



PECVD YÖNTEMİ İLE TOHURLARIN HİDROFOBİK İNCE FİLMLE ENKAPSÜLASYONU

Mehmet GÜRİSOY

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Konya,
TÜRKİYE
mgursoy@ktun.edu.tr

(Geliş/Received: 13.07.2021; Kabul/Accepted in Revised Form: 31.10.2021)

ÖZ: Sürdürülebilir tarım için tohumların modifikasyonu ile ilgili çalışmalara duyulan ilgi her geçen gün artmaktadır. Geleneksel tohum modifikasyonlarının birçoğunda, tohumlar kimyasallarla doğrudan muamele edilmektedir. Bu yöntemlerde kullanılan kimyasallar, çevre ve insan sağlığı için tehdit oluşturabilmektedir. Alternatif olarak, tohum modifikasyonunda çevre dostu gaz fazı yöntemler de yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Bu çalışmada, mercimek tohumlarının yüzeyleri düşük yüzey enerjili ince film ile gaz fazında kaplanarak, tohumların çimlenmesini geciktirmek amaçlanmıştır. Bu amaçla, plazma destekli kimyasal buhar biriktirme (PECVD) yöntemi kullanılarak mercimek tohumları tek adımda poli(heksametildisiloksan) (PHMDSO) ince filmi ile enkapsüle edilmiştir. Plazma gücünün, PHMDSO ince filminin kaplama hızı üzerine etkileri incelenmiştir. En yüksek kaplama hızı 70 W plazma gücünde 27,1 nm/dk olarak bulunmuştur. Tohum çimlendirme deney sonuçlarına göre, ince film kaplaması tohumların çimlenmesini büyük ölçüde engellemiştir.

Anahtar Kelimeler: Tohum, Enkapsülasyon, İnce film, CVD, HMDSO

Hydrophobic Thin Film Encapsulation of Seeds Using PECVD Method

ABSTRACT: The interest in studies on the modification of seeds for sustainable agriculture is increasing day by day. In many of the traditional seed modifications, the seeds are directly treated with chemicals. The chemicals used in these methods can pose a threat to the environment and human health. Alternatively, environmentally friendly gas phase methods have also started to be widely used in seed modification. In this study, it was aimed to delay the germination of lentil seeds by coating the surfaces of lentil seeds with low surface energy thin film in the gas phase. For this purpose, lentil seeds were encapsulated with poly(hexamethyldisiloxane) (PHMDSO) thin film using single-step plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) method. The effects of plasma power on the deposition rate of PHMDSO thin film were investigated. The highest deposition rate was found to be 27.1 nm/min at 70 W plasma power. According to the seed germination test results, thin film coating greatly inhibited the germination of seeds.

Keywords: Seed, Encapsulation, Thin film, CVD, HMDSO

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda küresel ısınma ve artan dünya nüfusunun etkisi ile mevcut tarım alanları ve su kaynakları hızla azalmaya devam etmektedir. Sürdürülebilir tarım amacıyla modern teknoloji ile tarım ürünlerinin daha verimli kullanılmasına yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Tohumların modifikasyonu da söz konusu çalışma alanları arasında yer almaktadır. Tohumlar, çimlenme sürelerinin kısaltılması/uzatılması, sterilizasyonu, mikro organizmalardan korunması gibi çeşitli amaçlar için modifiye edilmektedir (Govindaraj ve diğ., 2017; Singh ve diğ., 2015). Tohumları modifiye etmek amacı ile kullanılan yöntemler

