



**Hülya Sema Köker**

Hacettepe University, hulyasemak@gmail.com, Ankara-Turkey

**Hülya Yavuz Ersan, Ayşe Aytaç**

Kocaeli University, Kocaeli-Turkey

hyavuz@hacettepe.edu.tr; aaytac@gmail.com

DOI	<a href="http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.2.1A0451">http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.2.1A0451</a>		
ORCID ID	0000-0002-7890-4259	0000-0002-5587-275X	0000-0002-9566-7881
CORRESPONDING AUTHOR	Hülya Sema Köker		

**POLİETİLEN/SODYUM KAZEİNAT KARIŞIMLARINDAN EKSTRÜZYON YÖNTEMİYLE  
BİYOBZUNUR FİLM ELDESİ, KARAKTERİZASYONU VE PLASTİKLEŞTİRİCİ  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**ÖZ**

Bu çalışmada, polietilen(PE)/sodyum kazeinat(NaCAS) karışımlarından ekstrüzyon yöntemi kullanılarak film üretimi gerçekleştirilmiştir. Mekanik test sonuçlarına göre PE ile ağırlıkça %5 ve %15 NaCAS kullanılmıştır. Plastikleştirici olarak gliserol(GLY) 0.5, 1.0, 1.5 ve 2.0 oranlarında (GLY/NaCAS-g/g) eklenmiştir. Karışımlar ekstrüderde 135°C, 100 rpm ve 3 dakika boyunca harmanlanarak pelet haline getirilmiştir ve sonrasında basınçlı kalıplama ile film üretilmiştir. Filmlerin; mekanik, ısıl, temas açısı, su buharı geçirgenliği gibi özellikleri belirlenmiştir. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri ile karakterizasyon testleri gerçekleştirilmiştir. NaCAS oranı arttıkça çekme dayanımı azalmıştır, GLY oranı arttıkça çekme dayanımı artmıştır. Kopmada uzama, 5NaCAS/PE'de artan GLY oranlarında artarken, 15NaCAS/PE de 0.5GLY oranı hariç düşmüştür. Erime sıcaklığı PE içerisine eklenen NaCAS ile azalmış, artan GLY oranında anlamlı bir değişiklik yaratmamıştır. Temas açısı, artan NaCAS ve GLY oranı ile azalmıştır. Su buharı geçirgenliği artan NaCAS oranında artmış ve 1GLY oranında daha da artmıştır. SEM görüntülerinde, 5NaCAS/PE-1GLY oranında homojen yapının oluştuğu, 15NaCAS/PE-1GLY oranında ise homojen yapının bozulduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyobozunur Film, Ekstrüzyon, Polietilen, Plastikleştirici, Sodyum Kazeinat

**PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF POLYETHYLENE/SODIUM CASEINATE  
BIODEGRADABLE FILMS OBTAINED BY EXTRUSION AND INVESTIGATION OF THE EFFECT  
OF PLASTICIZER**

**ABSTRACT**

In this study, the films were produced from polyethylene/sodium caseinate mixtures by extrusion. 5% and 15% by weight NaCAS were used according to mechanical test results. Glycerol, selected as plasticizer, used as 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 GLY/NaCAS-g/g. The films were produced at 135°C, 100rpm and for 3 minutes as pellets by extrusion followed by a heat press. The mechanical, thermal, contact angle, water vapor permeability, FTIR and SEM tests were performed. It was observed that the tensile strength decreased with increasing NaCAS, increased with increasing GLY. The elongation at break increased with increasing GLY in 5NaCAS/PE but, decreased in 15NaCAS/PE films except 0.5 of GLY. The melting temperature decreased with increasing NaCAS and no significant change observed with increasing GLY. The contact angle decreased with increasing NaCAS and GLY. WVP increased with increasing NaCAS and further increased at 1GLY ratio. 5NaCAS/PE-1GLY and 15NaCAS/PE-1GLY films indicated homogenous and non-homogenous structures in the SEM images, respectively.

