



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



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

---

**İki Boyutlu Malzemelerin Tekstil Yüzeylerine Transferi**

**Transferring 2-Dimensional Materials on Textile Surfaces**

Alper GÜRARSLAN  
İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi, İstanbul, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online):30 Haziran 2018 (30 June 2018)

---

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

Alper GÜRARSLAN (2018): İki Boyutlu Malzemelerin Tekstil Yüzeylerine Transferi, Tekstil ve Mühendis, 25: 110, 96-102.

**For online version of the article:** <https://doi.org/10.7216/1300759920182511004>

**Sorumlu Yazara ait Orcid Numarası (Corresponding Author's Orcid Number) :**

<https://orcid.org/0000-0001-7641-4611>



**Araştırma Makalesi / Research Article**

## İKİ BOYUTLU MALZEMELERİN TEKSTİL YÜZEYLERİNE TRANSFERİ

**Alper GÜRARSLAN\***

İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi, İstanbul, Türkiye

*Gönderilme Tarihi / Received: 17.11.2017*

*Kabul Tarihi / Accepted: 10.05.2018*

**ÖZET:** Son yıllarda 2 boyutlu malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar büyük bir ilgi uyandırmıştır. Bu çalışmada iki boyutlu malzemelerden birisi olan molibden disülfür ( $\text{MoS}_2$ ), kimyasal buhar biriktirme tekniği ile sentezlenerek çeşitli tekstil yüzeylerine transfer edilmiştir. Tekstil yüzeyleri üzerindeki  $\text{MoS}_2$  film optik mikroskop, AFM, SEM, ve Raman cihazları kullanılarak karakterize edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları iki boyutlu malzemelerin tekstil yüzeylerine kolayca transfer edilebileceğini göstermektedir. Böylelikle iki boyutlu malzemelerin tekstil mamullerine aplikasyonu ve çeşitli uygulamalarda kullanılmasının önü açılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İki boyutlu malzemeler, molibden disülfür, grafen, transfer

### TRANSFERRING 2-DIMENSIONAL MATERIALS ON TEXTILE SURFACES

**ABSTRACT:** Scientific studies conducted on 2 Dimensional materials have been receiving great interest in recent years. In this study we have synthesized two dimensional molybdenum disulfide via chemical vapor deposition technique and then transferred onto several textile surfaces.  $\text{MoS}_2$  film on textile surfaces has been characterized using optical microscope, AFM, SEM, and Raman instruments. Our results indicate that two-dimensional materials can be easily transferred onto textile substrates. These findings pave the way of combining two dimensional materials with textile products in several applications.

**Keywords:** 2-Dimensional materials, molybdenum disulfide, graphene, transfer

\* **Sorumlu Yazar/ Corresponding Author:** gurarslan@itu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-7641-4611>

**DOI:** 10.7216/1300759920182511004, [www.tekstilvemuhendis.org.tr](http://www.tekstilvemuhendis.org.tr)

## 1. GİRİŞ

3 boyutlu bir malzemeyi bir kitap gibi düşünürsek, 2 boyutlu malzeme bu kitabı oluşturan sayfalar olarak tahayyül edilebilir. Tıpkı bir sayfada olduğu gibi, 2 boyutlu malzemelerin z eksenindeki uzunlukları, x ve y eksenlerindeki uzunluklarından defalarca kat daha kısadır. 2 boyutlu malzemeler genellikle bir veya birkaç atom kalınlığındadır. 2000'li yılların başında bilim insanları atomik kalınlıkta malzemelerin var olmasının termodinamiksel açıdan stabil olmayacağını düşünmekteydiler [1]. Ancak 2004 yılında "Scotch tape" metodu ile araştırmacılar yalnızca 1 karbon atomu kalınlığında grafen yüzeyi elde ettiklerini duyurdular [2]. Mekanik eksfolasyon olarak da bilinen bu yöntemde katmanlardan oluşan 3 boyutlu bir malzemenin katmanları soyularak 2 boyutlu bir malzeme elde edilmektedir. Örneğin yığın haldeki bir  $\text{MoS}_2$  cevherinin üzerine bir bant yapıştırılır. Bantın cevher yüzeyinden ayrılması ile cevher üzerindeki üst katmanlar bant ile birlikte soyulmuş olur. Bant üzerine yapışan katmanlar tekrar tekrar bant ile soyulur ve nihayetinde tek bir katman elde edilir. Bu şekilde grafen elde ederek, 2 boyutlu malzemelerin var olabileceğini gösteren araştırmacılar 2010 yılında Nobel Fizik ödülü ile ödüllendirilmiştir.

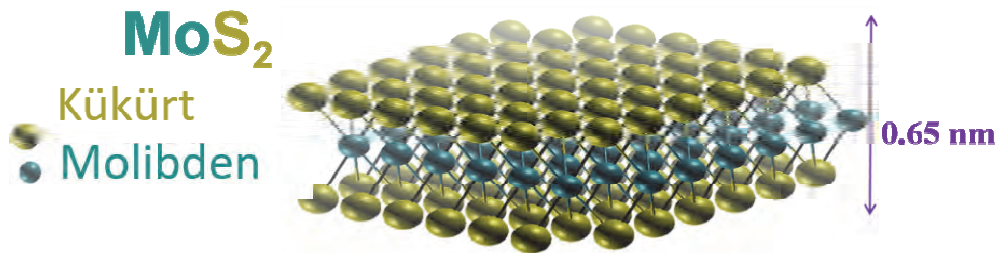
2 boyutlu malzemelerin keşfi bilim dünyasında inanılmaz bir merak uyandırmıştır. İki boyutlu malzemeler fotonikten giyilebilir elektronik uygulamalarına [3] [4] [5] [6] [7], güneş panellerinden lityum iyon bataryalarına [8] [9] kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Bu nedenle günümüzde iki boyutlu malzemelerin sentezlenmesini, transferini, ve uygulamalarını konu alan her yıl on binlerce bilimsel yayın yapılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan iki boyutlu malzeme, grafenden farklı olarak iletken değil yarı iletken bir malzeme olan  $\text{MoS}_2$ 'dir. Tek katlı bir  $\text{MoS}_2$  film Şekil 1'de gösterildiği gibi yalnızca 3 atom yüksekliğinde olduğu için yaklaşık olarak 0.65 nm kalınlığındadır. Molibden gibi geçiş metallerinin kükürt ve selenyum gibi halojenlerle bağ yapması ile  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{WS}_2$ ,  $\text{MoSe}_2$ ,  $\text{WSe}_2$ , gibi birçok iki boyutlu malzeme ısıl indirgeme, sülfürizasyon ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) gibi çeşitli sentez teknikleri ile sentezlenmektedir [10] [11]. CVD yöntemi en çok kullanılan ve yüksek kalite de 2 boyutlu malzeme sentezlenmesini sağlayan bir yöntem olmasına karşın bir dezavantajı bulunmaktadır. Bu yöntemde 2D malzemeler 800-

