

**YOĞURDUN BOZULMASINI ALGILAYAN  
AKILLI MALZEME KULLANILARAK YOĞURT  
AMBALAJININ GELİŞTİRİLMESİ**  
**Mak. Yük. Müh. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU**  
**Doktora Tezi**  
**Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Danışman: Prof. Dr. Bülent EKER**

**2012**

T.C.  
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

YOĞURDUN BOZULMASINI ALGILAYAN AKILLI MALZEME KULLANILARAK  
YOĞURT AMBALAJININ GELİŞTİRİLMESİ

Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

BİYOSİSTEM ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. BÜLENT EKER

TEKİRDAĞ-2012

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Bülent EKER danışmanlığında, Sencer Süreyya KARABEYOĞLU tarafından hazırlanan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından. Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Prof. Dr. Poyraz ÜLGER

*İmza :*

Üye : Prof. Dr. Bülent EKER (*Danışman*)

*İmza :*

Üye : Prof. Dr. Selçuk ARIN

*İmza :*

Üye : Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER

*İmza :*

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nurşen ÖNTÜRK

*İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

**Enstitü Müdürü**

# ÖZET

Doktora Tezi

## YOĞURDUN BOZULMASINI ALGILAYAN AKILLI MALZEME KULLANILARAK YOĞURT AMBALAJININ GELİŞTİRİLMESİ

Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

Namık Kemal Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyosistem Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bülent EKER

Malzeme teknolojisinin hızla ilerlemesi çeşitli malzeme gruplarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Akıllı ve aktif malzemeler teknolojinin bu hızlı gelişiminde önemli bir yer almıştır. Bu malzemelerin kullanım alanlarının artması çeşitli pazarlarda dikkat çekmiştir. Bu alanlardan bir tanesi de ambalaj sektörüdür.

Çeşitli ambalajlama teknikleri sayesinde ürünlerin tazelik, zaman-sıcaklık, oksijen ve karbondioksit oluşumu tüketiciye haber verilmekte ve tüketici bilinçlendirilmektedir. Bu bilgiler akıllı ambalajlama teknikleriyle sağlanmaktadır.

Türkiye ve dünyada önemli besin maddeleri arasında sayılan ve fermente süt ürünü olan yoğurdun tüketiminin fazla olması ambalajlamada göz önüne alınacak unsurların en başındadır. Bu besin maddesinin bazı zararlı katkıları ile raf ömürlerinin arttırılması, bilinçlenen tüketici grubuyla birlikte doğal yoğurdun tercih edilmesini sağlamıştır. Doğal yoğurtta serumun oluşması ise bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Bu çalışmada; doğal yoğurtta oluşacak serum ile etkileşen ve sonuç olarak yüzeyinde renk değişimine neden olan akıllı ambalaj malzemesi üretilmiştir. Muhafaza kaplarının üretilmesinde kullanılacak olan akıllı ambalaj malzemesinin oluşturulmasında, polipropilen polimeri ve katkı malzemesi olarak kalsine edilmiş kaolen organik maddesi kullanılmıştır.

Üretilen akıllı ambalaj deney örnekleri üzerinde mekanik, fiziksel, ısı ve renk değişim özelliklerini belirlemek amacıyla analizler yapılmıştır. Tüm bu analizler sonucunda üretilen akıllı ambalaj malzemesinin polipropilen içerisine katılan kaolen dolgusu ile ısı özelliklerinin değiştiği, renk değişiminin olduğu, içyapıdaki kaolen dağılımının artmasıyla nem emiciliğinin arttığı saptanmıştır. Akıllı ambalaj deney örneklerinin mekanik deneylerinin sonucunda renk değişiminin artmasıyla birlikte mukavemetin arttığı, kopma uzamasının belirgin şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. Darbe deneyi sonucunda akıllı malzemelerin ise enerji emiliminin azaldığı ve malzemenin daha kırılğan olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı ambalaj, Doğal yoğurt, Kaolen, Polipropilen, Serum.

2012, 49 sayfa

# ABSTRACT

Ph.D. Thesis

## IMPROVING YOGHURT PACKAGING USING SMART MATERIALS DETECTING YOGHURT DETERIORATION

Sencer Süreyya KARABEYOGLU

Namık Kemal University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Biosystem Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Bülent EKER

Developments in the materials science technology have caused to create different kinds of material groups. Smart and active materials play a major role in rapid revolution of this technology. Increasing in the usage area of these materials has been of interest in various markets. One of the market is packaging industry.

Freshness, time-temperature and occurrence of the oxygen and carbon dioxide is reported to consumer and the consumer is made conscious by different packaging techniques. These are provided by the smart packaging processes.

More consumption of the yoghurt that is considered as an important food material and is fermented milk product in Turkey and all over the world is one major phenomenon to be taken in the account in packaging. Increase of the yoghurt's shelf life by including some harmful additives has provided that natural yoghurt is preferred by conscious consumer population. Natural yoghurt resulting serum existence is disadvantage.

In this study, smart material which has an interaction with serum in the natural yoghurt and resulting color change in the package material was produced. Through the preparation of smart material composition polypropylene thermoplastic grade has been employed and an organic material calcined kaolin has been used as an additive.

Mechanical, physical, thermal and visual characteristics of produced smart material test specimens were investigated following experimental test procedure. According to these test results after addition of the kaolin into polypropylene resin, change in thermal properties, color change on the smart package material was observed. With increase of the kaolin distribution in structure of the polypropylene moisture absorbency was observed. Resulting mechanical test of smart packaging test specimens showed that with the increase in color change in test specimens, increase in strength of packaging material and significant decrease in elongation at break was observed. As a result of impact strength test energy absorption of test specimens decreased with the increasing color change and smart packaging material showed more brittle behavior.

**Key words:** Kaolin, Natural yoghurt, Polypropylene, Serum, Smart package.

2012, 49 pages

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hazırlanan bu doktora tezinde, kalsine edilmiş kaolen organik malzemesi kullanılarak polipropilen polimer malzemesi ile yoğurdun bozulmasını algılayan ve bu algılama sonucunda renk değiştiren akıllı yoğurt kabı ambalaj malzemesi oluşturulmuştur. Oluşturulan akıllı ambalaj malzemesinin mekanik, fiziksel ve termal özellikleri incelenmiştir. Bulunan değerlerin akıllı ambalaj malzemesinin renk değişimine olan etkisi incelenmiştir..