**Keywords:** Biodegradable Film, Extrusion, Plasticizer, Polyethylene, Sodium Caseinate

**How to Cite:**

Köker, H.S., Yavuz Ersan, H. ve Aytaç, A., (2020). Polietilen/Sodyum Kazeinat Karışımlarından Ekstrüzyon Yöntemiyle Biyobozunur Film Eldesi, Karakterizasyonu ve Plastikleştirici Etkisinin İncelenmesi, Engineering Sciences (NWSAENS), 15(2):69-78, DOI: 10.12739/NWSA.2020.15.2.1A0451.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde artan çevre bilinci ile biyobozunur malzemelerin kullanımına olan ilgi de artmıştır. Özellikle ambalaj sektöründe kullanılan plastiklerin çevreye ve insan sağlığına olan etkileri göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür. Bu nedenle biyobozunur ve sağlığa zararlı olmayan ambalaj malzemesi üretimi için yapılan çalışmalar hızla artmaktadır [1, 2 ve 3]. Polietilen (PE) gerek fiziksel özellikleri gerekse su buharı bariyer özelliklerinin iyi olması nedeni ile dünyada ambalaj sektöründe büyük ölçüde kullanılmaktadır [4]. Ancak biyobozunur olmaması ve düşük gaz bariyer özellikleri, geliştirilmesi gereken yönlerinin başında gelmektedir. Doğal bir polimer olan proteinler ise çok fazla polar gruplara sahip olmaları nedeniyle düşük O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> gazı geçirgenliği göstermektedirler [5]. Ancak hidrofilik olmaları nedeniyle su buharı geçirgenlikleri yüksektir. Sodyum kazeinat (NaCAS), bir süt proteini olan kazeinin asit ile çöktürülmesinden sonra sodyum hidroksit (NaOH) ile etkileşiminden elde edilmektedir [5 ve 6]. Mekanik özelliklerini ve su buharı geçirgenlik özelliklerini iyileştirmek için biyopolimerler ile diğer polimerlerin harmanlanması sıkça kullanılan bir yöntemdir [7]. Polimerlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan bir diğer yöntem de organik bileşikler olan plastikleştiricilerin kullanılmasıdır. Plastikleştiriciler, polimerlere eklendiğinde serbest hacmi arttırdığından elastiklik ve uzama artmaktadır [8]. Kazeini plastikleştirmek amacıyla kullanılan plastikleştiricilerden biri de gliserol (GLY)'dür.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, PE kullanımını azaltmak ve gaz bariyer özelliklerini artırmak için biyobozunur ve sürdürülebilir bir kaynak olan kazeinat ile ekstrüderde harmanlanması gerçekleştirilmiştir. NaCAS mekanik özelliklerinin düşük olması ve su buharı geçirgenliğinin yüksek olması nedeni ile ambalaj üretimi için tek başına yetersiz kalırken, PE ile karıştırılarak yeni bir ambalaj malzemesi elde edilebileceği düşünülmektedir.

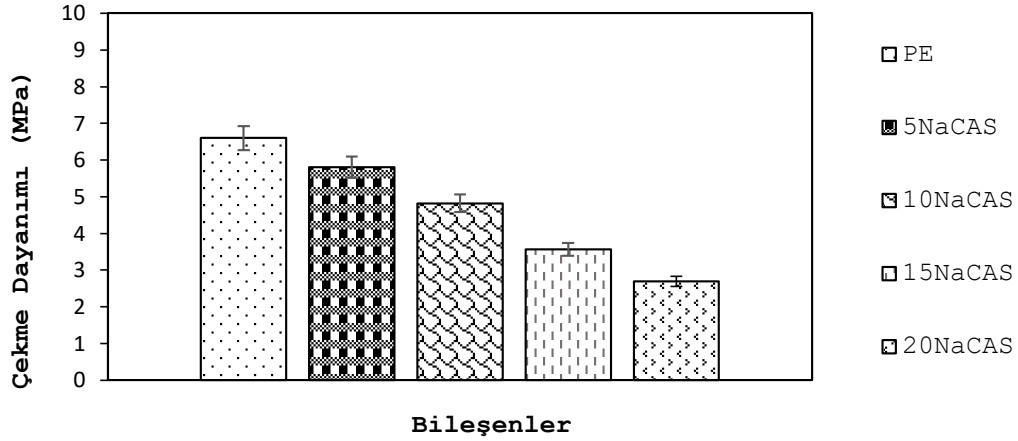
Çalışmanın amacı; sentetik bir polimer olan ve sıklıkla ambalaj üretiminde kullanılan polietilene süt proteini olan kazeinat ekleyerek insan sağlığına ve çevreye daha zararsız, kısmen biyobozunur filmler elde etmektir. Elde edilen filmlerin gıda ambalajı olarak kullanılması öngörülmektedir. NaCAS eklenmesi ile PE'nin yüksek olan O<sub>2</sub> geçirgenliği düşürülürken, kazeinatın da su buharı bariyer özelliğinin ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Üretilen filmlere iyi bariyer özellikleri sağlanırken aynı zamanda uygun mekanik ve ısıl özellikler de elde edilmek istenmektedir.

Bu çalışmada, PE'e NaCAS ekleyerek ekstrüderde pelet haline getirilmiştir ve peletlerden presleme yöntemi ile film üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu filmlerin ambalaj sektöründe kullanım özellikleri araştırılmıştır. Literatürdeki çalışmaların çoğunda; NaCAS filmlerinin elde edilmesinde çözücülerden dökme yöntemi kullanılmıştır [9 ve 10]. Ekstrüderde NaCAS/PE film eldesi ile ilgili şimdiye kadar sadece bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan protein temelli biyoplastik (DBP), %40 süt proteini, %30 nişasta, %20 GLY, %5 selüloz fiber ve %5 suyun ekstrüderde karışımı sonucu pelet eldesi ile üretilmiştir. DBP peletleri ağırlıkça %0, %5, %10 ve %20 oranlarında, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ile 180°C'de enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanmış ve elde edilen numunelerin mekanik, ısıl özellikleri incelenmiştir [11]. Bu çalışmada ise, sadece düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)/NaCAS ve GLY karışımı ekstrüderde pelet haline getirilmiş ve preste film olarak üretilmiştir. Bu nedenle

NaCAS/PE filmlerinin ekstrüder yöntemi ile üretilmesi, endüstriyel uygulama açısından önemli bir adım olacaktır.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