950 °C gibi yüksek sıcaklıklarda sadece safir ve  $\text{SiO}_2$  gibi rijit yüzeyler üzerinde sentezlenmektedir [12]. Ancak birçok uygulama için 2D malzemelerin safir ve  $\text{SiO}_2$  gibi sentezlendikleri rijit yüzeyler yerine tekstil yüzeyleri gibi esnek yüzeyler üzerine transfer edilmeleri gerekmektedir [13].

2 boyutlu malzemelerin tekstil yüzeylerine transferi incelendiğinde yapılan çalışmaların grafen ve grafen oksit malzemeleri ile sınırlı olduğu görülmektedir. Geçiş metallarından oluşan  $\text{MoS}_2$  gibi 2 boyutlu malzemelerinde tekstil yüzeylerine başarılı bir şekilde transfer edilebileceğini göstermek, bu çalışmanın öncelikli amacıdır.

Tekstil sektöründe kullanılan çeşitli lifler üzerine grafen filmlerin transfer edildiği ilk makale 2015 yılında Scientific Reports dergisinde yayımlanmıştır [14]. Bu çalışmada, CVD yöntemi ile bakır folyo üzerinde sentezlenen grafen filmi, polipropilen ve polilaktik asit lifleri üzerine transfer edilmiştir. Transfer işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve Raman spektrofotometresi kullanılarak gösterilmiştir. Grafen filmi iletken olduğu için, transfer sonucu elektrik iletkenliği kazanmış lifler geliştirilmiştir. Böylelikle giyilebilir elektronik uygulamalarında kullanılabilir tekstil ürünleri elde edilmiştir. Geçtiğimiz yıl ise tek katlı grafen ile birkaç katlı grafen filmler polipropilen, polilaktik asit, polietilen ve naylon lifleri üzerine transfer edilmiş ve bu liflerden esnek iletken malzemeler elde edilmiştir [15]. Böylelikle iki boyutlu malzemelerin esnek elektronik uygulamalarında kullanılabilineceği gösterilmiştir. Grafenin vanadyum oksit gibi diğer malzemeler ile birlikte tekstil yüzeylerine transfer edildiği bir diğer çalışmada ise elastik ve yüksek enerji yoğunluklu superkapasitor elektrotları geliştirilmiştir [16]. Grafenin gümüş nanokablolara ile kaplanmış poliester lifi üzerine transfer edilmesi ile ise güneş ışınlarından enerji elde etmek için anot olarak kullanılan transparan lifler elde edilmiştir [17]. Grafen tabanlı kumaşların uygulamaları 2016 yılında yayınlanan derleme makalesinde detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Ancak literatürde grafen dışında, geçiş metallarından elde edilen  $\text{MoS}_2$  gibi malzemelerin tekstil yüzeylerine transferi konusunda henüz bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle burada sunduğumuz çalışma elzemdir.



**Şekil 1.** Bu çalışmada kullanılan iki boyutlu malzeme olan  $\text{MoS}_2$ 'nin şematik gösterimi. 2D bir malzeme olan  $\text{MoS}_2$ 'nin iki kükürt atomu tabakasının arasında kalan molibden atomlarından oluşmaktadır.

MoS<sub>2</sub> grafen gibi iletken değil, yarı iletken bir malzemedir. Bu nedenle transfer sonucu iletken tekstil malzemeleri elde edilmesi mümkün değildir. MoS<sub>2</sub> yarı iletken olduğu için transistörlerde beyz tabakası olarak kullanılmaktadır. MoS<sub>2</sub> kullanılarak üretilen çeşitli esnek transistör [3] [4] [5] [6] [7], esnek gaz sensörü [18] ve superkapasitör [19] uygulamaları mevcuttur. Bu tarz uygulamaların tekstil yüzeylerinde gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan ilk adım MoS<sub>2</sub> filmlerin tekstil yüzeylerine transfer edilmesini sağlayacak bir yöntem geliştirilmesidir. Bu çalışmamızın amacı bu yöntemi geliştirmektir. Geliştirdiğimiz yöntem sonucunda MoS<sub>2</sub> filmleri tekstil yüzeylerine başarılı bir şekilde transfer edilmiştir. Böylelikle bu 2 boyutlu malzemenin ve bu malzemenin üretilen ürünlerin giyilebilir tekstillere entegrasyon yöntemi literature kazandırılmıştır.