en genel ifade ile iki ana başlık altında toplanabilir: Kimyasalla muamele ve gaz fazı yöntemler. Kimyasalla muamele yöntemlerinde, tohumlar doğrudan kimyasallara maruz bırakılmaktadır. Her ne kadar kimyasalla muamele yöntemlerinin uygulanması kolay olsa da kullanılan bazı agresif kimyasallar tohum yüzeylerine zarar verebilmektedir. Ayrıca kullanılan kimyasallardan kalan kalıntılar, çevreye ve canlıların sağlığına tehdit oluşturabilmektedir. Öte yandan, gaz fazı yöntemlerde, tohumlar doğrudan kimyasala maruz kalmamaktadır. Tohumlarla doğrudan herhangi bir çözelti, zehirli ve agresif kimyasal teması içermeyen gaz fazı yöntemler, çevre dostu olarak kabul edilebilir. Düşük sıcaklıklarda, tek adımda tohumların modifikasyonuna olanak sağlayan plazma destekli kimyasal buhar biriktirme (PECVD) yöntemi diğer gaz fazı yöntemlerine göre ön plana çıkmaktadır. PECVD yönteminde oluşan plazma ayrıca sterilizasyon görevi de görmektedir (Lerouge ve diğ., 2001). Bu ve buna benzer avantajlarından dolayı PECVD yöntemi tohum modifikasyonunda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Şu ana kadar, mısır (Zahoranová ve diğ., 2018), nohut (Mitra ve diğ., 2014), bezelye (Gao ve diğ., 2019), pamuk (de Groot ve diğ., 2018), arpa (Mazandarani ve diğ., 2020), turp (Puligundla ve diğ., 2017), pirinç (Khamsen ve diğ., 2016), yer fıstığı (Ling ve diğ., 2016), kinoa (Gómez-Ramírez ve diğ., 2017), ayçiçeği (Sarapirom ve diğ., 2021), maş fasulyesi (Sadhu ve diğ., 2017) ve soya fasulyesinin (Ling ve diğ., 2014) içlerinde olduğu birçok tohum farklı amaçlarla çeşitli gazların plazmasına maruz bırakılmıştır. PECVD ile yapılan tohum modifikasyonlarının büyük bir kısmında, tohumların yüzeyleri ya okside edilmiş ya da yüzeylerine çeşitli fonksiyonel gruplar aşılanmıştır (Randeniya ve de Groot, 2015). Söz konusu çalışmalarda başarılı sonuçlar elde edilmiş olmasına rağmen, tohum üzerindeki etkileri geçici olup; etkilerini bir süre sonra yitirebilmektedir. Daha kalıcı etkilerin gerekli olduğu durumlarda tohumların ince filmle enkapsüle edilmesinin daha doğru bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada tohumların uzun süreler boyunca çimlenmeden, nem ya da mikrobiyal organizmalardan etkilenmeden saklanabilmesi için gerekli olan potansiyel bir hidrofobik ince filmin PECVD yöntemi ile üretimi amaçlanmıştır. Bu amaçla düşük yüzey enerjili ince filmlerle mercimek tohumlarının enkapsülasyonunun yapılması amaçlanmıştır. Düşük yüzey enerjili filmlerin, tohumların nemden ve sudan etkilenmesini engellemesi beklenmektedir. Ayrıca, düşük yüzey enerjili filmlerin yüzeylerine, mikroorganizmaların tutunması zor olduğu için bahsi geçen filmler antimikrobiyal olarak da kullanılabilir (Tripathy ve diğ., 2018). Bundan dolayı söz konusu filmlerin, tohumları, mikrobiyal organizmalardan koruması da beklenmektedir. Düşük yüzey enerjili ince film olarak genellikle flor içerikli kimyasallar kullanılmaktadır (Çıtak ve diğ., 2019; Dhillon ve diğ., 2014; Gürsoy, 2020a; Karaman ve diğ., 2017a; Mondal ve diğ., 2018; Ng ve diğ., 2020; Safonov ve diğ., 2018; Şakalak ve diğ., 2020; Şimşek ve Karaman, 2020; Woodward ve diğ., 2003). Ancak, flor içeren uzun zincirlere sahip kimyasalların canlı sağlığına ve çevreye olumsuz etkileri ile ilgili ciddi endişeler mevcuttur (Grandjean ve diğ., 2012). Örneğin, florlu kimyasalların, zehirliliği ve biyoakümülatif potansiyelinin, florlu zincirlerin uzunluğu ile arasında bir orantı olduğu saptanmıştır (Olsen ve diğ., 2009). Bu sebeplerden dolayı, bu çalışmada flor içermeyen heksametildisiloksan (HMDSO) monomeri düşük yüzey enerjili film oluşturmak için kullanılmıştır. Poli(heksametildisiloksan) (PHMDSO) üretimi için en uygun plazma gücü belirlendikten sonra, tohumların enkapsülasyonunda kullanılmıştır. Elde edilen enkapsüle edilmiş tohumlar ile modifiye edilmemiş tohumlar aynı çimlenme şartlarına maruz bırakılarak, PHMDSO ince filminin çimlenme üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir.

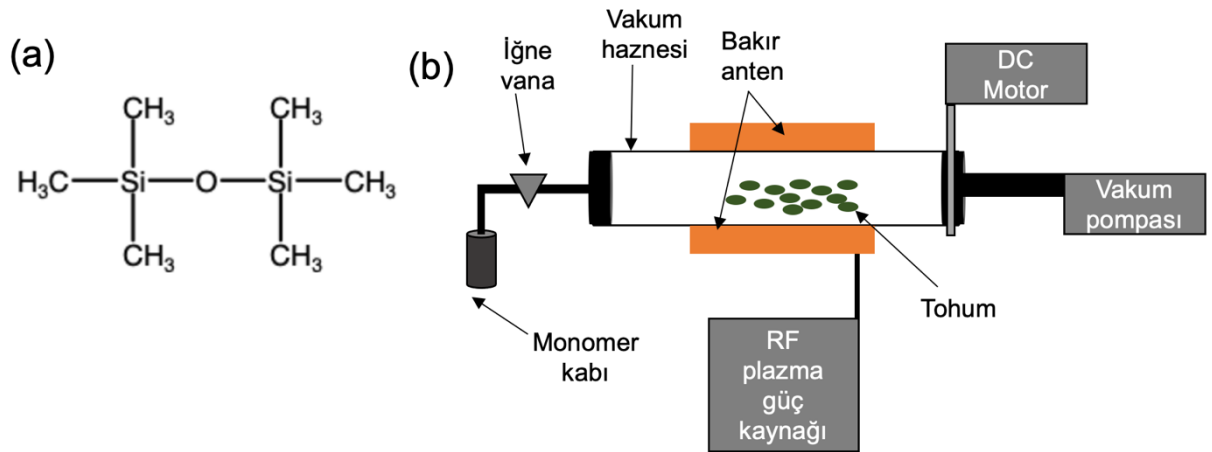
MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Materyal (Material)

Çalışmalarda tohum olarak yerel marketten alınan mercimek tohumları kullanılmıştır. Vakum haznesine, tohumlar dışında, karakterizasyon amacı ile alttaş olarak kullanılan silikon tabaka (100, p-tipi) da yerleştirilmiştir. Sigma-Aldrich marka HMDSO monomeri (\geq %98 saflıktaki), tohumları enkapsüle etmek için satın alınmıştır. HMDSO monomerinin kimyasal yapısı şematik olarak, Şekil 1 a'da gösterilmiştir. Monomer, herhangi bir saflaştırma işlemi görmeden ve modifikasyona uğramadan, alındığı gibi doğrudan PECVD prosesinde kullanılmıştır.

