

## Nişasta Bazlı Köpük Tabakların Hidrofobik Malzemelerle Kaplanması

Yunus Emre Kısaç , Mustafa Kemal Uslu 

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya

Geliş Tarihi (Received): 20.06.2022, Kabul Tarihi (Accepted): 23.12.2022

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): mkuslu@akdeniz.edu.tr (M.K. Uslu)

☎ 0 242 310 2458 📠 0 242 310 6306

### Öz

Hafif ve ucuz olması nedeniyle geliştirilmiş polistiren (EPS) tabaklar gıdaların ambalajlanması ve servisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat çevre üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı dünyanın pek çok yerinde kullanımı yasaklanmaya veya kısıtlanmaya başlanmıştır. Son yıllarda biyobozunur köpük tabak üretimi üzerine pek çok çalışma yapılmaktadır. Nişasta bazlı köpük tabaklar biyobozunur olması ve yeterince mekanik dirence sahip olması açısından büyük umut vadetse de suya karşı yeterince direnç gösterememesi, ticari olarak kullanımının yaygınlaşmasındaki en önemli engeldir. Bu çalışmada buğday nişastası, buğday-patates nişastası karışımı gliksal ile çapraz bağlandıktan sonra nişastanın %7'si kadar buğday lifi eklenerek köpük tabaklar üretilmiştir. Köpük tabaklar polilaktik asit (PLA), polikaprolakton (PKL) ve polimetil metakrilat (PMMA) çözeltileri kullanılarak kaplanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, kaplama malzemelerinin köpük tabakların yüzeyinde 30-40 µm kalınlığında bir katman oluşturduğunu ve tabak yüzeyini daha pürüzsüz bir hale getirdiğini göstermiştir. Buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların ortalama yoğunluğu  $0.120 \pm 0.01$  g/cm<sup>3</sup> olup buğday nişastasından üretilen tabaklarınkinden ( $0.157 \pm 0.02$  g/cm<sup>3</sup>) daha düşük olduğu bulunmuştur. PKL ve PLA ile buğday nişastasından, PLA ve PMMA ile buğday-patates nişastasından üretilen tabakların kaplanması, tabakların yoğunluğunu değiştirmemiştir. PLA ve PMMA ile kaplanan köpük tabakların kontrole göre sırasıyla 12 ve 18 kat daha az su emdiği bulunmuştur. PMMA ile kaplanan, buğday-patates nişastasından üretilen tabakların 300 dakika sonra sadece %2.3 oranında su emmesi özellikle su içeriği yüksek gıdaların ambalajlanması için uygun olduğunu göstermiştir. Simüle toprak altında PKL ile kaplanan tabaklar 42. günde, PLA ile kaplananlar 84. günde parçalanarak toprağa karıştığı bulunmuştur. PMMA ile kaplan tabakların 84. günde başlangıçtaki tabak ağırlığının %12.2'sinin parçalanmadan kaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Köpük tabak, Nişasta, Polikaprolakton, Polilaktik Asit, Polimetil metakrilat

### Coating Starch-Based Foam Trays with Hydrophobic Materials

#### ABSTRACT

Expanded polystyrene (EPS) trays are widely used for food packaging and serving because they are light and inexpensive. However, their use has been banned or restricted in many parts of the world due to its negative effects on the environment. In recent years, many studies have been carried out on the production of biodegradable foam trays. Although starch-based foam trays are promising in terms of being biodegradable and having sufficient mechanical resistance, the most important obstacle in their commercial use is that they are not sufficiently resistant to water. In this study, foam trays were produced by adding wheat fiber at a ratio of 7% of starch after wheat starch or mixture of wheat-potato starch was cross-linked with glyoxal. Foam trays were coated by using solutions of polylactic acid (PLA), polycaprolactone (PKL), and polymethyl methacrylate (PMMA). Scanning electron microscope images showed that coating materials formed a 30-40 µm thick layer on the surface of foam trays and making the surface of trays smoother. The average density of foam trays produced from wheat potato starch was  $0.120 \pm 0.01$  g/cm<sup>3</sup>, which was lower than that of trays produced from wheat starch ( $0.157 \pm 0.02$  g/cm<sup>3</sup>). The coating of trays produced from wheat starch with PKL and PLA, and wheat-potato starch with PLA and PMMA did not change the density of trays. Foam trays coated with

PLA and PMMA absorbed 12 and 18 times less water than control trays, respectively. The trays made of wheat-potato starch coated with PMMA absorbed only 2.3% of water after 300 minutes, showing that they could be particularly suitable for packaging foods with a high water content. Trays coated with PCL under simulated soil were found to break down on the day 42, and those coated with PLA on the day 84. It was determined that 12.2% of the initial tray weight of trays coated with PMMA remained intact on the 84<sup>th</sup> day.

**Keywords:** Foam tray, Starch, Polycaprolactone, Polylactic Acid, Polymethyl methacrylate

## GİRİŞ

Son yıllarda, geliştirilmiş polistirenden üretilen tek kullanımlık köpük tabakların kullanımı sürekli artmaktadır. 2017 verilerine göre dünya genelinde çoğunluğu tabak şeklinde olmak üzere yıllık yaklaşık 8.5 milyon ton civarında geliştirilmiş polistiren bazlı ambalaj ürünleri üretilmektedir [1]. Polistirenin doğada parçalanması için yüzyıllar geçmesi gerekmekte ve tek kullanımlık bu köpük ürünlerin geri dönüşümü de pek mümkün olmamaktadır [2]. Ayrıca bu tabakların yoğunluğu çok düşük olduğu için çöp toplama merkezlerinden rüzgarla farklı yerlere taşınmakta ve özellikle akarsu ve denizlere ulaşması durumunda sucul canlıları tehdit etmektedir. Bu nedenle ABD’de kıyıya yakın 100’ün üzerinde şehirde, Fransa, İngiltere, Çin, Finlandiya, Norveç, İsveç, İzlanda, İrlanda, Lüksemburg, Yeni Zelanda ve Tunus gibi birçok ülkede de geliştirilmiş polistiren kullanımı kısıtlanmış veya yasaklanmıştır [3]. Bu ürünlerin sebep olduğu çevre kirliliği sorunu yenilenebilir kaynaklardan biyo-bozunur köpük ürünler üretilmesi konusunda yapılan çalışmalara öncülük etmektedir. Biyo-bozunur köpük ürün üretimi konusunda üzerinde en çok çalışılan hammaddelerden birisi nişastadır. Nişasta, yenilenebilir ve biyo-bozunur olmasının yanında ucuz ve doğada bol miktarda bulunan hammaddelerden biridir. Nişasta bazlı köpük tabaklar istenilen şekilde bir kalıp içerisinde pişirilerek üretilmektedir [4–6]. Kalıp içerisinde nişasta-su süspansiyonu pişerken buharlaşan su, köpüksü yapının oluşmasını, son ürünün yoğunluğunun ve termal iletkenliğinin azalmasını sağlamaktadır.

