



Doğal SAP'lardan Biyokompozit Paket Üretimi ve Domateste Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Bilge Nur YÜCE^{*1}, Ferat TOPAL²

¹Özel Rüzgar Fen Lisesi, Bağlar, 21090, Diyarbakır, Türkiye

¹(ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8741-5254>)

²Şemsettin Karahisar Ortaokulu, Merkez, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye

²(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7855-5845>)

(Alınış / Received: 05.01.2025, Kabul / Accepted: 30.01.2025, Online Yayınlanma / Published Online: 31.01.2025)

[*yucemy@hotmail.com](mailto:yucemy@hotmail.com), ferrix4@gmail.com

Öz:

Bu çalışmada plastik kirliliğini önleyen, gıdaların daha uzun süre bozulmadan kalmasını sağlayan kompozit ambalajlar üretilmiştir. Bu ambalajlarda bozulmaya neden olan veya bozulma sırasında ortaya çıkan su moleküllerini absorplayacak doğal süper emici polimerler evsel veya fabrika atığı olan limon, greyfurt ve nar kabuklarından üretilmiştir. Karakterizasyonu yapılan bu süper emiciler biyoplastik ile karıştırılmıştır. Üretilen kompozit tabakların bozunma, su emme ve dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Değerlerin birbirine yakın olmasından dolayı 3 deney grubu ile çeri domatesler paketlenmiş ve oda koşullarında 10 gün süre boyunca test edilmiştir. Kontrol grubu polistiren tabaktaki domateslerin 6. günde bozulduğu görülürken, limon kabuğu ve greyfurt kabuğundan elde edilen süper emici polimer katkılı biyokompozit tabaklarda gıdalar sağlam bir şekilde 10 gün saklandığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

Nişasta, Biyoplastik, Süper emici polimer, Biobozunurluk, Domates

Production of Biocomposite Packages from Natural SAPs and Investigation of Their Usability in Tomatoes

Abstract:

In this study, composite packages that prevent plastic pollution and maintain food integrity for a prolonged period were produced. Natural superabsorbent polymers, which absorb water molecules that cause spoilage or are formed during spoilage in these packages, were produced from lemon, grapefruit, and pomegranate peels, which are domestic or factory waste. These characterized super-absorbents were mixed with bioplastic. The composite plates were then subjected to a series of analytical tests, including degradation, water absorption, and durability assessments. The experimental setup involved the packaging of cherry tomatoes in the plates under study, with 3 distinct groups of plates being tested under ambient conditions over a period of 10 days. It was observed that the tomatoes in the control group, which were packaged in polystyrene, deteriorated on the 6. day. However, it was determined that the tomatoes stored in the bio-composite plates, which had been treated with super-absorbent polymers derived from lemon peel and grapefruit peel, remained stable and were safely stored for a period of 10 days.

Keywords

Starch, Bioplastic, Super absorbent polymer, Biodegradability, Tomato

1. Giriş

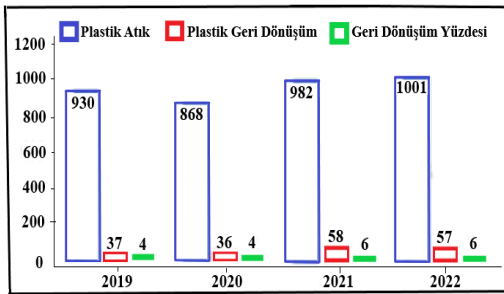
Dünya nüfusunun yaklaşık olarak % 60-70'i az gelişmiş ülkelerde ve bölgelerde yaşamakta ve bu insanlar genellikle beslenme olarak daha ucuz olan bitkisel ürünleri tüketerek yaşamlarını sürdürmektedirler. Meyve sebze olarak beslenmemize dâhil olan bitkilerin toprak üstü, toprak altı kısımları ile tohumları değişik şekillerde çiğ veya pişmiş olarak kullanılabilir. Bitkisel gıdalar genel olarak insan beslenmesinin önemli bir parçası olmasının yanında; vitamin, lif, antioksidan, kolesterol düşürücü bileşikler gibi insan sağlığı için gerekli biyolojik aktif maddelerin de önemli bir kaynağıdır (Rao ve Rao, 2007). Bu besinlerin tarladan kişilerin kullanımına gelene kadar bulaşa uğramadan ve besin değerini kaybetmeden saklanması gereklidir. Bu da ambalajla mümkün olmaktadır. Ambalajsız gıdalar pazarlarda marketlerde birçok kişinin temasına maruz kalmaktadır. Ambalajsız gıdalar insan ve çevre kaynaklı tüm risklere açık olması yanında bakterilere ve virüslere karşı savunmasız olup, insan sağlığı için bir tehdit unsuru oluşturmaktadır (Guilbert vd., 1995).

En çok kullanılan ambalaj malzemesi ucuz ve koruyucu etkisinden dolayı plastiktir. Plastik üretimi ve kullanımı 1950'li yıllardan günümüze kadar gittikçe artmıştır. Bu artışın sebebi kimya endüstrisinde meydana gelen hızlı ilerleme ve gelişmelerden kaynaklanmaktadır. Avrupa ülkelerinde, hızlı ekonomik büyüme neticesinde üretilen ürünlerin ambalaj malzemesi olarak plastiğin her alanda hayata girme sürecini hızlandırmıştır. Ambalaj malzemesi olarak plastiklerin çok kullanılmasının sebebi kolaylıkla şekil alabilmesi, esnek yapısı, dayanıklı olması, nem hava geçirmeyerek raf ömrünü uzatması yanında üretim maliyetinin düşük olması gibi avantajlara sahip olmasındandır. Fakat masum bir ambalaj ve üretim girdisi olarak görünen plastiklerin çok masum olmadığı son yıllarda yapılan çalışmaların sonuçlarıyla ortaya konulmuştur (Yakışık, 2020).

Plastik geri dönüşümü atık yönetiminde önemli bir rol oynamasına rağmen, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki geri dönüşüm kapasitelerinde dikkate değer farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin, Kuzey Amerika, Avrupa ve Çin gibi bölgeler 2019 yılında yaklaşık 33 milyon ton plastik atığı geri dönüştürürken, Latin Amerika ve Afrika da yalnızca 5.5 milyon ton plastiği geri dönüştürmüştür (OECD ve FAO, 2020).