Tohumların PECVD Yöntemi ile Enkapsülasyonu (Encapsulation of Seeds via PECVD Method)

Tohumların enkapsülasyonu döner yataklı reaktöre sahip olan bir PECVD sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Söz konusu sistem, basitleştirilmiş bir şekilde şematik olarak Şekil 1 b’de gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan PECVD sistemi ile ilgili daha detaylı bilgilerden başka bir çalışmada bahsedilmiştir (Gürsoy ve Karaman, 2016). Çalışmada vakum çemberi olarak silindirik (6 cm çap ve 30 cm uzunlukta) payreks bir cam tüp kullanılmıştır. Tohumlar ve silikon tabaka çembere yerleştirilmiştir. Plazmayı oluşturabilmek için, çemberin dış tarafının alt ve üst tarafına bakır anten yerleştirilmiştir. Kurt J. Lesker marka RF tipi 13,56 MHz frekanslı plazma güç kaynağı kullanılmıştır. Plazma güç kaynağı ile çember arasına yerleştirilen bir güç eşleştiricisi ile plazmanın geri yansımadan, çember içinde istikrarlı bir şekilde oluşturulması sağlanmıştır. Çember, Edwards marka yağlı tip bir vakum pompası ile vakuma alınmıştır. Çember içerisindeki basınç, kapasitans tipi bir basınç ölçer ile ölçülmüştür. Paslanmaz çelik kap içinde bulunan HMDSO, çembere Swagelok marka iğne vana ile beslenmiştir. Tohumların yüzeylerinin, homojen bir şekilde kaplanabilmesi için, kaplamalar esnasında çember kendi eksenini etrafında kademeli motor yardımıyla döndürülmüştür.



Şekil 1. (a) HMDSO monomerinin kimyasal yapısının şematik gösterimi, **(b)** PECVD sisteminin şematik gösterimi

Figure 1. (a) Schematic representation of the chemical structure of the HMDSO monomer, (b) Schematic representation of the PECVD system

Karakterizasyonlar (Characterizations)

Elde edilen ince filmlerin kimyasal yapıları XPS analizi ile açığa çıkarılmıştır. Monokromatize Al Ka X ışını kaynağı ($h\nu = 1486,68$ eV) ile donatılmış Thermoscientific marka XPS cihazı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Spektrumlar, 200 eV geçiş enerjisi, 1 eV enerji adım boyutu ve 50 s bekleme süreleri ile kayıt edilmiştir. Silikon tabaka yüzeyine kaplanmış ince filmlerin kalınlıkları, profilometre (AEP 500LS) kullanılarak hesaplanmıştır. Silikon tabaka yüzeyine kaplanmış ince filmin su ile yaptığı temas açısı gonyometre tipi temas açısı ölçüm cihazı (Kruss Easy Drop) ile gerçekleştirilmiştir. Temas açısı ölçümleri 2,0 μ L su damlatılarak gerçekleştirilmiştir. Çimlenme deneyleri, oda sıcaklığında, karanlık bir ortamda bulunan nemli pamuklar arasına tohumlar yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Deneyler boyunca, pamuklardaki nem miktarı azaldıkça pamuklar tekrar nemlendirilmiştir.

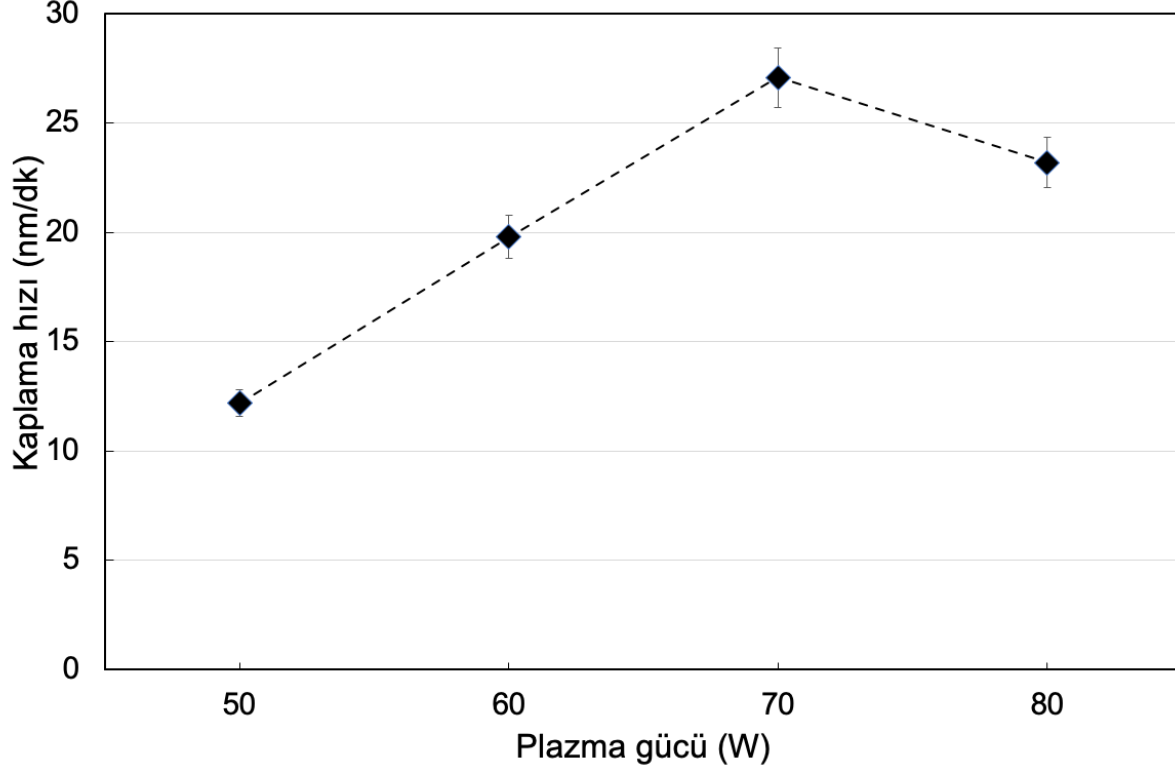
BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSIONS)