Çalışmada kullanılan düşük yoğunluklu polietilen, pelet halinde akış eriyik indeksi 7.7g/10dk ve yoğunluğu 0.918g/cm<sup>3</sup> olan DOW Chemical Company'den temin edilen PG7008'dir. Sodyum Kazeinat %92'den fazla protein, %6 su ve %4.5 kül oranına sahip ve toz halinde Acros firmasından; yoğunluğu 1.26g/cm<sup>3</sup>, molekül ağırlığı 92.1g/mol gliserol de Merck firmalarından elde edilmiştir. PE ve NaCAS, ekstrüderde üretim gerçekleştirilmeden önce, 80°C'de 12 saat vakumlu etüvde kurutulmuştur. Çalışmada, aynı yönde dönen çift vidalı dikey yönlü laboratuvar tipi ekstrüder, DSM Xplore 15-Mikro- harmanlayıcı ve hidrolik pres kullanılmıştır. İlk olarak ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 NaCAS oranları çalışılmış ve Şekil 1'de görüldüğü gibi çekme dayanımı test sonuçlarına göre %5 ve %15 NaCAS oranları seçilmiş ve bu oranlara GLY eklenmiştir.



Şekil 1. Farklı oranlarda NaCAS içeren PE/NaCAS filmlerinin çekme dayanımı değerleri  
(Figure 1. Tensile strength values of PE/NaCAS films including NaCAS at different ratios)

Çalışmada kullanılan karışım oranları Tablo 1'de verilmiştir. Her iki NaCAS oranında da (%5 ve %15) ağırlıkça 0.5, 1.0, 1.5 ve 2.0 GLY/NaCAS oranı kullanılmıştır. PE/NaCAS ve PE/NaCAS/GLY harmanları, 135°C sıcaklıkta 100 rpm karıştırma hızında 3 dakika boyunca çift vidalı ekstrüder kullanılarak karıştırılmıştır. Karışım sonrasında ekstrüderden alınan eriyik pelet halinde alındıktan sonra, 135°C'de 3 dakika boyunca hidrolik pres kullanılarak film üretimi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Karışım oranları  
(Table 1. Compositions of blends)

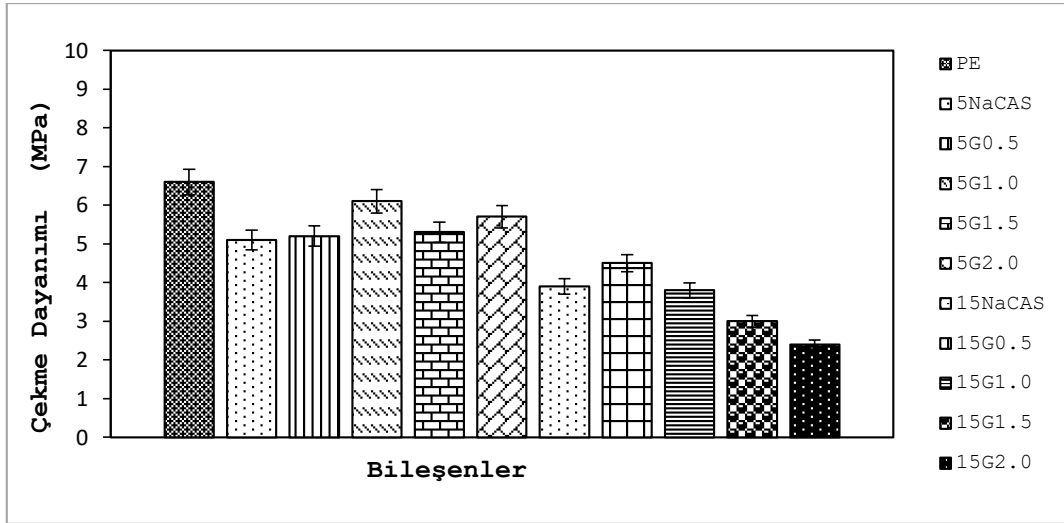
Karışım Sayısı	PE (%)	NaCAS (%)	GLY (g/gNaCAS)
1	100	-	-
2	95	5	-
3	85	15	-
4	95	5	0.5/1.0/1.5/2.0
5	85	15	0.5/1.0/1.5/2.0

Çekme testi, universal çekme cihazı (Instron 3345) kullanılarak ASTM D882 standartına göre 10 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir ve çekme dayanımı, kopmada uzama değerleri ölçülmüştür. Filmlerin ısıl

özellikleri termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Isıl kararlılıkları Mettler Toledo marka TGA cihazı kullanılarak azot ortamında 25-750°C sıcaklık aralığında 10°C/dk ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Filmlerin kristallenme ve erime özellikleri, Mettler Toledo marka DSC1 model DSC cihazı kullanılarak süpürücü gaz azot ortamında ısıtma-soğutma işlemleri birlikte gerçekleştirilmiştir. Filmlerin yapısal karakterizasyonu, Perkin Elmer Spectrum 100 model FTIR cihazı kullanılarak incelenmiştir. Örnekler ATR ünitesindeki elmas kristal üzerine yerleştirilmiş ve 650-4000 cm<sup>-1</sup> aralığında IR spektrumları alınmıştır. Yüzey morfolojisi, Quanta 400F Field Emission model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Örneklerin temas açısı ölçümleri KSV Attension Theta Lite model bir temas açısı cihazı kullanılarak 1000µl hacmindeki Hamilton şırınga aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Şırıngadan yaklaşık olarak 5µl hacminde su damlası oluşturularak damlalar film yüzeylerine bırakılmıştır. Her bir film numunesi için 5 farklı noktadan ölçüm alınmıştır. Filmlerin su buharı geçirgenlik testleri ASTM E-96 standardına göre yapılmıştır.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