Bu tezin hazırlanmasında engin bilgi birikimi ve tecrübeleriyle katkıda bulunan değerli iş adamı Sayın Mak. Müh. Mehmet Murat GÜR'e, , Sayın Gürhan UZUN'a ve Sayın Ceyhan COŞAR'A deneysel çalışmalarımıza engin mekanik bilgisi ve tecrübesiyle yardımcı olan Sayın İsmail EFE ve Sayın Taner AYDIN'a, malzeme temininde, bilgisayar yazılımlarında ve deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Çorlu Plastik ve Kalıp San. Tic. Ltd. Şti, Akümsan Plastik Ürünler San. ve Tic. A.Ş.'ye, İncekaralar Holding'e, Pressan Madeni Eşya San. ve Tic. A.Ş.' ye ve gerek teknik, gerekse manevi anlamda her zaman yanımda olan Prof. Dr. Poyraz ÜLGER'e, Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER'e, Yrd. Doç. Dr. Nurşen ÖNTÜRK' e, Arş.Gör. Sayın Olcay EKŞİ'ye, Arş. Gör. Onur KÜÇÜKYILDIRIM'a emeği geçen tüm hocalarıma, meslektaşlarıma ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bugüne kadar maddi, manevi her türlü desteği karşılıksız veren, sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Duygu ÖTÜN KARABEYOĞLU, annem Muazzez KARABEYOĞLU, babam Cengiz KARABEYOĞLU ve diğer aile fertlerime gönülden teşekkür ederim.

Teşekkürlerin en büyüğü tecrübeleriyle bana fikir veren, değerli hocam, ve tezin her bölümünde beni yönlendiren ve tez süresince bana bilgi ve fikirlerini esirgemedi sunan, çalışma disiplinine, hayata dair görüşlerine, fikirlerine önem verdiğim bilimsel ve sosyal anlamda desteğini esirgemeyen tez danışmanım, değerli hocam, **Prof. Dr. Bülent EKER'e** olacaktır.

**Mak. Yük. Müh. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU**

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Akışkanlık Oranı	MFR
Diferansiyel Tarama Kalorimetresi	DSC
Etilen Propilen Dien Terpolimer	EPDM
Fourier Transform Infrared	FTIR
Maleik Anhidrit	MAPP
Metil	CH <sub>3</sub>
Nanohidroksil Alüminyum Oksalat	HAO
Polietilen	PE
Polipropilen	PP
Polistrien	PS
Poli Vinil Klorür	PVC
Poli Viniliden Klorür	PVDC
Programlanabilir Lojik Kontrol	PLC
Renk Değeri	L
Renk Değişim Değeri	Δ
Taramalı Elektron Mikroskobu	SEM
Termogravimetrik Analiz	TGA
Titanyum Dioksit	TiO <sub>2</sub>
Titanyum Tetra Klorit	TiCl <sub>4</sub>

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ .....</b>	<b>10</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>16</b>
3.1 Materyal .....	16
3.1.1 Kullanılan doğal yoğurdun özellikleri.....	16
3.1.2 Polipropilen malzemesinin özellikleri .....	17
3.1.3 Kaolen malzemesinin özellikleri .....	17
3.1.4 Enjeksiyon makinesinin özellikleri .....	18
3.1.5 Akıllı ambalaj deney örneklerinin enjeksiyon edileceği kalıp .....	19
3.1.6 Deneylerde kullanılan cihazlar .....	21
3.2 Yöntem.....	21
3.2.1 Denemelerin düzenlenmesi.....	22
3.2.2 Deney çubuklarının oluşturulması.....	22
3.2.3 Çekme deneyi ile örnek malzeme gerilme tespiti.....	24
3.2.4 Darbe deney düzeneği .....	25
3.2.5 Taramalı elektron mikroskopla (SEM) örnek malzeme görüntüleri .....	26
3.2.6 Yüzey pürüzlülüğü test cihazı ile yüzey pürüzlülük tespiti.....	26
3.2.7 Sertlik tespiti.....	26



3.2.8	Nem emiciliği ölçümü .....	27
3.2.9	Isıl özelliklerinin belirlenme yöntemi.....	28
3.2.10	Akışkanlık oranı belirleme yöntemi .....	28
3.2.11	Frekans tepkilerinin belirlenmesi .....	29
3.2.12	Renk ölçümü.....	29
3.2.13	pH ölçümü .....	30
<b>4.</b>	<b>ARAŞTIRMA BULGULARI</b> .....	<b>31</b>
4.1	Çekme Deneyi Sonuçları .....	31
4.2	Darbe Deneyi Sonuçları.....	32
4.3	Taramalı Elektron Mikroskobu ile Tespit Edilen Görüntü .....	33
4.4	Yüzey Pürüzlülüğü Testi Sonuçları .....	33
4.5	Sertlik Deneyi Sonuçları .....	34
4.6	Nem Emiciliği Deneyi Sonuçları .....	35
4.7	Akıllı Ambalaj Deney Örneklerinin Isıl Özellikleri Sonuçları .....	36
4.8	Akışkanlık Oranı Cihazı ile Saptanan Sonuçlar .....	38
4.9	Frekans Tepki Sonuçları .....	39
4.10	Renk Ölçümü Sonuçları.....	40
4.11	Yoğurdun pH Değişimi Ölçümü Sonuçları.....	41
<b>5.</b>	<b>SONUÇ VE TARTIŞMA</b> .....	<b>43</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>46</b>
	ÖZGEÇMİŞ.....	49

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yoğurdun endüstriyel üretim aşamaları .....	4
Şekil 1.2. Polipropilen malzemenin oluşum şeması .....	6
Şekil 1.3. Kaolen bağ ve kristal yapısı .....	7
Şekil 3.1. Doğal yoğurt.....	17
Şekil 3.2. Vidalı enjeksiyon makinesi .....	18
Şekil 3.3. Akıllı ambalaj deney örneğinin kalıp şekli.....	19
Şekil 3.4. Erkek ve dişi kalıpların seçimi ve ana hatlarının oluşturulması.....	20
Şekil 3.5. Kalıp malzemesinin nümerik kontrollü takım tezgahına bağlanması .....	20
Şekil 3.6. Kalıbın işlenme aşaması .....	20
Şekil 3.7. Kalıp yolluklarının açılmış halı .....	21
Şekil 3.8. Enjeksiyon vidasının bölgeleri .....	22
Şekil 3.9. Kalıbın enjeksiyon makinesine indirilmesi .....	23
Şekil 3.10. Kalıbın enjeksiyon makinesine bağlanması .....	23
Şekil 3.11. Deney örneklerinin üretim aşaması .....	24
Şekil 3.12. Üretilmiş olan akıllı ambalaj deney örnekleri .....	24
Şekil 3.13. Çekme deneyi düzeneği .....	25
Şekil 3.14. Izod charpy deney düzeneği .....	25
Şekil 3.15. Taramalı elektron mikroskobu .....	26
Şekil 3.16. Yüzey pürüzlülüğü deney düzeneği .....	26
Şekil 3.17. Sertlik ölçme deney aleti .....	27
Şekil 3.18. Nem emiciliği ölçümlerinde kullanılan hassas terazi.....	27
Şekil 3.19. Diferansiyel taramalı kalorimetre deney düzeneği.....	28
Şekil 3.20. Akışkanlık oranı deney düzeneği .....	29
Şekil 3.21. Fourier transform infrared spektrofotometre (FTIR) cihazı.....	29
Şekil 3.22. Renk ölçüm cihazı .....	30
Şekil 3.23. pH ölçümü indikatörleri cihazı.....	30
Şekil 4.1. Akıllı ambalaj deney örneklerinin çekme uzama eğrisi .....	31
Şekil 4.2. Akıllı ambalaj deney örneklerinin elektron mikroskobu görüntüleri.....	33
Şekil 4.3. Akıllı ambalaj deney örneklerinin yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	34
Şekil 4.4. Akıllı ambalaj deney örneklerinin sertlik değerleri.....	35
Şekil 4.5. 140°C 'de kurutulan akıllı ambalaj deney örnekleri .....	35
Şekil 4.6. Akıllı malzeme deney örneklerinin DSC sonuçları.....	36

