daldırarak kaplama yöntemi sıklıkla tercih edilmektedir. Daldırarak kaplama yöntemi ile farklı altlıklar üzerine çeşitli metal oksitlerin ince film olarak biriktirilmesi mümkündür. Daldırma yöntemi bir taşıyıcı yardımıyla alttaş malzemenin hazırlanan çözelti banyosuna belirli bir hızda daldırılıp çekilerek sonrasında tavlama işlemi ile tamamlanmaktadır. Bu işlem genellikle çok tekrarlı olarak yapılmaktadır. Çözelti içerişimde bekletilme süreleri, çözülden çıktıktan sonraki bekleme süreleri, daldırıp çıkarma sayıları, çözümlerin sıcaklıkları, tavlama sıcaklıkları, çözelti pH'ı değiştirilebilmektedir. Bu yöntemde iplikler, hazırlanan kimyasal banyo içerisine daldırılır. Çözeltinin pH'ı önemli rol oynar ve film oluşumu sırasında çözeltinin pH'ı ve sıcaklığı aynı tutulmak zorundadır. Çalışma kapsamında hazırlanan kaplama çözeltisinin konsantrasyonu, pH'ı, sıcaklığı, reaksiyon süresi ve karıştırma hızı, gibi parametreleri değiştirilerek iplikler üzerine optimum özelliklere sahip filmler biriktirilmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 2 Daldırarak Kaplama yöntemi

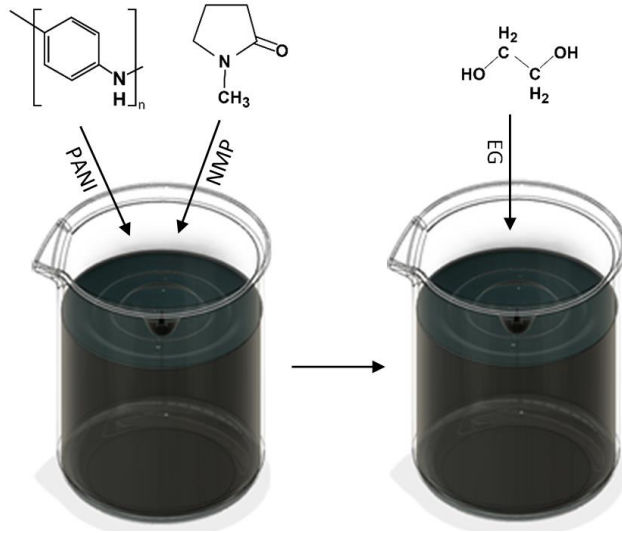
Şekil'2 de gösterilen daldırarak kaplama yönteminde, ilk olarak belirlenen kimyasallarla başlangıç çözeltisi hazırlandı. Daha sonra hazırlanan kaplama çözeltisi içerisine belirlenen altlıkların daldırma işlemine geçildi. Daldırma süresi ve daldırma

hızı belirlendi. Daldırma işleminden sonra altlıklar çözelti içerisinde çıkarılarak bir süre bekletildikten sonra kurutma ve bekleme aşamasına geçildi.

### 2.3. Deneysel Çalışma

Projemizin ilk altı aylık kısmında ilk olarak iplikler yüzeyüne PVA ve PVA/Grafen kaplama deneyleri yapılmıştır. %10'luk PVA (Sigma-Aldrich, Mw: 89.000-98.000 g.mol<sup>-1</sup>) çözeltisi deiyonize su kullanılarak ısıtıcı karıştırıcıda 2 saat 80°C'de hazırlanmıştır. Hazırlanan PVA içerisine kütlece %1 olacak şekilde 0,025 gr Grafen eklenmiş ve 80°C'de 15 dakika PVA içerisinde dağıtılmıştır. Homojen bir karışım elde edildikten sonra pamuk iplik çözelti içerisinde daldırılarak 2 saat çözelti içerisinde bekletilmiştir. 2 saat sonunda çözelti içerisinde çıkarılan pamuk iplik deiyonize su ile yıkanarak 1 gün boyunca oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

Projemizin ikinci altı aylık kısmında belirlenen iplik alttaşlar yüzeyine PANI kaplama deneyleri yapılmıştır. PANI Başlangıç çözeltisi hazırlama aşamaları Şekil 3 'de verilmiştir. Kaplama prosesinin hazırlanması için polianilin (PANI), N-Methyl-Pyrrolidone (NMP) ve Hidroklorik asit (HCl) malzemeleri kullanıldı. Deney sürecinin ön aşamasında PANI 10 mL'lik NMP çözeltisi içerisine eklenerek 72 saat boyunca karıştırıldı. Bu işlem sonrasında çözelti içerisine 5 mL Etilen glikol (EG) ilave edilerek 5 dk boyunca karıştırıldı.



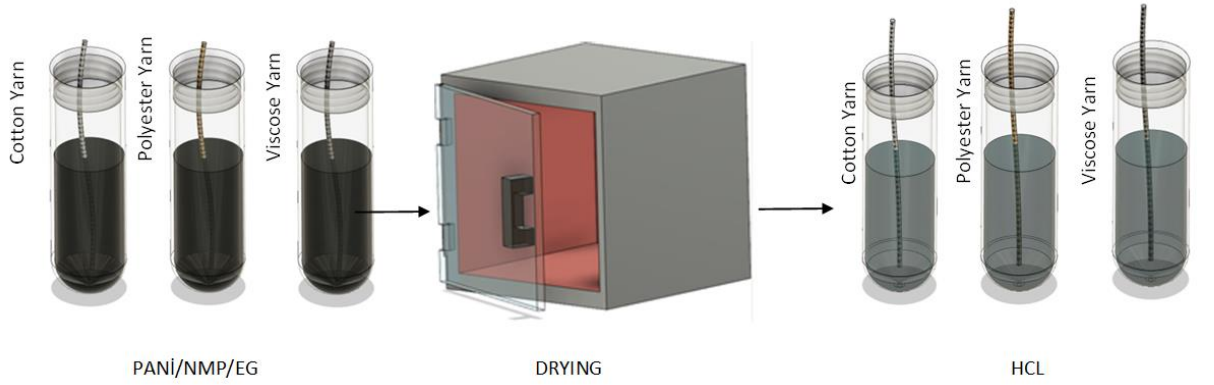
Şekil 3 PANI Başlangıç Çözeltisi Hazırlama

I. aşamada aseton doldurulan beherler içerisinde konulan iplik numuneler, üzerindeki kirlerin giderilmesi ve kaplama malzemelerinin iplik yüzeylerine daha kolay tutunmasını sağlamak amacıyla ultrasonik banyo içerisinde 10 dk boyunca temizlenme işlemine tabi tutuldu. Sonrasında iplik numuneler 60 °C'de 1 saat boyunca kurutuldu. Şekil 4'de Alttaş hazırlık aşamaları gösterilmiştir.



**Şekil 4** Alttaş Hazırlık Aşamaları

Toplamda hazırlanan 5 mL'lik çözelti hazırlandı. Farklı iplik numunelerinin çözelti içerisinde havlarının dökülmesi, çözelti molaritesini değiştirmesi gibi risklerden dolayı çözelti 8 farklı falkon içerisinde eşit olarak dağıtıldı. Şekil 5'de belirlenen numune yüzeylerine PANI kaplama süreci gösterilmektedir. PANI polimeri hazırlanan falkonlar içerisinde 10 dk boyunca daldırarak kaplama yöntemiyle iplik numuneleri üzerine biriktirildi. İplik numuneleri falkonlardan geri alındıktan sonra 2 saat boyunca 60 °C'de kurutuldu. Biriktirme işlemlerinin son aşaması olarak hazırlanan 5M HCl çözeltisi yine 8 farklı falkon içerisinde eşit olarak dağıtıldı. Numuneler HCl çözeltilerine daldırılarak 30 dk boyunca bekletilmiştir.



**Şekil 5** Alttaş Yüzeylerine PANI Kaplama Aşamaları

### 2.3. Karakterizasyon

Elde edilen iplik numunelerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri, ZEISS Supra 40VP elektron mikroskobu kullanılarak çeşitli büyütmelerde kaydedilmiştir. Görüntülemeye önce, numuneler ince bir platin tabakasıyla kaplanmıştır. SEM görüntüleri 15 kV voltajı ve yaklaşık 6 mm çalışma mesafesi kullanılarak alınmıştır.

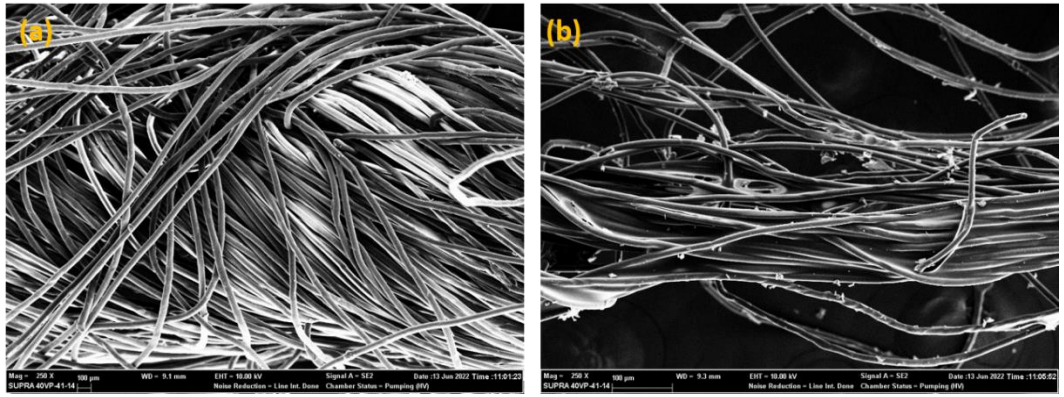
Pamuk, polyester ve viskon ipliklerin PANI ile olan etkileşimleri, FT-IR analizi ile karakterize edilmiştir. FT-IR spektrumu ATR modülü ile çekilmiştir. Analizler Perkin Elmer/ Spectrum 100 marka/model ile gerçekleştirilmiştir. Spektrumlar  $400-4000\text{ cm}^{-1}$  dalga sayısı aralığında ve  $4\text{ cm}^{-1}$  çözünürlükte elde edilmiştir.