Son dört yılın verilerine göre üretilen plastiklerin geri dönüşüm verileri Şekil 1.1'de verilmiştir (Paulsen vd., 2019). Plastiklerin geri dönüşüm yüzdeleri 2019-2020 yıllarında % 4, 2021 ve 2022 yıllarında ise % 6 olarak gerçekleşmiştir. Kullanılan plastiklerin geri dönüşüm yüzdelerinde ciddi bir artışın olmadığı Şekil 1'den görülmektedir. Bu durum okyanuslarda biriken dev plastik adalarının nedenidir. Yakılarak yok edilmeye çalışılan plastikler küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olduğu, makro ve mikro plastiklerin çevre ve insan sağlığına zararları olduğuna dair çalışmalar vardır (OECD ve FAO, 2020).

Plastiğe alternatif arayışında biyoplastikler karşımıza çıkmaktadır. Biyoplastikler, doğada kolayca çözünebilen ve



Şekil 1.1. Plastik atık ve geri dönüşüm verileri (Paulsen vd., 2019)

biyolojik kaynaklardan elde edilen doğal polimerlerdir. Ana hammadde bitkisel kaynaklardan üretiliyor olması doğa dostu olarak adlandırılmalarını sağlamıştır. Biyoplastiklerin üretimi plastik kirliliğini önlemek için küresel antlaşmaların yapıldığı günümüzde gelecek vadede sürdürülebilir bir teknolojidir. Fosil yakıt rezervlerinin azaldığı da göz önüne alınırsa biyoplastikler doğal kaynakların en verimli bir şekilde kullanımını sağlayacaktır (Sağdıç, 2023).

Tarımsal polimerlerden elde edilen biyoplastikler, genellikle polimerik bileşenler arasında molekül içi ve moleküller arası etkileşimleri ve çapraz bağları (çapraz bağlama) içeren polisakkaritler (nişasta, selüloz, pektinler, hemiselüloz) ve proteinler (kazein, zein, gluten, jelatin) gibi doğal polimerlerden türetilir ve çözücüyü tutan yarı sert üç boyutlu bir

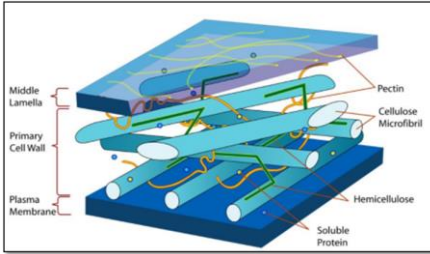
polimerik ağ oluşturur (Guilbert vd., 1995; Tharanathan, 2003).

Nişasta son zamanlarda gıda dışı uygulamalar için bir ham madde olarak önemli ilgi görmüştür ve kök ve yumruların yaklaşık % 27'si biyoyakıt üretimi ve endüstriyel işleme için ayrılmıştır (OECD ve FAO, 2020). Nişasta, coğrafi konuma, iklime ve geleceğe bağlı olarak genellikle yumrular, kök bitkilerden, tahıllardan ve meyvelerden elde edilir (Vilpoux ve Santos Silveira Junior, 2023). Mısır, patates, manyok, buğday ve pirinç dünya çapındaki en yaygın nişasta kaynaklarıdır. 2020'de dünya nişasta üretimi 90 milyon tonu aşmış ve % 95'i Asya, Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ve sadece % 3,4'ü Latin Amerika'da üretilmiştir (Vilpoux ve Santos Silveira Junior, 2023). Üretimdeki küresel artışa rağmen, gelişmekte olan ülkeler endüstriyel sınıf nişastaya sınırlı erişimle karşı karşıyadır ve bu da yerel pazarlarda rekabet dezavantajı yaratmaktadır. Ek olarak, gıda güvenliğinin endişe konusu olduğu bölgelerde, nişastanın

temel gıda olarak rolüyle endüstriyel uygulamaları dengelemek kritik öneme sahiptir. Yenilebilir ürünleri endüstriyel kullanımlara yönlendirmek, yerel gıda sistemlerini zorlayabilir. Bunu ele almak için, biyo-ambalaj üretimi için alternatifler olarak yenmeyen nişasta kaynaklarını ve patates veya manyok kabukları gibi tarımsal-endüstriyel kalıntıları keşfetmeye yönelik ilgi gün geçtikçe artmaktadır (Nithya vd., 2024). Genellikle atık olarak atılan bu yan ürünler, atıkları azaltarak ve kullanılmayan malzemelerden değer üreterek küresel ekonomik girişimlere katkıda bulunurken, gıda tedarikini tehlikeye atmadan biyoplastikler için sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır.

Üretilen nişasta bazlı biyoplastik ambalajların bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajlardan biri zayıf mekanik özellikler ise yüksek nem absorpsiyonudur. Nem absorpsiyonu, özellikle ambalaj uygulamalarında ve dış mekân kullanımlarında istenmeyen bir özellik olup, malzemenin dayanım performansını düşürebilir (Kuz, 2017). Ancak bu durumun avantaj olacağı ve artırılması gereken durumlarda vardır. Bu durumlardan biri gıdalarda bozulmaya neden olan nemin veya bozulma sırasında ortaya çıkan su moleküllerinin emilmesi ile gıdanın bozulmasını geciktirmektir. Bu nedenle nem absorpsiyonunu arttırmak için biyoplastiğe süper absorbans polimer (SAP) eklenebilir.