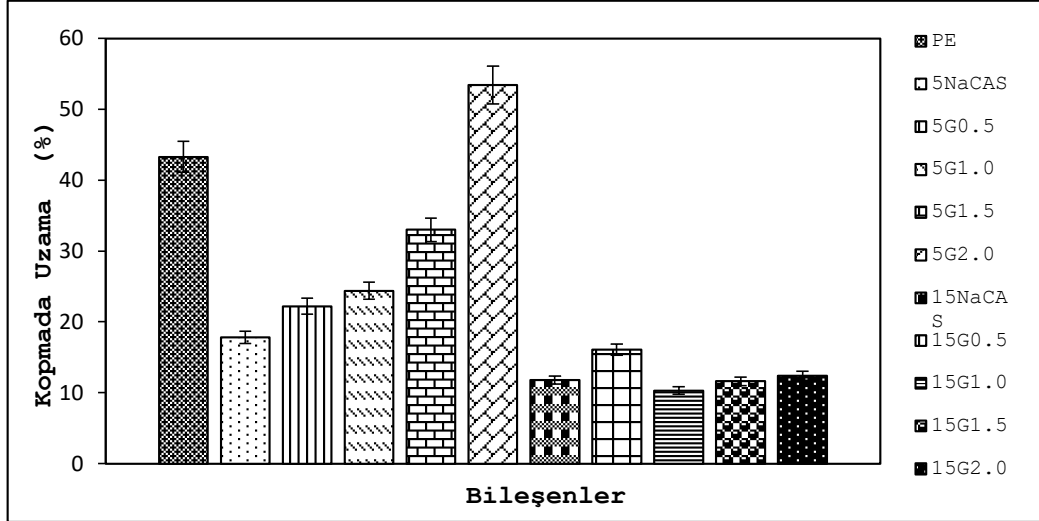
Şekil 2'de çekme testi sonrasında elde edilen çekme dayanım grafiği görülmektedir (GLY grafiklerde G ile gösterilmiştir). Çekme dayanımı, PE içerisindeki NaCAS oranı arttıkça azalmıştır. 5NaCAS/PE filmlerinde artan GLY oranında anlamlı bir değişim görülmeyp 1 GLY oranında maksimum değer olan 6.1 MPa çekme dayanımı elde edilmiştir. 15NaCAS/PE filmlerinde ise çekme dayanımı azalmış ve en yüksek çekme dayanımı en düşük GLY oranında 4.5 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 2. Farklı oranlarda GLY içeren PE/NaCAS filmlerinin çekme dayanımı

(Figure 2. Tensile strength of PE/NaCAS films including GLY at different ratios)

Şekil 3'te kopmada uzama grafiği verilmiştir. NaCAS oranı arttıkça kopmada uzama değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. 5NaCAS/PE filmlerinde, GLY miktarı arttıkça kopmada uzama değerlerinde artış gözlenmiş ve %53.4 ile en yüksek kopmada uzama değeri 2 GLY oranının kullanıldığı filmlerde elde edilmiştir. 15NaCAS/PE filmlerinde kopmada uzama değerleri, GLY miktarının artması ile azalmıştır ve 1 GLY oranının kullanıldığı filmlerde %10.3 ile en düşük kopmada uzama değerleri bulunmuştur.



Şekil 3. Farklı oranlarda GLY içeren PE/NaCAS filmlerinin kopmada uzama değerleri

(Figure 3. Elongation at break of PE/NaCAS films including GLY at different ratio)

