



**TEKSTİL VE MÜHENDİS**  
**(Journal of Textiles and Engineer)**



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

---

**Nem Karşısında Yüksek Kararlılığa Sahip Tekstil Tabanlı Sıcaklık Sensörü**

**Textile Based Temperature Sensor with High Stability Against Humidity**

Burcu ARMAN KUZUBAŞOĞLU<sup>1,2\*</sup>, Senem KURŞUN BAHADIR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Sabancı Üniversitesi, Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 31 Mart 2022 (31 March 2022)

---

**Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):**

Burcu ARMAN KUZUBAŞOĞLU, Senem KURŞUN BAHADIR (2022): Nem Karşısında Yüksek Kararlılığa Sahip Tekstil Tabanlı Sıcaklık Sensörü, Tekstil ve Mühendis, 29: 125, 2-7.

**For online version of the article:** <https://doi.org/10.7216/1300759920222912501>

***Araştırma Makalesi / Research Article***

# NEM KARŞISINDA YÜKSEK KARARLILIĞA SAHİP TEKSTİL TABANLI SICAKLIK SENSÖRÜ

**Burcu ARMAN KUZUBAŞOĞLU<sup>1,2\*</sup>**   
**Senem KURŞUN BAHADIR<sup>3</sup>** 

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Sabancı Üniversitesi, Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

*Gönderilme Tarihi / Received: 18.04.2021*

*Kabul Tarihi / Accepted: 15.03.2022*

**ÖZ:** Bu çalışmada, tamamen inkjet baskı tekniği ile üretilmiş tekstil tabanlı sıcaklık sensörlerinin farklı nem ortamlarında gösterdiği davranış incelenmiştir. Sıcaklığa duyarlı malzeme olarak, karbon nanotüp (KNT), Poli (3,4-etilendioksitiyofen) polistiren sülfonat (PEDOT:PSS) ve kompozit yapıları KNT/PEDOT:PSS kullanılmıştır. Üç farklı tip sensörün performans karşılaştırması ele alınmıştır. Sensör hassasiyetini değerlendirmek için, sensörlerin elektriksel direnci, 25 ile 50 °C arasında değişen sıcaklıklarda ve %65 ve %85 bağıl nem koşulları altında ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar, sensör direncinin bağıl nem ve seçilen malzeme özelliklerine bağlı olarak değişebildiğini göstermektedir. Farklı nem ortamlarında en düşük ölçüm hassasiyeti KNT mürekkep baskılı sensörde olmasına rağmen, bağıl nem %65'ten %85'e çıktığında sıcaklık direnç katsayısı (TCR,  $\alpha$ ) değişimi KNT/PEDOT:PSS kompozit mürekkep baskılı sensöre kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Dolayısıyla ile 65-85% bağıl nem karşısındaki değişime en iyi kararlılık sergileyen sıcaklık sensörü KNT/PEDOT:PSS kompozit mürekkep baskılı sıcaklık sensörü olduğundan 65-85% bağıl nem ortamlarındaki sıcaklık sensörü uygulamaları için KNT/PEDOT:PSS kompozit mürekkep baskılı sıcaklık sensörünün kullanılmasının daha uygun olduğu saptanmıştır (TCR değişimi=0,02 °C<sup>-1</sup>). Genel olarak değerlendirildiğinde ise, KNT içeren sıcaklık sensörlerinin PEDOT:PSS içeren sıcaklık sensörlerine nazaran nemden daha az etkilendiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İnkjet baskı, giyilebilir elektronik, karbon nanotüp, sıcaklık sensörü, PEDOT:PSS

## TEXTILE BASED TEMPERATURE SENSOR WITH HIGH STABILITY AGAINST HUMIDITY

**ABSTRACT:** In this study, the behavior of textile-based temperature sensors developed by inkjet printing technique in different humidity environments was investigated. Carbon nanotube (CNT), Poly (3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate (PEDOT: PSS), and CNT/PEDOT:PSS composites were used as temperature sensitive materials. Performance comparison of three different types of sensors was discussed. To evaluate the sensor sensitivity, the electrical resistance of the sensors was measured at temperatures ranging from 25 to 50 °C and under 65% and 85% relative humidity. Experimental results show that the sensor resistance can vary depending on the relative humidity and the selected material properties. Although the lowest measurement sensitivity in different humidity environments is in the CNT ink printed sensor, when the relative humidity rises from 65% to 85%, the change in temperature resistance coefficient (TCR,  $\alpha$ ) was found to be higher compared to the CNT/PEDOT: PSS composite ink printed sensor. The temperature sensor that exhibits the best stability to the change against 65-85% relative humidity is found to be CNT/ PEDOT: PSS composite ink printed temperature sensor (TCR change = 0.02 °C<sup>-1</sup>). Therefore, it is more suitable to use CNT/ PEDOT: PSS composite ink printed temperature sensor for temperature sensor applications where the environmental conditions include 65-85% relative humidity. In general, it is concluded that temperature sensors containing CNT are less affected by humidity than temperature sensors containing PEDOT: PSS.