Mısır, buğday, patates ve manyok gibi farklı bitkilerden elde edilmiş nişastalardan, nişasta bazlı köpük ürünler üretilmiştir. Granül boyutları ve amiloz/amilopektin oranındaki farklılıklardan dolayı nişasta kaynağının, köpük yapı üzerinde önemli etkiye sahip olduğu bildirilmiştir [7, 8]. Nişasta ve çeşitli doğal lifler uygun miktarlarda kullanılarak mekanik özellikleri önemli düzeyde iyileştirilmiş nişasta bazlı biyo-kompozit köpük ürünler elde edilebilmektedir. Nişasta ve doğal lifin (selüloz) kimyasal yapısının birbirlerine benzer olması iyi bir uyumluluk ve güçlü bir etkileşim göstererek biyo-kompozit üründe iyi bir stres aktarımı sağlamaktadır [9]. Doğal lifler, nişastadan daha yüksek kristallığe sahip olduğu ve daha az higroskopik olduğu için %5-15 arasında lif ilavesi biyo-kompozit köpük ürünlerin suda çözünürlüğünü ve su emme miktarını da azaltmaktadır [10, 11].

Nişastanın çapraz bağlanmasıyla şişme gücünün, çözünürlüğünün, su bağlama kapasitesinin ve hidrofilik özelliklerinin önemli düzeyde azalmasından dolayı çapraz bağlama, nişastanın suya karşı direncini artırmak için uygun bir yöntemdir. Glioksal ( $C_2H_2O_2$ ) ve

glutaralaldehit ( $C_5H_8O_2$ ) gibi dialdehitler nişastanın hidroksil gruplarıyla reaksiyona girerek nişastayı çapraz bağlayabilmektedir. Uslu ve Polat [6] tarafından yapılan bir çalışmada nişastanın glioksal ile çapraz bağlanması sonucunda nişastadan üretilen köpük ürünlerin su absorpsiyonunun ve yoğunluğunun belirgin şekilde azaldığı ve esnekliğin arttığı belirtilmiştir.

Polilaktik asit (PLA), termal ve mekanik özellikleri petrol bazlı polimerlerden olan polietilenterafitalat (PET) ve polistirene (PS) benzeyen [12], yüksek mekanik mukavemeti, mükemmel ısı şekillendirme kabiliyeti, biyo-bozunur olması nedeniyle biyo-bozunur ambalaj üretiminde en önemli hammaddelerden biridir. PLA bu özelliklerinden dolayı bazı çalışmalarda köpük tabakların fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır. Bergel ve ark. [13] patates nişastasından ürettikleri köpük tabakları %2, 4 ve 6 konsantrasyonlarındaki PLA çözeltileri ile kaplanmış ve kaplanmamış tabaklara göre PLA ile kaplanmış tabakların su emme miktarlarının önemli düzeyde azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca PLA çözeltilerinin konsantrasyonları arttıkça köpük tabakların su emme miktarının azaldığını bulmuşlardır. Mısır nişastasından hazırlanan filmler %6’lık PLA çözeltisi ile kaplandığında, filmlerin nem absorpsiyonunun %41 azaldığı ve gerilmeye mukavemetinin ise %47 artırdığı kayıt edilmiştir [14]. Pirinç kabuğu(%80) ve nişastadan üretilen (%20) kompozitlerin PLA ile kaplanması su absorpsiyon kapasitesini düşürdüğü ve örneğin hidrofobikliğini artırdığı bildirilmiştir [15].

Polikaprolakton (PKL), yüksek hidrofobik karaktere sahip, lineer ve alifatik bir polyester yapısında biyo-bozunur bir polimerdir. Petrol kaynaklı  $\epsilon$ -kaprolaktonun halka açılımı polimerizasyonu ile üretilmektedir. Preechawong ve ark. [16] tapyoka nişastası ile PKL’yi karıştırarak sıcak kalıpta hibrit köpükler üretmişlerdir. 25°C ve %42 bağıl nemde 7 gün boyunca su absorpsiyon testinden sonra PKL içermeyen köpük ürünlerin %127 oranında su emdiğini, süspansiyondaki nişastanın ağırlığının %30’u kadar PKL içeren köpük ürünlerin ise %77 oranında su emdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca PKL eklenmesinin köpük ürünün mekanik özellikleri üzerine de olumlu bir etki oluşturduğunu bulmuşlardır.

Polimetil metakrilat (PMMA), metil metakrilat monomerlerinden oluşan termoplastik, optik olarak saydam, darbelere karşı dayanıklı, ucuz ve kolay şekillendirilebilen bir polimerdir. PMMA toksik olmadığı için gıda ile temas eden yüzeylerde kullanılması FDA tarafından onaylanmıştır. Ayrıca biyomedikal alanında da PMMA’dan yararlanılmaktadır [17].

Farklı nişasta kaynakları kullanılarak, değişik kaynaklardan elde edilen lifler katılarak, balmumu, hidrojenize nebati yağ eklenerek, kaolin, montmorillonite, çinko oksit nanoparçacıkları [8], kalsiyum karbonat, yumurta kabuğu gibi dolgu maddeleri ilave edilerek [18] ve balmumu gibi hidrofobik maddelerle kaplanarak [19] nişasta bazlı köpük tabakların suya karşı direncini artırmak pek çok çalışmaya yapılmasına rağmen istenilen düzeyde başarı sağlanamamıştır. Bu çalışmada su içeriği yüksek gıdaların ambalajlanmasında kullanılabilir, suya karşı mukavemetli biyobozunur köpük tabakların üretilmesi hedeflenmiştir.