Şekil 4.7. Akıllı ambalaj deney örneklerinin akışkanlık oranları .....	38
Şekil 4.8. PPK0, PPK1 ve PPK2 deney örneklerinin FTIR test cihazı sonuçları.....	39
Şekil 4.9. PPK3, PPK4 ve PPK5 deney örneklerinin FTIR test cihazı sonuçları.....	39
Şekil 4.10. PPK6, PPK7 ve PPK8 deney örneklerinin FTIR test cihazı sonuçları.....	39
Şekil 4.11. Akıllı ambalaj deney örneklerinin renk ölçümü karşılaştırma sonucu.....	41
Şekil 4.12. Yoğurdun zamanla ph değişimi.....	42

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Doğal yoğurdun özellikleri.....	16
Çizelge 3.2. Petoplen MH 418 polipropilen malzeme özellikleri .....	17
Çizelge 3.3. UR-C 70/90 Kaolen malzemesinin özellikleri .....	18
Çizelge 3.4. Enjeksiyon makinesinin özellikleri .....	19
Çizelge 3.5. Deneylerde kullanılacak cihazların listesi.....	21
Çizelge 3.6. Akıllı ambalaj örneklerinin kütleli karışım oranları ve isimlendirmeleri .....	22
Çizelge 3.7. Enjeksiyon vidasının bölgelerinin sıcaklıkları .....	23
Çizelge 4.1. Akıllı ambalaj deney örneklerinin mekanik özellikleri.....	32
Çizelge 4.2. Akıllı ambalaj deney örneklerinin darbe deneyi sonuçları.....	32
Çizelge 4.3. Akıllı ambalaj deney örneklerinin yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	33
Çizelge 4.4. Akıllı ambalaj deney örneklerinin sertlik değerleri.....	34
Çizelge 4.5. Akıllı ambalaj deney örneklerinin su emiciliği .....	36
Çizelge 4.6. Deney örneklerinin endotermik özellikleri.....	37
Çizelge 4.7. Deney örneklerinin ekzotermik özellikleri.....	37
Çizelge 4.8. Akıllı ambalaj deney örneklerinin akışkanlık oranları .....	38
Çizelge 4.9. Akıllı ambalaj deney örneklerinin renk değerleri.....	40
Çizelge 4.10. Akıllı ambalaj örneklerinin yoğurt serumundan sonraki renk değerleri .....	40
Çizelge 4.11. Deneyde kullanılan yoğurdun zamanla pH değerlerinin değişimi .....	41

## 1. GİRİŞ

Plastik ürünlerin geleneksel malzemelere göre kullanım alanının artması, plastik üreticilerinin ve plastik sektörünün de hızla büyümesine yol açmıştır. Bu malzemelerin en sık kullanıldığı sektörler arasında ambalajlama, tekstil, otomobil, ev gereçleri öncülüğü elinde tutmaktadır. Plastik malzemelerin diğer malzemelere göre tercih edilmelerinin en önemli nedenleri; fiyatlarının uygunlukları, hafif olmaları, kırılmaya-bozulmaya karşı dayanıklı olmaları ve üretim kolaylıkları olarak belirtilebilir.

Plastik endüstrisindeki gelişmeler ile birlikte plastiklerden beklenen özellikler artmış ve maliyetlerin düşürülmesi ve özelliklerinin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Plastik malzemelerin ısı özelliklerinin, dayanımlarının, fiziki ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, maliyetlerinin düşürülmesi için dolgu maddeleri kullanılmıştır. Kullanım yerlerine göre aktif/aktif olmayan dolgu maddeleri olarak adlandırılan bu malzemeler plastiklerin özelliklerini arttırdıkları gibi bazı özelliklerinin de düşmelerine neden olmuşlardır.

Son zamanlarda sıkça duyulmaya başlanan akıllı malzemeler; bulunduğu ortamın durumuna göre özelliklerini, şekillerini ve renklerini değiştirerek bulunduğu konuma cevap verme özelliklerine sahiptirler. Akıllı malzemeler, demir ve türevi olan maddeler için uzun zamandır çalışılmış olmasına rağmen plastik malzemeler için daha yeni keşfedilmeye başlanmıştır. Makarna düzeninde olan plastikler diğer malzemelere göre daha üstün özelliklere sahiptir. Bu makarna düzeni sadece çekmeye karşı değil, sıcaklığa, pH değişimine, bulunduğu ortamın nemine, elektrik akımlarına vb. durumlara tepki gösterebilir. Plastikler içlerine katılan diğer maddeler ile birlikte kompozit akıllı malzeme oluşturabilirler. Bu dolgu malzemeleri plastiklerin asıl özelliklerini değiştirmeden bir uyarıcı haline gelmesini sağlar.

Plastikler Ambalaj sektöründe gün geçtikçe daha önemli bir yer almaktadır. Sıvı yiyecek maddelerinden katı yiyeceklere, her alanda plastik ambalajlar kullanılmaktadır. Teknolojinin de ilerlemesiyle birlikte plastik malzemeler olumlu gelişmeler göstermiştir. Sadece yiyeceklerin saklandığı yer olması yerine birer uyarıcı olarak hayatımızda önem kazanmaya başlamıştır. Akıllı malzemelerin kullanımı da gıda sektörüne ambalajlama olarak girmiştir. Ambalaj sektöründen hızla yükselen beklentiler arasında, ambalajların gelişmiş bariyer özellikleri, ısı kararlılıkları, dış etkenlere karşı yüksek dirençlilikleri, hafif, ucuz ama dayanıklı olmaları, daha iyi görünüme sahip olmaları vb. gösterilebilir. Diğer yandan ürünün

izlenebilirliği, gıda ürününün tüketilmeden önceki durumunun izlenmesi gıda sağlığı açısından da önemlidir.