**Keywords:** Inkjet printing, wearable electronic, carbon nanotube, temperature sensor, PEDOT: PSS

\***Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** armanb@itu.edu.tr

**DOI:** <https://doi.org/10.7216/1300759920222912501>

[www.tekstilvemuhendis.org.tr](http://www.tekstilvemuhendis.org.tr)

## 1. GİRİŞ

Vücut ısısı, tanıdan kardiyovasküler hastalık riskine kadar çeşitli sağlık sorunlarına ışık tutan önemli bir sayısal değerdir [1-3]. 36,5-37,5 °C'den yüksek vücut sıcaklıklarında, fizyolojik ve patofizyolojik süreçlerin karmaşık etkileşimi ile hem fiziksel hem de zihinsel performans bozulabilmektedir [4]. Yüksek ateş ( $\geq 38,3^{\circ}\text{C}$ ) ve sıcak çarpması ( $> 40^{\circ}\text{C}$ ) ve düşük sıcaklığa maruz kalma ( $<36$ ) gibi durumlarında termometre tanı için önemlidir [5]. Vücut sıcaklığını ölçmede klinik tipi termometreler sıkça kullanılmaktadır. Klinik tipi termometreler, Sert malzemelerden yapılmış olması sayesinde cilt üzerinde basınç noktaları oluşturabilmektedir [6]. Bu sebeple uzun süreli ve kesintisiz ölçüm yapılması gereken durumlarda hasta üzerinde rahatsız edici olabilmektedir. Bu noktada tekstiller, koruyucu ve estetik fonksiyonlarının yanında geniş elyaf, iplik ve kumaş yelpazesi sayesinde algılama işlevlerini yerine getirmek ve kullanıcıya rahatlık sağlamak için esnek bir platform olarak kullanılabilir olan dikkate değer bir seçenektir. Tekstil bazlı vücut sıcaklık sensörlerinin düzgün çalışması için bazı kritik koşulların sağlanması gerekir. Bunlar; 35 °C ile 42 °C arasındaki sıcaklıklarda yüksek ölçüm hassasiyeti; yüksek esneklik; küçük boyutlar; nem ve çevresel etkenlere dayanıklılık; hafiflik; biyouyumluluk olarak özetlenebilir [7].

Giyilebilir sensörlerin yüksek esneklik, hassasiyet, geniş algılama aralığına sahip olabilmesi için malzeme ve yapı tasarımında karbon nanotüpler, grafen ve metalik nano partiküller de dahil olmak üzere nanomalzemeler ve iletken polimerler yaygın olarak kullanılmaktadır [8, 9]. Nano malzemelerin kullanım sebebi, benzersiz elektronik, optik, termal, mekanik ve kimyasal özelliklerinin yanında yüksek en boy oranına sahip olması ile yüksek verimli bir iletken ağ oluşturmak için daha az miktarda malzeme kullanılmasını sağlamasıdır. İletken polimerler ise elektronik, elektrik, manyetik ve optik özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir [9]. İletken polimerler grubunda, poli (3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT) ticari olarak kullanılan en başarılı konjüge polimerler arasındadır [10].

Son yıllarda baskı teknolojisi ile oluşturulan elektronikler büyük ilgi görmektedir. Substrat malzemesi, mürekkep bileşimi ve yenilikçi baskı ve üretim teknikleri ile bu alanda çok sayıda gelişme sağlanmıştır [11]. İnkjet baskı yöntemiyle, koloidal veya kimyasal çözeltiler formunda çok çeşitli malzemeler çeşitli alt tabaka malzemeleri üzerinde iletken hatlar oluşturulabilmektedir [12, 13]. İnkjet baskı, litografi gibi diğer teknolojilere kıyasla önemli maliyet düşüşlerine neden olabilmekte ve çeşitli uygulamalar için yeterli çözünürlük ve tekrarlanabilirlik sağlayabilmektedir [14]. Literatürde inkjet baskı ile geliştirilmiş çok sayıda metal, karbon, ve iletken polimer bazlı sıcaklık sensörü çalışmaları yer almaktadır [15]. Örneğin, Courbat ve diğ. yaptığı çalışmada sıcaklık değişikliklerini ölçmek için inkjet baskı tekniği ile kağıt üzerinde Ag nanopartikül baskılı yapılarla dayalı bir sensör tasarlamıştır. Sensör direnci,  $-20^{\circ}\text{C}$  ila  $60^{\circ}\text{C}$

arasında iyi bir doğrusal karakteristik göstermiştir. TCR değeri  $0,0011^{\circ}\text{C}^{-1}$  olarak ölçülmüştür [16]. Bir başka çalışmada, sıcaklık sensörleri Grafen/PEDOT: PSS mürekkebinin inkjet baskı yöntemi ile poliüretan bant (yapışkanlı bant) üzerine basılmasıyla elde edilmiştir. Sensörler,  $0,0006^{\circ}\text{C}^{-1}$  sıcaklık hassasiyete sahiptir [17].