Plazma gücünün, kaplama hızına etki eden en önemli parametrelerden biri olduğu bilinmektedir. En yüksek PHMDSO ince film kaplama hızının elde edildiği plazma gücü değerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, diğer başlıca PECVD parametreleri (reaktör basıncı, plazma operasyon modu ve monomer akış hızı) sabit tutularak, 4 farklı plazma gücünde (50, 60, 70 ve 80 W) kaplamalar

UKMK2020: 14. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi'nde sunulan bildiriler arasından seçilmiştir.

(10-12 Haziran 2021 Konya, TÜRKİYE)

gerçekleştirilmiştir. Profilometre ile PHMDSO ince film kaplı silikon tabaka üzerinden elde edilen film kalınlıklarından yola çıkarak kaplama hızları hesaplanmıştır. Farklı plazma güçlerinde, hesaplanan kaplama hızı verileri Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Farklı plazma güçlerinde üretilen PHMDSO ince filmlerin kaplama hızları
Figure 2. Deposition rates of PHMDSO thin films produced at different plasma powers

Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek kaplama hızı 27,1 nm/dk olarak 70 W plazma gücünde gözlemlenmiştir. Şekil 2’de görüldüğü üzere, belli bir plazma gücüne kadar (70 W) artan plazma gücü ile kaplama hızlarında bir artış meydana gelmiştir. Bu durum, çember içerisindeki monomer buharının artan plazma gücü ile daha çok enerjiye maruz kalması sonucu birim kimyasal başına düşen enerji miktarının da artmasıyla açıklanabilir. Plazma gücü, monomer akış hızı ve monomer molekül ağırlığının, kaplama hızı ile arasındaki ilişki Yasuda faktörü (YF) ile matematiksel olarak ifade edilmiştir (Denklem 1) (Yasuda ve Wang, 1985).

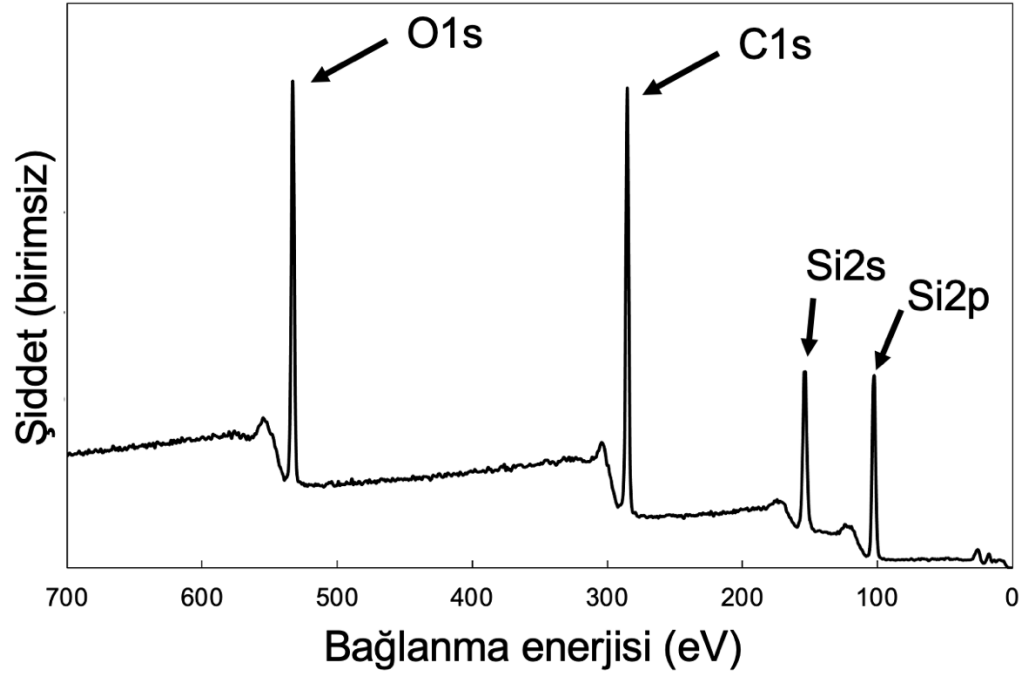
$$YF=W/MF$$

(Denklem 1)