CVD ile 850 °C'de sentezlediğimiz MoS<sub>2</sub> filmler pamuklu dokuma kumaş, ticari bir aramid grubu lif olan Nomex lifinden üretilmiş dokuma kumaş, polyester non-woven kumaş ve giyilebilir elektronik uygulamalarında en çok kullanılan esnek malzemelerden birisi olan polidimetilsiloksan (PDMS) yüzeyleri üzerine başarılı bir şekilde transfer edilmiştir. Böylelikle bu atomik kalınlıktaki yarı iletken malzemenin tekstil yüzeylerine uygulanması neticesinde birçok fonksiyonel elektronik tekstil uygulamasının önü açılmıştır. Ayrıca burada tarif edilen metod yalnızca MoS<sub>2</sub> değil, diğer 2 boyutlu malzemelerinde benzer bir şekilde tekstil yüzeyleri üzerine transferini de sağlayacaktır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

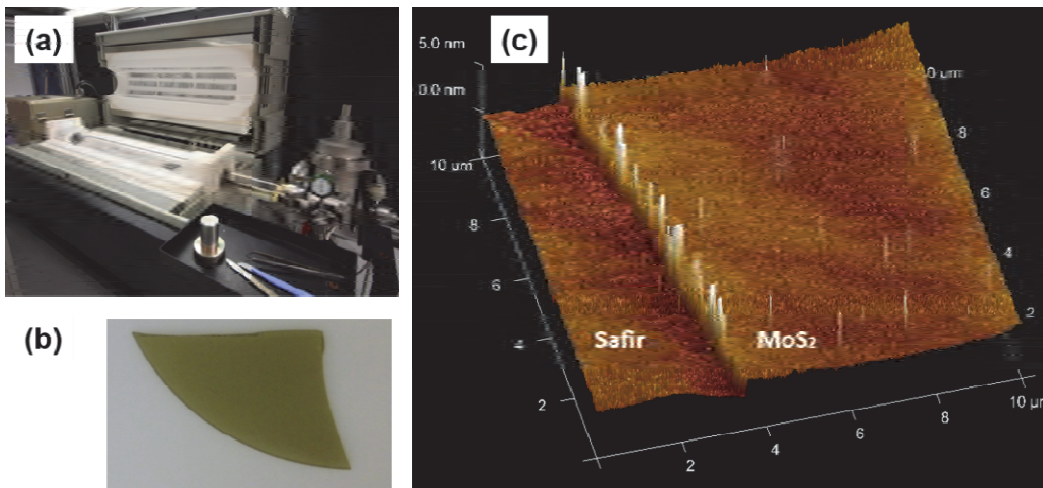
Sentezde kullanılan Molibden Klorür, Kükürt tozu ve Safir ile transferde kullanılan Polisitiren (PS) (Mw 280000 g/mol) ve Toluene Sigma Aldrich'den satın alınmıştır. Sentez için kullanılan malzemelerin kontaminasyonunu engellemek için bu malzemeler Azot gazı içeren eldiven kutusunda muhafaza edilmiştir. PDMS filmin hazırlanması için Dow firmasından alınan Slygard® 184 Silicone elastomer kit kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan pamuk kumaşın atkı ve çözgüsü pamuklu, Nomex kumaşın atkı ve çözgüsü ise Nomex iplikten üretilmiştir. PES non-woven kumaş ise temizodalarda (cleanroom) kullanılan Berkshire Exsorb® 400 marka suyla karıştırma (hydroentangled) işlemi ile üretilmiş %100 polyester bir non-woven kumaştır.

### 2.2. Metot

2 boyutlu MoS<sub>2</sub> film literatürde tarif edildiği gibi CVD metodu kullanılarak sentezlenmiştir. Bu metotta Şekil 2a'da gösterilen kuvars tüp içine 4.20 mg molibden klorür ve 1 g kükürt tozu yerleştirildikten sonra yaklaşık olarak 1 cm genişliğinde 3 cm uzunluğunda, boş ve temiz bir safir yerleştirilmiştir. 2 Torr basınç ve 50 standart cm<sup>3</sup>/dk akış oranına sahip argon gazı altında reaktör 30 dk içerisinde 850 °C'ye ısıtılmış, 850 °C'de 30 dk bekletilen reaktör daha sonra kendiliğinden oda sıcaklığına kadar soğumuştur. Reaksiyon sırasında buharlaşan malzemeler safir substrat üzerinde MoS<sub>2</sub> filmi oluşturmuştur. MoS<sub>2</sub> filmin kalınlığı molibden klorür miktarının değiştirilmesi ile kontrol edilebilmektedir. Deneyde kullanılan prekürsör miktarları ayarlanarak sentezlenecek olan MoS<sub>2</sub> filmin 1, 2, 3 veya çok katı olması kontrol edilebilir [12].

CVD ile sentezlenen MoS<sub>2</sub> film'e ait kamera ve AFM görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. Bu şekillerde görüldüğü gibi film sentezi tekdüze bir şekilde tüm safir substratı kaplayacak şekilde gerçekleşmiştir. AFM görüntülerinde MoS<sub>2</sub> filminin kalınlığını ölçebilmek için bir cımbız ile safir yüzey çizilmiştir. Bu çizme işlemi ile MoS<sub>2</sub> film safir yüzeyden sıyrıldığı için optik mikroskop ile MoS<sub>2</sub> filmin varlığı görülebilir hale gelmektedir. Aynı sıyrık üzerinde AFM yardımı ile MoS<sub>2</sub> filminin kalınlığı ölçülmüştür. Şekil 2'de verilen AFM görüntüsünden MoS<sub>2</sub> filmin kalınlığı 1.9 nm olarak ölçülmüştür. Bu da MoS<sub>2</sub> filmin üç katlı bir film olduğu anlamına gelmektedir. MoS<sub>2</sub> film üzerinde yapılan yüzey taraması ile filmin pürüzlülük değeri yalnızca 0.3 nm olarak ölçülmüştür. Yani sentezlenen film atomik derecede pürüzsüz bir yapıya sahiptir. Bu sonuçlar ışığında sentez işleminin başarı ile tamamlandığı söylenebilir.