Çevre kirliliğinin önlenmesi için ambalaj atıklarının minimum düzeye indirilmesi gerekmektedir. Plastik malzemelerin geri dönüşüm özelliği atıkların minimum düzeye indirilmesinde en büyük rollerden birini oynamaktadır. Polipropilen, Polietilen, Polistren polimerleri ambalajlama sektöründe en çok kullanılan plastiklerdir (Nitaigour ve ark. 2010).

Amerika Birleşik Devletlerinde aktif ve akıllı ambalaj pazarının araştırmasını yapan Freedonia firması 2007 yılında hazırladığı raporda akıllı ambalajlama sektörünün her yıl %30 büyüyerek 2011 yılında 165 milyon dolara ulaşacağını bildirmiştir. Aktif ve akıllı ambalaj pazarında yıllık toplam %13 büyüyerek 2011 yılında 1,1 milyar dolara ulaşacağı belirtilmiştir. 2011 yılında aktif ambalajlarında %7 büyüyerek 975 milyon dolarlık hacme ulaşacağı belirtilmiştir (Anonim 2007).

Avrupa Birliği; aktif ve akıllı ambalaj tanımlarını 27 Ekim 2004'te 80/590/EEC yönetmeliklerine ilave etmiştir. Aktif ambalaj tanımı; aktif olarak ambalajın içindeki koşulları değiştirerek gıdanın ömrünü uzatması, emniyetini sağlaması ve çeşitli etkenlere hassasiyetini azaltmasını gerçekleştiren ambalajlar şeklinde, akıllı ambalaj tanımı ise ambalaj içindeki koşulları ve ürünün durumunu izleyerek ürünün üretimden tüketilene kadar kalite değişikliklerinin izlenmesi ve bilgi verilmesi olarak yapılmıştır (Anonim 2004).

Akıllı etiketler olarak da bilinen bu teknoloji; indikatörler vasıtasıyla gıdanın üretim sonrasındaki paketlenme aşamasından tüketim aşamasına kadar geçen dağıtım ve depo edilme süreçlerinde etki altında kaldığı sıcaklık değişimleri, mikrobiyal bozulma ve ambalaj bütünlüğü gibi özellikler hakkında ürünün tazeliğini ve kalitesini izlemek amacıyla ambalaj içerisinde veya dışında kullanılırlar (Yam ve ark. 2005).

Akıllı etiketler, pek çok fayda sağlamaktadır. Örneğin; üreticiler için gıdadan kaynaklanabilecek riskleri azaltırken, perakendeciler için taze ve kolay bozulabilir gıda satışlarını geliştirerek sıcaklık kaynaklı bozulabilir gıda firesini azaltmaktadır. Tüketiciler için ise, en taze ürünü seçmeye olanak sağlar ve kendi soğuk zincirini denetlemesine izin vererek gıda güvenliği konusunda tereddütleri yok etmektedir.

Plastiklere katılan dolgu maddeleri onun davranışlarını etkilemektedir. Bu yüzden dolgu malzemelerinin nitelikleri akıllı malzemelerin üretimi aşamasında çok büyük önem

taşımaktadır. Aktif dolgu maddesi kullanılarak üretilen plastik malzemeler, dolgu malzemesi kullanılmadan üretilen plastik malzemelere göre daha ucuz olabilirler. Bu yüzden dolgu maddeleri eklendiği plastik malzemelerin özelliklerini değiştirirken, maliyeti en alt seviyede tutmaları gerekir. Dolgu malzemelerinin plastikler üzerinde oluşan etkileri ile ilgili birçok çalışmalar yapılmıştır.

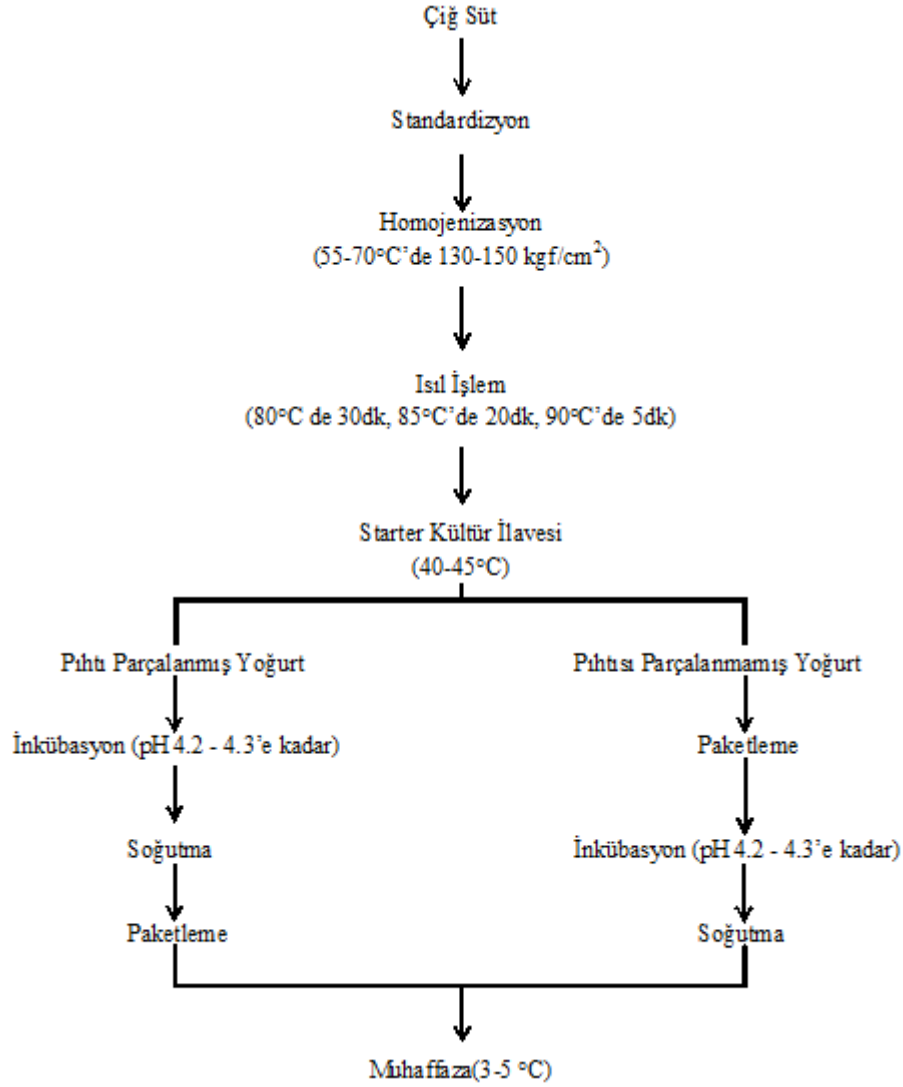
Yoğurt sütün içerisindeki bileşenlerin mayalanmasıyla oluşmaktadır. Besin değerinin yüksek olması ve insan sağlığına olan yararları bakımından da günlük yaşantımızda sıkça tüketilmektedir. Yoğurdun içerisindeki kuru madde oranının yüksek olması süte oranla besleyiciliğinin daha fazla olmasını sağlamıştır.