FESEM görüntüleri alınan iplik numunelerinin elektriksel ve gaz algılama özelliklerini incelemek için sensör uygulama ve kontrol ünitesi oluşturulmuştur. Kontrol kartı olarak basit, erişimi kolay, tekrardan istenilen özelliklere göre programlanabilir arduino uno kart tercih edilmiştir. Kontrol sistemi, kontrol kartına bağlanan iki direnç ve ince film gaz sensörü üzerine DC güç kaynağı ile verilen 5V DC çalışma gerilim değişimi ile alınan analog bilginin dijital bilgiye dönüştürülerek kontrol edilebilmesi prensibine göre çalışmaktadır. Sisteme sensör olarak kullanılacak projenin ilk altı ay kapsamında üretilen grafen kaplı yarı iletken iplikler, kontrol kartına bağlı 2 direnç üzerine eklenmiştir. Sisteme sabit 5 V akım verilmiştir. Yarı iletken ipliklerin bağlandığı dirençler üzerindeki gerilim farklı ölçülmüştür. Böylece ipliklerin yarı iletken özellikleri

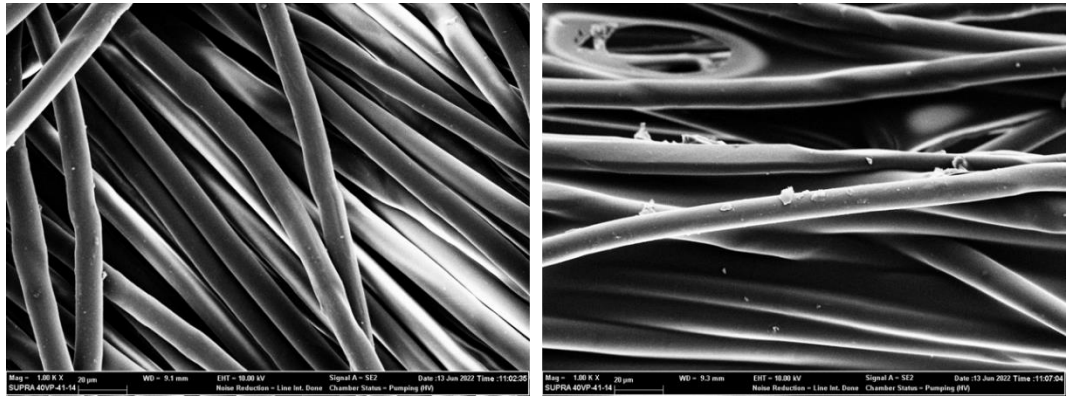
test edilmiştir. Projenin ikinci altı aylık kısmında üretilen PANI kaplı iplikleri tasarlanan gaz odasına yerleştirilerek sensör uygulama ve kontrol ünitesine bağlanmıştır. Sisteme farklı gazlar verilerek PANI kaplı ipliklerin hangi gazları tespit edebildikleri, gaz hassasiyetleri ve tepkileri ölçülmüştür.

## 2.4. Deneysel Sonuçlar

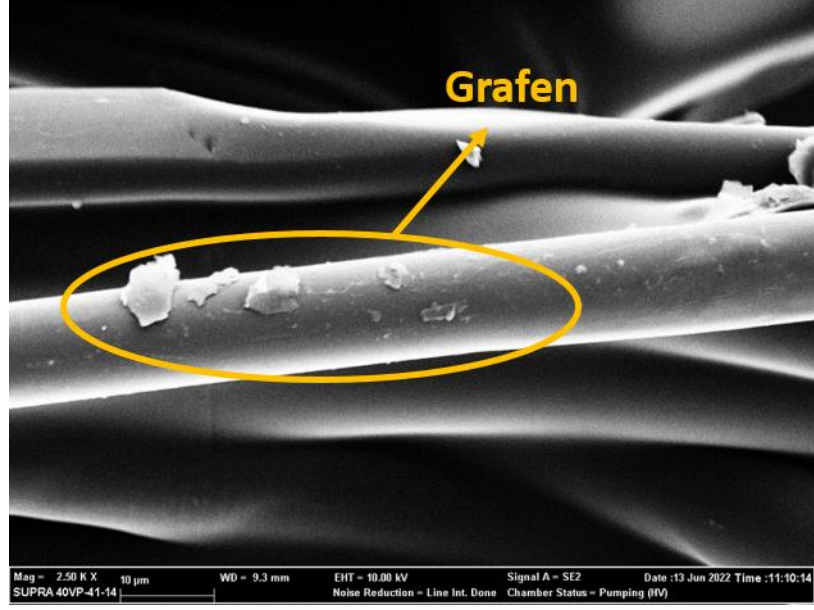
Projemizin ilk altı aylık kısmında iplikler yüzeyine ince film biriktirmesi yapılan PVA ve grafen katkılı PVA deney sonuçları alınmıştır. Şekil 6, 7 ve 8’de iplik numunelere ait çeşitli büyütme ölçeklerinde alınan SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6 (a) kaplamasız pamuk iplik, (b) Grafen kaplı pamuk ipliğe ait 250 x büyütmeli SEM görüntüsü.

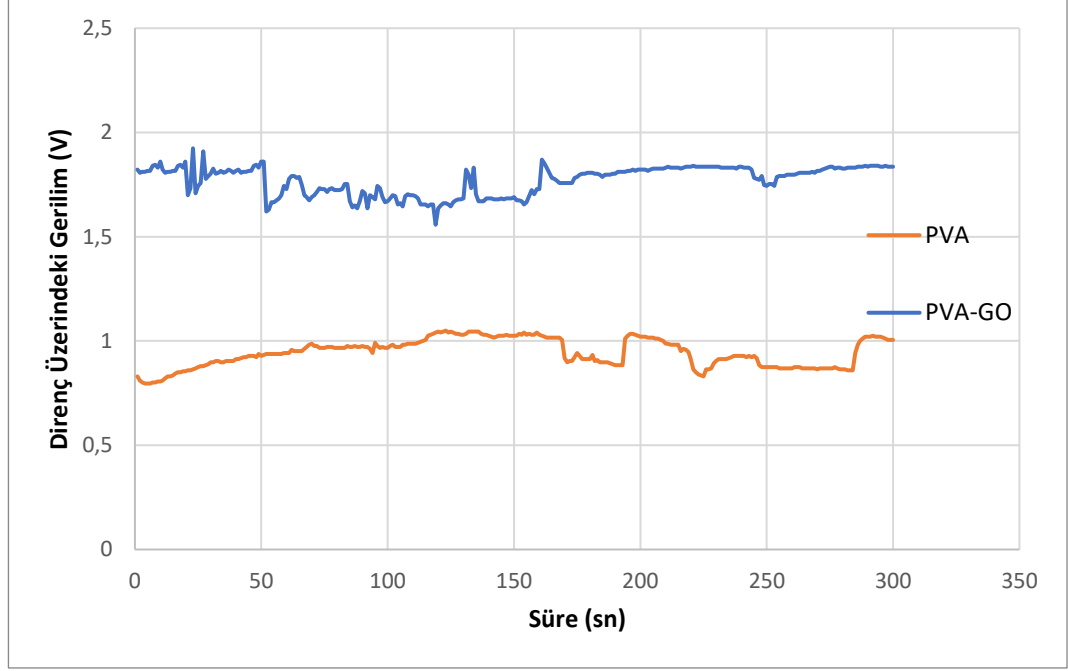


Şekil 7 (a) kaplamasız pamuk iplik, (b) Grafen kaplı pamuk ipliğe ait 1kx büyütmeli SEM görüntüsü.



**Şekil 8** Grafen kaplı pamuk ipliğe ait 3 kx büyütmeli SEM görüntüsü.

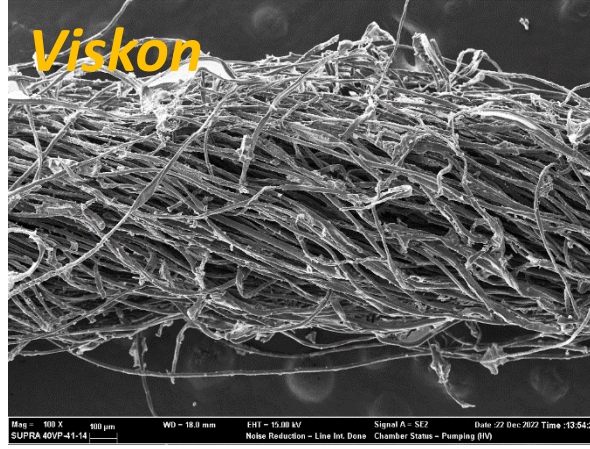
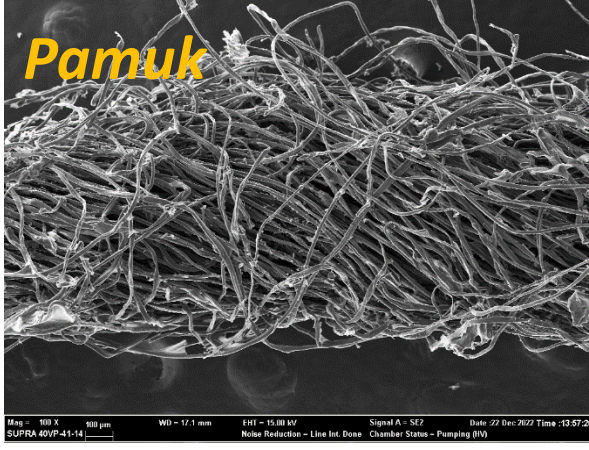
Çeşitli büyütmelerdeki SEM görüntüleri incelendiğinde; kaplanan pamuk iplik üzerinde tabaka tabaka şeklinde Grafen oluşumları gözlemlenmektedir. SEM görüntüleri incelenen Grafen kaplı ipliler yarı iletkenlik ve sensör özelliklerini incelemek üzere sensör uygulama ve kontrol ünitesine bağlanmışlardır. Sisteme sensör dahil edilmediğinde kontrol kartına bağlı direnç üzerindeki gerilimin 4.5-5 V arasında olması beklenmektedir. Dirençler arasına yarıiletken bir malzeme bağlandığında bu gerilimin düşmesi beklenmektedir. Direnç değişim ölçümleri yapılarak gaz tespit hassasiyeti, algılama kapasitesi ve algılama hızı belirlenmiş olan iplik sensörlerin gaz sensörlerinde kullanılabilmesi amaçlanmaktadır. PVA kaplı ve PVA-GO kaplı ipliklerin sisteme bağlandığında zamana göre direnç üzerindeki gerilim değerleri Şekil 9'da verilmiştir.