Şekil 2. (a) 2 Boyutlu MoS<sub>2</sub> filmin sentezinde kullanılan reaktör ve kuvars tüp. (b) Sentez sonrası safir yüzey üzerindeki 3 katlı MoS<sub>2</sub> film. (c) 10x10 mikron büyüklüğünde AFM görüntüsü.



Transfer’de kullanılan polistiren (PS) film hazırlamak için 12 g PS polimeri 100 ml toluen içerisinde 24 saat sürekli olarak karıştırılarak çözülmüştür. Bu çözelti transfer edilecek yüzeye damlatıldıktan sonra Döndürmeli Kaplama cihazı kullanılarak 3000 rpm’de 1 dakika boyunca dönderilerek damlanın filmin yüzeyini kaplaması sağlanmıştır. Bu film daha sonra 80 °C’lik fırında 1 saat bekletilerek toluenin tamamen uzaklaşması ve PS filmin MoS<sub>2</sub> yüzeyine tutunması sağlanmıştır. Fırınlama işleminden sonra numune üzerine 1 damla destile su damlatılarak, PS film kenarından bir bıçak yardımıyla ittirilmesi ile su damlasının PS- MoS<sub>2</sub> filmin altına girmesi sağlanmıştır. Böylelikle su damlasının yüzeydeki PS yerine PS- MoS<sub>2</sub> filmin altındaki safir yüzeye temas etmesi sağlanmıştır. Bu aşamada su damlası safir substrat ile yüzey alanını artırarak yüzey enerjisini azaltmak istediği için PS- MoS<sub>2</sub> filmi yukarı ittirerek safir filmden ayırmıştır. Safir filmden ayrılan PS- MoS<sub>2</sub> filmi bir cımbız yardımı ile tutularak transfer edilmek istenilen yüzey üzerine yerleştirilmiştir. Daha sonra bu yüzey üzerine MoS<sub>2</sub>’nun sabitlenmesi için 80 °C’de 30 dk bekletilmiştir. Son olarak PS film toluen ile yıkanarak uzaklaştırılmıştır.

Çalışmada Veeco Dimension-3000 model Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) kullanılmıştır. Nanoscope IIIa programı ile vurma modu (tapping mode) kullanılarak yüzey taraması gerçekleştirilmiştir.

Raman ölçümleri Renishaw-1000 cihazı ile 514,5 nm dalga boyundaki lazer kullanılarak oda sıcaklığında yapılmıştır.

Verious 460L marka taramalı elektron mikroskobu ile herhangi bir yüzey kaplaması yapılmadan numuneler görüntülenmiştir. SEM görüntüsü 500 V hızlandırma gerilimi, 500 V öngerilim voltajı ve 13 pA akım kullanılarak 4200 µm’luk çalışma mesafesinde 1500 kat büyütme gerçekleştirilerek elde edilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Metot kısmında anlatıldığı şekilde MoS<sub>2</sub> filmi safir substratı üzerinde büyütüldükten sonra MoS<sub>2</sub> filmin uygulama alanına göre başka bir yüzeye transfer edilmesi gerekmektedir. Örneğin esnek bir transistör yapılması safir gibi rijit bir yüzeyde mümkün

değildir. Ancak PDMS gibi esnek bir yüzey üzerine 2 boyutlu malzemelerin transfer edilmesi sonucu esnek transistörler yapılabilmektedir. 2 boyutlu malzemelerin sentezlendikleri yüzey üzerinden kaldırılıp başka bir yüzeye transfer edilmesi hummalı bir çalışma gerektirmektedir. Bu çalışmada kullanılan transfer metodunun adımları Şekil 3’de şematik olarak gösterilmiştir.

2 boyutlu malzemenin transfer edilebilmesi için, sentezlendikleri yüzey ilk olarak ince bir polimer film ile kaplanır. Bu amaçla Döndürmeli Kaplama cihazının içerisine yerleştirilen safir substrat üzerindeki MoS<sub>2</sub> filmin üzerine ağırlıkça %12’lik polystyrene-toluen solüsyonu damlatılır. Döndürmeli Kaplama cihazı 1 dakika boyunca 3000 rpm’de dönmesi neticesinde MoS<sub>2</sub> filmin üzeri ince bir PS film ile kaplanmış olur. Önceki çalışmalar bu polimerik filmin kalınlığının 300 ile 500 nm arasında değiştiğini göstermektedir [13]. PS film atomik kalınlıktaki MoS<sub>2</sub> filmin üzerini tamamen kapladığı için MoS<sub>2</sub> filmi tutmamıza olanak sağlar. PS filme tutunan MoS<sub>2</sub> filmi safir yüzeyinden ayırmak için bu linkteki videoda görüldüğü gibi safir film üzeri 1 damla distile su ile kaplanmıştır [13]. Daha sonra su damlacığının altından PS filmi sivri uçlu bir alet ile ittirilerek su damlasının PS- MoS<sub>2</sub> filminin altına girmesi sağlanmaktadır. Safir hidrofilik, MoS<sub>2</sub> hidrofobik olduğu için su damlası safir yüzey üzerinde yayılmak istemektedir ve bunu yaparken MoS<sub>2</sub> filmi yukarı doğru ittirerek safir yüzeyinden ayrılmasını sağlar. Böylelikle PS- MoS<sub>2</sub> filmi safir substrat üzerinden kendiliğinden ayrılmış olur. Artık MoS<sub>2</sub> safir yüzeyinden ayrıldığı için ve üzerinde PS destek tabakası bulunduğu için bir cımbız yardımı ile tutularak istenilen yüzey üzerine transfer edilebilir.