## MATERYAL ve METOT

### Materyal

Köpük tabak üretiminde kullanılan buğday ve patates nişastası Cargill Tarım ve Gıda San. Tic. A.Ş. (İstanbul, Türkiye)'den, buğday lifi Smart Kimya Tic. ve Danışmanlık Ltd. Şti. (İzmir, Türkiye)'den, guar gam INCOM A.Ş. (Mersin, Türkiye)'den, nişastanın çapraz bağlanmasında kullanılan glioksal ve tabakların kaplanmasında kullanılan PKL Merck KGaA (Darmstadt, Almanya)'dan, PLA FKur Kunstsoff GmbH (Willich, Almanya)'den, PMMA LG Chem. (Seul, Güney Kore)'den, benzen ve kloroform Interlab Laboratuvar Ürünleri San. ve Tic. A.Ş. (İstanbul, Türkiye)'den temin edilmiştir.

### Nişastanın Glioksal ile Çapraz Bağlanması

Glioksal ile muamele için 2 litrelik bir şişe içerisine buğday (750 g) veya buğday (375 g)-patates (375 g) nişastası tartılmış ve üzerine 1390 mL saf su eklenerek %35'lik süspansiyon hazırlanmıştır. Hazırlanan süspansiyona hacimsel olarak %1 oranında (21.4 mL) glioksal (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) mikropipetle eklenmiş ve reaksiyonun tamamlanması için manyetik karıştırıcı ile 24 saat karıştırılmıştır. Çapraz bağlama işleminden sonra süspansiyon +4°C'de 4 saat bekletilerek nişastanın çökmesi sağlanmıştır. Çöken nişastanın üzerinde kalan glioksal-su karışımı gaz yıkama şişesi kullanılarak çekilmiş ve nişasta üstüne tekrar su eklenerek karıştırılmıştır. Bu işlem 3 defa tekrarlanarak serbest glioksalın uzaklaşması sağlanmıştır. Son yıkama işleminden sonra %35'lik nişasta süspansiyonu elde edilecek şekilde çapraz bağlanmış nişastanın üzerine su eklenmiştir.

### Tabakların Üretimi

Tabak üretimi Polat ve ark. 2013'te [20] verilen yöntem modifiye edilerek yapılmıştır. Bir behere 120 g %35'lik çapraz bağlanmış buğday veya buğday-patates nişastası süspansiyonu tartılıp üzerine nişastanın %7'si (2.94 g) kadar buğday lifi ve nişastanın çökmesini önlemek amacıyla %0.5'i (0.21 g) kadar guar gam eklenerek blender ile homojen hale gelene kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan bu karışımlar, değişken kalıplı köpük tabak pişirme makinesinin dikdörtgen kalıbına (20x12x3.5cm) dökülerek pişirilmiştir. Buğday nişastasından üretilen köpük tabaklar (B) 210°C'de 450 saniye pişirilerek,

buğday-patates nişastasından üretilen tabaklar (P) 205°C'de 420 saniye pişirilerek üretilmiştir.

### Tabakların Kaplanması

PKL çözeltisi (%10'luk) 500 mL kloroform içerisinde 50 g PKL çözülerek, %10'luk PLA çözeltisi 1000 mL kloroform içerisinde 100 g PLA çözülerek, %25'lik PMMA çözeltisi 1000 mL benzen içerisinde 250 g PMMA çözülerek hazırlanmıştır.

Köpük tabaklar, hazırlanan çözeltilerle aspiratörlü kabin içerisinde fırça ile sürme yöntemiyle kaplanmıştır. Her bir kaplama malzemesinden tabaklar üzerine kuru bazda 2.25 g olacak şekilde uygulanmıştır.

### Taramalı Elektron Mikroskop Altında Görüntüleme

Örneklerden alınan 1 cm<sup>2</sup>'lik parçalar kesilip üzeri kaplama cihazında (Polaron SC7620, Quorem Technologies, Birleşik Krallık) 150 A° kalınlığında altın-paladyum alaşımı ile kaplanmıştır. Daha sonra taramalı elektron mikroskopu (Zeiss Leo 1430 SEM, Oberkochen, Almanya) yardımıyla tabak yüzey ve kesiti görüntülenmiştir. Kaplama kalınlıkları kesit görüntüleri, kaplanmış yüzeydeki gözenek sayısı ve çapı yüzey görüntüleri incelenerek bulunmuştur

### Yoğunluk

Köpük tabakların taban kısmından 100x25 mm boyutlarında dikdörtgen şeklinde parçalar kesilmiş ve parçaların kalınlıkları bir mikrometre ile ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır. Kesilen parçaların ağırlıkları, hacmine bölünerek tabakların yoğunlukları tespit edilmiştir.

### Yüzde Su Emme Miktarı

Yüzde su emme miktarı değerini belirlemek için tabaklar tartıldıktan sonra 25°C'de 1000 mL saf su içerisine 1 dakika batırılmıştır. Daha sonra tabaklar sudan çıkarılmış ve üzerindeki fazla su kâğıt havlu yardımıyla alınmış, 9 dakika oda koşullarında bekletildikten sonra tekrar tartılmıştır. Son örnek ağırlıkları ile başlangıç örnek ağırlığı arasındaki fark tabak başlangıç ağırlığına bölünüp yüzle çarpılarak tabakların yüzde su emme miktarı değerleri hesaplanmıştır [6].

### Su Emme Hızı

Tabakların su emme hızını tayin etmek için tartılan tabak örnekleri üzerine hacminin %70'i kadar saf su konulmuştur. Tabakların suya karşı dirençlerine göre ölçüm periyotları ve sayıları belirlenmiştir. Ölçüm sırasında tabak içerisindeki su dökülmüş, fazla su kâğıt havlu yardımıyla uzaklaştırılmış ve tabakların ağırlıkları ölçülmüştür. Kontrol örneklerinde 5 dakika sonra 1 kez, PKL ile kaplı tabaklar 10 dakikalık periyotlarla 3 kez, PLA ile kaplı tabaklar 30 dakikalık periyotlarla 5 kez, PMMA ile kaplı tabaklar 1 saatlik periyotlarla 5 kez tartılmıştır. Son örnek ağırlıkları ile başlangıç örnek ağırlığı arasındaki fark tabak başlangıç ağırlığına bölünmüş ve bu değerlerin zamana karşı grafiği çizilmiştir [21].