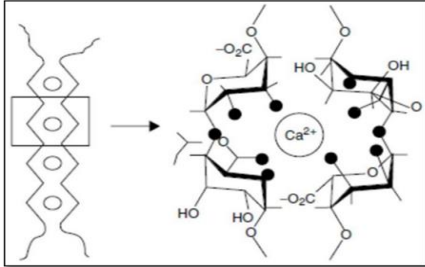
Süper emici (süper absorban - SA) polimerler akışkan maddeleri, vücut sıvılarını, çözeltileri absorbe edebilen üçboyutlu, çapraz bağlı, hidrofil ve lineer ya da dallanmış yapıdaki polimerlerdir. Süper absorbanlar (SA) hidrofilik özelliğe ve dayanıklı yapısıyla yüksek şişme kapasitesine sahip olduklarından kişisel bakım ürünlerinde, biyomedikal uygulamalarında, tarım alanında, ağır metallerin uzaklaştırılmasında ve ilaç taşıma sistemleri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sentetik polimerlerden süper absorban malzeme üretimi ucuz olmasından dolayı oldukça yaygındır. Sentetik polimerlerin zararları düşünüldüğünde doğal malzemelerden zararsız süper absorban üretimi dikkat çekmekte, bu alanda birçok bilimsel çalışma yapılmaktadır (Ar ve Küçük, 2022).



Şekil 1.2. Bitki hücresinin yapısındaki pektin (Atalay vd., 2018)

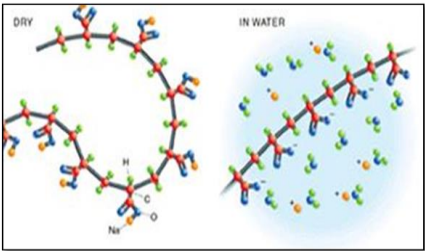
Pektin, hemiselüloz ve selülozla beraber tüm bitki hücrelerinin orta lamelinde, hücre duvarı ve hücrelerin arasında bulunan, bitkinin bütünlüğüne ve sertliğine yardımcı olan karmaşık yapı bir heteropolisakkarittir (Raji vd., 2017). Moleküler formülü $(C_6H_{10}O_7)_n$ olan pektin jelleştirme, koyulaştırma ve emülsifikasyon gibi işlemlere sahiptir (Şekil 1.2) (Atalay vd., 2018).

Dayanımı arttırmak için yapılan çapraz bağlanma reaksiyonu süper absorbanın molekül yapısını hareketsizleştirerek, malzemenin mekanik dayanımını artırır ve su içerisinde çabuk çözülmesine engel olur.



Şekil 1.3. Pektin molekülünün çapraz bağlanması (Navarro vd., 2013)

Kimyasal çapraz bağlanma malzemenin mekanik, termal ve kimyasal stabilite özelliklerinin artırılabilirdiği polimer nano yapılar tasarlamak ve modifiye etmek için kullanılabilen çok yönlü bir yöntemdir. Çapraz bağlayıcılar molekülleri birbirine bağlar, molekül ağırlığını artırır ve genellikle daha yüksek mekanik özellikler ve gelişmiş stabilite sağlar (Şekil 1.3). Bununla birlikte, çapraz bağlanma malzemenin parçalanabilirliğinin ve fonksiyonel grupların azalmasına, polimerin reolojik özelliklerini değiştirerek işlem zorluğuna yol açar (Kaçmaz ve Tiske İn, 2023).



Şekil 1.4. Çapraz bağlı SAPların su tutması (Nunes vd., 2000)

Günümüzde en çok kullanılan sentetik SAP, sodyum poliakrilat yapısındadır. SAP suyla temas ettiğinde sodyum polimerden ayrılır, geriye karboksil iyonları kalır. Bu iyonlar, negatif yüklü oldukları için birbirini iter. Böylece polimer açılır ve sodyum atomları tarafından çekilen suyu absorplar. Polimer üç boyutlu etkisi veren çapraz bağlara sahiptir. Bir milyondan daha fazla olan yüksek molekül ağırlığından dolayı suyun absorplanmasıyla çözünmek yerine jel halinde katılaşır (Şekil 1.4) (Navarro vd., 2013).

Sentetik SAP'ların hem çok yüksek absorblama kapasitesi gıda da kütle kaybına neden olacağı hem de bozunur olmaması doğaya zarar vereceği düşünüldüğünde gıdada kullanımı uygun olacak doğal süper emici polimerler incelenmiştir.

Bu çalışmada tüm bu literatürde yer alan bilgiler ışığında gıdaların ambalajlanmasında kullanılan polistiren tabaklar yerine kullanılabilecek doğal süper emici polimerler evsel veya fabrika atığı olan limon, greyfurt ve nar kabuklarından tabaklar üretilmiştir. Doğal atıklardan çapraz bağlaması yapılmış biyobozunur SAP'ların karakterizasyonu yapılmıştır. Nişasta bazlı biyoplastik tabaklara eklenmiş ve çeri domateste etkililiği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Meyve Kabuklarının Hazırlanması

Meyve kabukları evsel atıklardan ve gıda işletmelerinden toplandı. Toplanan kabuklar 1 saat % 5'lik sodyum metabisülfid ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) çözeltisinde bekletildi. Meyve kabukları güneş ışığı gören (UV içermesi için) bir kapalı ortamda kurutuldu. Kurutulan kabuklar öğütücü yardımıyla parçalandı ve öğütülmüş kabuk parçaları elenerek ince taneliler ayrıldı (Resim 2.1).



Resim 2.1. Nar, greyfurt ve limon kabukların hazırlanma aşamaları

2.2. Kabukların Çapraz Bağlanması

Ön işlem görmüş kabuklara 40 mL limon suyu ve 500 mL saf su eklenerek bir saat bekletildi. 45 dakika kaynatılarak pektin oluşumu sağlandı. Çapraz bağlama reaksiyonu için oluşan pektinlerin üzerine CaCl_2 eklendi ve 1 saat bekletildikten sonra 70°C 'de etüvde 2 saat kurutuldu. Üretilen çapraz bağlanmış kabuklar hava sızdırmaz kapaklı kavanozlar içinde deneysel işlemlerde kullanılabilecek kadar muhafaza edildi.

2.3. Doğal Süper Absorbansların Su Emme Testleri Su tutma kapasitesi (ıslatma yöntemi)

Birim zamanda su emici polimerin birim kütlesi başına su emme oranı olarak tanımlanır. Hazırlanan doğal süper absorbansların su tutma kapasitesini hesaplamak için SAP'lar tartılarak behere konuldu. Beher içindeki SAP'lar su ile doyma sağlanana kadar içerisine su ilavesi yapıldı. Eklenen su miktarı hesaplanarak, SAP'ların birim zamanda ne kadar suyu absorbe ettiği bulundu.