Bu çalışmada PS filme tutunan MoS<sub>2</sub> filmler cımbızla tutularak %100 pamuk ve %100 nomex dokuma kumaşlara, %100 PES non-woven kumaşa ve PDMS film üzerine transfer edilmiştir. Transfer sonrası PS filmin MoS<sub>2</sub> yüzeyinden ayrılması gerekmektedir. Bunu yapmak için kumaş üzerine transfer edilen PS-MoS<sub>2</sub> filmi toluen ile yıkanıp, daha sonra sırası ile aseton, iso propil alkol ve distile su ile durulanmıştır. Toluene ile yıkama işlemi sırasında toluen ince PS filmi çözer ve geriye kumaş yüzeyindeki MoS<sub>2</sub> film kalır. Böylelikle MoS<sub>2</sub> filmin kumaş yüzeylerine transferi gerçekleştirilmiş olur.

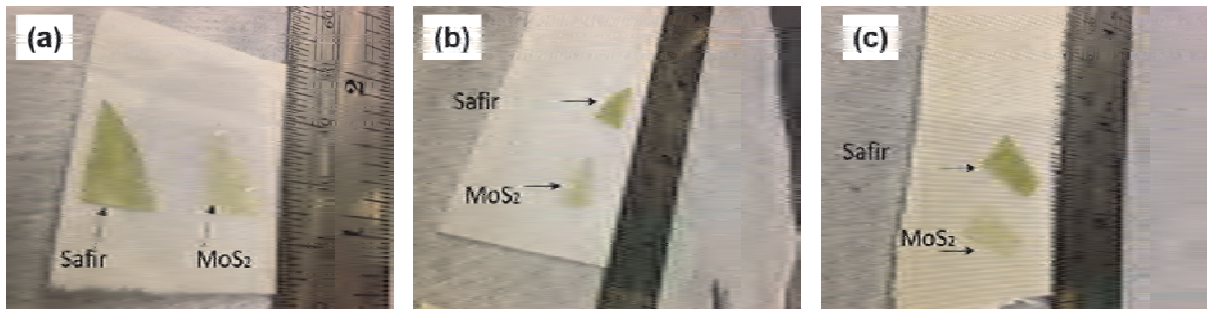


**Şekil 3.** 2 boyutlu MoS<sub>2</sub> filmin tekstil yüzeylerine transferinde izlenen metot basamaklarının şematik gösterimi. Safir üzerinde sentezlenen MoS<sub>2</sub> (1) PS film ile kaplanır (2). Daha sonra PS film su damlası yardımı ile safir substrat üzerinden ayrılır (3) ve kumaş yüzeyine yerleştirilir (4). Son olarak PS film toluen ile yıkanarak uzaklaştırılır ve MoS<sub>2</sub> film kumaş yüzeyine transfer edilmiş olur (5).

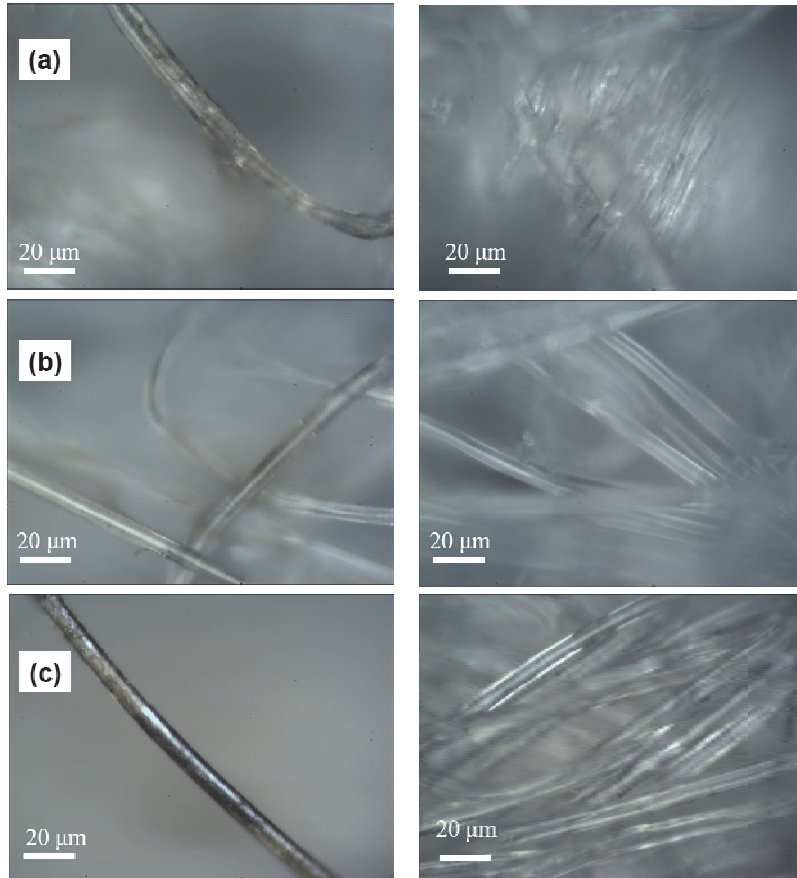
Şekil 4’de çeşitli kumaş yüzeylerine transfer edilen MoS<sub>2</sub> filmlerin kamera görüntüleri görülmektedir. Kamera görüntülerinde görüldüğü üzere sentez sonrası safir üzerinde olan MoS<sub>2</sub> filmi, PS kaplanması ve sonrasında bir su damlasının yardımı ile PS film ile birlikte safirden ayrılarak kumaş yüzeyine transfer edilmiştir. Kumaş yüzeyine yerleştirilen PS- MoS<sub>2</sub> filmin yıkanması neticesinde PS film çözünerek uzaklaşmış, MoS<sub>2</sub> film ise Şekil 5’deki optik mikroskop görüntülerinden anlaşıldığı gibi kumaşı oluşturan iplikler içerisindeki lifler üzerine kaplanmıştır.