## Simüle Toprak Altında İzleme

Tabakların simüle toprağa gömülerek izlenmesi Rosa ve ark. [22] göre yapılmıştır. Ağırlıkça %23 kum, %23 hayvan gübresi, %23 toprak ve %31 distile su içeren 300 g test düzenekleri hazırlanmıştır. Köpük tabaklardan kesilen örneklerin başlangıç ağırlıkları ölçülmüş ve simüle edilmiş topraklara gömülmüştür. Ağırlık ölçümleri parçalanma hızına göre günlük, haftalık ve aylık olarak yapılmıştır.

## İstatistiksel Analiz

Tabak üretimi ve kaplama uygulaması 2 tekerrürlü ve analizler 2 paralelli olarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar varyans analizi (ANOVA) ile incelenmiştir. Varyans analizi, "SAS for Windows V9" istatistik paketi kullanılarak yapılmıştır.

## BULGULAR ve TARTIŞMA

### Taramalı Elektron Mikroskop Altında Görüntüleme

Hidrofobik malzemelerle kaplanmış olan çapraz bağlı buğday ve buğday-patates nişastaları karışımından üretilen köpük tabaklara ait SEM yüzey görüntüleri Şekil 1'de kesit görüntüleri ise Şekil 2'de verilmiştir. Yüzey SEM görüntülerinde buğday nişastasından üretilen köpük tabakların yüzeyinde, buğday-patates nişastasından üretilen tabaklara göre daha fazla çatlaklara ve gözeneklere sahip olduğu görülmektedir. Kaplama malzemeleri köpük tabakların yüzeylerini daha pürüzsüz bir hale getirmiştir. Kaplama malzemeleri üzerinde de 5 µm den daha küçük çapta çok sayıda gözenek olduğu görülmektedir. Ayrıca PKL ile kaplanan yüzeylerde çatlaklar ve 15-20 µm çaplarında yer yer deliklerin olduğu görülmektedir. PLC ile kaplamadaki kadar belirgin olmamak beraber PLA ile kaplanan tabakaların yüzeylerinde de çatlaklar olduğu görülmektedir.

Tabaklara ait kesit görüntülerine bakıldığında kaplama malzemelerinin 30-40 µm civarında tabakların üzerinde bir katman oluşturduğu görülmektedir.

### Yoğunluk

Yoğunluk ambalaj maliyetlerini doğrudan etkileyen önemli bir özelliktir. Günümüzde tek kullanımlık genleştirilmiş polistiren köpük (EPS) tabakların yaklaşık 0.06-0.08 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olması büyük bir maliyet avantajı sağlayarak kullanımın yaygınlaşmasına neden olmuştur. EPS tabaklara alternatif olarak üretilen biyo-bozunur tabakların yoğunluklarının kullanılan nişasta kaynağına, nişastanın çapraz bağlanıp bağlanmadığına ve katkı maddelerine bağlı olarak 0.10-0.48 g/cm<sup>3</sup> arasında değiştiği bildirilmiştir [5, 6, 16, 23]. Bu çalışmada buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların ortalama yoğunluğu 0.120±0.01 g/cm<sup>3</sup> olup buğday nişastasından üretilenden tabaklarınkinden (0.157±0.02 g/cm<sup>3</sup>) daha düşük olduğu bulunmuştur. Bunun nedeni tabakların SEM kesit görüntülerinden de görüldüğü gibi buğday-patates nişastasından üretilen tabaklardaki

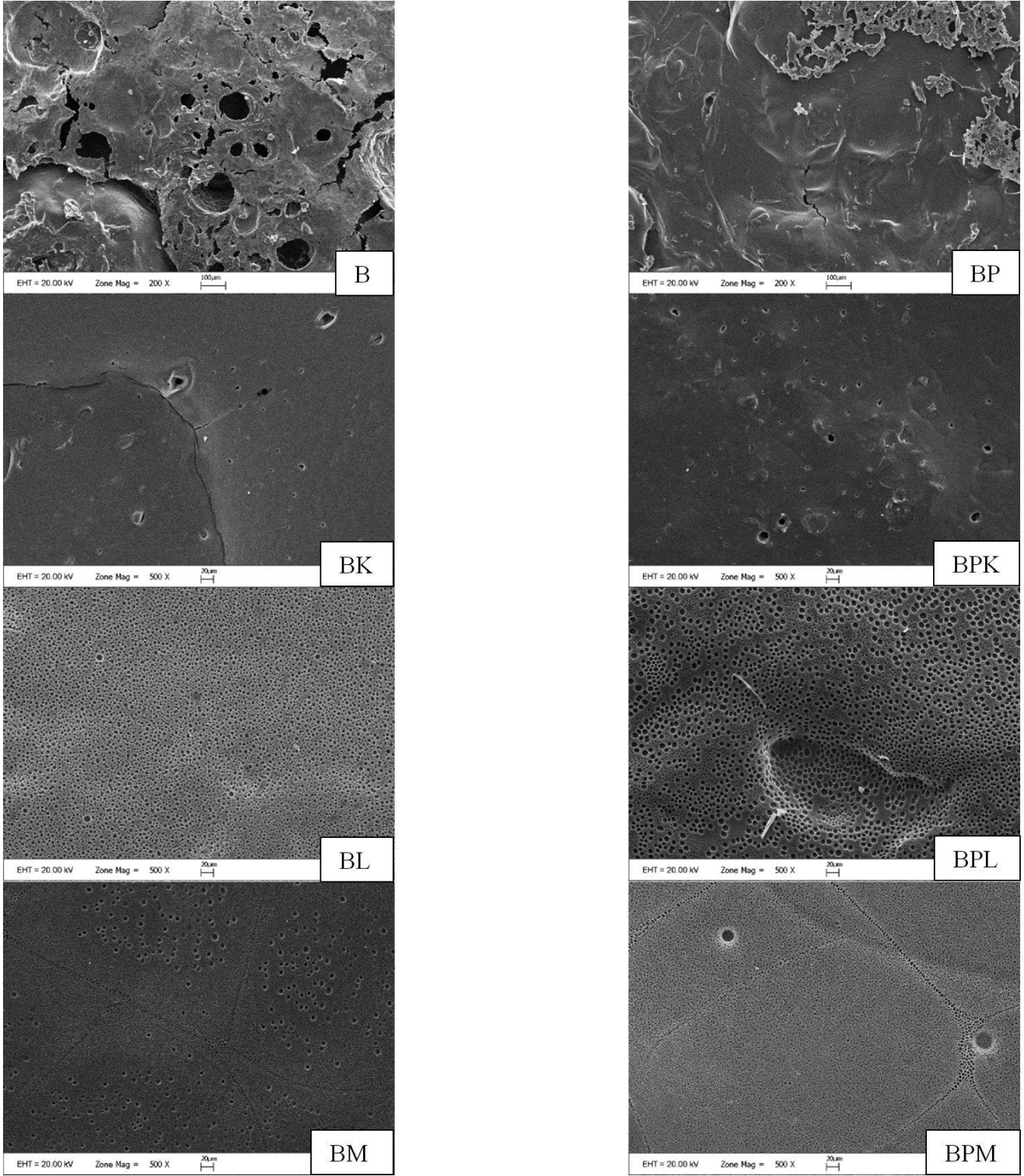
hücrelerin daha büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaplama malzemelerinden PMMA, buğday nişastasından üretilen tabakların yoğunluğunu (0.184±0.01 g/cm<sup>3</sup>), PKL ise buğday-patates nişastası tabağının yoğunluğunu (0.173±0.01 g/cm<sup>3</sup>) önemli düzeyde artırmıştır. Diğer aynı cins tabakların yoğunlukları arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Kaplama malzemelerinin gözenekli yapısı ve tabakların yüzeyinde çok ince bir katman oluşturması nedeniyle tabakların yoğunluk değerlerinde artışa neden olmadığı düşünülmektedir.