2.4. Biyoplastiklerin Üretimi

25 g mısır nişastası tartılmış ve üzerine 250 mL saf su eklenmiştir. Nişasta ve saf su 200 rpm'de manyetik karıştırıcıda 5 dakika karıştırıldıktan sonra karışım üzerine 30 mL 0,10 M hidroklorik asit ve 20 mL gliserin eklenerek karıştırmaya 5 dakika devam edilmiştir. Karıştırma esnasında çözelti sıcaklığının 60°C 'yi geçmemesine dikkat ederek, 30 dakika ısıtılmıştır. Çözelti pH'nı nötralleştirmek için çözelti içine 30 mL 0,10 M NaOH çözeltisi eklenmiştir. Üretilen biyoplastik çözeltisi petri kaplarına dökülerek, oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kalınlığına karar verilen ölçüde çözeltiye NaOH eklenirken içerisine önceden hazırlanan öğütülmüş ayı ayrı 5 g limon kabuğu SAP, 5 g greyfurt kabuğu SAP ve 5 g nar kabuğu SAP ile karıştırılarak 3 çeşit biyokompozit üretimi gerçekleştirilmiştir.

2.5. Doğal Süper Absorbans Katkılı Biyokompozitlerin Karakterizasyonu

Üretilen üç çeşit SAP katkılı biyoplastiklerden 3x3 cm ebatlarında kesilmiş ve bu kesitlerin NOVA5000 (Resim 2.2) setinin kuvvet sensörü ile Newton biriminden mukavemetleri hesaplanmıştır.



Resim 2.2. Gerilme mukavemet ölçümünde kullanılan cihaz (NOVA500).

2.6. Hesaplamalar

Doğal SAP'ların gıdaların bozunması sırasında oluşan nemi tutması için biyoplastik içerisinde su emme oranları hesaplanmıştır. Bu amaçla 3x3 ebatlarındaki kesitler tartılmış ve 24 saat su içerisinde bekletilerek tekrar tartılmıştır. Denklem 1'de verilen bağıntı yardımıyla doğal SAP'ların % su emme değerleri hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Su emme} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Burada m_1 , numunenin kuru ağırlığını ve m_2 , numunenin su emme işlemi sonrası, yani 24 saat suda bekletildikten sonraki tartılmış ağırlığını belirtmektedir.

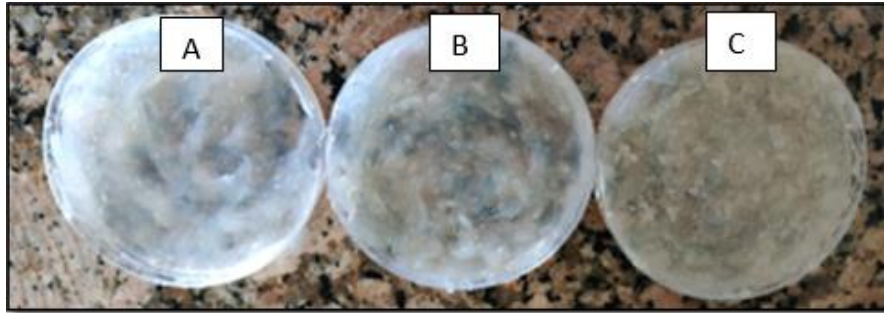
2.7. Biyoplastiklerin Biyobozunurluk Testleri

Üretilen SAP'lar ile hazırlanan biyokompozitlere domatesler yerleştirilmiş ve üzeri streç film ile kaplanmıştır. Kontrol grubu olarak ise piyasada kullanılan polistiren tabaktan eşit büyüklükte kesilen parça üzerine domates yerleştirilmiş ve streç film ile sarılmıştır. Oda koşullarında saklanan numuneler 10 gün boyunca organoleptik olarak gözlemlenmiştir.

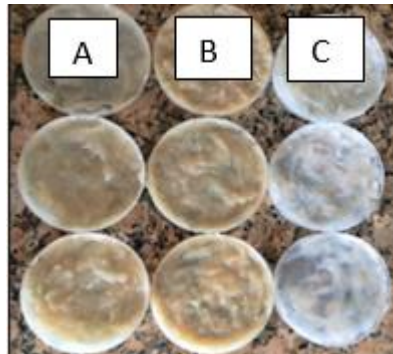
3.3. Bulgular ve Tartışmalar

3.1 Biyoplastiklerin Üretimi

Deneysel çalışmalarda biyoplastikleri sentezlemek için ön çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonunda elde ettiğimiz verilere göre en uygun bulunan formül ile biyoplastik üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen biyoplastiklere şekil verebilmek için petri kapları kullanılmıştır. Biyoplastik malzeme kullanılacak kalınlığa göre petri kaplarına dökülerek oda sıcaklığında kurutulmuştur (Resim 3.1). Biyoplastiklerin içerisine nötr olması için eklenen NaOH çözeltisi ile beraber 5 g limon kabuğu SAP eklenmiş ve beş örnek petri kabında kalıplanmıştır. Resim 3.1'den görüldüğü üzere biyoplastik malzemenin kalınlığı arttıkça şeffaflık azalmakta ve renk koyulaşmaktadır. Aynı şekilde hazırlanan biyoplastiğe 5 g greyfurt kabuğu SAP eklenirken, son ürüne 5 g nar kabuğu SAP eklenmiştir. Oda sıcaklığında aynı kalınlıkta üretilen örnekler karakterizasyon ve gıda paketlemekte kullanılmıştır (Resim 3.2) Biyoplastik malzemenin içerisine öğütülmüş SAP'lar konulduktan sonra malzemenin renginin değiştiği gözlemlenmiştir.