Denklem 1’de yer alan, W, uygulanan plazma gücünü; M, kullanılan monomerin molekül ağırlığını; F, çembere beslenen monomer akış hızını göstermektedir. Söz konusu denklem, sabit şartlar altında aynı monomer, sabit akış hızı ile çembere beslendiğinde, artan plazma gücünün, kaplama hızını artıracaklarını işaret etmektedir. Bu çalışmada da plazma gücü 50 W’tan 70 W’a yükseltildiğinde kaplama hızları istikrarlı bir şekilde beklenildiği gibi artmıştır. Ancak plazma gücü 70 W’tan 80 W’a yükseltildiğinde kaplama hızında bir düşüş gözlemlenmiştir. Plazma polimerizasyonları esnasında sadece kaplama değil aynı zamanda aşınmanın da gerçekleştiği bilinmektedir (d’Agostino ve diğ., 1990). Bu çalışmada, uygulanan plazma gücü 50 W’tan 70 W’a yükseltildiğinde dominant mekanizmanın kaplama olduğu söylenebilir. Plazma gücü daha da yükseltildiğinde kaplamanın, aşınmaya karşı dominantlığının azalmaya başladığı öne sürülebilir. Gözlemlenen bu sonuçlar, literatürdeki plazma polimerizasyon çalışmalarındaki kaplama hızı ve plazma gücü arasındaki ilişki ile örtüşmektedir (Gürsoy, 2020b; Gürsoy, 2021a).

PHMDSO ince filmi için en yüksek kaplama hızı 70 W plazma gücünde elde edildiği için, bu plazma gücünde üretilen filmin tohumların enkapsülasyonunda kullanılması uygun görülmüştür. Söz konusu

şartlarda üretilen filmlerin kimyasal yapısı, XPS analizi ile açığa çıkarılmıştır. Elde edilen PHMDSO'ya ait XPS yüzey tarama spektrumu Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. PHMDSO ince filminin XPS yüzey tarama spektrumu

Figure 3. XPS surface spectrum of PHMDSO thin film

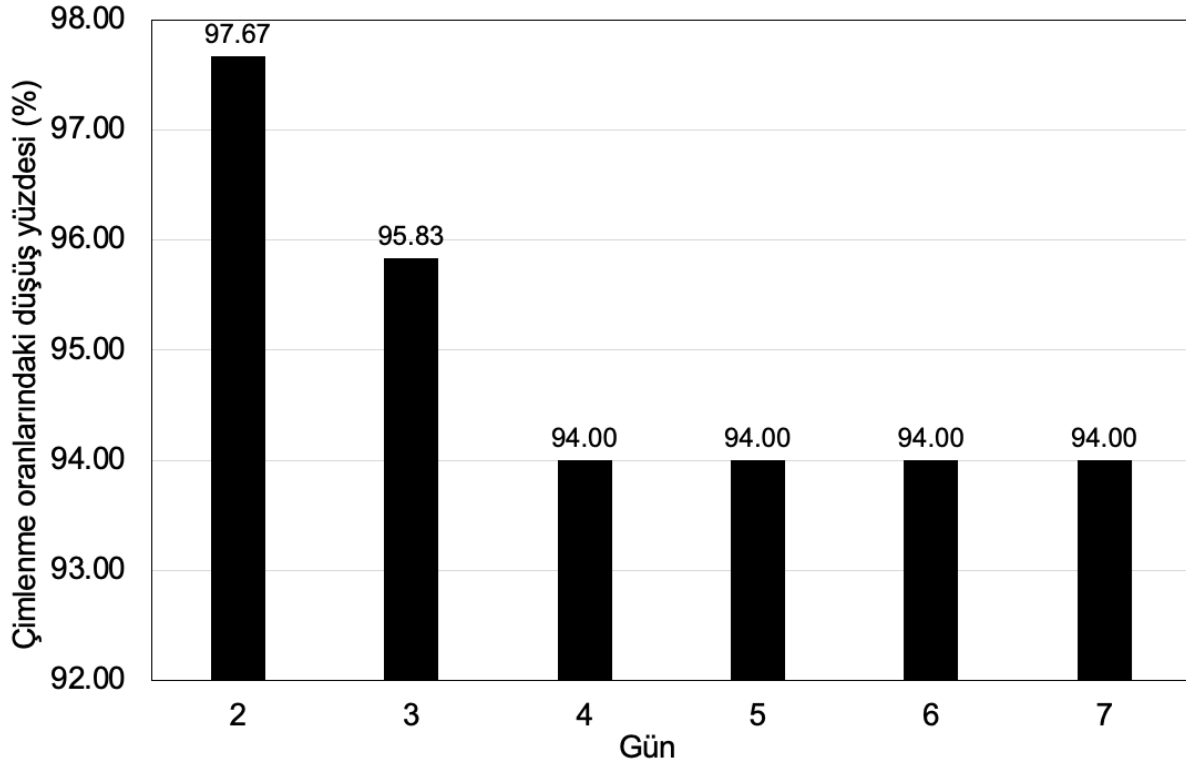
İlgili XPS spektrumunda 532,94 eV değerinde O1s piki; 285,10 eV değerinde C1s piki ve 102,35 eV değerinde Si2p piki gözlemlenmiştir. Beklenildiği üzere PHMDSO ince filmde bahsi geçenler dışında başka bir element tespit edilmemiştir. XPS analizi sonucunda PHMDSO ince filmdeki elementlerin atomik yüzdeleri açığa çıkarılmıştır. Bu değerler C, O ve Si için sırası ile %52,06, %21,31 ve %26,63 şeklindedir. HMDSO monomerinin kimyasal yapısından yola çıkarak hesaplanan değerler ise, C, O ve Si için sırası için sırasıyla %66,7, %11,1 ve %22,2 şeklindedir. Elde edilen deneysel sonuçlarla, teorik hesaplamalar kıyaslandığında, atomik yüzdeler arasında farklılıklar gözlemlenmiştir. Sonuçların, üretilen PHMDSO ince filminin kimyasal yapısında birtakım bozuklukları işaret ettiği düşünülmektedir. Bu tarz bulgular, literatüre bakıldığında özellikle sürekli plazma modunda gerçekleştirilen PECVD çalışmalarında gözlemlenmiştir (Gürsoy, 2021b). Bunun nedenin, yoğun enerjili plazma ortamı ve ortaya çıkan iyon bombardımanları, radikallerin rastgele birleşmesi gibi istenmeyen kimyasal yapıların oluşmasına neden olabilmektedir (Gürsoy ve Karaman, 2018; d'Agostino ve diğ., 1990; Karaman ve diğ., 2017b). Kaplanmamış ve PHMDSO ince filmi ile kaplanmış silikon tabaka üzerinden yapılan temas açısı değerleri sırasıyla 56,0 ve 105,4 olarak ölçülmüştür. Temas açısı sonuçları, üretilen PHMDSO ince filminin hidrofobik karakterde olduğunu göstermektedir.