### Su Emme Miktarı

Genel olarak buğday nişastasından üretilen tabakların buğday-patates nişastasından üretilen tabaklara göre daha fazla su emdiği, kaplama malzemelerinin ise tabakların yüzde su emme miktarını önemli düzeyde (p<0.01) azalttığı bulunmuştur. Kontrol tabaklarının %130-160 arasında su emdiği tespit edilirken özellikle PLA ve PMMA ile kaplanan köpük tabakların kontrole göre sırasıyla 12 ve 18 kat daha az su emdiği bulunmuştur. Bu çalışmada PLA ile kaplanan, buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabaklar %10.3 su emerken PMMA ile kaplananların %7.5 yüzde su emdiği görülmüştür. Aygün ve ark. [8] tarafından yapılan çalışmada çapraz bağlı buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabaklara, lif, ZnO nanoparçacıkları ve susuz hidrojene yağ eklendiğinde köpük tabakların yüzde su emme miktarının %5.9'a kadar azaldığı görülmüştür. Dolgu maddesi eklemek kaplama yapmaktan daha başarılı gibi görünse de bunun kaplanmış tabakların iç ve dış kısımlarının birleştiği kenarlarda kalan açık hücrelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolgu maddeleri açık hücreleri de doldururken, bu hücrelerin PLA veya PMMA ile kaplanması mümkün olmamıştır. Kaplanmış tabaklar suya daldırıldığında tabakların su emmesi asıl olarak bu açık kalan kenar kısımlardan gerçekleşmiş, buna bağlı olarak da tabakların üzerindeki kaplama malzemesinin de zar şeklinde tabaklardan ayrıldığı gözlenmiştir. Tabak üretiminde kullanılan kalıpların kenar kısımlarında açık hücre kalmayacak şekilde tekrar dizayn edilmesi durumunda kaplamaların dolgu maddeleri ilavesinden daha başarılı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca dolgu maddesi ilavesinin tabakların yoğunluğunu önemli düzeyde artırdığı da kaydedilmiştir.