16.02.2009 tarih ve 27143 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan 2009/25’ nolu Fermente Süt Ürünleri Tebliği’nde yer alan yoğurt tanımında fermente süt ürünü olduğu belirtilmiştir. Sütün uygun mikroorganizmalar tarafından mayalanması ile pH değerinin koagülasyona yol açacak veya açmayacak şekilde düşürülmesi sonucu oluşan ve içermesi gereken mikroorganizmaları yeterli sayıda, canlı ve aktif olarak bulunduran süt ürünü olarak da açıklanmaktadır. Türk Standartları Enstitüsü TS 1330 Yoğurt Standardında ise daha detaylı bir tanım verilmiştir. Buna göre yoğurt; inek sütü (TS 1018), koyun sütü (TS 11044), manda sütü (TS 11045), keçi sütü (TS 11046) veya karışımlarının pastörize edilmesi veya pastörize sütün (TS 1019) gerektiğinde süt tozu ilavesiyle (TS 1329) homojenize edilip veya edilmeden *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus*’dan oluşan yoğurt kültürünün ilave edilmesi ve TS 10935-Yoğurt Yapım Kuralları Standardı’na uygun işlemlerden sonra elde edilen mamul olarak tanımlanmıştır (T. ve H. B. Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü 2012 ).

Katkısız diye adlandırılan doğal yoğurtlar raf ömürlerinin kısa olması ve mikrobiyal bozulma sonucunda pH değerlerinin artması nedeniyle dezavantajlar oluşturmaktadırlar. Yoğurdun üzerinde oluşan serumun artması, doğal yoğurtların istenilmeyen özellikleri arasında yer almaktadır.

Yoğurt yapımında kullanılan katkı maddeleri, yoğurdun raf ömrünü arttırarak kullanım süresinin uzamasına yol açmaktadır. İnsanlar üzerinde zararları tam olarak kanıtlanmamış olan hayvansal jellerin kullanımı, yoğurdun kıvamının arttırılmasının kullanımında zararlı katkılara iyi bir örnek teşkil etmektedir. Evde yapılmış olan doğal yoğurt olarak adlandırılan fermente sütün, modern yaşam süresinde hayvancılığın modernize tesislerde yapılmasıyla

birlikte azalması, zamanla endüstriyel açık meydana getirmiştir. Endüstriyel üretimi yapılan yoğurt için belli aşamalar belirlenmiş ve üretici için yol gösterici olmuştur. Yoğurdun endüstriyel üretim aşamaları Şekil 1.1.'de verilmektedir.



Şekil 1.1. Yoğurdun endüstriyel üretim aşamaları (Tekinsen 2000)

Yoğurdun insan sağlığındaki önemine bağlı olarak süt ürünleri teknolojisinin hızla gelişimi sadece ülkemizde değil, dünyada da bu konuda bilimsel içerikli araştırmaların çoğalmasına yol açmıştır. Bilindiği gibi yoğurdun üretiminden tüketimine kadarki zincir içerisinde sağlıklı koşulların mutlaka sağlanmasını gerekir. Bunun nedeni yoğurdun bulunduğu ortamdaki çevre koşullarının yanında çeşitli etkenlerden kaynaklanan mikrobik bulaşmalar ve özünde kendi yapısındaki etmenlerin büyük etkisidir. Günümüzde bu tip etkiler yoğurdun raf ömrünü etkilemekte ve sonuçta bozulmasına neden olmaktadır. İşte bu düşünce doğrultusunda bu etkiyi en aza indirmeye ya da ortadan kaldırmaya yönelik çalışmaların, yoğurt bünyesi ile yoğurdun ambalajı üzerine odaklandığı bilinmektedir.

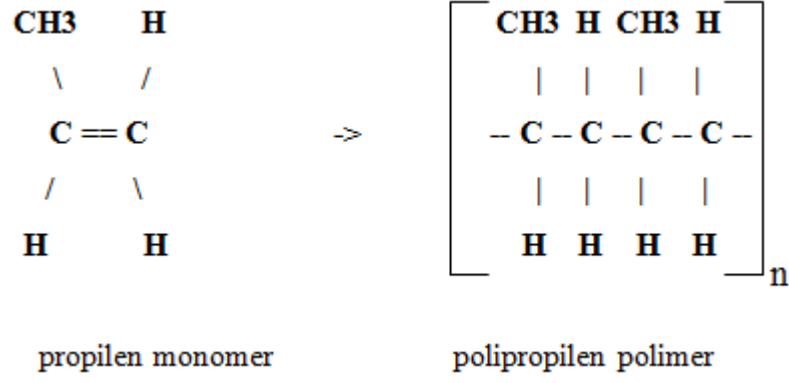


Ambalajlama malzemeleri arasında en çok plastik malzemeler, kağıt ve camlar kullanılmaktadır. Kullanım alanı olarak plastik malzemeler ambalajlama sistemlerinde en yenileridir. Plastik malzemeler kullanım özellikleri nedeniyle diğer ambalajlama malzemelerine göre daha fazla tercih edilmişlerdir. Tercih edilme nedenleri arasında maliyetlerinin ucuz olması, kolayca şekil verilebilmeleri, kimyasallara karşı dirençleri, geri dönüşümlerinin kolay olması, kırılma olmamaları, hafif olmaları ve kısmi geçirgen yapı kazandırılma özellikleri yer almaktadır.

Plastik malzemelerin ambalaj sektöründe bu denli yaygın olarak kullanılması, gelişen teknolojinin en çok bu malzeme grubuna ağırlık verilmesine yol açmıştır. Ürün özelliklerinin geliştirilerek akıllı malzemeler oluşturulması çalışmaları hızla devam etmektedir. Sol-Gel'ler, fotokromik malzemeler, termokromik malzemeler gibi ortam durumuna tepki verebilen malzemelerin kullanımını da artırmıştır. Nano boyuta indirilmiş çalışmalarla ise malzemelerin molekül boyutlarında istenilen düzen sağlanmıştır. Moleküler boyutla oynamak malzemeye istenilen özellikleri kazandırmak için çok büyük avantajlar sağlamaktadır.

Polimer teknolojisi biyobozunur ambalajlar ile birlikte daha dikkat çekici bir hale gelmiştir. Biyobozunur malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar; ambalajların aktif ve akıllı ürünler haline getirmesine sebep olmuştur.