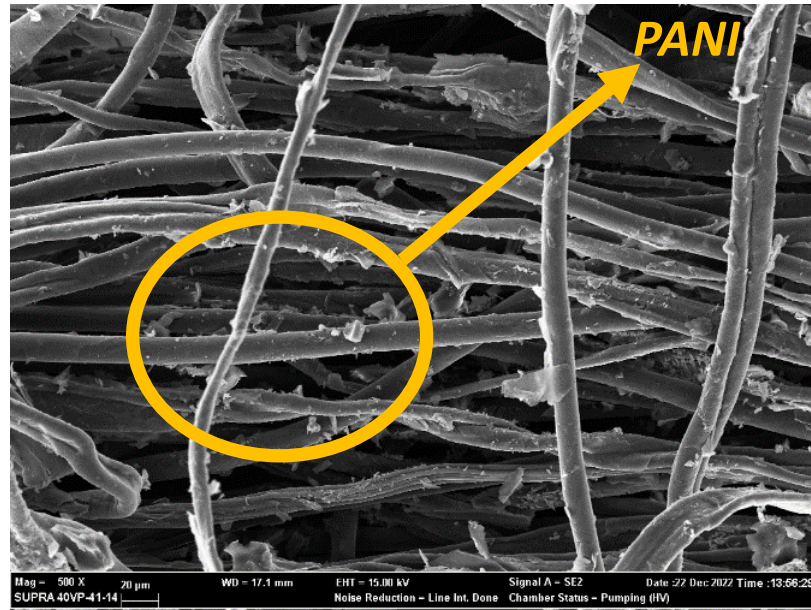
**Şekil 9** PVA ve PVA-GO kaplı iplik numunelerinin sisteme sensör olarak bağlandığında zamana göre direnç üzerindeki gerilim grafiği

PVA ince film kaplı iplikler üzerine akım verildiğinde yarı iletkenlik özelliği göstererek direnç üzerindeki gerilim değerleri yaklaşık 1 V olarak ölçülmüştür. PVA-GO kaplı ipliklerde ise direnç üzerindeki gerilim değeri 1.5 V un üzerine belirlenmiştir. GO katkısının yarı iletkenlik özelliklerini arttırdığı görülmektedir. Farklı gazlara karşı PVA/GO ve PVA kaplı ipliklerin gas sensörü uygulamaları için alternatif olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Projemizin ikinci altı aylık kısmında iplikler yüzeyine ince film biriktirmesi yapılan PANI deney sonuçları alınmıştır. PANI kaplaması için, altlık olarak kullanılan ipliklerden doğal içerikli olan pamuk, yarı sentetik lif olan viskon, sentetik lif olan polyester tercih edildi. Şekil 10'da PANI kaplı pamuk, polyester ve viskon ipliklerin 100X büyütme FESEM görüntüleri gösterilmektedir.

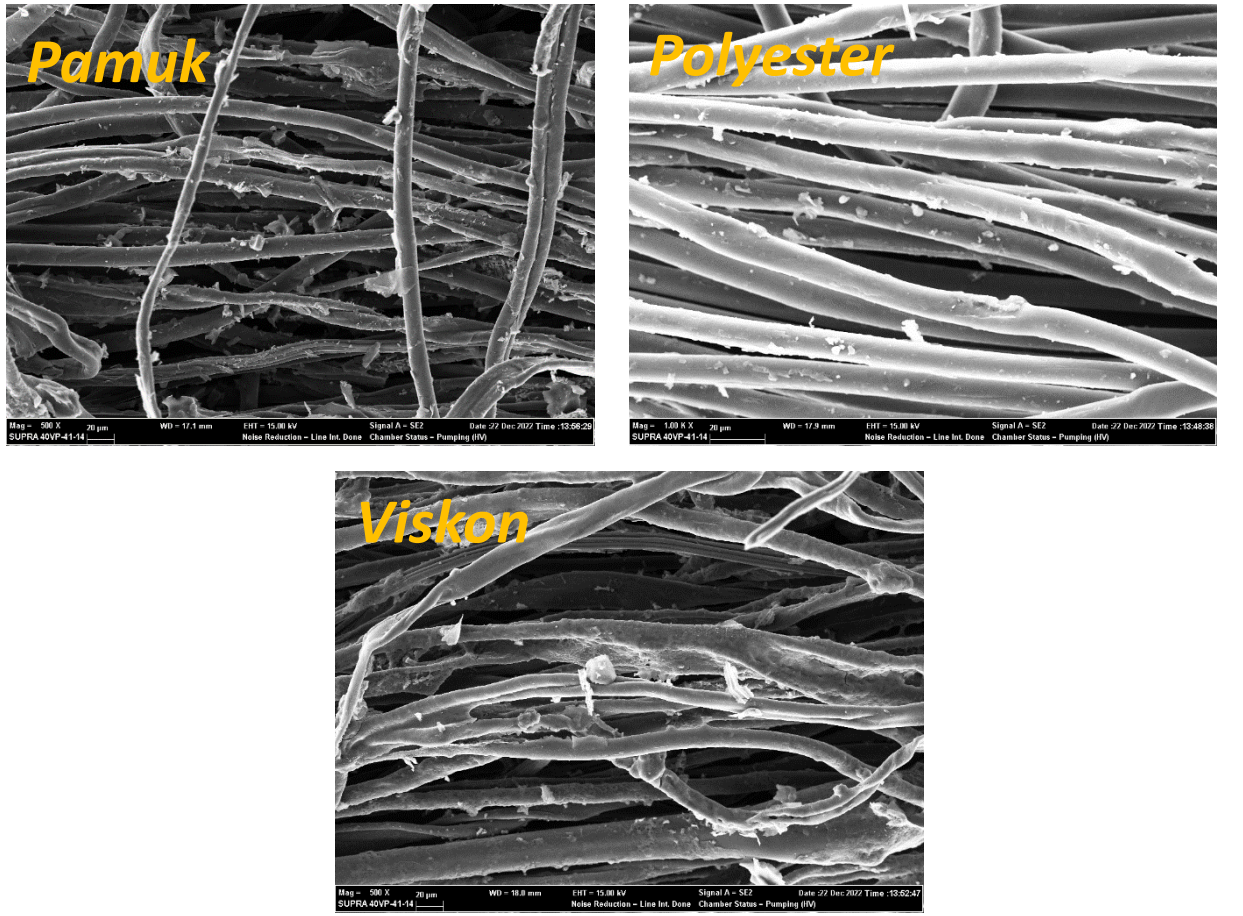


Şekil 10 PANI kaplı pamuk, polyester ve viskon ipliklerin 100 X büyütme FESEM görüntüleri.



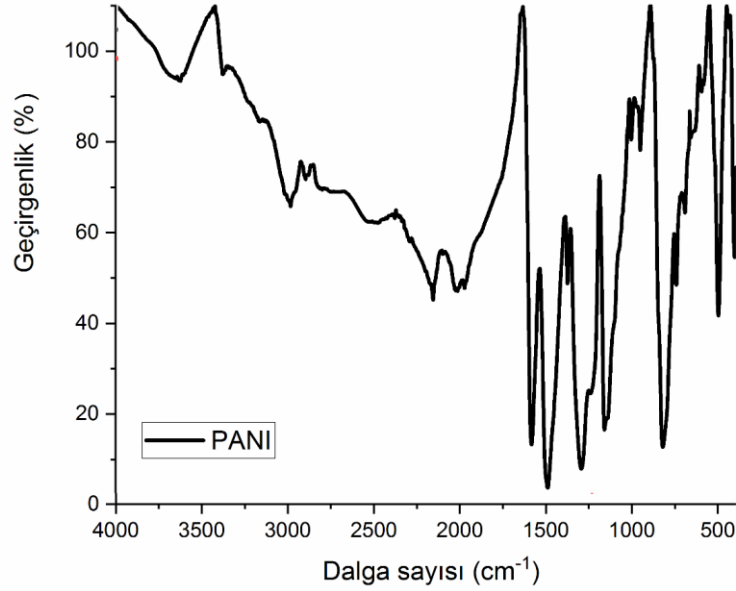
Şekil 11 İplik üzerine kaplanan PANI oluşumlarının gösterimi.