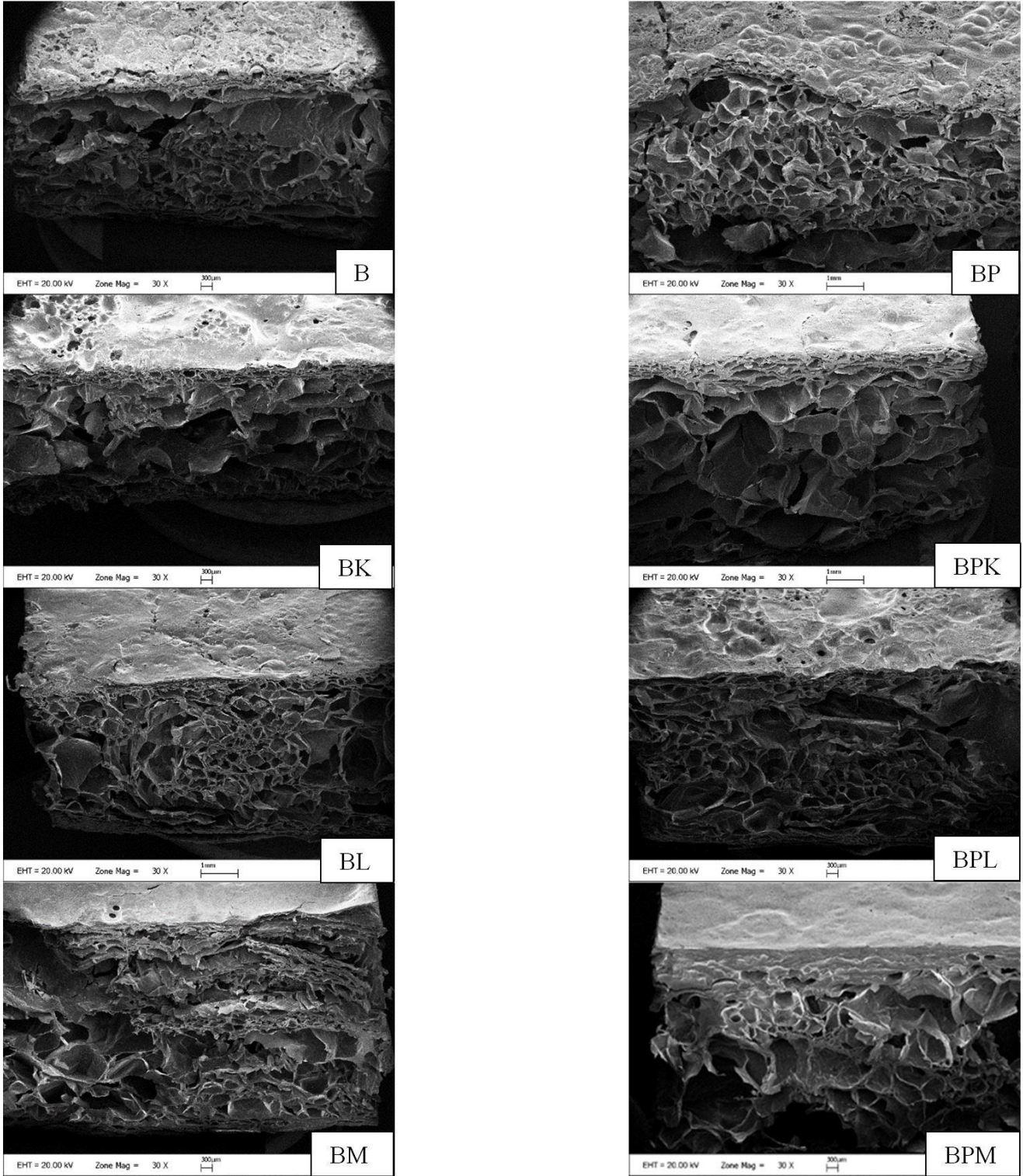
### Su Emme Hızı

Tabakların içine su konularak yapılan bu testte, buğday nişastasından üretilen tabaklar 5. dakikada %157, buğday-patates nişastasından üretilen örnekler ise %140 oranında su emdiği için su emme hızı takip edilememiştir. Polikaprolaktonla kaplamanın tabakların su emme hızını azaltmada çok başarılı olmadığı, PLA ile kaplamanın orta düzeyde, PMMA ile kaplamanın ise su emme hızını azaltmada çok başarılı olduğu bulunmuş ve tabakların su emme hızına bağlı olarak test süresi değişkenlik göstermiştir. SEM görüntülerinde PKL ve PLA kaplanan yüzeylerde görülen delik ve çatlakların tabakların su emme miktarı ve hızını artırdığı düşünülmektedir.



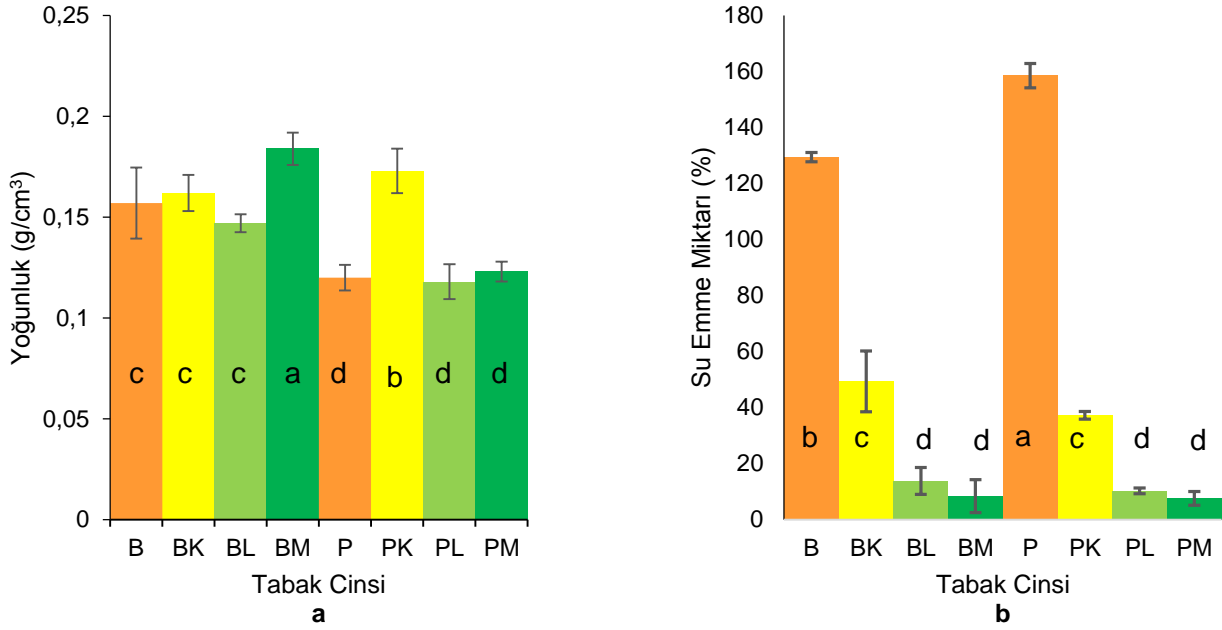
Şekil 1. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların yüzey SEM görüntüleri (B: Buğday nişastasından, P: Buğday-potates nişastasından üretilen tabakları, K: PKL ile L: PLA ile M: PMMA ile kaplanan tabakları göstermektedir.)

*Figure 1. Surface SEM images of starch-based foam trays coated with different materials (B: trays made from wheat starch, P: trays made from wheat-potato starch, K: trays coated with PKL, L: trays coated with PLA, M: trays coated with PMMA)*



Şekil 2. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların kesit SEM görüntüleri (B: Buğday nişastasından, P: Buğday-potates nişastasından üretilen tabakları, K: PKL ile L: PLA ile M: PMMA ile kaplanan tabakları göstermektedir.)

*Figure 2. Surface SEM images of starch-based foam trays coated with different materials (B: trays made from wheat starch, P: trays made from wheat-potato starch, K: trays coated with PKL, L: trays coated with PLA, M: trays coated with PMMA)*



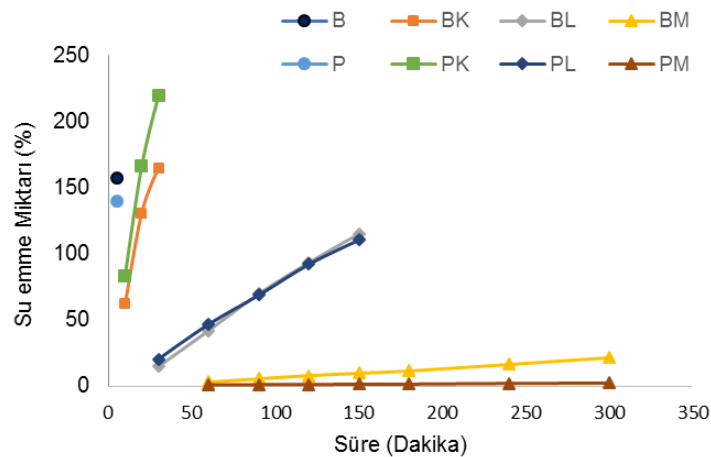
Şekil 3. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların a) yoğunluk değerleri ve b) yüzde su emme miktarları (Barlar standart sapmayı; farklı harfler ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi'ne göre ( $p < 0.05$ ) farklı olduğunu göstermektedir.)