En yüksek kaplama hızında (70 W plazma gücünde) elde edilen film, tohumların enkapsülasyonunda kullanılmıştır. Tohumda ilk filizlenmenin başladığı an çimlenmenin başladığı an olarak kabul edilmiştir. Çimlendirme deneyleri boyunca, tohumların çimlenmeleri ikinci günden itibaren yedinci güne kadar günlük kontrol edilmiştir. Enkapsüle edilen tohumların yanı sıra kaplanmamış tohumlara da aynı şartlarda çimlendirilme prosedürü uygulanmıştır. Her iki tohum çeşidinden altışar set ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir setteki tohumların içinden çimlenen tohumların, o kap içerisindeki toplam tohum miktarına oranı yüzde hesaplanmıştır. Her 6 setteki enkapsüle edilmiş tohumların çimlenme yüzdelerinin ortalaması (N_E) ve diğer 6 setteki kaplanmamış tohumların çimlenme yüzdelerinin ortalaması (N_T) hesaplanmıştır. Söz konusu oranlardan yola çıkarak, kaplanmamış tohumlarınkine kıyasla enkapsüle edilmiş tohumların çimlenme oranlarındaki düşüşün yüzdesi (% D) Denklem 2'deki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% D = \frac{N_T - N_E}{N_T} \times 100$$

(Denklem 2)

Hesaplanan çimlenme yüzdelerindeki düşüş değerleri ilgili günlerin karşılığına gelecek biçimde Şekil 4'de gösterilmiştir. İkinci güne bakıldığında, enkapsüle edilmiş tohumların, kaplanmamış gruptaki tohumlara kıyasla çok büyük bir kısmında (%97,67) çimlenme gözlemlenmemiştir. Üçüncü günde enkapsüle edilmiş tohumların bir kısmının daha çimlenmesinden dolayı, çimlenmemiş enkapsüle edilmiş tohumların oranı bir miktar düşmüştür (%95,83). Dördüncü günde de bir miktar daha enkapsüle edilmiş tohumun çimlenmeye başladığı gözlemlenmiştir (%94,00). Yedinci güne kadar enkapsüle edilmemiş tohumlarda bir daha çimlenme gözlemlenmemiştir. Çimlenme deneylerinden elde edilen sonuçlara göre ince film kaplamasıyla tohumların çok büyük bir kısmının çimlenmesinin önüne geçilmiştir. İlerleyen günlerde, söz konusu tohumların bir kısmının çimlenmesinin nedeni, ince filmlerin bazı tohum yüzeylerinden ayrılmasından kaynaklanmış olmasına bağlanabilir. Ancak, sonuçlara göre bu oranın çok düşük olduğu görülmektedir. Daha sonraki günlerde, enkapsüle edilmiş tohumlarda yeni bir çimlenme gözlemlenmemesi, ince filmin genel itibari ile tohum yüzeylerinde başarılı bir şekilde kaplandığını işaret etmektedir.