Şekil 11’de iplik üzerine kaplanan PANI oluşumları gösterilmektedir. Bu nokta nokta oluşumların PANI olduğu EDX analizleri ile belirlenmiştir. Şekil 12’de ise PANI kaplı pamuk, polyester ve viskon ipliklerin 500X büyütme FESEM görüntüleri gösterilmektedir. Görüntülerde, PANI’nin iplik yüzeylerine homojen bir şekilde kaplandığı, topaklanmaların olmadığı ayrıca kaplama işlemi sonucunda ipliklerde herhangi bir deformasyonun ve kopmanın olmadığı görülmektedir.



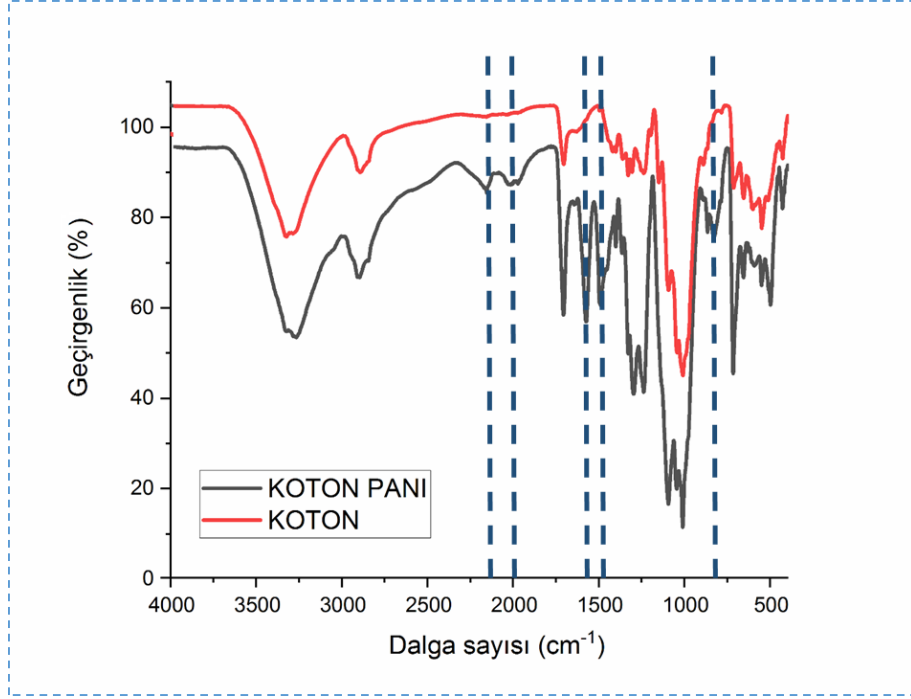
Şekil 12 PANI kaplı pamuk, polyester ve viskon ipliklerin 500X büyütme FESEM görüntüleri.

Tüm numuneler, PANI'nin özelliklerini yansıtan 740–1650  $\text{cm}^{-1}$  aralığında güçlü absorpsiyon bantları sergilemiştir.



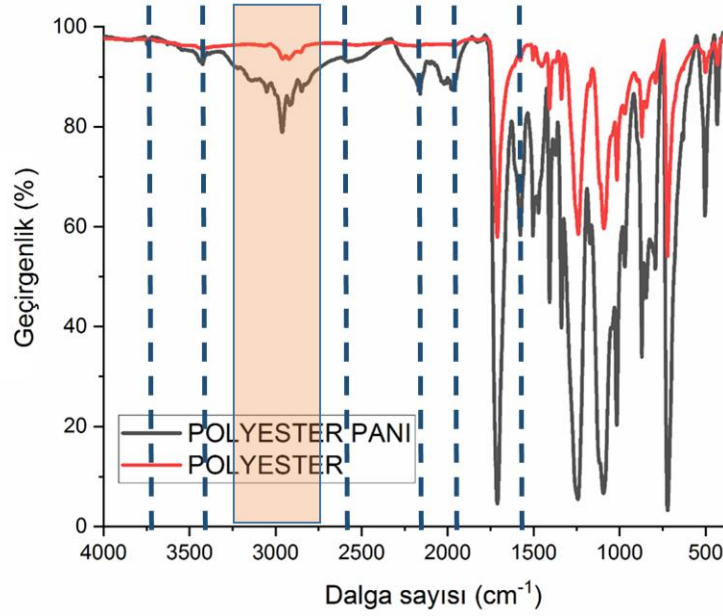
**Şekil 13** PANI'ye ait FTIR spektrumu

Farklı türlerde kullanılan ipliklerin iletken hale getirilmesi için kullanılan PANI'ye ait FTIR spektrumu Şekil 13'de verilmiştir. 1, 4 disübstitüe benzen halkasının C–H düzlem dışı bükülme titreşiminin karakteristik tepe noktası 821  $\text{cm}^{-1}$ 'de görülmektedir [49]. PANI'nin FTIR spektrumuna ait, 954  $\text{cm}^{-1}$ 'deki orta şiddetli absorpsiyon yoğunluk bandı, benzen halkası deformasyonunun düzlemsel C-H eğilme titreşimine atfedilir[50] . 1157  $\text{cm}^{-1}$ 'de görülen şiddetli keskin pik, C-N gerilmesinin sebep olduğu C-C gerilmesine atfedilmiştir. 1301  $\text{cm}^{-1}$ 'de elde edilen keskin pik, alkil zincirindeki burulma C-N salınımlarına bağlanabilir. 1589  $\text{cm}^{-1}$ 'deki şiddetli keskin pik, aromatik halkadaki C=C gerilmesine aittir[51] Alkinlere ait  $\text{C} \equiv \text{C}$  gerilmeleri 2020–2158  $\text{cm}^{-1}$ 'de görülmüştür[52]. 3380 ve 3662  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikler benzen halkaları içinde uzanan C-H ve N-H bağının valans salınımlarıyla ilişkilidir [51].



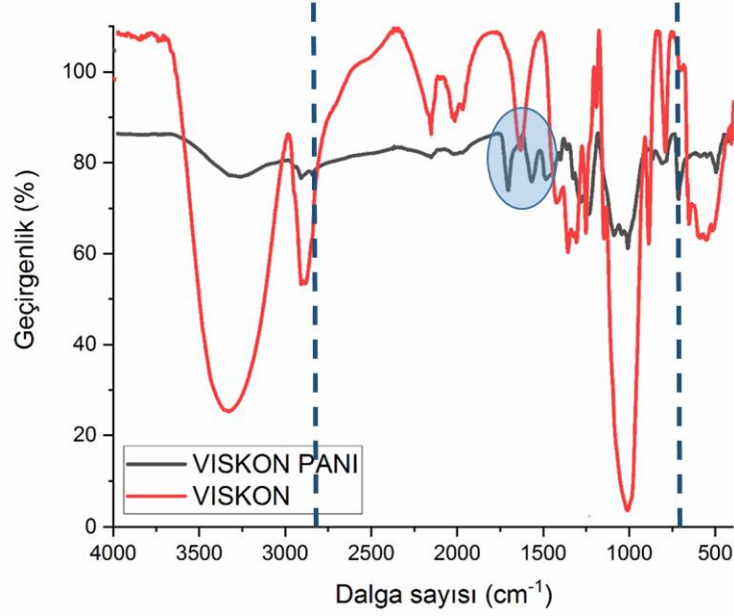
**Şekil 14** Katkısız koton iplik ve PANI emdirilmiş koton ipliğe ait FTIR spektrumları

Koton iplik ve PANI emdirilmiş koton ipliğe ait FTIR grafikleri Şekil 14’de verilmiştir.  $3740-2907\text{ cm}^{-1}$  bölgesindeki geniş bant, molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağlarının neden olduğu O-H gerilmesinden kaynaklanmaktadır.  $2847\text{ cm}^{-1}$ ’deki kısa şiddetli pik, kotonun selülozik yapısının CH esneme titreşimlerine aittir [53].  $821\text{ cm}^{-1}$ ’de; 1,4-disübstitüe benzen halkasının C-H düzlem dışı bükülme titreşiminin;  $1499\text{ cm}^{-1}$  ve  $1589\text{ cm}^{-1}$ ’de görülen keskin pik, aromatik halkadaki C=C gerilmesi ve alkinlere ait  $2020\text{ cm}^{-1}$  ve  $2158\text{ cm}^{-1}$ ’de gözlemlenen pikler, koton ipliklerin PANI moleküllerini ihtiva ettiğini kanıtlar.



**Şekil 15** Katkısız polyester iplik ve PANI emdirilmiş polyester ipliğe ait FTIR spektrumları

Polyester iplik ve PANI emdirilmiş polyester ipliğe ait FTIR spektrumları Şekil 15’de verilmiştir. Polyesterin karakteristik absorpsiyon pikleri görülmektedir. Spektrum açıkça göstermektedir ki C= O bağı  $1714\text{ cm}^{-1}$ ’de, aromatik halka titreşimleri  $1409\text{ cm}^{-1}$ ’de, yapıdaki karboksilik ester grupları  $1337\text{ cm}^{-1}$ ’de,  $1247$  ve  $1097\text{ cm}^{-1}$ ’de O=C-O-C gruplarına ait,  $1007\text{ cm}^{-1}$ ’de C=C titreşim tepe noktası,  $876\text{ cm}^{-1}$ ’de benzende beş süstitüe H ve literatürle benzerlik gösterecek şekilde  $725\text{ cm}^{-1}$ ’de heterosiklik aromatik halka görülmüştür[53]. Polyester ipliğin PANI ile olan etkileşiminin kimyasal yapı analizi sonucu, PANI’nin polyester iplik ile olan etkileşimini kanıtlar. PANI’ye ait  $1589\text{ cm}^{-1}$  keskin pik,  $\sim 2020\text{ cm}^{-1}$  ve  $2158\text{ cm}^{-1}$ ’de görülen keskin pik,  $2517\text{ cm}^{-1}$  hafif şiddetli yayvan pik,  $3380\text{ cm}^{-1}$  kısa şiddetli keskin pik,  $3750\text{ cm}^{-1}$ ’deki kısa şiddetli keskin pik polyester iplik üzerinde açıkça görülmüştür.  $2750\text{ cm}^{-1}$  ve  $3250\text{ cm}^{-1}$  arasındaki bantlardaki farklılık da PANI ile polyester ipliğin kuvvetli etkileşim içinde olduğunu kanıtlar.