Resim 3.1. Biyoplastiklerin 3 farklı kalınlıkta üretilmesi (Kalınlık A:0,5cm ,B:1cm, C:1,5cm)



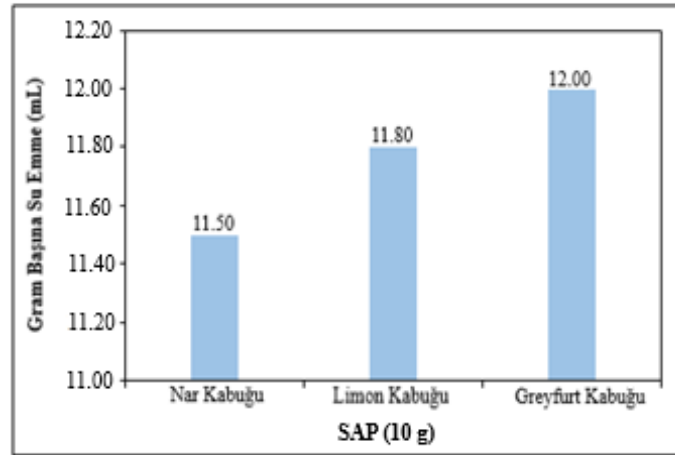
Resim 3.2. SAP katkılı biyoplastiklerin üretilmesi (C:limon SAP, B:greyfurt SAP,A:nar SAP)

3.2. Doğal Süper Absorbansların Karakterizasyonu

Limon, greyfurt ve nar kabuğundan elde edilen SAP'ların maksimum su emme oranları hesaplanarak elde edilen veriler Tablo 3.1 ve Şekil 3.1'de verilmiştir.

SAP	Miktar (g)	Doymuş su emme (mL)	Gram Başına Su Emme (mL)
Limon Kabuğu	10	118	11,80
Greyfurt Kabuğu	10	120	12,00
Nar Kabuğu	10	115	11,50

Tablo 3.1. Limon, greyfurt ve nar kabuğundan elde edilen SAP'ların maksimum su emme oranları.

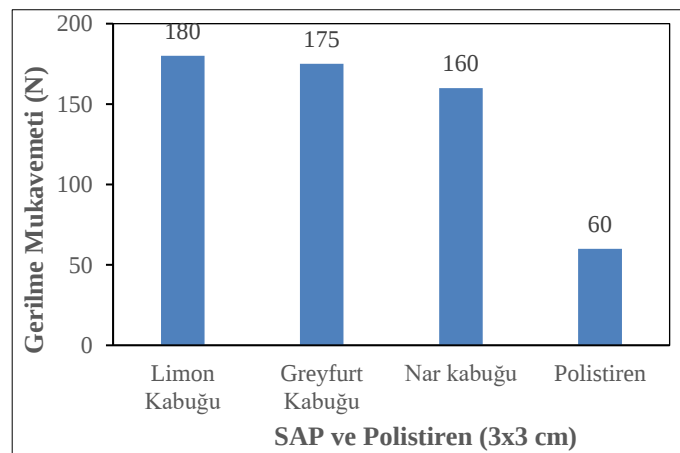


Şekil 3.1. Limon, greyfurt ve nar kabuğundan elde edilen SAP'ların maksimum su emme oranlarının grafiği

Tablo 1 ve Şekil 1'den görüldüğü üzere gram başına su emme miktarlarının greyfurt kabuğu>limon kabuğu>nar kabuğu olduğu tespit edilmiştir. Her üç SAP numunesinin gram başına su emme değerlerinin birbirine yakın olması nedeniyle biyoplastiklerde kullanılmasına karar verilmiştir. Günümüzde kullanılan süper emici polimerler sodyum akrilat, potasyum akrilat ya da alkil akrilat gibi çok küçük partiküllü çapraz bağlı poliakrilat polimerlerdir. Bu polimerler genellikle granül şeklinde kullanılırlar. Doğada tam bozulmadıkları için çevre kirliliğine neden olmaktadır (Tharanathan, 2003). Doğal polimerler sentetik polimerler gibi 100 katı sıvıyı absorbe edemez. Besinlerin fazla sıvı kaybetmesi kütle kaybına neden olacağından gıdalarda üretilen doğal polimerlerin kullanımı daha uygundur.

3.2. SAP Katkılı Doğal Süper Absorbansların Gerilme Mukavemeti

Üretilen SAP katkılı biyoplastiklerden 3x3 cm ölçülerinde örnekler kesilmiş ve NOVA5000 kuvvet sensörü ile gerilme mukavemetleri ölçülerek elde edilen veriler Şekil 3.2'de verilmiştir.



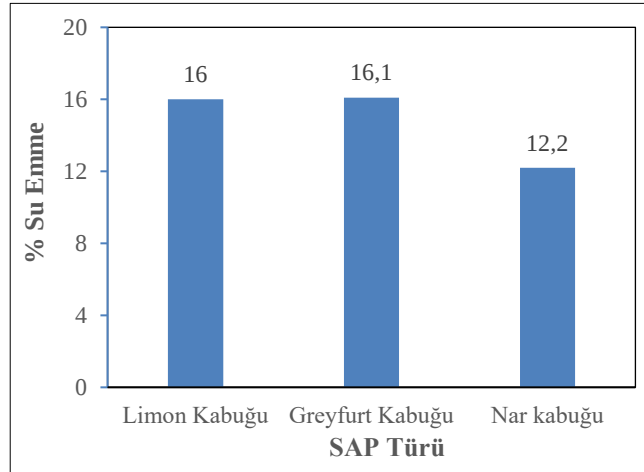
Şekil 3.2. Sap katkılı biyoplastik numunelerinin polistiren gerilme mukavemeti ile karşılaştırılması

Nişasta, iki ana yapıda düzenlenmiş glikoz ünitelerinden oluşan bir polisakkarittir: amiloz ve amilopektin. Bu moleküller, yapı ve moleküler boyutlar arasındaki oran, kökene göre değişir. Farklı kaynaklardan gelen nişastalar ve ayrıca her bir nişasta türü, kimyasal bileşimlerinde (α -glukanlar, nem, lipitler, proteinler ve fosforlanmış kalıntılar) ve bileşenlerinin yapısında (Tester vd., 2004) çeşitlilik gösterir; bu, nişasta granüllerinin yüzeyi, sertliği (Finnie vd., 2010) ve kristalinite (Ao ve Jane, 2007) ile ilişkilidir. Amiloz, amilopektinin kristalitlere paketlenmesini ve nişasta granülleri içindeki kristalin lamellerin organizasyonunu etkiler. Bu, şişme ve jelatinleşme gibi su alımıyla ilgili