Yoğurt endüstrisinde kullanılacak ambalaj materyallerinin seçimi, hem ürünün depolanması ve pazarlanması sırasında doğal niteliklerini koruyabilmesi hem de üst düzeyde gıda güvenliğinin sağlanabilmesi açısından oldukça önemli olduğu bilinmektedir. Polistiren (PS), Polipropilen (PP), Polietilen (PE), yumuşatıcı içermeyen polivinilklorid (PVC) ve polivinilidenklorid (PVDC) malzemelerin ambalajlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Plastikler genellikle inert özelliğe sahip oldukları ve üretim anında kabın yüzeyi ya da içinde kalıntı bırakmamaları sayesinde yoğurttaki herhangi bir tat-aroma bozukluğuna neden olmamaktadır (Day B P F 1992). Polipropilenin bağ şeması Şekil 1.2. 'de verilmektedir.



Şekil 1.2. Polipropilen malzemenin oluşum şeması

Polipropilen, yüksek saflıktaki propilen gazının basınç altında katalizörler yardımıyla polimerleşmesiyle elde edilir. Kristal yapılı, 0,902 ile 0,910 g/cm<sup>3</sup> yoğunluklu bu polimer termoplastik malzemelerin en hafiflerinden biridir. Erime noktası 165 °C ile 170 °C arasındadır. Yüksek ergime noktasına sahip olması Polipropilen malzemenin 120 °C'ye kadar yumuşamadan kullanılmasını sağlar. Altı ay süre ile nemli bir ortamda depolanması, ağırlığını % 0,1 den daha az bir oranda artırır. İçerisine katılan katkı malzemeleri ile mekanik ve fiziksel özellikleri geliştirilebilir (Yasar 2001).

Polipropilen malzemeler; süt ürünleri, kurutulmuş meyveler, kahve, kakaolu ürünler, çerez gıda ürünleri, şekerli gıda ambalajlamalarında sıkça kullanılmaktadır.

Plastik esaslı ambalaj malzemelerinin imal edilmesi sırasında ürün özelliklerini geliştirmek amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu katkı maddeleri:

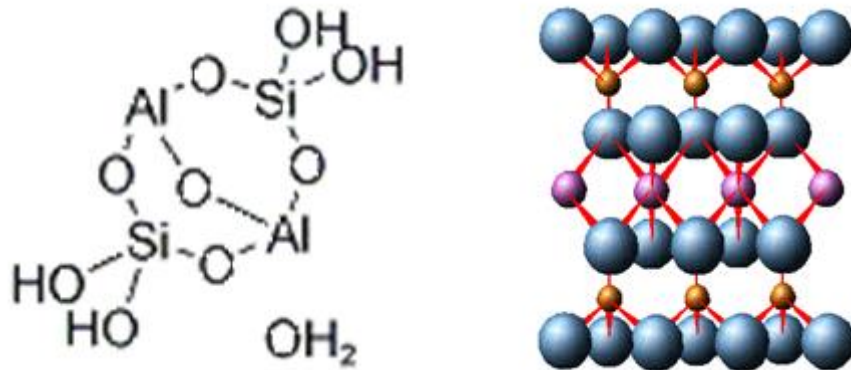
- Emülgatörler,
- UV Absorbe ediciler,
- Katalizörler,
- Isı ve ışık stabilizatörleri,
- Antistatik maddeler,
- Renk vericiler,
- Antioksidanlar,
- Plastikleştiriciler,
- Yağlayıcılar,
- Dolgu malzemeleridir.

Dolgu malzemeleri plastik malzemelerin fiziksel, mekanik ve ısıl özelliklerini iyileştirmek için üretim aşamasında belirli oranlarda plastıklere katılırlar. Bunların en çok

kullanılanları organik dolgu malzemeleridir. Bunların başında  $\text{CaCO}_3$  (kalsiyum karbonat), kaolen, vollastonit gelmektedir. Organik malzemelerin doğal yapıları sayesinde gıda ambalajlarında kullanılması besinlerle oluşabilecek tepkimelerin sonucunun minimum düzeyde olmasını sağlamaktadır.

Plastik malzemelerde sıkça kullanılan kaolen; alüminyum hidro silikat bileşiminden oluşan kaolinitten meydana gelir. Kaolinitten oluşan bu mineral grubunun kimyasal bileşimi  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  formülasyonu ile ifade edilir. Ayrıştırılmış granit ve beyaz feldspat ürünüdür ve tipik özellikleri olağanüstü derecede iyidir. Son iki yüzyıl üstü zaman zarfında kaolen, özellikle Çin kaoleni, oldukça popüler hale gelmiştir. Bazı uygulamalarda ince sıvı karışım haline getirilmiş olan Çin kaoleni, enerji tasarrufu ve düşük fiyatından dolayı daha elverişli olması nedeniyle daha fazla rağbet görmektedir. Endüstride ise genellikle kağıt ve boya sanayinde kullanılmaktadır. Kil, yapısı nedeniyle su çekme özeliğine sahiptir ve bu özeliğinden dolayı her zaman nemlidir. Kilin neminin uzaklaştırılması uzun ve titizlikle yapılması gereken bir işlemdir (Köroğlu 2004).

Bazı uygulamalarda ince sıvı karışımı halindeki Çin kaolenin yerine toz haldeki kaolen gerekmektedir. Bunun nedeni, ince likit karışımı halindeki kaolenin bulanıklaşmış, yoğun ve kuru olmasıdır. Kaoleni toz hale getirebilmek için ihtiyaca uygun kurutma işlemi yapılmaktadır. Şekil 1.3. 'te kaolenin bağ ve kristal yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Kaolen bağ ve kristal yapısı (<http://pubpages.unh.edu/~harter/crystal.htm>, 2006)

Kaolenin plastik malzemeler ile birlikte kullanılmasıyla oluşan kompozit malzemenin; plastiğin düşük olan özelliklerinin iyileştirilmesini sağlar. Bu özellikler arasında:

- Boyanabilirlik,
- Mukavemet,

- Isıl özellikler,
- Su tutuculuğu yer alır.

Ambalajlama teknolojisinin gelişmesinin en önemli nedeni, gıda kalitesi ve güvenliğinin kullanıcıların bilinçlenmesi ile lineer bir artış göstermesidir. Tüketiciler aldıkları ürünün kalite ve tazelik gibi özelliklerini belirleyebilmek için ürün hakkında geniş bilgi ve donanımına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu bilgi ve donanım, tüketilen gıda ürünlerinin sayısının ne denli fazla olduğu dikkate alınır, tüketicinin ürün üzerinde karar vermesinin de o denli zor olacağı aşıkardır. Bu durum araştırmacıları harekete geçirmiş, aktif ve akıllı ambalajlar hakkında çalışmaların yapılmasına yol açmıştır. Aktif ambalajlama ürünün içerisindeki durumu kontrol eder, ürün için gerekli şartların oluşmasını sağlar ve ürünü dış etkenlerden korur. Akıllı ambalaj ise ürünün bulunduğu ortamın durumu ve ürünün kalitesi hakkında bizi bilgilendirir.