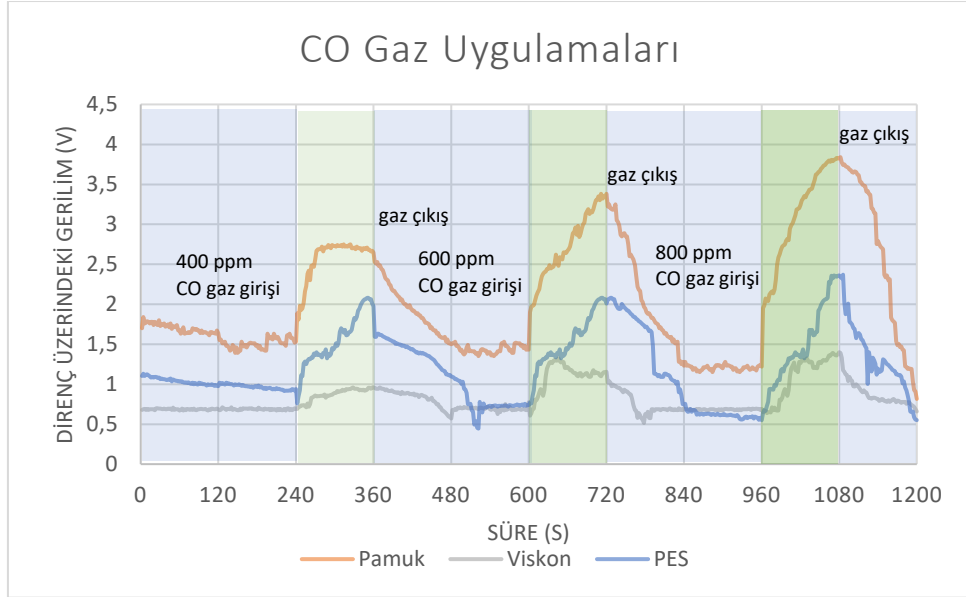


**Şekil 16** Katkısız viskon iplik ve PANI emdirilmiş viskon ipliğe ait FTIR spektrumları

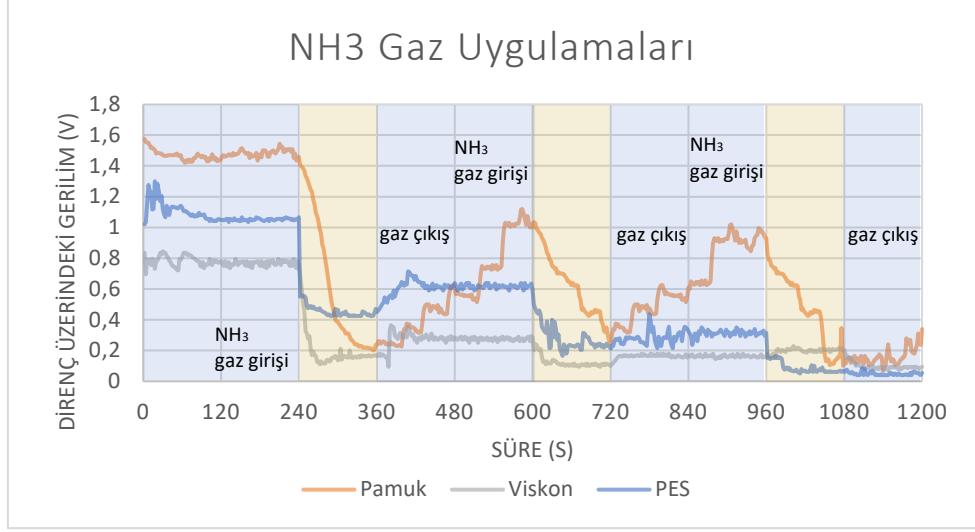
Viskon iplik ve PANI emdirilmiş viskon ipliğe ait FTIR spektrumları Şekil 16'da verilmiştir.  $3345\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen geniş, yayvan şiddetli pik, viskona ait karakteristik O-H gerilme bandına aittir.  $2895\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen keskin şiddetli pik C-H gerilmesini gösterir.  $1426\text{ cm}^{-1}$  ve  $1361\text{ cm}^{-1}$  C-H bükülmelerini gösterir.  $1637\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen orta şiddetli keskin pik emilen suyun bükülme bandına aittir.  $1253\text{ cm}^{-1}$  ile  $798\text{ cm}^{-1}$  arasındaki bölgede görülen spectral bant aralığı glikozid halkasının güçlü C-O-C germe titreşimlerinin görüldüğü selülozun parmak izi bölgesidir [54]. PANI-viskon ip etkileşimi koton-PANI ve polyester-PANI kadar güçlü değildir. PANI'ye ait karakteristik piklerin intensiteleri oldukça düşüktür. PANI'ye ait  $821\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen şiddetli keskin pik, viskon ile etkileşime girdiğinde yaklaşık  $720\text{ cm}^{-1}$ 'e kaymıştır.  $2850\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen PANI'ye ait az şiddetli keskin pik, viskon iplikle etkileşimde olan PANI örneğinde de görülmüştür. Mavi yuvarlak ile belirtilen  $1700\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$  bölgesinde viskona ait yaklaşık  $1650\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen keskin pik, PANI-viskon ipe ait spektrumda kaybolmuştur.

Böylece sensör uygulamaları için PANI kaplanan ipliklerin kullanılabilmesine karar verildi ve iplik numunelerin gaz sensörü olarak kullanımları incelendi. PANI tabanlı gaz sensörleri tipik olarak PANI malzemesinin bir hedef gaza maruz kaldığında elektrik iletkenliğindeki değişikliği ölçerek çalışır. PANI'nin iletkenliği, CO gazının varlığında, gaz moleküllerinin PANI'nin yüzeyine adsorpsiyonu nedeniyle değişir. Bu da polimer içindeki yüklerin dağılımında değişikliğe neden olur. İletkenlikteki bu değişiklik ölçülebilir ve ortamdaki hedef gazın konsantrasyonunu belirlemek için kullanılır.

PANI kaplaması yapılan iplikler gaz sensörü olarak uygulamalarının araştırılması için hazırlanan gaz odasına yerleştirilerek, gaz kontrol ünitesine bağlanmışlardır. DC güç kaynağı ile sensör üzerine sabit 5V gerilim uygulanmıştır. Sensörü sistemine eklenen direnç üzerindeki gerilim değişimleri meydana gelmesi, film kaplamanın doğru yapıldığı ve sensör olarak kullanılabilmesini göstermektedir. Hazırlanan gaz odasına CO ve NH<sub>3</sub> gazları verilerek gaz sensörüne bağlanan direnç üzerindeki gerilim değişim ölçümleri yapılmıştır. PANI kaplaması yapılan ipliklerin sisteme bağlandığında, gazsız ortamda ve ortama CO ve NH<sub>3</sub> gazı verildiğinde zamana göre gaz sensörüne bağlı direnç üzerindeki gerilim değerleri, sırasıyla Şekil 17 ve Şekil 18'de verilmiştir.



Şekil 17 PANI kaplı pamuk, polyester ve viskon ipliklerin CO gaz uygulama verileri



**Şekil 18** PANI kaplı pamuk, polyester ve viskon ipliklerin NH<sub>3</sub> gaz uygulama verileri

Gaz uygulamaları için öncelikler sensör olarak kullanılacak iplik numunelerinin oda koşullarında 240 saniye süreyle iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Sonrasında ilk deneme için ortama 120 saniye süreyle belirlene konsantrasyonda gaz girişi yapılmıştır. Ortamdan gaz çıkışı yapıldığında sensörlerin toparlanması ve ilk haline dönmesi için 240 saniye süreyle oda koşullarına dönülmüştür. Her iplik numunesi için 3 kes bu koşullar tekrar edilerek sensörlerin tekrar kullanılabilirlikleri ve farklı konsantrasyonlardaki tepkileri ölçülmüştür. Gaz uygulama verileri incelendiğinde, Tüm iplik numunelerinin yarı iletkenlik gösterdiği ve CO gazının tespiti için gaz sensörü uygulamalarında alternatif olarak kullanılabileceği tespit edildi. İplik sensörlerine bağlı direnç üzerindeki gerilimin ortama CO gazı verildiğinde arttığı gözlemlendi. Viskon iplik numunesinin ortamda 400 ppm konsantrasyonda CO gazı olduğunda direnç üzerindeki gerilim değişim yüzdeliğinin az ve yetersiz olduğu 600, 800 ppm de ise arttığı görülmektedir. PES ve Pamuk iplik numunelerinin 400,600 ve 800 ppm CO gazı konsantrasyonlarında sensör olarak iyi tepki verdiği, konsantrasyonun artmasıyla direnç üzerindeki gerilim değişim yüzdeliğinin artarak devam ettiği belirlendi. Pamuk iplik gaz sensörünün en iyi yarı iletkenlik gösterdiği CO gazı için en ideal gaz sensörü olarak kullanılabilceği görüldü. Tüm iplik numuneleri için ortama NH<sub>3</sub> gazı verildiğinde sensöre bağlı direnç üzerindeki gerilim değerinin düştüğü ve ortama yeniden gaz verildiğinde bu düşüşün devam ettiği belirlendi. Yapılan denemeler sonucunda NH<sub>3</sub> gazının konsantrasyonun sabit kalması ve iplik sensörünün belirlenen konsantrasyonda tekrarlanabilirliğinin ölçülmesine karar verildi. Ortama 3. defa gaz verildiğinde ise neredeyse sıfıra yaklaştığı yani ipliklerin iletkenlikten

yalıtkanlığa geçme eğilimi tespit edildi. Pamuk iplik numunelerinin NH<sub>3</sub> gazı verildiğinde direnç üzerindeki gerilim değişim yzdesinin en fazla olduğu ve diğer numuneler kıyasla tekrarlanabilir olduğu görülmektedir. Viskon iplik numunelerinin ilk NH<sub>3</sub> gazı verildiğindeki değişimin sensör uygulamaları için yeterli olduğu fakat sensörün tekrar kullanımının uygun olmadığı düşünüldü. Benzer Şekilde PES iplik numunelerinin de ilk NH<sub>3</sub> gazı ortama girdiğinde gerilim değerindeki değişim yzdesinin fazla olduğu fakat ikinci gaz girişinden sonra sensörün ilk hallerine yakın değerlere dönmediği görüldü. Dolayısıyla viskon ve PES iplik numunelerinin tek kullanımlık NH<sub>3</sub> gaz sensörü olabileceği, Pamuk iplik numunesinin yinelenen NH<sub>3</sub> gaz sensörü alternatif olarak kullanılması mümkündür.