Literatürde yer alan çoğu çalışma sadece sıcaklık sensörlerinin hassasiyetini ve mekanik performansını iyileştirmeye odaklanırken, nem kararlılığı nadiren incelenmiştir. Giyilebilir sensörlerin kullanımı kaçınılmaz olarak ortam nemine maruz kaldığından neme dayanıklı ve giyilebilir sıcaklık sensörünün geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, inkjet baskı tekniği ile kumaş üzerine basılan sıcaklık sensörünün nem kararlılığı incelenmiştir. KNT, PEDOT: PSS ve KNT/PEDOT:PSS bazlı sensörlerin nem karşısında performansları karşılaştırılmıştır. Bu çalışma [18] 'de önerilen önceki çalışmamıza dayanmaktadır. Önceki çalışmamızda sensörün üretimi konusunda çalışmalar yapılmış olup daha çok sensörün hassasiyeti, tekrarlanabilirliği ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmamızda ise, önceki çalışmada geliştirilen sıcaklık sensörlerinin nem karşısındaki performansları karşılaştırılmıştır. Geliştirilen sensörler arasından kompozit mürekkep baskılı sıcaklık sensörünün %65 bağıl nem ve %85 bağıl nem arasında değişen ortam neminde en iyi kararlılığı sergilediği gözlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Kullanılan malzemeler

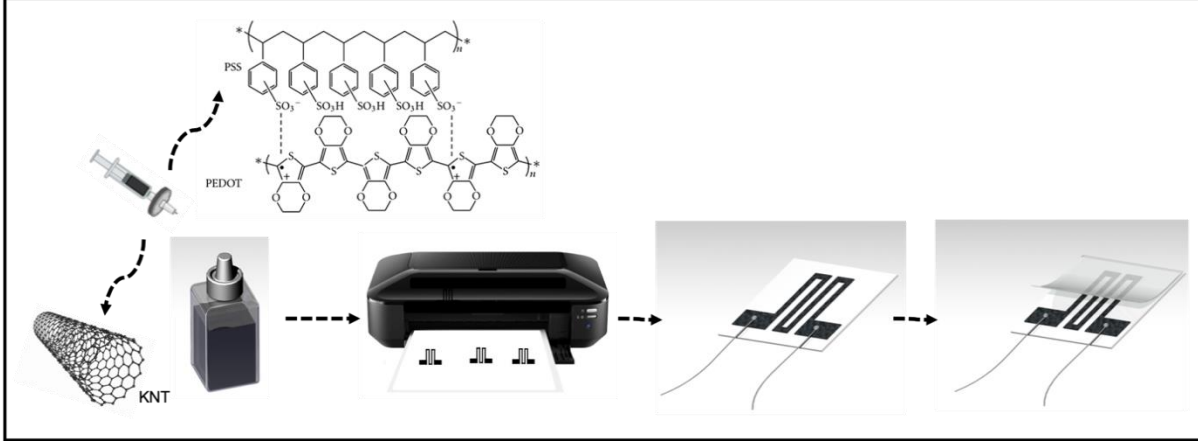
Çalışmada kullanılan çok duvarlı KNT'nin özellikleri Tablo 1'te verilmiştir. KNT ve gümüş yapıştırıcı (ortalama Tanecik Boyutu: 5-10  $\mu\text{m}$ ) Nanografi Nano Teknoloji'den temin edilmiştir. Poli (3,4-etilendioksitiyofen):polistiren sülfonat (PEDOT: PSS) (Su içerisinde ağırlıkça %3-4) Sigma-Aldrich'ten satın alınmıştır. Poliamid bazlı tafta kumaş (Kalınlık: 0,105-0,115 mm ve ortalama ağırlık:  $62 \pm 5 \text{ g / m}^2$ ) Huzhou Hengxin Label Ltd.'den satın alınmıştır. Koruyucu tabaka olarak elastik ve yarı saydam bir özel bir poliüretan bant kullanılmıştır (Bemis ST604). Gümüş kaplamalı poliamid iplik (İplik numarası: 235f  $\times$  34  $\times$  2 ve Lineer elektrik direnci:  $<85 / \text{m}$ ) Shieldex'ten satın alınmıştır.