Akıllı ambalajlama teknolojisinde ürün ve kullanıcı arasındaki iletişimi kurmayı indikatörler sağlamaktadır. İndikatörler, ürünün kalitesine ve kullanım süresine etki eden bakterilerin oluşturduğu bozulmaları, sıcaklık değişimleri ve ürünün kalitesini belirlemek amacıyla kullanılmaktadırlar. Bazı indikatör örnekleri Çizelge 1.1.'de verilmektedir (Özçandır ve Yetim 2010).

Çizelge 1.1. Akıllı ambalajlamada kullanılan indikatör örnekleri (Han 2005).

Tip	Prensip / Belirteç	Verdiği Bilgi	Uygulama Alanı
Zaman-Sıcaklık İndikatörleri (ambalaj dışı)	Mekanik, Kimyasal, Enzimatik	Depolama ve Nakliye Koşulları	Soğutulmuş ve dondurulmuş gıdaların muhafazasında
O <sub>2</sub> indikatörleri (ambalaj içi)	Redoks boyaları, pH boyaları, enzimler	Depolama koşulları ve ambalaj sızıntısı	Oksijen konsantrasyonu azaltılmış ambalajlardaki gıdaların muhafazasında
CO <sub>2</sub> indikatörler (ambalaj içi)	Kimyasal	Depolama koşulları ve ambalaj sızıntısı	Modifiye ya da kontrollü atmosferde ambalajlanmış gıdalarda
Mikrobiyal gelişme ve tazelik indikatörleri	pH boyaları, belli metabolitlerle reaksiyon veren boyalar	Gıdanın mikrobiyal kalitesi (bozulma vb.)	Et, balık ve kanatlı hayvanların etleri gibi kolay bozulabilen gıdaların kalite kontrol takibinde
Patojen indikatörler (ambalaj içi)	Toksinlerle reaksiyon veren çeşitli kimyasal ve immünokimyasal metotlar	<i>E. coli</i> O 157 gibi spesifik patojenik bakteri varlığı takibi	Et, balık ve kanatlı hayvanların etleri gibi kolay bozulabilen gıdaların kalite kontrol takibinde

Gıda ürünlerinin son tüketim tarihleri ambalajlar üzerine yazılmakta veya etiketlenmektedir. Ürünün yapılan genel çalışmalar sonucu son tüketim tarihi hesaplanmakta ve hesaplama yapılırken en uygun koşullar göz önüne alınmaktadır. Üreticiden tüketiciye varıncaya kadar ki süreçte gıda ürününün hangi koşullarda saklandığı ve mikrobiyolojik etmenlerin ürünün üzerindeki etkilerinin takibi, ambalaj üzerine yazılmasıyla ve etiketleme yapılmasıyla anlaşılammaktadır. Bu nedenlerden dolayı tazelik indikatörleri önemli yer almaktadır.

Tazelik indikatörleri, bakterilerin besinler üzerinde oluşturduğu etkileşimin sonucu olarak ortaya çıkan ortam şartlarıyla tepkimeye girerek ürünün mikrobiyal kalitesini bildirir. Bu indikatörler ile karbondioksit, diasetil, amin, amonyak, etanol ve hidrojen sülfür gibi asidik ve bazik ortamlar belirlenir (Bente ve ark. 2000).

Bu indikatörler besinde oluşan bakterilerin bozulmaya yol açan enzimlerin sonucu oluşan ortamın durumuna verdiği tepkinin ölçülmesi mantığı ile çalışır (Miller ve ark. 1999).

Bütün bunlara dayanılarak bu doktora tezinin amacı, yoğurdun raf ömrü süresi içerisinde olası serum oluşumu temel alınarak, serum etkileşimi ile renk değişimine neden olacak akıllı Polipropilen malzemesinin geliştirilmesi ve yoğurt bozulmasını algılayan yoğurt ambalaj malzemesinin oluşturulmasıdır. Temeli Polipropilen (PP) olan bu malzeme kalsine edilmiş kaolenin ana yapı içinde ya da yüzeysel olarak kullanılması yardımıyla, serum pH'ında değişim olduğu takdirde, renk değişimi sağlanmasına dayanır. Böylelikle ambalaj, renk seviyesine göre uyarılarda bulunacaktır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Polipropilen polimerine eklenen aktif dolgu malzemeleri ile yapılmış olan bazı çalışmaların kaynak araştırmalarının özetleri aşağıda verilmiştir.

**Han ve ark. (1981)** tarafından yapılan çalışmada cam küre ve CaCO<sub>3</sub> katkılı polipropilenin bağlayıcı ajan etkisindeki mekanik, reolojik ve proses özelliklerini incelenmiştir. Matristen bağlayıcıya bifonksiyonel olan bağlanma sağlayan silan ve titan bazlı ajanlar kullanmıştır. Bağlayıcı ajan ilavesi ile mekanik özelliklerde iyileşmeler görülmüş, eriyik vizkositesi ise azalmıştır.

**Mitsuichi ve ark. (1985)** tarafından yapılan çalışmada; parçacık büyüklüklerinin değişik olduğu üç adet CaCO<sub>3</sub> dolgulu polipropilenin mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Dolgu maddesi oranının artmasıyla elastik modül ve gerilme dayanımının arttığı, parçacık boyutunun artmasıyla ise bu özelliklerin azaldığı tespit edilmiştir.

**Maiti ve Lopez (1992)** tarafından yapılan çalışmada; ağırlıkça belirli oranlarda kaolen katkısı kullanılmış izotaktik polipropilenin çekme özelliklerini incelenmiştir. Oluşturulan kompozit malzeme içerisindeki dolgu malzemesinin artması ile elastisite modülü arttığını, kopma uzaması ve mukavemetinin ise azaldığını tespit edilmiştir. SEM mikroskop görüntüleriyle de kaolen parçacıklarının keskin köşelerinin, oluşturulan kompozit malzeme üzerindeki mukavemeti düşürdüğü saptanmıştır.

**Yue ve ark. (1995)** tarafından yapılan çalışmada; pH sensörünün kuru ortamlardaki tepkisi ve direnci izlenerek farklı pH koşulları altında polipirolün iletkenliğinin değiştiği gözlemlenmiştir. Kağıt pH sensörleri için optimum koşullar araştırılmıştır. Sensörlerin tepkileri test edilmiş, sensörün tepki süresi ve hassasiyeti incelenmiştir. Polipirolün kimyasal polimerizasyonu çeşitli oksidanlar için incelenmiştir. En yaygın kullanılan oksidanlardan biri olan FeCl<sub>3</sub> ve polipirol ile yüksek iletkenlik elde edilmiştir.