Lifler üzerindeki MoS<sub>2</sub> atomik kalınlıkta olduğu için, liflerin MoS<sub>2</sub> ile kaplanıp kaplanmadığı lifler arasındaki zıtlık farkından optik mikroskop yardımı ile anlaşılmaktadır. Bu renk farkının

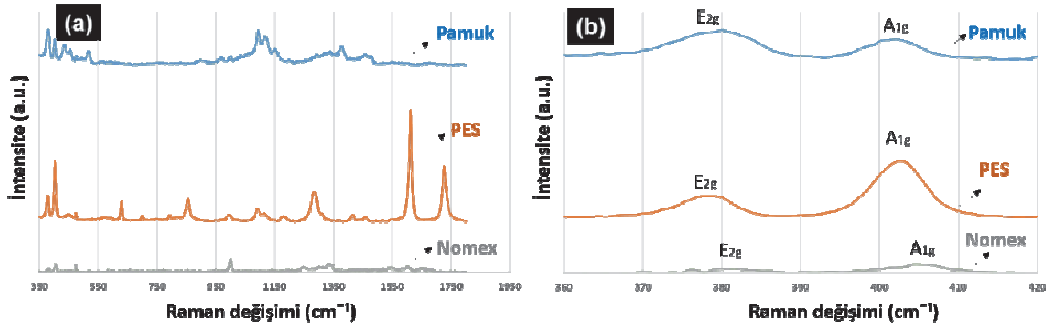
MoS<sub>2</sub>’dan kaynaklandığını ispatlamak için önce optik mikroskop ile bu noktalar üzerine odaklanılıp, daha sonra Raman cihazının lazeri ile tekrar odaklanarak, numunelere ait Raman spektrometresi ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarında MoS<sub>2</sub> filmine ait karakteristik pikler, A<sub>1g</sub> ve E<sub>2g</sub>, sırası ile yaklaşık olarak 390 ve 410 dalga boylarında gözlemlenmiştir (Bknz Şekil 6). Bu karakteristik piklerin liflerin üzerindeki MoS<sub>2</sub> varlığını ispatlamaktadır. Bu sonuç transfer işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir. Raman spektrophotometresinde gözükken ve yüksek dalga boylarında gözlemlenen diğer pikler ise (Şekil 6a) MoS<sub>2</sub> filmin altında bulunan pamuk, polyester, Nomex gibi kumaşı oluşturan malzemelere aittir.



Şekil 4. (a) Pamuk dokuma kumaş, (b) PES non-woven kumaş, (c) Nomex dokuma kumaş numuneler üzerine transfer edilen MoS<sub>2</sub> filmlere ve bu filmlerin sentezlendiği safir parçalara ait kamera görüntüleri.



Şekil 5. Kumaş yüzeylerine transfer edilen MoS<sub>2</sub>’nin optik mikroskop altında incelenmesi. Soldaki görüntülerdeki koyu renkli lifler üzerine MoS<sub>2</sub> transfer edilmiş, sağdaki görüntülerdeki açık renkli lifler üzerine MoS<sub>2</sub> transfer edilmemiştir. Lif çeşitleri yukarıdan aşağıya doğru sırası ile Pamuk (a), PES (b), ve Nomex (c) lifleridir.

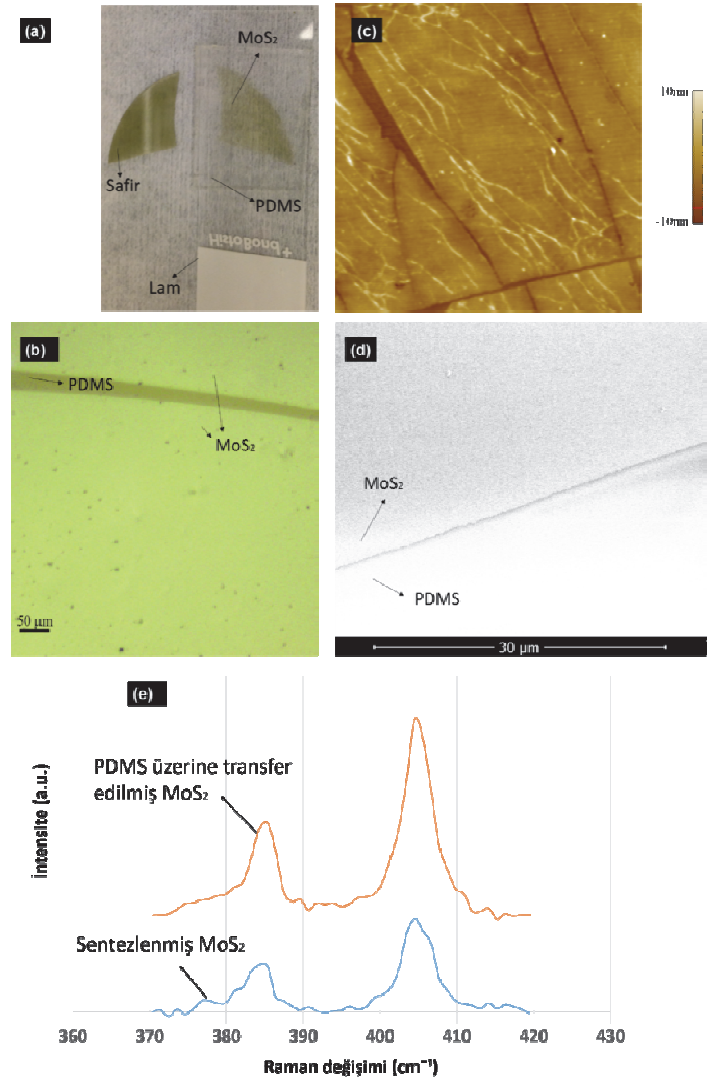


Şekil 6. Sentez sonrası safir üzerindeki  $\text{MoS}_2$  film ve transfer sonrası pamuk, PES ve Nomex kumaş numuneleri üzerine transfer edilen  $\text{MoS}_2$  film numunelerine ait Raman ölçümleri (a). Lifler üzerindeki  $\text{MoS}_2$  karakteristik piklerin gözlemlendiği aralığın detaylı gösterimi (b).