### **3.Bilimsel Etkinlikler**

Bu proje kapsamında ilk olarak iplik yzeylerine daldırarak kaplama yöntemiyle PVA ve grafen katkılı PVA biriktirilmifitir. Üretilen yarı iletken ipliklerin için hazırlanan makale uluslararası konferans da sözlü sunum tam metin bildiri ile yayınlamıştır. Doğal ve sentetik liflerden üretilmiş farklı ipliklerin alttaşlar olarak seçildiği ve PANI kaplaması yapılarak iplik gaz sensörü uygulamaları için hazırlanan araştırma makalesi uluslararası SCI indekslerde taranan dergilere gönderilmek üzere derlenecektir.

## Kaynakça

- [1] Cardona, M., Marroquín, D., Salazar, B., Gómez, I., and Gutiérrez, S. Explosive Gas Detection and Alert System Using Internet of Things. Springer, Singapore, 2021, pp. 291–298.
- [2] Korotcenkov, G. *Handbook of Gas Sensor Materials*. Springer New York, New York, NY, 2013.
- [3] Deng, Y. Sensing Mechanism and Evaluation Criteria of Semiconducting Metal Oxides Gas Sensors. In *Semiconducting Metal Oxides for Gas Sensing*, Springer Singapore, 2019, pp. 23–51.
- [4] Ghosh, A., Zhang, C., Shi, S., and Zhang, H. “High Temperature CO<sub>2</sub> Sensing and Its Cross-Sensitivity towards H<sub>2</sub> and CO Gas Using Calcium Doped ZnO Thin Film Coated Langasite SAW Sensor.” *Sensors and Actuators, B: Chemical*, Vol. 301, 2019, p. 126958. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.126958>.
- [5] Nazemi, H., Joseph, A., Park, J., and Emadi, A. “Advanced Micro- and Nano-Gas Sensor Technology: A Review.” *Sensors*, Vol. 19, No. 6, 2019, p. 1285. <https://doi.org/10.3390/s19061285>.
- [6] Guo, L. Characterization of Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O Films Grown by Electrochemical Deposition. No. 926–930, 2014, pp. 22–25.
- [7] Kuo, C. T., and Chiou, W. H. “Field-Effect Transistor with Polyaniline Thin Film as Semiconductor.” *Synthetic Metals*, Vol. 88, No. 1, 1997, pp. 23–30. [https://doi.org/10.1016/S0379-6779\(97\)80879-X](https://doi.org/10.1016/S0379-6779(97)80879-X).
- [8] Das, T. K., and Prusty, S. “Review on Conducting Polymers and Their Applications.” <http://dx.doi.org/10.1080/03602559.2012.710697>, Vol. 51, No. 14, 2012, pp. 1487–1500. <https://doi.org/10.1080/03602559.2012.710697>.
- [9] Petrény, R., Tóth, C., Horváth, A., and Mészáros, L. “Development of Electrically Conductive Hybrid Composites with a Poly(Lactic Acid) Matrix, with Enhanced Toughness for Injection Molding, and Material Extrusion-Based Additive Manufacturing.” *Heliyon*, Vol. 8, No. 8, 2022, p. e10287. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E10287>.

- [10] Kumari Jangid, N., Jadoun, S., and Kaur, N. "A Review on High-Throughput Synthesis, Deposition of Thin Films and Properties of Polyaniline." *European Polymer Journal*, Vol. 125, 2020, p. 109485.  
<https://doi.org/10.1016/J.EURPOLYMJ.2020.109485>.
- [11] Wang, X., Gong, L., Zhang, D., Fan, X., Jin, Y., and Guo, L. "Room Temperature Ammonia Gas Sensor Based on Polyaniline/Copper Ferrite Binary Nanocomposites." *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 322, 2020, p. 128615. <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2020.128615>.
- [12] Zhang, Y., Zhang, J., Jiang, Y., Duan, Z., Liu, B., Zhao, Q., Wang, S., Yuan, Z., and Tai, H. "Ultrasensitive Flexible NH<sub>3</sub> Gas Sensor Based on Polyaniline/SrGe<sub>4</sub>O<sub>9</sub> Nanocomposite with Ppt-Level Detection Ability at Room Temperature." *Sensors and Actuators, B: Chemical*, Vol. 319, 2020, p. 128293. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128293>.
- [13] Liu, J., Cui, N., Xu, Q., Wang, Z., Gu, L., and Dou, W. "High-Performance PANI-Based Ammonia Gas Sensor Promoted by Surface Nanostructuralization." *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, Vol. 10, No. 2, 2021, p. 027007. <https://doi.org/10.1149/2162-8777/ABE3CE>.
- [14] Jamnani, S. R., Moghaddam, H. M., Leonardi, S. G., and Neri, G. "PANI/Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanocomposite Sensor for Fast Hydrogen Detection at Room Temperature." *Synthetic Metals*, Vol. 268, 2020, p. 116493. <https://doi.org/10.1016/J.SYNTHMET.2020.116493>.
- [15] Turemis, M., Zappi, D., Giardi, M. T., Basile, G., Ramanaviciene, A., Kapralovs, A., Ramanavicius, A., and Viter, R. "ZnO/Polyaniline Composite Based Photoluminescence Sensor for the Determination of Acetic Acid Vapor." *Talanta*, Vol. 211, 2020, p. 120658. <https://doi.org/10.1016/J.TALANTA.2019.120658>.
- [16] Zhang, D., Wu, Z., and Zong, X. "Flexible and Highly Sensitive H<sub>2</sub>S Gas Sensor Based on In-Situ Polymerized SnO<sub>2</sub>/RGO/PANI Ternary Nanocomposite with Application in Halitosis Diagnosis." *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 289, 2019, pp. 32–41. <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2019.03.055>.

- [17] Paulraj, P., Umar, A., Rajendran, K., Manikandan, A., Kumar, R., Manikandan, E., Pandian, K., Mahnashi, M. H., Alsaiari, M. A., Ibrahim, A. A., Bouropoulos, N., and Baskoutas, S. "Solid-State Synthesis of Ag-Doped PANI Nanocomposites for Their End-Use as an Electrochemical Sensor for Hydrogen Peroxide and Dopamine." *Electrochimica Acta*, Vol. 363, 2020, p. 137158. <https://doi.org/10.1016/J.ELECTACTA.2020.137158>.
- [18] Lakhdari, D., Guittoum, A., Benbrahim, N., Belgherbi, O., Berkani, M., Vasseghian, Y., and Lakhdari, N. "A Novel Non-Enzymatic Glucose Sensor Based on NiFe(NPs)–Polyaniline Hybrid Materials." *Food and Chemical Toxicology*, Vol. 151, 2021, p. 112099. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2021.112099>.
- [19] Li, Y., Mao, Y., Xiao, C., Xu, X., and Li, X. "Flexible PH Sensor Based on a Conductive PANI Membrane for PH Monitoring." *RSC Advances*, Vol. 10, No. 1, 2019, pp. 21–28. <https://doi.org/10.1039/C9RA09188B>.
- [20] Park, H. J., Yoon, J. H., Lee, K. G., and Choi, B. G. "Potentiometric Performance of Flexible PH Sensor Based on Polyaniline Nanofiber Arrays." *Nano Convergence*, Vol. 6, No. 1, 2019, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1186/S40580-019-0179-0/FIGURES/7>.
- [21] Wu, Z., Zhu, S., Dong, X., Yao, Y., Guo, Y., Gu, S., and Zhou, Z. "A Facile Method to Graphene Oxide/Polyaniline Nanocomposite with Sandwich-like Structure for Enhanced Electrical Properties of Humidity Detection." *Analytica Chimica Acta*, Vol. 1080, 2019, pp. 178–188. <https://doi.org/10.1016/J.ACA.2019.07.021>.
- [22] Ge, G., Cai, Y., Dong, Q., Zhang, Y., Shao, J., Huang, W., and Dong, X. "A Flexible Pressure Sensor Based on RGO/Polyaniline Wrapped Sponge with Tunable Sensitivity for Human Motion Detection." *Nanoscale*, Vol. 10, No. 21, 2018, pp. 10033–10040. <https://doi.org/10.1039/C8NR02813C>.
- [23] Mousli, F., Khalil, A. M., Maurel, F., Kadri, A., and Chehimi, M. M. "Mixed Oxide-Polyaniline Composite-Coated Woven Cotton Fabrics for the Visible Light Catalyzed Degradation of Hazardous Organic Pollutants." *Cellulose*, Vol.