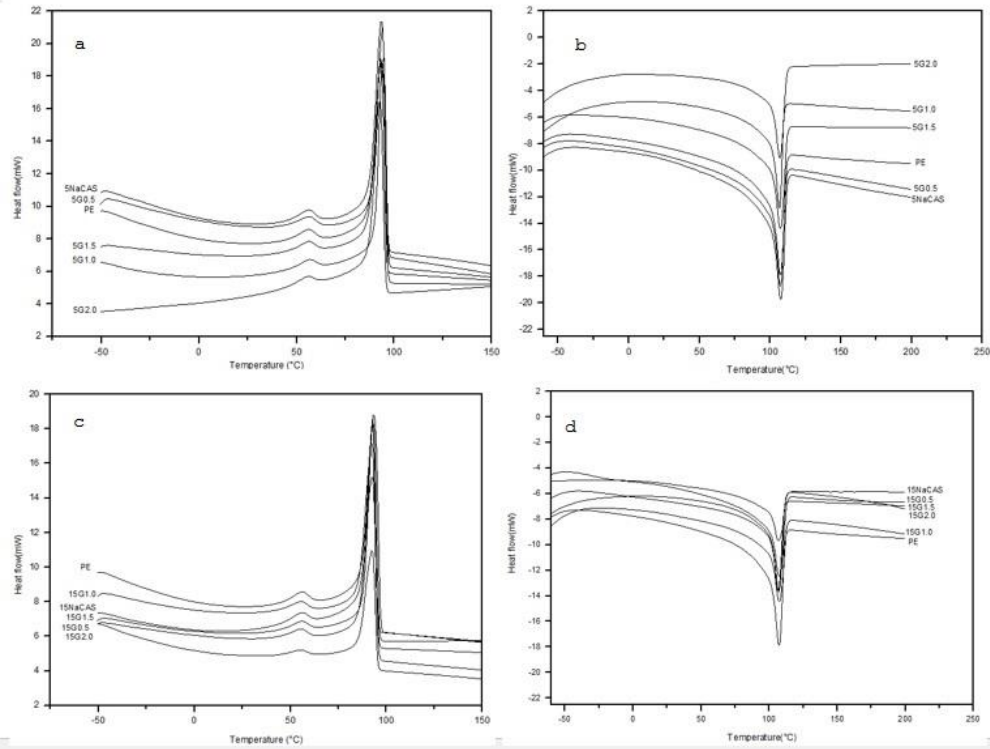
Tablo 2’de üretilen filmlerin TGA sonuçları verilmiştir. Saf PE filminin ısıl dayanımı NaCAS ve GLY eklenmesi ile azalmaktadır. PE/NaCAS filmleri TGA’da 2 basamaklı bozunma göstermektedir. İlk bozunma 200-250°C arasında protein-GLY yapısından kaynaklanmaktadır. İkinci bozunma 350-420°C arasında gerçekleşmiştir. En yüksek kül oranı, %2.4 olarak 15NaCaS/PE’de görülmüştür.

Tablo 2. Farklı oranlarda GLY içeren PE/NaCAS filmlerinin TGA sonuçları

(Table 2. TGA results of PE/NaCAS films including GLY at different ratios)

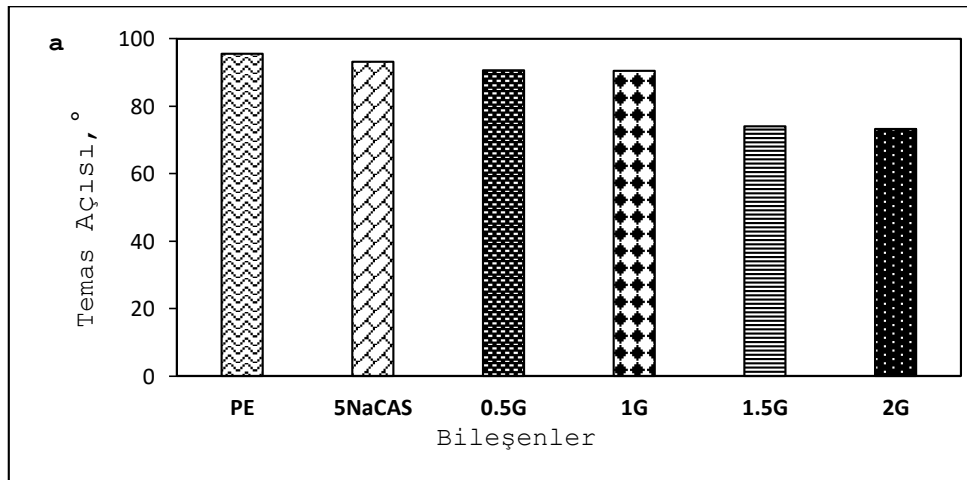
	1. Bozunma T <sub>onset</sub> (°C)	1. Max. Bozunma, T <sub>max1</sub> (°C)	2. Bozunma T <sub>onset</sub> (°C)	2. Max. Bozunma NT <sub>max2</sub> (°C)	Kül Miktarı (% wt) 750°C
PE	395.2	473.8	-	-	0.0
5NaCAS	251.6	317.9	409.7	476.0	0.9
15NaCAS	246.5	315.7	415.6	476.0	2.4
5G0.5	212.0	249.8	364.5	474.6	0.6
5G1.0	209.4	246.5	379.1	468.7	1.1
5G1.5	227.6	231.2	387.1	466.6	0.9
5G2.0	217.4	241.4	371.8	471.7	1.1
15G0.5	202.8	248.0	349.3	465.8	1.8
15G1.0	212.3	235.6	365.3	476.0	1.3
15G1.5	211.7	243.4	381.9	476.6	0.6
15G2.0	204.3	236.0	353.9	476.1	2.0