### 2.2. KNT, PEDOT:PSS ve KNT/PEDOT:PSS bazlı sıcaklık sensörlerinin ile üretimi

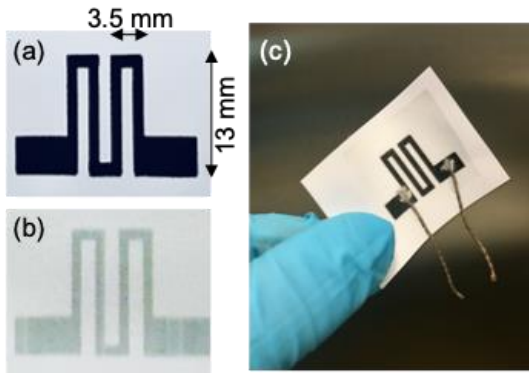
Ofis tipi inkjet baskı cihazı kullanılarak oda sıcaklığında sensörlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Özel geliştirilen KNT ve PEDOT:PSS içerikli iletken mürekkeplerin formülasyonu detaylı olarak önceki çalışmada anlatılmıştır [18]. Önceki çalışmamızda geliştirilen sıcaklığa karşı hassas özellik gösteren mürekkepler Epson marka yazıcıya uygun alınan boş kartuşlara enjekte edilerek baskı işlemi yapılmıştır. Inscape programı ile tasarlanan sensör yapıları, naylon bazlı tafta etiket kumaşına basılmıştır.

**Tablo 1.** KNTlerin özellikleri.

	Dış çap (nm)	İç çap (nm)	Uzunluk (µm)	COOH içeriği (%)	Üretim yöntemi
KNT	8-18	5-10	0,5 – 2,5	2,2	CVD

**Şekil 1.** Sensör üretim şeması (Sırasıyla formüle edilmiş özel KNT ve PEDOT:PSS bazlı mürekkeplerin inkjet baskı makinasıyla basılması, iletken ipliklerin sensör yüzeyine gümüş yapıştırıcıyla yapıştırılması ve özel şeffaf ve esnek poliüretan bant ile kaplanması).

Ara bağlantı elemanı olarak kullanılan gümüş iletken iplik, gümüş yapıştırıcı ile sensör yüzeyine yapıştırıldıktan sonra poliüretan bant ile kaplanmıştır. Bantı etkinleştirmek için basınç ve sıcaklık gereklidir. Banta, tekstil ısı-pres makinesi (Megasis-tem) kullanılarak 5,5 bar basınçla kumaşa 80°C'de 20 saniye süreyle ısı uygulanmıştır. Bu bantı kullanarak, tüm yüzeyi hidrofob hale getirmek ve hava temasını önlemek mümkündür. Bant aynı zamanda elastik özelliğe sahiptir. Bu bant ile laminasyon yapıldıktan sonra sensörde herhangi bir elektriksel direnç değişimi gözlemlenmemiştir [18].

**Şekil 2.** (a) KNT baskılı sıcaklık sensörü, (b) PEDOT: PSS. Baskılı sıcaklık sensörünün kumaş üzerine basılmış hali, (c) Üretilen sensörün dijital fotoğrafı.

### 2.3. Üretilen sensör yapılarının karakterizasyonu

İletken yüzeylerin morfolojik özelliklerini incelemek için taramalı elektron mikroskopu (SEM) (Philips-FEI XL30 ESEM-FEG) kullanılmıştır.

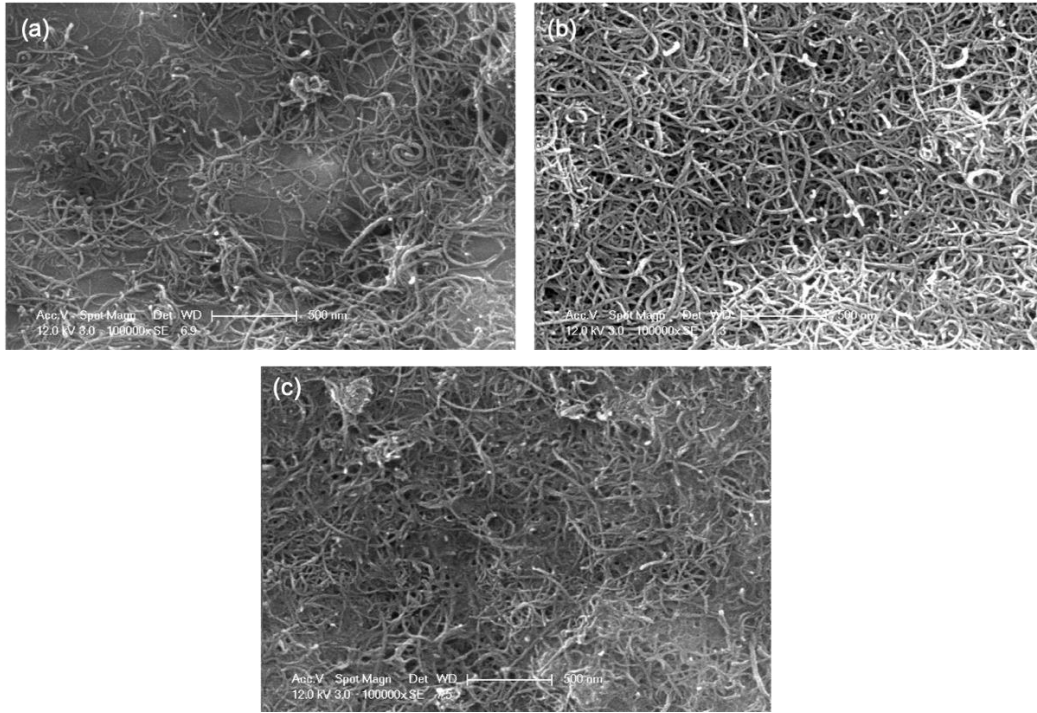
Baskılı sensörün performansının ölçümü için veriler bilgisayara RS232 üzerinden aktarılmıştır. Tüm çıktı verileri, Excelinx yazılımı ile Keithley 2700 kullanılarak elde edilmiştir. Geliştirilen sensörlerin direnç tepkisi, 0.6 mm x 1.0 mm çapında bir Omega TT-K-30-SLE (ROHS) tipi termokupl ile bir ısıtıcı üzerinde (DAIHAN 20D) oda sıcaklığı ile 50°C sıcaklık aralığında incelenmiştir. Baskılı sıcaklık sensörlerinin nem karşısındaki performansını ölçmek için ise nemin kontrol edilebildiği bir kabinde analizleri gerçekleştirilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