Şekil 4. Enkapsüle edilmiş tohumlarının çimlenme oranlarındaki düşüş

Figure 4. Decrease in germination rates of encapsulated seeds

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada mercimek tohumları, tek adımda çevre dostu bir yöntem olan PECVD tekniği kullanılarak hidrofobik PHMDSO ince filmi ile enkapsüle edilmiştir. Plazma gücü ile PHMDSO ince filmin kaplama hızları arasındaki ilişki incelenmiştir. En yüksek kaplama hızı PHMDSO ince filmi için 70 W plazma gücünde elde edilmiştir. Kaplanmamış tohumlara kıyasla, ince film kaplaması ile çimlenen tohum sayısında %97,67 değerine varan bir düşüş gözlemlenmiştir. Burada geliştirilen yöntem ile tohumların yüzeyleri çeşitli amaçlar için farklı ince filmlerle enkapsüle edilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma, Konya Teknik Üniversitesi BAP koordinatörlüğü tarafından 202016058 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Çıtak, E., İstanbullu, B., Şakalak, H., Gürsoy, M., Karaman, M., 2019, "All-Dry Hydrophobic Functionalization of Paper Surfaces for Efficient Transfer of CVD Graphene", *Macromolecular Chemistry and Physics*, Vol. 220, Nr. 22, pp. 1900277.
- d'Agostino, R., Cramarossa, F., Fracassi, F., Illuzzi, F., 1990, "Plasma polymerization of fluorocarbons", *Plasma Deposition, Treatment, and Etching of Polymers*, Volume 2, Editor: d'Agostino, R., Academic Press, New York, USA, 95-162.
- de Groot, G.J., Hundt, A., Murphy, A.B., Bange, M.P., Mai-Prochnow, A., 2018, "Cold plasma treatment for cotton seed germination improvement", *Scientific reports*, Vol. 8, Nr. 1, pp. 1-10.
- Dhillon, P.K., Brown, P.S., Bain, C.D., Badyal, J.P.S., Sarkar, S., 2014, "Topographical length scales of hierarchical superhydrophobic surfaces", *Applied surface science*, Vol. 317, pp. 1068-1074.
- Gao, X., Zhang, A., Héroux, P., Sand, W., Sun, Z., Zhan, J., Wang, C., Hao, S., Li, Z., Li, Z. and Guo, Y., 2019, "Effect of dielectric barrier discharge cold plasma on pea seed growth", *Journal of agricultural and food chemistry*, Vol. 67, Nr. 39, pp.10813-10822.
- Gómez-Ramírez, A., López-Santos, C., Cantos, M., García, J.L., Molina, R., Cotrino, J., Espinós, J.P., González-Elipe, A.R., 2017, "Surface chemistry and germination improvement of Quinoa seeds subjected to plasma activation", *Scientific reports*, Vol. 7, Nr. 1, pp. 1-12.
- Govindaraj, M., Masilamani, P., Albert, V.A., Bhaskaran, M., 2017, "Effect of physical seed treatment on yield and quality of crops: A review", *Agricultural Reviews*, Vol. 38, Nr. 1, pp. 1-14.
- Grandjean, P., Andersen, E. W., Budtz-Jørgensen, E., Nielsen, F., Mølbak, K., Weihe, P., Heilmann, C., 2012, "Serum vaccine antibody concentrations in children exposed to perfluorinated compounds", *Jama*, Vol. 307, Nr. 4, pp. 391-397.
- Gürsoy, M., 2020a, "All-dry patterning method to fabricate hydrophilic/hydrophobic surface for fog harvesting", *Colloid and Polymer Science*, Vol. 298, Nr. 8, pp. 969-976.
- Gürsoy, M., 2020b, "Fabrication of Poly (N-isopropylacrylamide) with Higher Deposition Rate and Easier Phase Transition by Initiated Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition", *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Vol. 40, pp. 1063-1079.
- Gürsoy, M., 2021a, "Vapor deposition polymerization of synthetic rubber thin film in a plasma enhanced chemical vapor deposition reactor", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 138, Nr. 4, pp. 49722.
- Gürsoy, M., 2021b, "Fabrication of Paper-Based Microfluidic Devices Using PECVD for Selective Separation", *Macromolecular Research*, Vol. 29, pp. 423-429.
- Gürsoy, M., Karaman, M., 2016, "Hydrophobic coating of expanded perlite particles by plasma polymerization", *Chemical Engineering Journal*, Vol. 284, pp. 343-350.
- Gürsoy, M., Karaman, M., 2018, "Improvement of wetting properties of expanded perlite particles by an organic conformal coating", *Progress in Organic Coatings*, Vol. 120, pp. 190-197.
- Karaman, M., Gürsoy, M., Aykul, F., Tosun, Z., Kars, M.D., Yildiz, H.B., 2017a, "Hydrophobic coating of surfaces by plasma polymerization in an RF plasma reactor with an outer planar electrode: synthesis, characterization and biocompatibility", *Plasma Science and Technology*, Vol. 19, Nr. 8, pp. 085503.
- Karaman, M., Gürsoy, M., Kus, M., Özel, F., Yenel, E., Sahin, Ö. G., Kivrak, H. D., 2017b, "Chemical and physical modification of surfaces", *Surface treatments for biological, chemical and physical applications*, Volume 2, Editor: Gürsoy, M., Karaman, M., John Wiley & Sons, Weinheim, Germany, 23-66.
- Khamsen, N., Onwimol, D., Teerakawanich, N., Dechanupaprittha, S., Kanokbannakorn, W., Hongesombut, K., Srisophon, S., 2016, "Rice (*Oryza sativa* L.) seed sterilization and germination