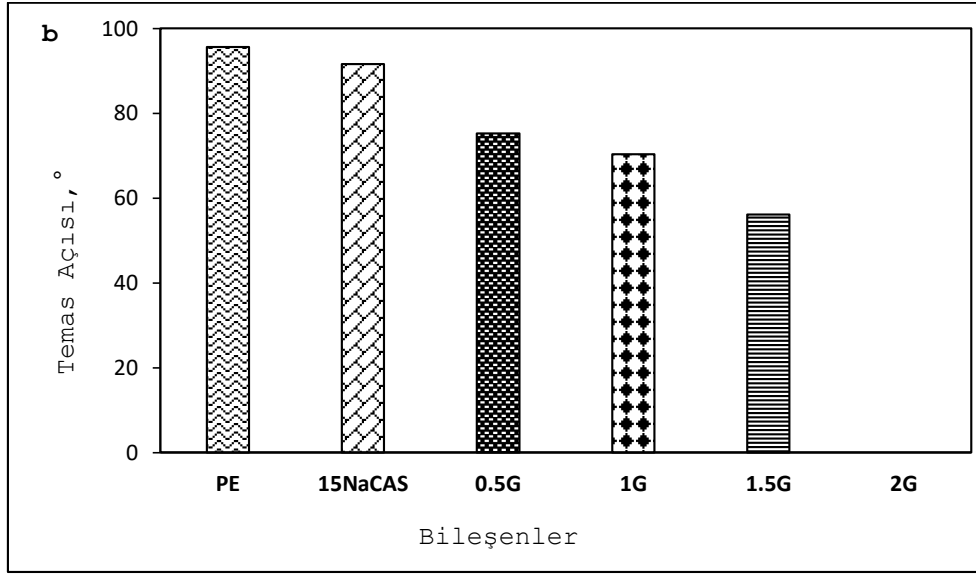
Şekil 4a ve 4b 5NaCAS/PE; 4c ve 4d 15NaCAS/PE filmlerinin sırası ile kristalizasyon ve erime eğrileri gösterilmektedir. Saf PE filminin DSC testinden elde edilen erime sıcaklığı (T<sub>m</sub>) 108°C olarak belirlenmiştir. DSC analizinde saf PE’e eklenen NaCAS miktarı ile T<sub>m</sub> değerleri 0.5-1°C arasında değişmektedir. Şekil 4b ve 4d’de görüldüğü gibi NaCAS/PE’e eklenen GLY oranları arttıkça T<sub>m</sub> anlamlı bir değişiklik göstermemiştir. Filmlerin % kristalinite değerleri genel olarak %24 ile %33 arasında değişmektedir. 15NaCAS/PE-2GLY filminde %24 ile en düşük kristalinite değeri ve 5NaCAS/PE-1GLY filminde %32.5 ile en yüksek kristalinite değeri bulunmuştur.



Şekil 4 a,b,c ve d. Farklı oranlarda GLY içeren PE/NaCAS filmlerinin DSC eğrileri  
(Figure 4 a,b,c and d. DSC thermograms for PE/NaCAS films including GLY at different ratio)

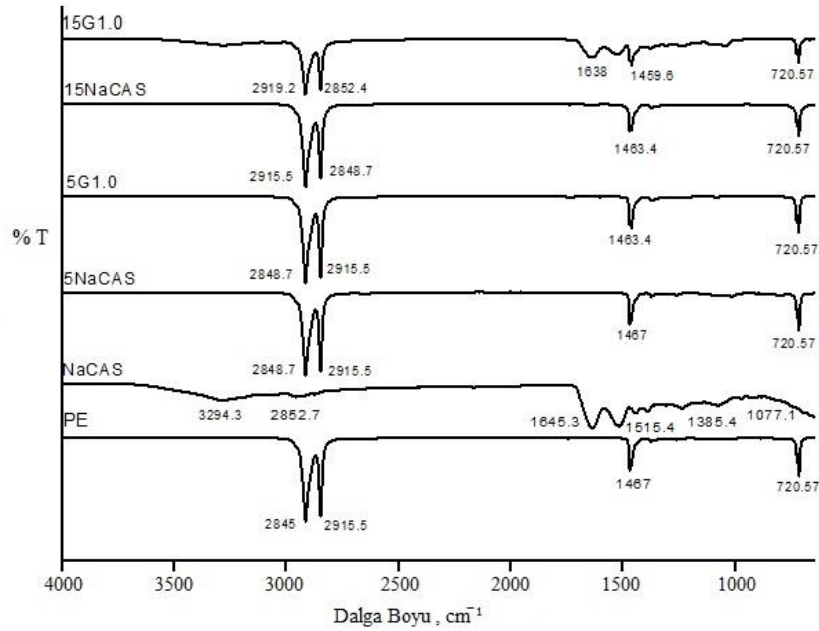
Şekil 5'te temas açısı ölçüm sonuçları verilmiştir. Saf PE'de temas açısı  $95.6^\circ$  olarak bulunmuş ve bu değer artan NaCAS oranıyla azalma göstermiştir (%5 NaCAS'da  $93,2^\circ$  ve %15 NaCAS'da  $91,6^\circ$ ). 5NaCAS/PE filminin Şekil 5a'da temas açısı sonuçlarında görüldüğü gibi, GLY miktarı arttıkça açı değeri  $90.6^\circ$ 'den  $73.2^\circ$ 'ye azalmaktadır. Benzer bir sonuç olarak 15NaCAS/PE filminde de görülmektedir. GLY miktarı arttıkça açı değeri  $75.3^\circ$ 'den  $56.2^\circ$ 'ye azalmıştır ve 2 GLY oranında filmin homojen yapısı bozulduğundan ölçüm yapılamamıştır.