27, No. 13, 2020, pp. 7823–7846. <https://doi.org/10.1007/S10570-020-03302-7/FIGURES/19>.

- [24] Kannichankandy, D., Pataniya, P. M., Narayan, S., Patel, V., Sumesh, C. K., Patel, K. D., Solanki, G. K., and Pathak, V. M. “Flexible Piezo-Resistive Pressure Sensor Based on Conducting PANI on Paper Substrate.” *Synthetic Metals*, Vol. 273, 2021, p. 116697. <https://doi.org/10.1016/J.SYNTHMET.2021.116697>.
- [25] Bagheri, H., Babanezhad, E., and Es-haghi, A. “An Aniline-Based Fiber Coating for Solid Phase Microextraction of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Water Followed by Gas Chromatography-Mass Spectrometry.” *Journal of Chromatography A*, Vol. 1152, Nos. 1–2, 2007, pp. 168–174. <https://doi.org/10.1016/J.CHROMA.2007.02.007>.
- [26] Akhlaq, M., Khan -, Z. S., Afrashi, M., Semnani, D., Talebi, Z., -, al, Akber, H. J., Ibrahim, I. M., and Razeg, K. H. “Hydrothermal Synthesis of Polyaniline Nano-Fibers as H<sub>2</sub>S Gas Sensor.” *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1664, No. 1, 2020, p. 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1664/1/012017>.
- [27] Li, S., Liu, A., Yang, Z., He, J., Wang, J., Liu, F., Lu, H., Yan, X., Sun, P., Liang, X., Gao, Y., and Lu, G. “Room Temperature Gas Sensor Based on Tin Dioxide@ Polyaniline Nanocomposite Assembled on Flexible Substrate: Ppb-Level Detection of NH<sub>3</sub>.” *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 299, 2019, p. 126970. <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2019.126970>.
- [28] Sonker, R. K., Yadav, B. C., Gupta, V., and Tomar, M. “Fabrication and Characterization of ZnO-TiO<sub>2</sub>-PANI (ZTP) Micro/Nanoballs for the Detection of Flammable and Toxic Gases.” *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 370, 2019, pp. 126–137. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2018.10.016>.
- [29] Kishnani, V., Verma, G., Pippara, R. K., Yadav, A., Chauhan, P. S., and Gupta, A. “Highly Sensitive, Ambient Temperature CO Sensor Using Tin Oxide Based Composites.” *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 332, 2021, p. 113111. <https://doi.org/10.1016/J.SNA.2021.113111>.
- [30] Rahim, M., Shah, A. U. H. A., Bilal, S., Rahim, I., and Ullah, R. “Highly

Efficient Humidity Sensor Based on Sulfuric Acid Doped Polyaniline-Copper Oxide Composites.” *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A: Science*, Vol. 45, No. 6, 2021, pp. 1981–1991. <https://doi.org/10.1007/S40995-021-01201-5/FIGURES/11>.

- [31] Paulraj, R., Shankar, P., Mani, G. K., Nallathambi, L., and Rayappan, J. B. B. “PANI–CdO Nanocomposite Thin Films as a Room Temperature Methanol Sensor.” *Journal of Electronic Materials* 2018 47:10, Vol. 47, No. 10, 2018, pp. 6000–6006. <https://doi.org/10.1007/S11664-018-6485-1>.
- [32] Kamarozaman, N. S., Zainal, N., Rosli, A. B., Zulkefle, M. A., Him, N. R. N., Abdullah, W. F. H., Herman, S. H., and Zulkifli, Z. “Highly Sensitive and Selective Sol-Gel Spin-Coated Composite TiO<sub>2</sub>–PANI Thin Films for EGFET-PH Sensor.” *Gels* 2022, Vol. 8, Page 690, Vol. 8, No. 11, 2022, p. 690. <https://doi.org/10.3390/GELS8110690>.
- [33] Venkatachalaiah, C., Venkataraman, U., and Sellappan, R. “PANI/TiO<sub>2</sub> Nanocomposite-Based Chemiresistive Gas Sensor for the Detection of E. Coli Bacteria.” *IET Nanobiotechnology*, Vol. 14, No. 9, 2020, pp. 761–765. <https://doi.org/10.1049/IET-NBT.2020.0046>.
- [34] He, M., Xie, L., Luo, G., Li, Z., Wright, J., and Zhu, Z. “Flexible Fabric Gas Sensors Based on PANI/WO<sub>3</sub> P–n Heterojunction for High Performance NH<sub>3</sub> Detection at Room Temperature.” *Science China Materials* 2020 63:10, Vol. 63, No. 10, 2020, pp. 2028–2039. <https://doi.org/10.1007/S40843-020-1364-4>.
- [35] Pattanarat, K., Petchsang, N., Osotchan, T., Tang, I.-M., Kim, Y.-H., and Jaisutti, R. “High Conductivity and Durability Textile Gas Sensor-Based Polyaniline-Decorated-Poly(3,4-Ethylenedioxythiophene)/Poly(4-Styrenesulfonate) for Ammonia Detection.” *ACS Applied Polymer Materials*, 2022. [https://doi.org/10.1021/ACSAPM.2C01374/SUPPL\\_FILE/AP2C01374\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/ACSAPM.2C01374/SUPPL_FILE/AP2C01374_SI_001.PDF).
- [36] Zhang, W., Zhang, X., Wu, Z., Abdurahman, K., Cao, Y., Duan, H., and Jia, D. “Mechanical, Electromagnetic Shielding and Gas Sensing Properties of Flexible Cotton Fiber/Polyaniline Composites.” *Composites Science and Technology*, Vol.

188, 2020, p. 107966. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSCITECH.2019.107966>.

- [37] Su, P. G., and Liao, Z. H. “Fabrication of a Flexible Single-Yarn NH<sub>3</sub> Gas Sensor by Layer-by-Layer Self-Assembly of Graphene Oxide.” *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 224, 2019, pp. 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.12.043>.
- [38] Myat Swe, M., Eamsa-Ard, T., and Kerdcharoen, T. “Fabrication of Polyaniline Coated Conductive Cotton for Ammonia Gas Detection.” *MATEC Web of Conferences*, Vol. 192, 2018. <https://doi.org/10.1051/MATECCONF/201819202036>.
- [39] Guan, Y., Wang, C., Yu, H., Zou, Z., Zhou, Y., Cao, G., and Yao, J. “Flexible ZnO/PANI/Nonwoven Nanocomposite Based High-Sensitive NH<sub>3</sub> Gas Sensor via Vapor Phase Polymerization Method.” *Materials Science for Energy Technologies*, Vol. 3, 2020, pp. 862–867. <https://doi.org/10.1016/J.MSET.2020.10.011>.
- [40] Phukan, K., Chutia, S., Chutia, G. P., and Sen Sarma, N. “Fabrication of Conducting Polyaniline–Betel Nut Fiber Filaments with Potential Ammonia Gas Sensing Behavior.” *Journal of Natural Fibers*, Vol. 19, 2022, pp. 13694–13710. [https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2104776/SUPPL\\_FILE/WJNF\\_A\\_2104776\\_SM7168.DOCX](https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2104776/SUPPL_FILE/WJNF_A_2104776_SM7168.DOCX).
- [41] Indarit, N., Kim, Y. H., Petchsang, N., and Jaisutti, R. “Highly Sensitive Polyaniline-Coated Fiber Gas Sensors for Real-Time Monitoring of Ammonia Gas.” *RSC Advances*, Vol. 9, No. 46, 2019, pp. 26773–26779. <https://doi.org/10.1039/c9ra04005f>.
- [42] Pan, J., Liu, S., Zhang, H., and Lu, J. “A Flexible Temperature Sensor Array with Polyaniline/Graphene–Polyvinyl Butyral Thin Film.” *Sensors (Switzerland)*, Vol. 19, No. 19, 2019. <https://doi.org/10.3390/s19194105>.
- [43] Ouadil, B., Amadine, O., Essamlali, Y., Cherkaoui, O., and Zahouily, M. “A New Route for the Preparation of Hydrophobic and Antibacterial Textiles Fabrics Using Ag-Loaded Graphene Nanocomposite.” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 579, 2019, p. 123713.

<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.123713>.

- [44] Jang, J. H., and Han, J. I. “Cylindrical Relative Humidity Sensor Based on Poly-Vinyl Alcohol (PVA) for Wearable Computing Devices with Enhanced Sensitivity.” *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 261, 2017, pp. 268–273. <https://doi.org/10.1016/J.SNA.2017.05.011>.
- [45] Chi, H., Ze, L. J., Zhou, X., and Wang, F. “GO Film on Flexible Substrate: An Approach to Wearable Colorimetric Humidity Sensor.” *Dyes and Pigments*, Vol. 185, 2021, p. 108916. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2020.108916>.
- [46] Wicaksono, D. H. B., Utari, L., Wulan, N., Engel, D. J., Widjaja, S. T., Jovinka, X., Genilar, L. A., Setiawan, S. A., Yulianto, B., Dipojono, H. K., Jenie, S. N. A., Tursiloadi, S., Krismastuti, F. S. H., and Herbani, Y. “Preliminary Study on Graphene/Metal Oxide Nanoparticles-Coated Cotton Fabrics for Flexible Gas Sensor.” *AIP Conference Proceedings*, Vol. 2024, No. November, 2018. <https://doi.org/10.1063/1.5064349>.
- [47] Wang, Z., Peng, X., Huang, C., Chen, X., Dai, W., and Fu, X. “CO Gas Sensitivity and Its Oxidation over TiO<sub>2</sub> Modified by PANI under UV Irradiation at Room Temperature.” *Applied Catalysis B: Environmental*, Vol. 219, 2017, pp. 379–390. <https://doi.org/10.1016/J.APCATB.2017.07.080>.
- [48] He, W., Zhao, Y., and Xiong, Y. “Bilayer Polyaniline-WO<sub>3</sub> Thin-Film Sensors Sensitive to NO<sub>2</sub>.” *ACS Omega*, Vol. 5, No. 17, 2020, pp. 9744–9751. [https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.9B04122/ASSET/IMAGES/LARGE/AO9B04122\\_0003.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.9B04122/ASSET/IMAGES/LARGE/AO9B04122_0003.JPEG).
- [49] Trchová, M., and Stejskal, J. “Polyaniline: The Infrared Spectroscopy of Conducting Polymer Nanotubes (IUPAC Technical Report).” *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 83, No. 10, 2011, pp. 1803–1817. <https://doi.org/10.1351/PAC-REP-10-02-01/MACHINEREADABLECITATION/RIS>.
- [50] Khasim, S., Raghavendra, S. C., Revanasiddappa, M., and Ambika Prasad, M. V. N. “Synthesis, Characterization and Electrical Properties of Polyaniline/BaTiO<sub>3</sub> Composites.” <https://doi.org/10.1080/00150190500328528>, Vol. 325, 2011, pp. 111–119. <https://doi.org/10.1080/00150190500328528>.