- enhancement via atmospheric hybrid nonthermal discharge plasma", *ACS applied materials & interfaces*, Vol. 8, Nr. 30, pp. 19268-19275.
- Lerouge, S., Wertheimer, M.R., Yahia L.H., 2001, "Plasma sterilization: a review of parameters, mechanisms, and limitations", *Plasmas and Polymers*, Vol. 6, Nr. 3, pp. 175-188.
- Ling, L., Jiafeng, J., Jiangan, L., Minchong, S., Xin, H., Hanliang, S., Yuanhua, D., 2014, "Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean", *Scientific reports*, Vol. 4, Nr. 1, pp. 1-7.
- Ling, L., Jiangan, L., Minchong, S., Jinfeng, H., Hanliang, S., Yuanhua, D., Jiafeng, J., 2016, "Improving seed germination and peanut yields by cold plasma treatment", *Plasma Science and Technology*, Vol.18, Nr. 10, pp. 1027.
- Mazandarani, A., Goudarzi, S., Ghafoorifard, H., Eskandari, A., 2020, "Evaluation of DBD Plasma Effects on Barley Seed Germination and Seedling Growth", *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 48, Nr. 9, pp. 3115-3121.
- Mitra, A., Li, Y.F., Klämpfl, T.G., Shimizu, T., Jeon, J., Morfill, G.E., Zimmermann, J.L., 2014, "Inactivation of surface-borne microorganisms and increased germination of seed specimen by cold atmospheric plasma", *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 7, Nr. 3, pp. 645-653.
- Mondal, S., Pal, S., Maity, J., 2018, "Hydrophobic thin fluoropolymer coating on cotton surfaces", *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, Vol. 23, Nr. 4, pp. 376-382.
- Ng, Z.C., Roslan, R.A., Lau, W.J., Gürsoy, M., Karaman, M., Jullok, N., Ismail, A.F., 2020, "A green approach to modify surface properties of polyurethane foam for enhanced oil absorption", *Polymers*, Vol. 12, Nr. 9, pp. 1883.
- Olsen, G.W., Chang, S.C., Noker, P.E., Gorman, G.S., Ehresman, D.J., Lieder, P.H., Butenhoff, J.L. 2009, "A comparison of the pharmacokinetics of perfluorobutanesulfonate (PFBS) in rats, monkeys, and humans", *Toxicology*, Vol. 256, Nr. 1-2, pp. 65-74.
- Puligundla, P., Kim, J.W., Mok, C., 2017, "Effects of nonthermal plasma treatment on decontamination and sprouting of radish (*Raphanus sativus* L.) seeds", *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 10, Nr. 6, pp. 1093-1102.
- Randeniya, L.K., de Groot, G.J., 2015, "Non-thermal plasma treatment of agricultural seeds for stimulation of germination, removal of surface contamination and other benefits: A review", *Plasma Processes and Polymers*, Vol. 12, Nr. 7, pp. 608-623.
- Sadhu, S., Thirumdas, R., Deshmukh, R.R., Annapure, U.S., 2017, "Influence of cold plasma on the enzymatic activity in germinating mung beans (*Vigna radiate*)", *LWT*, Vol. 78, pp. 97-104.
- Safonov, A.I., Sulyaeva, V.S., Bogoslovstseva, A.L., Timoshenko, N.I., 2018, "Influence of Precursor Gas Flow Rate on Fluoropolymer Coating Growth Rate During Hot Wire Chemical Vapor Deposition", *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, Vol. 59, Nr. 5, pp. 842-846.
- Sarapirom, S., Yu, L.D., 2021, "Low-pressure and atmospheric plasma treatments of sunflower seeds", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 406, pp. 126638.
- Singh, H., Jassal, R.K., Kang, J.S., Sandhu, S.S., Kang, H., Grewal, K., 2015, "Seed priming techniques in field crops-A review", *Agricultural Reviews*, Vol. 36, Nr. 4, pp. 251-264.
- Şakalak, H., Yılmaz, K., Gürsoy, M., Karaman, M., 2020, "Roll-to roll initiated chemical vapor deposition of super hydrophobic thin films on large-scale flexible substrates", *Chemical Engineering Science*, Vol. 215, pp. 115466.
- Şimşek, B., Karaman, M., 2020, "Initiated chemical vapor deposition of poly (hexafluorobutyl acrylate) thin films for superhydrophobic surface modification of nanostructured textile surfaces", *Journal of Coatings Technology and Research*, Vol. 17, Nr. 2, pp. 381-391.
- Tripathy, A., Kumar, A., Sreedharan, S., Muralidharan, G., Pramanik, A., Nandi, D., Sen, P., 2018, "Fabrication of low-cost flexible superhydrophobic antibacterial surface with dual-scale roughness", *ACS Biomaterials Science & Engineering*, Vol. 4, Nr. 6, pp. 2213-2223.
- Woodward, I., Schofield, W.C.E., Roucoules, V., Badyal, J.P.S., 2003, "Super-hydrophobic surfaces produced by plasma fluorination of polybutadiene films", *Langmuir*, Vol. 19, Nr. 8, pp. 3432-3438.

- Yasuda, H., Wang, C.R., 1985, "Plasma polymerization investigated by the substrate temperature dependence", *Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition*, Vol. 23, Nr. 1, pp. 87-106.
- Zahoranová A., Hoppanová L., Šimončicová J., Tučeková Z., Medvecká V., Hudecová D., Kaliňáková B., Kováčik D., Černák M., 2018, "Effect of cold atmospheric pressure plasma on maize seeds: enhancement of seedlings growth and surface microorganisms inactivation", *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Vol. 38, Nr. 5, pp. 969-88.