Şekil 5 a ve b. Temas açısı sonuçları  
(Figure 5 a and b. Contact angle results)

Şekil 6'da filmlerin FTIR spektrumları gösterilmektedir. Kazeinin yapısındaki C=O, N-H ve -OH bağ yapıları sırası ile 1645, 1515 ve 3294  $\text{cm}^{-1}$  dalga boylarında görülmektedir. NaCAS'taki 1645,3 $\text{cm}^{-1}$ 'deki gerilme titreşimi, GLY ve NaCAS'de bulunan -OH gruplarının etkileşiminden kaynaklı 15NaCAS/PE filminde 1638 $\text{cm}^{-1}$  dalga boyuna kaydıği düşünülmektedir.



Şekil 6. NaCAS ve GLY eklenmiş PE filmlerin FTIR spektrumları  
(Figure 6. FTIR spectrums of NaCAS/PE and with 1 ratio of GLY films)

Saf PE, 5NaCAS/PE, 15NaCAS/PE, 5NaCAS/PE-1GLY ve 15NaCAS/PE-1GLY filmlerine su buharı geçirgenlik testleri yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. PE'e %5 oranında NaCAS eklendiğinde su buharı geçirgenliğinin 1.08'den 1.40'a; %15 NaCAS eklendiğinde ise 2.14'e arttığı görülmüştür. Gliserol eklenmesi ile su buharı geçirgenliğinde artış meydana gelmiştir. 5NaCAS/PE-1GLY filminde su buharı

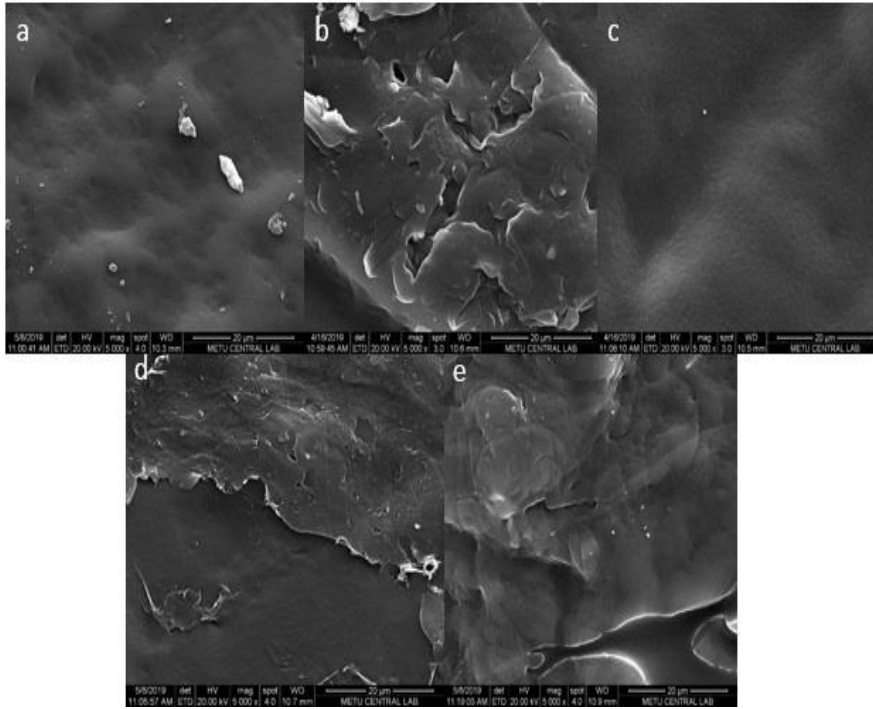


geçirgenlik değeri 5.23 iken 15NaCAS-1GLY filminde ise 10.9 olarak bulunmuştur. NaCAS'ın hidrofilik bir yapıda olmasından dolayı, filmlere gliserol eklenmesi sonucunda gliserol moleküllerinin NaCAS peptit zincirleri arasına girerek serbest hacmi artırması ve buna bağlı olarak da su moleküllerinin film içerisinde geçirgenliliği arttırması olarak açıklanabilir [6]. Bu sonuçlar temas açısı sonuçları ile paralel çıkmıştır.

Tablo 3. PE/NaCAS ve 1GLY oranında ki filmlerinin su buharı geçirgenlik sonuçları  
(Table 3. Water vapor permeability results of PE/NaCAS films including 1-GLY ratio)

Bileşenler	Su Buharı Geçirgenlik ( $\text{g m}^{-1} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ ) $\times 10^{-11}$
PE	1.08
5NaCAS	1.40
5NaCAS-1GLY	5.23
15NaCAS	2.14
15NaCAS-1GLY	10.9

Şekil 7'de filmlerin SEM görüntüleri verilmiştir. SEM mikrografları incelendiğinde, PE'e NaCAS eklenmesi ile homojen faz morfolojisinin elde edilemediği görülmektedir. 5NaCAS/PE-1GLY harmanlarının SEM mikrograflarında homojen dağılımın elde edildiği ve 15NaCAS/PE-1GLY harmanlarında ise yapraklanma olduğu görülmektedir.