özellikler açısından önemlidir (Annapoorani vd., 2016). Amiloz açısından zengin nişastalar daha fazla direnç, sertlik ve kristalleşme sunarken, amilopektin açısından zengin olanlar esnekliği artırır. Biyoplastik malzeme içinde SAP'ların kullanımı ile biopalastığın performansını önemli ölçüde etkilediği ve nişasta formülasyonlarının belirli kullanımlara göre uyarlanması sonucu elde edilen biyoplastik malzememizin gerilme mukavemetleri polistiren numunesine göre yaklaşık üç kat arttığı Şekil 3.2'den görülmektedir.

3.3. Doğal Süper Absorbans Katkılı Biyokompozitlerin Karakterizasyonu

Üretilen SAP katkılı biyoplastiklerin % su emme oranları hesaplanması için kurumuş numuneden 3×3 kesitler alınıp tartıldı. Su içerisinde 24 saat bekletilerek tekrar tartıldı. Formülde yerine konularak % su emme oranı hesaplanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. SAP katkılı biyoplastiklerin % su emme oranları

SAP katkılı biyoplastiklerin % su emme oranları limon, greyfurt ve nar kabuğundan elde edilen SAP'ların gram başına su emme değerlerine benzer şekilde veriler elde edilmiştir. SAP katkılı biyoplastiklerin % su emme oranları greyfurt > limon > nar kabuğu şeklinde olduğu Şekil 3.3'den görülmektedir.

3.4. Doğal Süper Absorbans Katkılı Biyokompozitlerin Gıdalarda Kullanımı

Kış sezonunda pahalı olduğu için ve satışta, saklamada, taşımada kolaylık olması için marketlerin paketlerde sattığı çeri domates tercih edilmiştir. Piyasada kullanılan polistiren tabaklardan deney grubu olarak üretilen biyokompozitler ebatlarında kesilmiştir. Çeri domates yerleştirilmiş ve streç film ile kaplanarak kontrol grubu oluşturulmuştur. Limon greyfurt ve nar kabuğu SAP katkılı biyokompozitlerin içine çeri domates yerleştirilmiş ve eşit miktar streç film ile kaplanmıştır. Oda şartlarında 10 gün gözlenen domatesler fotoğraflanarak izlenmiştir. (Resim 3.3).

Resim 3.3'den görüldüğü üzere polistiren tabaklarda paketlenen domateslerin 6. günde bozulmaya başladığı 10. günde ise kullanılamaz halde geldiği tespit edilmiştir. Limon SAP'ları ile üretilen tabaklarda 10 gün sonunda domatesin sağlam kaldığı görülmüştür. Greyfurt SAP'ları ile üretilen tabaktaki domateslerin sağlam olduğu sadece birinde streç filmin domatesin üzerine temas ettiği için bir miktar kararma olduğu gözlenmiştir. Nar SAP'ları ile üretilen tabaktaki domateslerin 10. gün sonunda yumuşadığı, kütle kaybına uğradığı ve yenilemez hale geldiği tespit edilmiştir. Paulsen ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada çeri domateslerin raf ömrünün uzatılması amacıyla pasif MAP teknolojisi kullanılmış, delikli ve deliksiz ambalaj filmleri ile domateslerin fizikokimyasal, duyusal ve besinsel kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Duyusal kalite analizleri sonucunda, deliksiz PE'le paketlenmiş çeri domateslerin 7°C'de en az 21 gün raf ömrüne sahip olduklarını görmüşlerdir (Paulsen vd., 2019). SAP katkılı biyoplastiklerle yaptığımız çalışmamızda domateslerin oda sıcaklığında on güne kadar saklanabilme özelliği göstermesi elde ettiğimiz biyoplastiklerin gıda ambalajı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.



Polistiren
tabak(kontrol
grubu)

10 günlük gözlem sonucunda domatesin çürüdüğü, kötü bir koku yaydığı görülmüştür.



Limon kabuğu
SAP

10 günlük gözlem sonucunda domatesin hasar görmediği sağlam kaldığı görülmüştür.



Greyfurt kabuğu
SAP

10 günlük gözlem sonucunda domatesin streç filme değen kısmında bir kararma olduğu, domatesin sağlam olduğu görülmüştür.



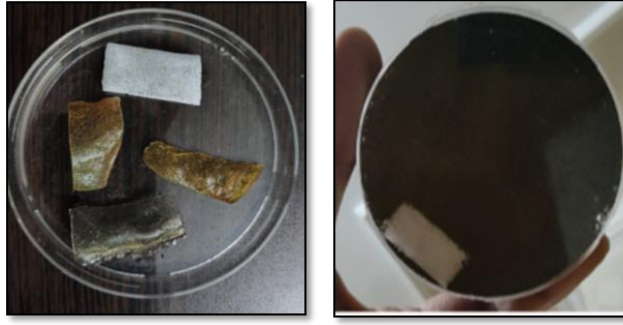
Nar kabuğu SAP

10 günlük gözlem sonucunda domatesin yumuşadığı, kütle kaybı olduğu görülmüştür.

Resim 3.3. Domateslerin saklanma süreçleri ve 10 gün sonundaki durumları

3.5. Doğal Süper Absorbans Katkılı Biyokompozitlerin Degradasyonu

Plastik kirliliğine alternatif olduğu için biyobozunurluk çalışmaları da yapılmıştır. SAP katkıli biyoplastiklerin biyobozunurluklarını gözlemek için şeffaf bir petri kabının içerisinde toprağa bırakılarak ve düzenli sulaması gerçekleştirilen SAP katkıli biyoplastiklerin 2 ay sonunda bozunmaya başladığı görülürken kontrol grubu olarak kullanılan polistiren tabak kesitinin bozunmadığı görülmüştür (Resim 3.3).