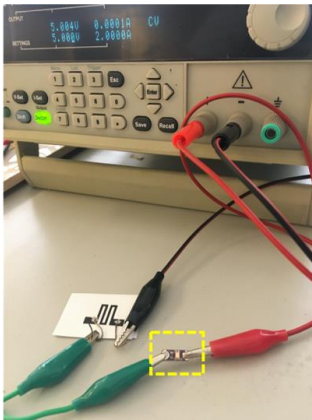
KNT ve PEDOT:PSS baskılı kumaş yüzeylerinin morfolojik özellikleri incelenmiştir. Daha yüksek büyütme SEM görüntüleri (Şekil 3) karışık, rastgele yönlendirilmiş karbon nanotüp ağlarının varlığını ortaya koymuştur. SEM görüntülerine bakıldığında baskı sayısının 1 baskı geçişinden 10 baskı geçişine çıkmasıyla yüzeylerde daha yoğun bir ağı yapının olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 3 (a) ve 6 (b) 'de gösterildiği gibi yüzeydeki boşlukların 10 baskı geçişinden sonra neredeyse tümü kaplanmıştır. Şekil 3 (c)'de ise PEDOT: PSS polimerinin KNT duvarlarına entegrasyonunu açıkça görülmektedir.

İnkjet baskı yöntemiyle basılan sensör yapılarının sıcaklık sensörü olarak kullanılabilmesi için elektriksel olarak iletken bir hattın var olması gereklidir. Şekil 4, KNT baskılı sensörün 5V güç kaynağı ile sarı LED'i yakabildiğini göstermektedir.

Sıcaklık direnç katsayısı (TCR,  $\alpha$ ), direnç tipi sıcaklık algılama elemanları için sıcaklık hassasiyetini analiz etmek için çok önemli bir parametredir. Yüksek TCR değeri, yüksek ölçüm hassasiyetini ifade eder [19]. Aşağıdaki ifade ile tanımlanır (1):



Şekil 3. (a) KNT basımlı sensör yüzeyinin SEM görüntüsü (1 baskı geçişi), (b) (10 baskı geçişi), (c) KNT/PEDOT:PSS basımlı sensörün SEM görüntüsü (10 baskı geçişi).

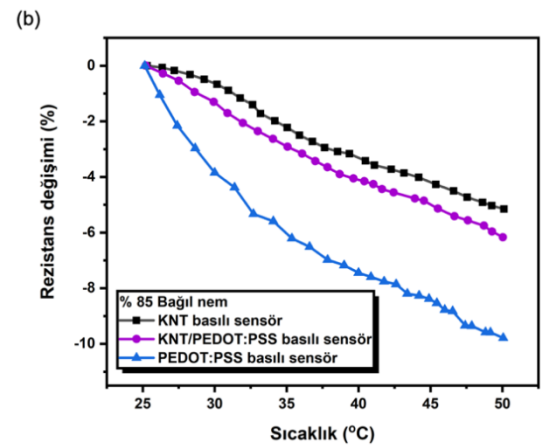
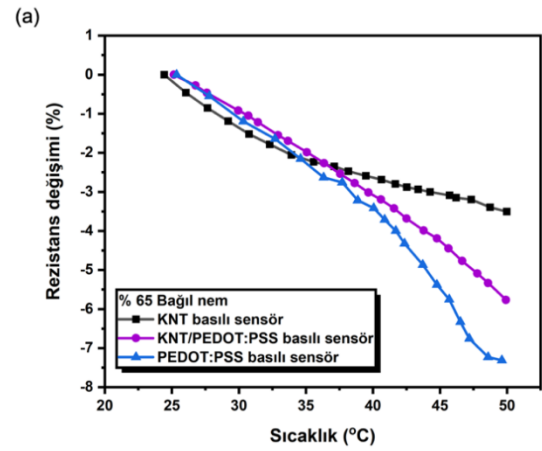