Şekil 7. PE/NaCAS filmlerinin SEM görüntüleri (5000X) a) PE b) 5NaCAS c) 5G1.0 d) 15NaCAS e) 15G1.0  
(Figure 7. SEM images of NaCAS/PE films (5000X) a) PE b) 5NaCAS c) 5G1.0 d) 15NaCAS e) 15G1.0)

##### 5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada ağırlıklıca %5 ve %15 NaCAS içeren PE filmlerinin farklı oranlarda plastikleştirici eklenerek ürün özellikleri incelenmiştir. PE/NaCAS filmlerinin ekstrüzyon ve pres yöntemiyle bir ön işlem yapılmaksızın üretimi, endüstriyel uygulama açısından



sürdürülebilir ambalaj üretiminin gerçekleştirilmesi açısından kilit bir adım olmuştur. Şimdiye kadar yapılan çalışmaların çoğunda, sodyum kazeinattan film elde edilmesinde çözüldüden dökme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin, laboratuvar ölçekli olması uygulama açısından bir dezavantajdır. Çalışmanın özgün yanını, NaCAS ile PE karışımından film eldesi ve bu karışımın ekstrüder aracılığıyla yapılması oluşturmaktadır. Üretilen filmlerin karakterizasyonu için mekanik, ısıl, temas açısı, su buharı geçirgenliği, yapısal ve morfolojik analizler gerçekleştirilmiştir. NaCAS'ın PE ile karıştırılması, NaCAS'ın zayıf mekanik özelliğini geliştirirken, yüksek su buharı geçirgenliğini azaltmıştır. Çekme dayanımı, PE içerisindeki NaCAS oranı arttıkça azalmış, 5NaCAS oranında GLY miktarı arttıkça artarken, 15NaCAS oranında ise GLY miktarı arttıkça azalmaktadır. TGA'da 2 basamaklı bozunma gözlenirken, DSC'de erime sıcaklığı PE'e eklenen NaCAS'den ve artan GLY'den çok fazla etkilenmemiştir. Temas açısı PE'e eklenen NaCAS ve artan plastikleştirici oranı ile azalmıştır. Su buharı geçirgenliğinin, PE'e eklenen NaCAS ve GLY ile arttığı gözlenmiştir. 5NaCAS/PE-1 GLY oranının mekanik, su buharı geçirgenliği, temas açısı ve morfolojik özellikleri açısından NaCAS içeren filmlerde en uygun kompozisyon olduğu söylenebilir. Tüm bu bilgiler ışığında elde edilen filmlerin, paketleme alanında kullanım potansiyeline sahip olabileceği ve sürdürülebilir üretimin sağlanması açısından yenilikçi bir çalışma olacağı düşünülmektedir.

#### **TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)**

Bu çalışma KOÜ Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP, Proje No:2019-1547) Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Deneysel Çalışmalar sırasında yardımları ve desteğini esirgemeyen Bedriye Üçpınar Durmaz'a, Cansın Usluel'e, Tuba Ünügül'e ve Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Polimer Laboratuvar Araştırma grubu çalışanlarına teşekkür ederiz.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Pan, Y., Farmahini-Farahani, M., O'Hearn, P., Xiao, H., and Ocampo, H., (2016). An Overview of Bio-based Polymers for Packaging Materials. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 1(3):106-113.
- [2] Yu, L., Dean, K., and Li, L., (2006). Polymer Blends and Composites from Renewable Resources. *Prog. Polym. Sci.*, 31:576-602.
- [3] Van den Broek, L.A.M., Knoop, R.J.I., Kappen, F.H.J., and Boeriu, C.G., (2015). Chitosan Films and Blends for Packaging Material. *Carbohydrate Polymers*, 116, 237-242.
- [4] Dirim, S.N., Özden, H.Ö., Bayındırlı, A., Esin, A., (2004). Modification of Water Vapour Transfer Rate of Low Density Polyethylene Films for Food Packaging. *Journal of Food Engineering*, 63 9-13.
- [5] Audic, J.L., Fourcade, F., and Chaufer, B., (2007). Biodegradable Material Obtained from Renewable Resource: Plasticized Sodium Caseinate Films. *Thermodynamics, Solubility and Environmental Issues*. Chapter 20:1-14.
- [6] Belyamani, I., Prochazka, F., and Assezat, G., (2014). Production and Characterization of Sodium Caseinate Edible Films made by Blown-film Extrusion. *Journal of Food Engineering*, 121(1):39-47.
- [7] Visakh, P.M. and Lüftl, S., (2016). Polyethylene-based Biocomposites and Bionanocomposites. Chapter 7:279-308.



- 
- [8] Audic, J.L. and Chaufer, B., (2005). Influence of Plasticizers and Crosslinking on the Properties of Biodegradable Films Made From Sodium Caseinate. *European Polymer Journal*, 41:1934-1942.
- [9] Schou, M., Longares, A., Montesinos, Herrero, C., Monahan, F.J., O’Riordan, D., and O’Sullivan, M., (2005), Properties of Edible Sodium Caseinate Films and Their Application as Food Wrapping. *LWT*, 38, 605-610.
- [10] Chick, J. and Hernandez, R.J., (2002). Physical, Thermal and Barrier Characterization of Casein-Wax-Based Edible Films. *Journal of Food Science*, 67, Nr. 3:1073-1079.
- [11] Onwulata, C.I, Thomas, A.E., and Cooke, P.H., (2009), Effects of Biomass in Polyethylene or Polylactic Acid Composites. *J. Biobased Mater. Bio.*, 3, 172-180.