Kumaş yapısı gereği makro boyutta kıvrımlardan oluştuğu için Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ile kumaş yüzeyinin taranması anlamlı bir sonuç vermeyecektir. Bu nedenle transfer sonrası  $\text{MoS}_2$  filminin AFM ile karakterizasyonu, elektronik tekstil uygulamalarında en çok kullanılan polimerik malzemelerden birisi olan polidimetilsiloxano (PDMS) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3’de gösterilen işlem basamakları kullanılarak PDMS üzerine transfer edilen tek katlı  $\text{MoS}_2$  filmin yüzeyi AFM ile taranmış ve sonuçlar Şekil 7’de verilmiştir. AFM sonuçlarına göre PDMS üzerine transfer edilen  $\text{MoS}_2$  filmin kalınlığı 0.72 nm, yüzey pürüzlülüğü değeri ise 1 nm’dir. Bu pürüzlülük değerinin atomik düzgünlükteki  $\text{MoS}_2$  filminden biraz daha fazla olmasının nedeni PDMS yüzeyinin  $\text{MoS}_2$  film kadar pürüzsüz olmamasıdır. PDMS filmlerin yüzey pürüzlülüğü 1 ile 2.3 nm aralığında değişmektedir [20].  $\text{MoS}_2$  film transfer sonrası PDMS ile konformal temas oluşturduğu için PDMS yüzeyinin pürüzlü yüzeyi  $\text{MoS}_2$  filmin pürüzlülük değerini artırmıştır.

Şekil 7e’de gösterilen Raman sonuçlarında transfer öncesi ve sonrası  $\text{MoS}_2$  filmine ait karakteristik pikler olan  $\text{A}_{1g}$  ve  $\text{E}_{2g}$  pikleri arasındaki fark  $20 \text{ cm}^{-1}$ ’dir. Bu fark transfer edilen  $\text{MoS}_2$  filmin tek katlı olduğunun emaresidir. Aynı zamanda bu sonuç AFM sonucunu desteklemektedir.

$\text{MoS}_2$  yarı iletken bir malzeme olduğu için, yalnızca yüksek çözünürlüklü SEM cihazlarında iletken yüzey kaplaması yapılmadan görüntü elde etmek mümkündür. Bu tarz son derece yüksek kaliteli cihazlarda bile  $\text{MoS}_2$  yalıtkan polimerik bir malzeme üzerinde olduğu için numune üzerinde şarj oluşmakta ve bu nedenle fotoğrafta kaymalar oluşmaktadır,  $\text{MoS}_2$ ’nin üzerinde bulunduğu yalıtkan polimerik malzemelerde oluşan şarj ise yanmalara sebebiyet vermektedir. Kumaş yüzeyi çok pürüzlü olduğu için odaklanma daha da zor bir iş haline gelmektedir. Daha kaliteli görüntü elde etmek için yalıtkan malzemeler genellikle iletken malzeme ile kaplanmaktadır ancak bizim numunelerimiz yalnızca  $\sim 0.6 \text{ nm}$  kalınlığında olduğu için herhangi bir kaplama  $\text{MoS}_2$  filmi görmemizi engelleyecektir. Bu nedenle bu çalışmada elde ettiğimiz SEM görüntüleri kumaş numuneleri yerine düz bir yüzey üzerine transfer edilen  $\text{MoS}_2$  numunelerine ait görüntülerdir. Bu düz yüzey, giyilebilir elektroniklerde en çok kullanılan polimerik malzeme olan PDMS filmidir. PDMS film üzerine transfer edilmiş  $\text{MoS}_2$  filmine ait SEM görüntüleri Şekil 7d’de verilmiştir.



Şekil 7. PDMS film üzerine transfer edilmiş  $\text{MoS}_2$  filme ait kamera (a), optik mikroskop (b), AFM (c), ve SEM görüntüleri (d) Raman spektrumu.

Şekil 7’deki kamera görüntüsünde görüldüğü gibi PS film ile safir substrattan ayrılan  $\text{MoS}_2$  film, PDMS yüzeyi üzerine yerleştirilmiştir. Daha sonra toluen ile yıkama işlemi neticesinde PS film uzaklaşmış,  $\text{MoS}_2$  film PDMS yüzeyine Van der Waals



kuvvetleri ile tutunmuştur. Transfer edilen filmin optik mikroskop görüntüleri filmin yüzeyinde herhangi bir PS kalıntısı kalmadığını göstermektedir. Herhangi bir iletken kaplama yapılmadan PDMS film üzerindeki MoS<sub>2</sub> filminden elde edilen SEM görüntüleri MoS<sub>2</sub> filmin PDMS yüzeyini adeta bir halı gibi kapladığını açıkça göstermektedir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada iki boyutlu bir malzeme olan MoS<sub>2</sub> film kimyasal buhar biriktirme tekniği kullanılarak safir substrat üzerinde sentezlendikten sonra çeşitli tekstil mamulleri üzerine ve giyilebilir elektronik uygulamalarında en çok kullanılan polimerik malzemelerden birisi olan PDMS film üzerine transfer edilmiştir. Kamera görüntüleri, optik mikroskop, Raman, AFM ve SEM sonuçlarına dayanarak MoS<sub>2</sub> filmin bu çalışmada kullanılan pamuk, PES ve Nomex yüzeyler üzerine transfer edilebildiği ortaya konulmuştur. Bu çalışma neticesinde atomik kalınlıkta ve yarı iletken bir malzeme olan MoS<sub>2</sub> filmin özellikle esnek ve giyilebilir elektronikler alanlarındaki uygulamalarda kullanılması için ilk adım olan transfer işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği gösterilmiştir. Bu nedenle bu çalışma ileride yapılabilecek olan çalışmalar için değerli bir kaynak niteliğindedir ve literatürdeki bu alanda bulunan eksikliği gidermiştir.