Şekil 4. KNT basımlı sensörün sarı bir LED'i aydınlatma görüntüsü.

$$TCR (\alpha) = \frac{R_b - R_a}{R_a(\Delta T)} \quad (1)$$

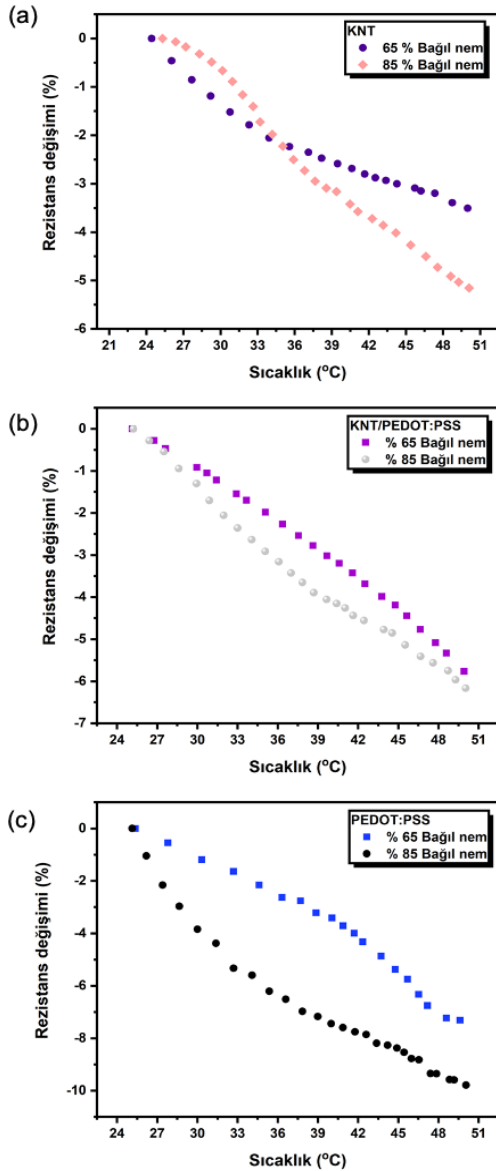
Burada  $R_b$ , T sıcaklığındaki dirençtir ve  $R_a$ , test edilen numunenin  $T_0$  sıcaklığında ilk direncidir.

Şekil 5'te görüldüğü gibi KNT, PEDOT:PSS ve KNT / PEDOT:PSS Kompozit mürekkep basımlı sensörlerin elektriksel direnci sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Bu da üretilen sıcaklık sensörlerin negatif sıcaklık katsayısı özelliğine sahip olduğunu göstermektedir [20]. Sadece CNT basımlı sensörler sıcaklığa karşı PEDOT:PSS ve CNT/PEDOT:PSS kompozit mürekkep basımlı sensörlerden daha az hassasiyet göstermiştir. Bu da hem %65 bağıl nem ortamında hem de %85 bağıl nem ortamında açıkça gözlemlenebilmektedir.



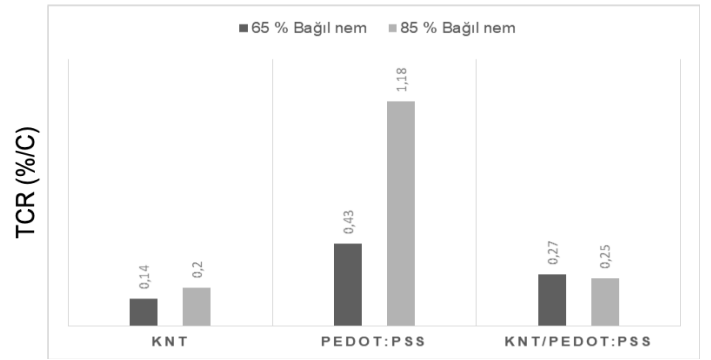
Şekil 5. (a) %65 bağıl nem ortamında, (b) %85 bağıl nem ortamında sensörlerin sıcaklık karşısında elektriksel direnç değişimi.