Resim 3.4. *Biyobozunurluk testi düzeneği*

Fotobozunur plastiklerin bozunma oranı ultraviyole yoğunluğuna bağlıdır ve farklı coğrafi konum, hava koşulları vb. bozunma özelliğinin etkisi üzerinde daha büyüktür; Fotobozunur plastiklerin üretim maliyeti daha yüksektir, fiyat konusunda rekabet avantajına sahip değildir. Parçalanabilir plastikler onlarca yıllık bir geliştirme sürecinden geçmiştir ve biyolojik olarak parçalanabilir plastik bu alanın başlıca kullanım alanı haline gelmiştir. Biyolojik olarak parçalanabilir plastikler arasında nişasta plastikleri parçalanabilir plastiklerin çoğunluğunu oluşturmaktadır.

Biyoplastiklerin ve plastiklerin biyobozunumu ortamdaki mikroorganizmaların bu malzemeleri moleküler yapılarını çevreye daha az zararlı humusa benzer yapıda malzeme üretecek şekilde metabolize ederek dönüştürebilmektedir. Aynı zaman da ortam pH nem oksijen içeriği ve sıcaklık gibi çevresel etkiler bioplastiklerin biyobozunumda önemli rol oynamaktadır. Farklı ekosistemlerde mikroorganizmalar enzimler aracılığıyla biyoplastiklerin biyo degradasyonunu katalizler (Imam vd., 2005; Kyrikou ve Briassoulis, 2007; Malinconico vd., 2002).

Ayrıca karbon ayak izini antlaşmalarla azaltılmaya çalışıldığı günümüzde doğal ürünlerden en biyobozunur biyoplastiklerin üretimi iyi bir çözüm olabilir. Biyoplastikler plastiklerin üretilmesi sırasında salınandan çok daha az sera gazı üretir ve bozunma süreci toprak için faydalıdır (Paulsen vd., 2019)..

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada evsel atıklar kullanılarak gıda paketlemesinde kullanılan tabakların sürdürülebilir ve biyobozunur olmasını sağlamak için mısır nişastası hammaddeli tabaklar üretilmiştir. Üretim öncesinde gıdada bozulmaya neden olan ve bozulma sırasında çıkan su moleküllerini emmesini ve bozulmayı geciktirecek süper emici polimerler üretilmiştir. Karakterizasyon çalışmalarında bulunan sonuçlar aşağıda yer almaktadır.

- Atık malzemeler evsel atıklardan seçilmiştir kullanımı olmayan ve çöpe giden limon, greyluft ve nar kabukları tercih edilmiştir. Hazırlanıp kurutulan kabukların çapraz bağlanması gerçekleştirilmiştir. Islatma yöntemi ile su tutma kapasiteleri belirlenmiştir. Greyluft, limon ve nar kabuklarından elde edilen SAPların gram başına su emme miktarları sırasıyla 12,00, 11,80 ve 11,5 mL olarak tespit edilmiştir.
- Biyoplastik eldesinde kuruma sonrası kullanılacak et kalınlıkları belirlenmiş ve üç ayrı petri kabına dökümler gerçekleştirilmiştir.
- Biyoplastik içine 5'er g öğütülmüş limon, greyluft ve nar kabuğu SAP'lar eklenerek her örnekten beşer tane küçük tabak üretilerek, biyobozunurluk testlerine tabi tutulmuş iki ay süre sonunda kontrol grubu polistiren tabakların bozunmağı, biyoplastik tabakların ise degradasyona uğradığı tespit edilmiştir. % Su emme testlerinde ise greyluft, limon ve nar SAP'ları içeren biyoplastiklerin yüzde su emme miktarları sırasıyla % 16,10, % 16,00 ve % 12,20 olarak bulunmuştur. Aynı deneysel işlemlerde polistiren tabakların su emmediği tespit edilmiştir.
- Elde edilen biyoplastikler üzerine gerilme mukavemet testleri uygulanarak sırasıyla limon, greyluft ve nar SAP'lı biyoplastiklerin m²'de 180 N, 175 N ve 160 N dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Normalde kullanılan polistiren tabakların dayanımı 60 N iken üretilen biyoplastik tabaklar üç katına kadar daha dayanıklı olduğu bulunmuştur.
- Tabakların gıdada kullanımında kış mevsiminde pahalı olan, marketlerde taşıma, depolama, tartım kolaylığı sağladığı için tabaklara konulup ambalajlanan çeri domateslerle denemeler yapılmış ve polistiren tabaklarla karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen verilere göre ürettiğimiz biyoplastik numunelerinin oda koşullarında paketlenen domateslerin on güne kadar deforme ve bozulma olmadan sağlam bir şekilde kaldığı gözlenmiştir.

Evsel veya fabrika atığı olan doğal ürünlerin ekonomiye değeri yüksek ürünler olarak kazandırılması, çöp alanlarına olan ihtiyacın azalması gibi çözümler sunacaktır. Aynı şekilde üretilen biyoplastikler ile plastik kirliliği önlenecektir. Nüfusun hızla arttığı, iklim değişikliği ile gıdanın kıymetinin anlaşıldığı günümüzde üretilen biyokompozit tabaklar gıdanın daha uzun süre bozulmadan kalmasını sağlamaktadır. Toprakla buluşması durumunda içeriği sayesinde doğal gübre olarak toprağa fayda sağlayacaktır.