- [51] Singh, S. K., Shukla, R. K., Kumar, R., Tripathi, U. K., and Mishra, S. K. "Investigation on PANI/CuO Nanocomposites for Ammonia Gas Sensing Applications." *Materials Letters*, Vol. 309, 2022, p. 131325.  
<https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2021.131325>.
- [52] Anwar, N., Shakoor, A., Ali, G., Ahmad, H., Niaz, N. A., Seerat-Ul-Arooj, and Mahmood, A. "Synthesis and Electrochemical Characterization of Polyaniline Doped Cadmium Oxide (PANI-CdO) Nanocomposites for Supercapacitor Applications." *Journal of Energy Storage*, Vol. 55, 2022, p. 105446.  
<https://doi.org/10.1016/J.EST.2022.105446>.
- [53] GÖZÜKIZIL, M. F., TEMEL, S., YAMAN, E., and GÖKMEN, F. Ö. Effects of Boric Acid on Cotton and Polyester Yarn. In *Academic Studies in Science and Mathematics*, 2021.
- [54] Kokol, V., Vivod, V., Peršin, Z., Čolić, M., and Kolar, M. "Antimicrobial Properties of Viscose Yarns Ring-Spun with Integrated Amino-Functionalized Nanocellulose." *Cellulose*, Vol. 28, No. 10, 2021, pp. 6545–6565.  
<https://doi.org/10.1007/S10570-021-03946-Z/FIGURES/11>.



BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ

**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**  
**BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ**  
**MALİ RAPORU**

**PROJE NO** : 2021-02.BŞEÜ.17-01

**PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ** : Dr. Öğr. Üyesi M. Fatih GÖZÜKIZIL

**RAPOR TESLİM TARİHİ** : 23-01-2023

*Handwritten signature*

GENEL BİLGİLER	
PROJE NUMARASI	2021-02.BŞEÜ.17-01
PROJE ADI	İplik Gaz Sensörü Üretimi Ve Uygulamaları
PROJENİN YÜRÜTÜLDÜĞÜ BİRİM VE BÖLÜM	Söğüt Meslek Yüksekokulu / Tasarım
PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fatih GÖZÜKIZIL
ARAŞTIRMACILAR	Doç. Dr. Sinan TEMEL, Öğr. Gör. Enes NAYMAN, Dr. Öğr. Üyesi Fatma Özge GÖKMEN, Dr. Öğr. Üyesi Elif YAMAN
PROJE BAŞLANGIÇ-BİTİŞ TARİHLERİ	24.01.2022- 23.01.2023
PROJE SÜRESİ (AY)	12 ay
ONAYLANAN EK SÜRE (AY)	-
EK SÜRE DÂHİL PROJENİN BİTİŞ TARİHİ	23.01.2023 (Ek süre hariç)

PROJENİN GENEL BÜTÇE DURUMU					
Fasıllar	Sözleşmedeki Ödenek	Onaylanan Ek Ödenek	Toplam Ödenek	Toplam Gerçekleşen Harcama (*)	Kalan Ödenek
Personel Giderleri Burslar ve Harçlıklar ( 05.04.01.01 )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Personel Giderleri (Bursiyer SGK Ödemeleri) ( 02.04 )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sarf Malzemesi ( 03.02 )	12113,88	0.00	0.00	12113,88	0.00
Seyahat (Yurtiçi) ( 03.03.01.01 )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Seyahat (Yurtdışı) ( 03.03.03.01 )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hizmet Alımı ( 03.05 )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Makine/Teçhizat ( 03.07.01.02 )	7746,56	0.00	0.00	5.369,68	2.376,88
Makine/Teçhizat (Yazılım Alımları) ( 03.07.02.01 )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOPLAM</b>	0.00	<b>0.00</b>	0.00	17.483,56	2.376,88

(\*) Projenin başlama tarihi ve bitiş tarihi arasında Proje birimi'nden alınan bütçe raporunda yer alan harcamalar ile uyumlu olmalıdır.

**PROJE KAPSAMINDA GERÇEKLEŞEN HARCAMALARA İLİŞKİN AÇIKLAMALAR**  
(Proje bütçesinden yapılan alımlar ve mevcut durumu özetlenmelidir)

İlk olarak, daldırarak kaplama sistemi kurulmuştur. (Kendi bünyemizde bulunan malzeme ekipman kullanılmıştır.) Sistemin kurulmasından sonra ince filmleri kaplanacak olan bileşiklerin (Grafen oksit, PAH, PANİ) elde edilebilmesi için gerekli kimyasal sarflar (1-Metrhyl-2-pyrrolidinone, Ethylene glycol) temin edildi. (12113,88 TL). Sensör uygulama kontrol sistemi için DC güç kaynağı temin edildi.(5.369,68 TL) (Ölçüm sistemi için kendi bünyemizde bulunan Arduino kontrol kartı ve ekipmanları kullanıldı.)

(Her madde için gerektiği kadar alan ve ek sayfa kullanabilirsiniz)

**1. Proje Kapsamında Yapılan Seyahat Harcamalarının Ayrıntılı Bilgisi**

(Yurtiçi ve yurtdışı seyahat harcamalarının ayrıntılı bilgisi, güzergâh, tarih, süre, kişi sayısı ve toplam harcama miktarı verilmelidir.)

**a) Saha Çalışmaları (03.03.01.01 Yolluk Giderleri)**

Güzergâh	Tarih	Süre (gün)	Katılımcı sayısı	Toplam Harcama (TL)
-	.././201. - .././201.			
-	.././201. - .././201.			
-	.././201. - .././201.			

**b) Yurtiçi Konferans Katılım Giderleri ( 03.03.01.01 Yurtiçi )**

Toplantının Adı	Yeri	Tarih	Süre (gün)	Katılımcının adı soyadı	Toplam Harcama (TL)
-		.././201. - .././201.			
-		.././201. - .././201.			

**c) Yurtdışı Konferans ve/veya Çalışma Ziyareti Katılım Giderleri ( 03.03.03.01 Yurtdışı )**

Toplantının Adı veya Çalışma Ziyareti Konusu	Yeri	Tarih	Süre (gün)	Katılımcının adı soyadı	Toplam Harcama (TL)
-		.././201. - .././201.			
-		.././201. - .././201.			

**2. Proje Kapsamında yapılan fasıl aktarmaları ve verilen ek ödenek bilgileri (Varsa)**

Eksilen Fasıl (Ekonomik kod)	Artan Fasıl (Ekonomik Kod)	Aktarılan Tutar (TL)
-		
-		
-		



Ek Ödenek Verilen Fasıl (Ekonomik Kod)	Ek Ödenek Gerekçesi (Kısa Açıklama)	Verilen Ek Ödenek (TL)
-		

**3. Proje sözleşmesinde yer alan bütçe kalemlerinin niteliğinde veya niceliğinde Komisyon onayı ile yapılan değişiklikler**

(Onaylanmış olan bütçe kalemlerinde yapılan nitelik / nicelik değişikliklerinde mutlaka Komisyon onayı alındıktan sonra harcama gerçekleştirilmelidir. Aksi takdirde onay alınmadan yapılan bu tür harcamaların iadesi istenir.)

-
---


**4. Destek Sağlayan Diğer Kuruluşların Gerçekleşen Harcamalarının Miktarı ve Ayrıntıları**

(Proje kapsamında destek sağlayan diğer kuruluş varsa bu kuruluşlarca yapılan harcamalarının miktarı ve ayrıntıları açıklanmalıdır.)

-
---

**5. Harcama Akışında Karşılaşılan Zorluklar ve Nedenleri**

(Proje kapsamında yapılan harcamalarda varsa karşılaşılan zorluklar ve nedenleri belirtilerek, bu zorlukların proje amacına ulaşmaya herhangi bir etkisin olup olmadığı belirtilmelidir.)

Dolar kurunun projenin ilk zamanlarında 9 TL civarında iken, alımların gerçekleşmesi zamanına kadar Dolar/TL kurundaki artış sebebi ile satın alma maliyetlerinde ciddi artış olmuştur. Bu sebeple planlanan kimyasallardan ve elektronik cihazlardan bir kısmı alınamamıştır.	
<b>PROJE YÜRÜTÜCÜSÜNÜN ADI SOYADI</b>	<b>İMZASI</b>
Dr. Öğr. Üyesi M. Fatih GÖZÜKIZIL	

**NOT: Raporun tüm sayfaları proje yürütücüsü tarafından paraflanacak, sadece son sayfa imzalanacaktır.**