Farklı bağıl nem ortamlarında sıcaklığın bir fonksiyonu olarak baskılı sensörlerin elektrik direncindeki değişiklik Şekil 6'da gösterilmektedir. Nem arttığında bazı su molekülleri sensöre yani KNT'lerin elektriksel iletim mekanizması yapısına absorbe olur. Su moleküllerinden gelen elektronlar KNT'lere geçerken, KNT'lerdeki boşluk azalarak iletkenlik azalır ve bu nedenle de direnç değerinde artma meydana gelir [21]. Öte yandan, PEDOT: PSS suda çözünür bir polimerdir ve ortam neminden oldukça etkilenir. PSS, su moleküllerinin emilmesi nedeniyle şişebilir, bu da bitişik PEDOT ile zenginleştirilmiş çekirdekler arasında daha büyük mesafelere neden olarak sensör direncini artırır yani su moleküllerini daha çok hapsedmesi sebebiyle iletkenliğin azalmasına sebep olur. Bu da farklı iletken partikül içeren mürekkeplerle tasarlanmış sensör tipleri için sıcaklık ölçümünde değişen nem ortamlarında farklılık olabileceğini açıkça ortaya koymaktadır [22].



Şekil 6. (a) KNT baskılı sensörün, (b) KNT/PEDOT: PSS baskılı sensörün, (c) PEDOT: PSS baskılı sensörün %65 ve %85 nem ortamında sıcaklığa karşı direnç değişimi.

Şekil 7'de sıcaklık sensörünün 25°C ile 50°C arasında TCR üzerindeki nem etkisi incelenmiştir. Genel olarak bakıldığında bağıl neme kıyasla KNT/PEDOT:PSS kompozit mürekkep baskılı sensörün ölçüm hassasiyetindeki değişim en düşüktür. KNT/PEDOT:PSS kompozit mürekkep baskılı sensörün ölçüm hassasiyeti %65 bağıl nemde  $-0,27\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  iken %85 bağıl nemde  $-0,25\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 'dir. PEDOT:PSS baskılı sensörde ise bağıl nem %65'ten %85'e çıktığında TCR değeri  $-0,43\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 'ten  $-1,18\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 'e yükselmiştir. Yani nem karşısında en az etkilenen sensör tipi KNT esaslı sensördür. Fakat bağıl nem %65'ten %85'e çıktığında KNT baskılı sensörün TCR değişimi KNT/PEDOT:PSS kompozit yapıya kıyasla daha yüksek olduğu ( $6\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} > 2\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) tespit edilmiştir. Dolayısıyla %65-%85 bağıl nem aralığındaki ortam şartları için en uygun olan sensör tipinin KNT/PEDOT:PSS kompozit mürekkep baskılı sensör olduğu söylenebilmektedir. Ama genel anlamda neme hassasiyeti en düşük olan sensör tipinin ise KNT esaslı sıcaklık sensörü olduğu bulunmuştur.



Şekil 7. Sensörlerin farklı nem ortamlarında TCR değerleri.

#### 4. SONUÇ

Çalışmada, tekstil yüzeyine inkjet baskılı PEDOT: PSS, KNT ve KNT/PEDOT:PSS kompozit sensörlerinin değişik nem ortamlarında sıcaklığa karşı gösterdiği tepki araştırılmıştır. Üretilen sensörler yarı-iletken davranış sergilemişlerdir. Sensörlerin nem karşısındaki hassasiyeti ise, sensörlerin üretildiği malzemeye bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Ortamdaki nemin artmasıyla su molekülleri KNT'lerin elektriksel iletim mekanizması yapısına absorbe olduğundan KNT baskılı sensörün elektriksel özellikleri etkilenmiş sonuçta iletkenliği düşmüştür. Benzer şekilde, nem karşısında PEDOT: PSS içeren sensörde de iletkenlik düşüşü gözlemlenmiştir. Ancak, PEDOT: PSS suda çözünür bir polimer olduğundan dolayı PEDOT: PSS baskılı sensörde nem absorpsiyonu daha fazla ortaya çıktığından direnç değişimi daha fazla gözlemlenmiştir dolayısıyla neme karşı en fazla duyarlılık da PEDOT: PSS baskılı sensörde ortaya çıkmıştır. Bağıl nemin, KNT/PEDOT: PSS kompozit malzemeden üretilen sensörün sıcaklık ölçüm hassasiyetine etkisi ise KNT ve PEDOT: PSS baskılı sensörlere kıyasla daha düşük (2% fark) bulunmuştur. Bu nedenle, 65-85% bağıl nem ortamlarındaki sıcaklık sensörü uygulamaları için KNT/PEDOT: PSS kompozit mürekkep baskılı sensörün kullanılmasının daha uygun olduğu saptanmıştır. Genel