Figure 3. Graphs represent a) density values and b) percent water absorption of starch-based foam trays coated with different materials [Bars indicate standard deviation, and different letters show that the averages differ according to the Duncan Multiple Comparison Test ( $p < 0.05$ )]

Bergel ve ark. [13] %6'lık PLA çözeltisi ile kaplanmış patates nişastasından üretilen köpük tabakların 40. dakikada ağırlıklarının %56'sı kadar su emdiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada PLA ile kaplanan tabakların 60. dakikada yaklaşık %45, 150. dakikada %110 oranında su emdiği bulunmuştur. PLA'nın su emme hızını azaltmada daha başarılı olmasının %10'luk PLA çözeltisi kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Genleştirilmiş polistiren (EPS) tabaklar genelde et ve et ürünleri gibi yüksek su içeren ürünlerin ambalajlanmasında kullanılmaktadır. Suya karşı

yeterince dirençli olmayan nişasta bazlı köpük ürünler zaman içerisinde su emerek mekanik dirençlerini kaybettiği gibi mikrobiyel bozulmaya da açık hale gelmektedir. PMMA ile kaplanan, buğday-patates nişastasından üretilen tabakların 300 dakika sonra sadece %2.3 oranında su emmesi EPS tabakların yerine kullanılabilmesine imkan sağlamaktadır. PMMA biyobozunur bir malzeme olmaması bir dezavantajdır. Ancak PMMA kaplama malzemesi toplam tabak ağırlığının sadece %10'luk kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle tabakların %90 oranında biyobozunur olduğu söylenebilir.



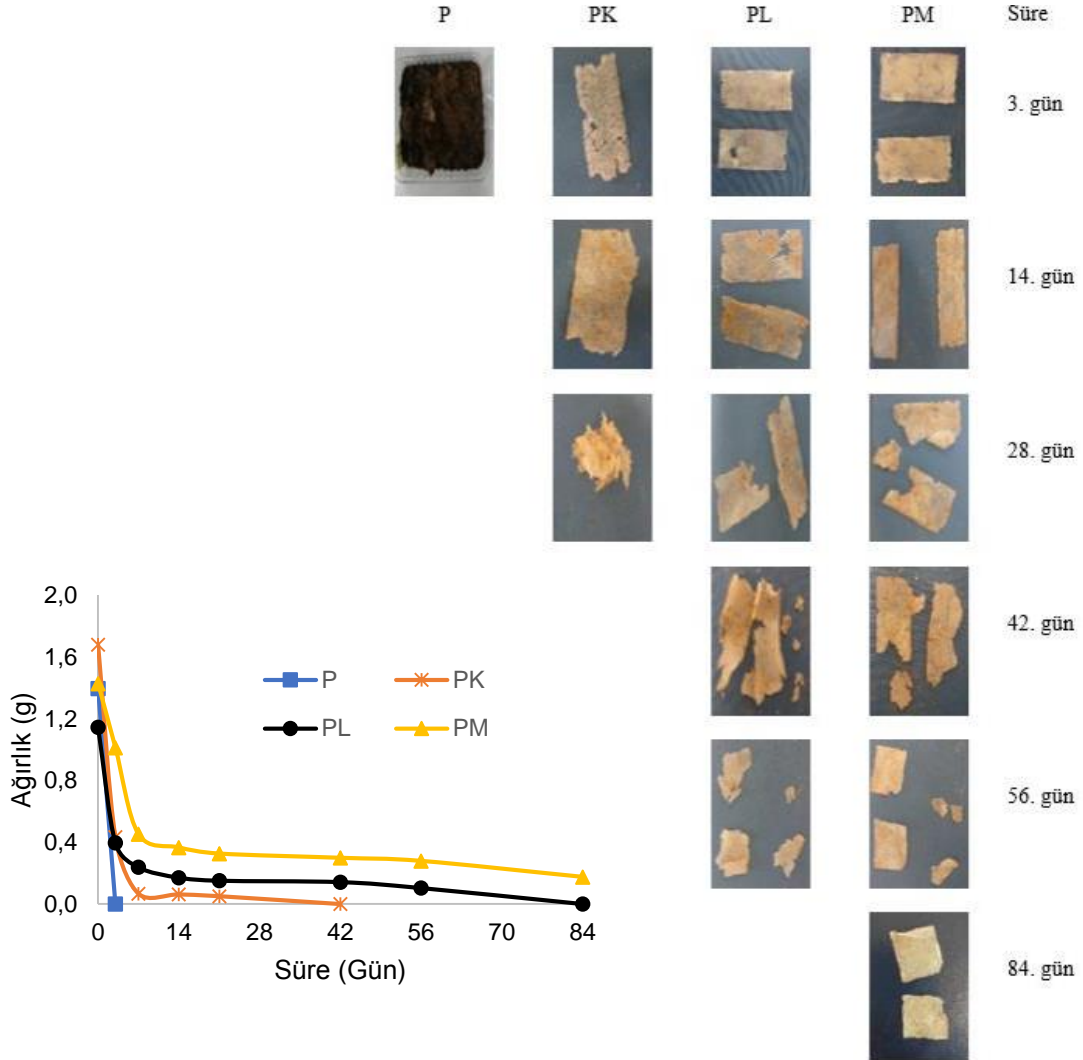
Şekil 4. Farklı malzemelerle kaplanan nişasta bazlı köpük tabakların su emme hızı grafikleri

Figure 4. Water absorption rates of starch-based foam trays coated with different materials