Sonuç olarak, biyo-plastiklerin tek kullanımlık ambalaj ürünlerinde kullanımı, sürdürülebilir bir gelecek için atılmış önemli bir adım olabilir. Bu malzemelerin, çevre dostu olmaları, yenilenebilir ürünlerden üretilmeleri ve atıklar kullanıldığı için maliyetlerinin düşük olmasını sağladığı gibi sebeplerle ambalaj tabakları için uygun bir seçenek olabilir. Nişasta bazlı ambalaj üretiminin her aşamasının ayrıntılı bir şekilde kapsamlı bir analizi, özellikle tek kullanımlık ambalajların değiştirilmesi için daha sürdürülebilir ve ölçeklenebilir çözümlerin geliştirilmesine katkıda bulunulmalıdır.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Atalay, D., Türken, T. ve Erge, H. S. (2018). Pektin; kaynakları ve ekstraksiyon yöntemleri. Gıda / The Journal of Food, 43(1), 1002–1018. <https://doi.org/10.15237/gida.gd18089>
- [2] Annapoorani, S. G., Nivedha, R. B. ve Devi, S. Y. (2016). Development of disposable baby diaper with microencapsulated natural fragrance finish. International Journal of Applied Research, 2(7), 685–687.
- [3] Ao, Z., ve Jane, J. (2007). Characterization and modeling of the a- and b-granule starches of wheat, triticale, and barley. Carbohydrate Polymers, 67, 46–55.
- [4] Binici, H., Sevinç, A. H., Eken, M. ve Demirhan, C. (2014). Mısır koçanı katkılı ısı yalıtım malzemesi üretimi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(2), 13–26. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.242831>
- [5] Finnie, S. M., Jeannotte, R., Morris, C. F. ve Faubion, J. M. (2010). Variation in polar lipid composition among near-isogenic wheat lines possessing different puroindoline haplotypes. Journal of Cereal Science, 51, 66–72.
- [6] Guilbert, S., Gontard, N. ve Cuq, B. (1995). Technology and applications of edible protective films. Packaging Technology and Science, 18, 339–346. <https://doi.org/10.1002/pts.2770080607>
- [7] Imam, S. H., Cinelli, P., Gordon, S. H. ve Chiellini, E. (2005). Characterization of biodegradable composite films prepared from blends of poly (vinyl alcohol), cornstarch, and lignocellulosic fiber. Journal of Polymers and the Environment, 13(1), 47–55.
- [8] Kaçmaz, V. ve Tiske İnan, S. S. (2023). Enzimatik çapraz bağlama yöntemiyle üretilen yenilebilir aktif protein kaplamanın taze tavuk kanat etlerinin raf ömrü üzerine etkisi [Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- [9] Kitz, A. ve Dominguez-Villar, M. (2017). Molecular mechanisms underlying Th1-like Treg generation and function. Cellular and Molecular Life Sciences, 74(22), 4059–4075.
- [10] Kosuth, M., Mason, S. A. ve Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. PLOS One, 13(4), e0194970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>
- [11] Kuz, P. (2017). Nişasta bazlı biyoplastik malzemeler [Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- [12] Kyrikou, I. ve Briassoulis, D. (2007). Biodegradation of agricultural plastic films: A critical review. Journal of Polymers and the Environment, 15, 125–150.
- [13] Makroo, H. A., Naqash, S., Saxena, J., Sharma, S., Majid, D. ve Dar, B. N. (2021). Recovery and characteristics of starches from unconventional sources and their potential applications: A review. Applied Food Research, 1, 100001.

- [14] Malinconico, M., Immirzi, B., Massenti, S., La Mantia, F. P., Mormile, P. ve Petti, L. (2002). Blends of polyvinyl alcohol and functionalized polycaprolactone: A study of the melt extrusion and post-cure of films suitable for protected cultivation. *Journal of Material Science*, 37, 4973–4978.
- [15] Mambrey, S., Schreiber, N. ve Schmiemann, P. (2022). Young students' reasoning about ecosystems: The role of systems thinking, knowledge, conceptions, and representation. *Research in Science Education*, 52, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09917-x>
- [16] Nagaswama, R. (n.d.). Overview of disposable diaper parts and their purpose. Retrieved from <https://www.fibre2fashion.com/industryarticle/pdffiles/12/1124.pdf>
- [17] Navarro, A., Chang, E., Chang, P., Yoon, S. Y. ve Manrique, A. (2013). Separation of dyes from aqueous systems by magnetic alginate beads. *Trends in Chromatography*, 8, 31–41.
- [18] Nithya, R., Mohanrasu, K. ve Arun, A. (2024). Agro-based bioplastic production and its application. In *Biodegradable Polymers, Blends and Biocomposites* (pp. 143–164). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003304142>
- [19] Nunes, T. G., Guillot, G. ve Bordado, J. M. (2000). Low-, stray-field imaging and spectroscopic studies of the sodium polyacrylate water uptake. *Polymer*, 41(12), 4643–4649.
- [20] OECD. (2023). Global plastics outlook: Plastic waste collected for recycling (Edition 2022). OECD Environment Statistics.
- [21] OECD, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2020–2029. OECD.
- [22] OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas; OECD: Paris, France, 2020. ISBN 978-92-64-41895-0.
- [23] Paulsen, E., Barrios, S. ve Lema, P. (2019). Ready-to-eat cherry tomatoes: Passive modified atmosphere packaging conditions for shelf life extension. *Food Packaging and Shelf Life*, 22, 100395.
- [24] Rao, A. V. ve Rao, L. G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55(3), 207–216.
- [25] Raji, Z., Khodaiyan, F., Rezaei, K., Kiani, H. ve Hosseini, S. S. (2017). Extraction optimization and physicochemical properties of pectin from melon peel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 709–716.
- [26] Sağdıç, S. (2023). Meşe ağacı palamudu nişastası bazlı antibakteriyel özelliğe sahip biyoplastik nişasta/halloysit nanotüp/karanfil esansiyel yağı ve biyoplastik nişasta/halloysit nanotüp/gümüş nanopartikül kompozit materyallerin hazırlanması ve karakterizasyonu [Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- [27] Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: Past, present, and future. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 71–78. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)
- [28] Tester, R. F., Karkalas, J. ve Qi, X. (2004). Starch-composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39, 151–165.
- [29] Vilpoux, O. F. ve Santos Silveira Junior, J. F. (2023). Global production and use of starch. In *Starchy Crops Morphology, Extraction, Properties and Applications* (pp. 43–66). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2019-900584-4>
- [30] Ar, İ. ve Küçük, S. (2022). Süper emici polimer sentez yöntemleri ve uygulamaları. *Aintelia Bilim Notları*, 1(1), 15–17.
- [31] Yakışık, H. (2020). Plastik atıklar ve sürdürülebilirlik: Türkiye’de plastik atık yönetimi. *Giresun Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 9(2), 36–55.