#### KAYNAKLAR

- Geim, A.K., Novoselov, K.S. (2007), *The rise of graphene*. Nat. Mater. 6, 183-191.
- Novoselov, K.S. (2009) *Graphene: The magic of flat carbon*. ECS Transactions 19(5), 3-7.
- L., Huang, G., Li, A., Gurarslan, Y., Yu, R., Kirste, W., Guo, J., Zhao, R., Collaza, Z., Sitar, G.N., Parsons, M., Kudenov, L., Cao. (2016) *Atomically Thin MoS<sub>2</sub> Narrowband and Broadband Light Superabsorbers*, ACS Nano 10, 7493-7499
- Y Yu, Y Yu, Y Cai, W Li, A Gurarslan, H Peelaers, DE Aspnes, CG Van de Walle, NV Nguyen, YW Zhang, L Cao. (2015) *Exciton-dominated Dielectric Function of Atomically Thin MoS<sub>2</sub> Films*, Scientific Reports, 5, 16996.
- Pu, J., Yomogida, Y., Liu, K.K., Li, L.J., Iwasa, Y. and Takenobu, T., (2012) *Highly flexible MoS<sub>2</sub> thin-film transistors with ion gel dielectric*, Nano letters, 12(8), 4013-4017.
- Yoon, J., Park, W., Bae, G.Y., Kim, Y., Jang, H.S., Hyun, Y., Lim, S.K., Kahng, Y.H., Hong, W.K., Lee, B.H. and Ko, H.C., (2013), *Highly flexible and transparent multilayer MoS<sub>2</sub> transistors with graphene electrodes*, Small, 9(19), 3295-3300.
- Salvatore, G.A., Münzenrieder, N., Barraud, C., Petti, L., Zysset, C., Büthe, L., Ensslin, K. and Tröster, G., (2013), *Fabrication and transfer of flexible few-layers MoS<sub>2</sub> thin film transistors to any arbitrary substrate*, ACS nano, 7(10).
- Miao, X., Tongay, S., Petterson, M.K., Berke, K., Rinzler, A.G., Appleton, B.R. and Hebard, A.F., (2012), *High efficiency graphene solar cells by chemical doping*, Nano letters, 12(6), 2745-2750.
- Xiao, J., Choi, D., Cosimbescu, L., Koech, P., Liu, J. and Lemmon, J.P., (2010), *Exfoliated MoS<sub>2</sub> nanocomposite as an anode material for lithium ion batteries*, Chemistry of Materials, 22(16), 4522-4524.
- Chow, P.K., Singh, E., Viana, B.C., Gao, J., Luo, J., Li, J., Lin, Z., Elias, A.L., Shi, Y., Wang, Z. and Terrones, M., (2015) *Wetting of mono and few-layered WS<sub>2</sub> and MoS<sub>2</sub> films supported on Si/SiO<sub>2</sub> substrates*, ACS nano, 9(3), 3023-3031.
- Gurarslan, A., Jiao, S., Li, T.D., Li, G., Yu, Y., Gao, Y., Riedo, E., Xu, Z. and Cao, L., (2016), *Van der waals force isolation of monolayer MoS<sub>2</sub>*, Advanced Materials, 28(45), 10055-10060.
- Yu, Y., Li, C., Liu, Y., Su, L., Zhang, Y. and Cao, L., 2013. *Controlled scalable synthesis of uniform, high-quality monolayer and few-layer MoS<sub>2</sub> films*. Scientific reports, 3.
- Gurarslan, A., Yu, Y., Su, L., Yu, Y., Suarez, F., Yao, S., Zhu, Y., Ozturk, M., Zhang, Y. and Cao, L., 2014. *Surface-energy-assisted perfect transfer of centimeter-scale monolayer and few-layer MoS<sub>2</sub> films onto arbitrary substrates*. ACS Nano, 8(11), pp.11522-11528.
- Neves, A.I.S., Bointon, T.H., Melo, L.V., Russo, S., Schrijver, I., Craciun, M.F. and Alves, H., 2015. *Transparent conductive graphene textile fibers*. Scientific Reports, 5, pp. 9866-9872.
- Neves, A.I.S., Rodrigues, D.P., Sanctis, A., Alonso, E.T., Pereira, M.S., Amaral, V.S, Melo, L.V., Russo, S., Schrijver, I., Alves, H. and Craciun, M.F., 2017. *Towards conductive textiles: coating polymeric fibres with graphene*. Scientific Reports, 7, pp. 4250-4260.
- Shakir, I., Ali, Z., Bae, J., Park, J. And Kang, D.J., 2014. *Layer by layer assembly of ultrathin V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> anchored MWCNTs and graphene on textile fabrics for fabrication of high energy density flexible supercapacitor electrodes*. Nanoscale, 6, pp. 4125-4130.
- Wu, C., Kim, T.W., Guo, T. and Li, F., 2017. *Wearable ultra-lightweight solar textiles based on transparent electronic fabrics*. Nano Energy, 32, pp. 367-373.
- He, Q., Zeng, Z., Yin, Z., Li, H., Wu, S., Huang, X. and Zhang, H., 2012. *Fabrication of Flexible MoS<sub>2</sub> Thin-Film Transistor Arrays for Practical Gas-Sensing Applications*. Small, 8 (19), pp. 2994-2999.
- Zhao, C., Zhou, Y., Ge, Z., Zhao, C. and Qian, X., 2018. *Facile construction of MoS<sub>2</sub>/RCF electrode for high-performance supercapacitor*. Carbon, 127, pp. 699-706.
- Brenna, C.J., Nguyen, J., Yu, E.T. and Lu, N., 2015. *Interface Adhesion between 2D Materials and Elastomers Measured by Buckle Delaminations*. Adv. Mater. Interfaces, 2, pp. 1500176-1500182.