olarak değerlendirildiğinde ise, KNT içeren sıcaklık sensörlerinin PEDOT: PSS içeren sıcaklık sensörlerine nazaran nemden daha az etkilendiği sonucuna varılmıştır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma 218M746 numaralı TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Togawa, T., (1985), *Body temperature measurement*, Clinical Physics and Physiological Measurement, 6(2), 83-108.
2. Zhang, Y., ve diğ., (2016), *Theoretical and experimental studies of epidermal heat flux sensors for measurements of core body temperature*, Adv. Healthc. Mater. 5, 1 p. 119–127.
3. Kuht, J., ve Farmery, A D., (2018), *Body temperature and its regulation*, Anaesth. Intensive Care Med. 19, 9 p. 507–512.
4. Parsons, K., (2003), *Human thermal environments-The effects of hot, moderate and cold environments on human health*, in comfort and performance, (Taylor & Francis), p. 13–14.
5. Baura, G D., (2012), *Chapter 12-thermometers*, Med. Device Technol. p. 257–274.
6. Blasdel, N J., Wujcik, E K., Carletta, J E., Lee, K S., ve Monty, C N., (2015), *Fabric nanocomposite resistance temperature detector*, IEEE Sens. J.
7. Bielska, S., Sibinski, M., ve Lukasik, A., (2009), *Polymer temperature sensor for textronic applications*, Mater. Sci. Eng. B Solid-State Mater. Adv. Technol. 165, 1–2 p. 50–52.
8. Erol, A D., ve Çetiner, S., (2017), *Elektronik Tekstillere Yönelik Akıllı Kumaş Sensörleri*, Tekst. ve Mühendis 24, 108 p. 305–320.
9. Zeng, W., Shu, L., Li, Q., Chen, S., Wang, F., ve Tao, X., (2014), *Fiber-Based Wearable Electronics: A Review of Materials, Fabrication, Devices, and Applications*, Advanced materials, 26(31), 5310-5336.
10. Kirchmeyer, S., and Reuter, K., (2005), *Scientific importance, properties and growing applications of poly (3, 4-ethylenedioxythiophene)*, J. Mater. Chem. 15, 21 p. 2077–2088.
11. Descent, P., Izquierdo, R., ve Fayomi, C., (2018), *Printing of temperature and humidity sensors on flexible substrates for biomedical applications*, 2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) 1, c p. 1–4.
12. Moonen, P F., Yakimets, I., ve Huskens J, (2012), *Fabrication of Transistors on Flexible Substrates: from Mass-Printing to High-Resolution Alternative Lithography Strategies*, Advanced materials, 24(41), 5526-5541.
13. Khan, S., Lorenzelli, L., Dahiya, R S., ve Member, S., (2015), *Technologies for printing sensors and electronics over large flexible substrates: A review*, IEEE Sens. J. 15, 6 p. 3164–3185.
14. Střiteský, S ve diğ., (2018), *Printing inks of electroactive polymer PEDOT: PSS: The study of biocompatibility, stability, and electrical properties*, J. Biomed. Mater. Res. Part A 106, 4 p. 1121–1128.
15. Kuzubasoglu, B A., ve Bahadir, S K., (2020), *Flexible Temperature Sensors: A Review*, Sensors Actuators A Phys. p. 112282.
16. Courbat, J., Kim, Y B., Briand, D., ve Rooij, N F., (2011), *Inkjet printing on paper for the realization of humidity and temperature sensors*, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Institute of Microengineering (IMT), Sensors, Actuators and Microsystems Laboratory (SAMLAB), N#1A6A762.pdf p. 1356–1359.
17. Vuorinen, T., Niittynen, J., Kankkunen, T., Kraft, T M., ve Mäntysalo, M., (2016), *Inkjet-printed graphene/PEDOT:PSS temperature sensors on a skin-conformable polyurethane substrate*, Sci. Rep. 6, October p. 1–8.
18. Kuzubasoglu, B A., Sayar, E., ve Bahadir, S K., (2021), *Inkjet-printed CNT/PEDOT: PSS temperature sensor on a textile substrate for wearable intelligent systems* IEEE Sens. J.
19. Kuo, J T W., Yu, L., ve Meng, E., (2012), *Micromachined thermal flow sensors—A review*, Micromachines 3, 3 p. 550–573.
20. Turkani, V S., Maddipatla, D., Narakathu, B B., Bazuin, B J., ve Atashbar, M Z., (2018), *A carbon nanotube based NTC thermistor using additive print manufacturing processes*, Sensors Actuators A Phys. 279 p. 1–9.
21. Zhang, X., ve diğ., (2020), *Printed Carbon Nanotubes-Based Flexible Resistive Humidity Sensor*, IEEE Sens. J. 20, 21 p. 12592–12601.
22. Wang, Y-F., ve diğ., (2020), *Fully Printed PEDOT: PSS-based Temperature Sensor with High Humidity Stability for Wireless Healthcare Monitoring*, Sci. Rep. 10, 1 p. 1–8.