### Simüle Toprak Altında İzleme

Buğday-patates nişastasından üretilen tabaklardan kesilen parçaların simüle toprak altında görsel değişimleri ve tabak ağırlıklarındaki değişimler Şekil 5'te verilmiştir. Kontrol tabağının 3. günde toprağa karıştığı, kaplanmış

olan tabakların orta kısımlarının da 3. günde toprağa karıştığı, kaplama malzemelerinin film şeklinde kaldığı gözlemlenmiştir. PKL kaplama malzemesinin 42. günde, PLA kaplama malzemesinin ise 84. günde toprağa karıştığı bulunmuştur. PMMA ile kaplanan tabakların 84. günde başlangıçtaki tabak ağırlığının %12.2'sinin parçalanmadan kaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5. Simüle edilmiş topraklara gömülen buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların görsel ve ağırlık değişimleri

*Figure 5. Visual and weight changes of foam trays produced from wheat-potato starch embedded in simulated soils.*

### SONUÇ

Buğday-patates nişastasından üretilen köpük tabakların buğday nişastasından üretilenlere göre yoğunluk ve su emme hızı açısından daha üstün bulunmuştur. Hem bu çalışma hem de literatürdeki başka çalışmalar PLA ve PKL gibi biyobozunur polimerlerle kaplamanın nişasta bazlı köpük tabakların suya karşı direncini yeterli düzeyde artırmadığını göstermiştir. PMMA hem gıda ile teması uygun olması hem de su emme hızını çok yeterince düşürmesi nedeniyle nişasta bazlı köpük ürünlerin kaplanması için uygun bir malzeme olduğu

bulunmuştur. Ayrıca 84. günde simüle toprak altında PMMA ile kaplı tabağın yalnız %12.2'sinin kalması tabağın büyük oranda biyo-bozunur olduğunu göstermiştir.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından FYL-2019-4868 nolu proje ile desteklenmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] Baker, I. (2018). Polystyrene. In *Fifty Materials That Make the World*, Edited by Ashby F. Cham: Springer International Publishing, 111-115.
- [2] Franz, R., Welle, F. (2003). Recycling packaging materials. In *Novel Food Packaging Techniques*, Edited by Ahvenainen R. Elsevier, 497-518.
- [3] Dauvergne, P. (2018). Why is the global governance of plastic failing the oceans? *Global Environmental Change*, 51, 22-31.
- [4] Shey, J., Imam, S.H., Glenn G.M., Orts W.J. (2006). Properties of baked starch foam with natural rubber latex. *Industrial Crops and Products*, 24(1), 34-40.
- [5] Salgado, P.R., Schmidt, V.C, Molina, O.S.E., Mauri, A.N., Laurindo, J.B. (2008). Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 435-443.
- [6] Uslu, M.K., Polat, S. (2012). Effects of glyoxal cross-linking on baked starch foam. *Carbohydrate Polymers*, 87(3), 1994-1999.
- [7] Willett, J.L., Shogren, R. L. (2002). Processing and properties of extruded starch/polymer foams. *Polymer*, 43(22), 5935-5947.
- [8] Aygün, A., Uslu, M.K., Polat, S. (2017). Effects of starch sources and supplementary materials on starch based foam trays. *Journal of Polymers and the Environment*, 25(4), 1163-1174.
- [9] Soykeabkaew, N., Supaphol, P., Rujiravanit, R. (2004). Preparation and characterization of jute-and flax-reinforced starch-based composite foams. *Carbohydrate Polymers*, 58(1), 53-63.
- [10] Kaisangsri, N., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N. (2012). Biodegradable foam tray from cassava starch blended with natural fiber and chitosan. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 542-546.
- [11] Kaisangsri, N., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N. (2014). Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil. *Carbohydrate Polymers*, 110, 70-77.
- [12] Tawakkal, I.S.M.A., Cran, M.J., Miltz, J., Bigger S.W. (2014). A review of poly(lactic acid)-based materials for antimicrobial packaging. *Journal of Food Science*, 79, 8.
- [13] Bergel, B.F., Luz, L.M., Santana, R.M.C. (2018). Effect of poly(lactic acid) coating on mechanical and physical properties of thermoplastic starch foams from potato starch. *Progress in Organic Coatings*, 118, 91-96.
- [14] Chang, Q., Hao, Y., Cheng, L., Liu, Y., Qu A. (2020). Preparation and performance evaluation of biodegradable corn starch film using poly (lactic acid) as waterproof coating. *Surface Engineering*, 36(6), 665-670.
- [15] Spada, J.C., Seibert, S.F., Tessaro, I.C. (2021). Impact of PLA Poly(Lactic Acid) and PBAT Poly(butylene adipate-co-terephthalate) coating on the properties of composites with high content of rice husk. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, 1324-1331.
- [16] Preechawong, D., Peesan, M., Supaphol, P., Rujiravanit, R. (2004). Characterization of starch/poly( $\epsilon$ -caprolactone) hybrid foams. *Polymer Testing*, 23(6), 651-657.
- [17] Ali, U., Karim, K.J.B.A., Buang, N.A. (2015). A review of the properties and applications of poly (methyl methacrylate) (PMMA), *Polymer Reviews*, 55(4), 678-705.
- [18] Ji, M, Li, F., Li, J., Li, J., Zhang, C., Sun, K., Guo, Z. (2021) Enhanced mechanical properties, water resistance, thermal stability, and biodegradation of the starch-sisal fibre composites with various fillers. *Materials & Design*, 198, 109373.
- [19] Chaireh, S., Ngasatool, P., Kaewtatip, K. (2020) Novel composite foam made from starch and water hyacinth with beeswax coating for food packaging applications, *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 1382-1391.
- [20] Polat, S., Uslu, M.K., Aygün, A., Certel, M. (2013). The effects of the addition of corn husk fibre, kaolin and beeswax on cross-linked corn starch foam. *Journal of Food Engineering*, 116(2), 267-276.
- [21] Shogren, R.L., Lawton, J.W., Tiefenbacher, K.F. (2002). Baked starch foams: Starch modifications and additives improve process parameters, structure and properties. *Industrial Crops and Products*, 16(1), 69-79.
- [22] Rosa, D.S., Bardi, M.A.G., Guedes, C.G.F., Angelis, A.D. (2009). Role of polyethylene-graft-glycidyl methacrylate compatibilizer on the biodegradation of poly( $\epsilon$ -caprolactone)/cellulose acetate blends. *Polymer Advanced Technologies*, 20(12), 863-870.
- [23] Glenn, G., Orts, W., Nobes, G.A. (2001). Starch, fiber and CaCO<sub>3</sub> effects on the physical properties of foams made by a baking process. *Industrial Crops and Products*, 14(3), 201-212.