**Vicki ve ark. (1996)** tarafından yapılan çalışmada; amine edilmiş polistirenin düşük pH ortamında moleküller arasındaki itme oluştuğu ve bunun sonucunda malzemenin şiştiği belirtilmiştir. Malzemenin şişmesinin nedeninin protonlardan dolayı değil amine edilmiş polistirenin atomlarının hızlı hareketi dolayısıyla olduğunu bildirilmiştir. Bu değerler ölçülerek pH ölçüm işlemi yapılmıştır.

**Yuchun ve ark. (1997)** tarafından yapılan çalışmada; kaolenin reolojik davranışlarını araştırmışlardır. Bu davranışların polipropilen kompozitleri üzerindeki sertlik artırıcı yanlarını araştırmışlardır. Bu işlemler esnasında kaolen molekülleri ile polipropilen matrisleri arasındaki ara yüzlerin özellikleri paralel levhalı reometre ve eriyik akış cihazında deneylere tabi tutup SEM cihazında moleküler yapıları incelenmiştir. Kaolen tarafından işlenmiş olsun ya da olmasın tüm kompozitlerde normal gerilme farkının ham reçinelere göre daha düşük, kayma oranının ham reçinelere ve kompozitlerde aynı değere sahip olduğu gösterilmiştir. Bu duruma ise, eklenen kaolen moleküllerinin polimer ağına çapraz bağlanma eğilimlerinin sebep olduğu dipnot olarak verilmiştir. Anlaşıldığı üzere dolgu katkılı kompozitlerde, ara yüzlerin akış elastikiyetlerinin de farklılık gösterdiği, aynı zamanda kaolen dolgulu örneklerdeki normal gerilim farkının işlenmemiş kaolen dolgulu örneklerden daha yüksek olduğu görülmüştür.

**Sticker ve ark. (1997)** tarafından yapılan çalışmada; organik dolgu maddelerinin oranıyla isotaktik ve sindiyotaktik polipropilendeki mekanik ve ısıl özellikleri incelemişlerdir. İsootaktik polipropilenin sindiyotaktik polipropilene göre daha düşük young modüllü ve gerilme dayanımında olduğunu elde etmişlerdir. Polipropilenin kristallenme derecesinin, artan dolgu maddesi miktarı ile de düştüğünü tespit etmişlerdir.

**Mareri ve ark. (1997)** tarafından yapılan çalışmada; PP ve ultra küçük kaolen dolgu malzemesi kullanılmıştır. Kaolen dolgu malzemesinin boyutlarının küçülmesiyle kompozit malzemenin çarpma deneyi özelliklerinin iyileştiği ve SEM analizlerinde matris malzemesi ile daha iyi bir karışım yaptığı incelenmiştir.

**Salmah ve ark. (1998)** tarafından yapılan çalışmada; Polipropilen (PP) / Etilen Propilen Dien Terpolimer (EPDM) / Kaolen kompozitlerinde Maleik Anhidritin (MAPP) bağlayıcı etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak; çekme dayanımı ve Young Modülü, kaolen dolgulu PP / EPDM kompozitlerin, MAPP varlığında işlenmemiş PP / EPDM kompozitlere göre daha yüksek olduğunu ve MAPP varlığında kaolen ile PP / EPDM matrisi arasındaki adezyonunda yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Düzensiz şekilli dolgular için; kompozitlerin çekme dayanımı düşerken, dolgu maddelerinin matristen destek gerilmesi almalarının olanaksız olduğu gözlemlenmiştir. Buna rağmen; dolgu miktarlarına sahip MAPP katkılı PP / EPDM kompozitlerinin, MAPP katkısız kompozitlere nazaran daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğunu belirlemişlerdir.

**Pukanszky ve ark. (1999)** tarafından yapılan çalışmada; CaCO<sub>3</sub> dolgulu polipropileni üç farklı bağlayıcı ajan ile kaplama yapmış ve yüzey özelliklerini incelemişlerdir. Dolgu maddesinin yüzeyinde aminofonksiyonlu silanların çok güçlü bir şekilde bağlandığını belirlemişlerdir.

**Qiu ve ark. (1999)** yaptıkları çalışmada; talk dolgulu polipropileni bağlayıcı ajan ile ve bağlayıcı ajanı kullanmadan üretim mekanik ve kristallenme davranışlarını incelemişlerdir. Bağlayıcı ajanın eklenmesiyle kristallenme oranının ve kristallenme sıcaklığının arttığı belirlenmiştir. Bağlayıcı ajan kullanılması ile birlikte üretilmiş olan kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde arttığı görülmüştür.

**Ertekin ve ark. (2000)** tarafından yapılan çalışmada; pH ölçümünde polimerlerden bir PVC içine gömülü azlakton türevi kullanılmıştır. Azlakton molekülleri asidik ortamda protonlanmıştır. Sensör, şeffaf olup, renk değiştirerek ölçüm yapmaktadır. Bu ölçümünde pH değeri 1-7 aralıklarında yapabildiği tespit etmişlerdir.

**Carvalho ve ark. (2000)** tarafından yapılan çalışmada; termoplastik nişasta ve kütleli olarak %0-10-20-30-40-50-60 oranında kaolen kullanılarak kompozit malzeme oluşturulmuş ve bu malzemelerin mekanik ve termal davranışlarını incelenmiştir. Bu araştırmaları sonucunda; kaolen malzemesinin oranının artması kompozit malzemenin mukavemetinin arttığını, DSC cihazıyla yapılan analizler sonucunda camsı geçiş sıcaklığının ve nem çekme özelliğinin azaldığını tespit etmişlerdir. SEM cihazıyla yapılan görüntüleme sonucunda ise, kompozit malzemedeki matris ve dolgu malzemesinin karışımını incelemişlerdir. Güzel bir dağılım ve yapışma olduğunu tespit etmişlerdir. TGA ile yapılan inceleme sonucunda, tüm örneklerin aynı davranışı gösterdiğini ve aynı sıcaklıkta meydana gelen kalıntıların oranının kaolen malzemesi ile orantılı olduğunu tespit etmişlerdir.

**Ferrage ve ark. (2002)** yaptıkları çalışmada; talk katkılı polipropilenin kristallenmesindeki değişiklikleri incelemişlerdir. Talk malzemesinin polipropilen polimerinde kullanımının çekirdek oluşumunu arttırdığını belirlemiştir.

**Westover ve ark. (2002)** tarafından yapılan çalışmada; Polihidroksistiren şişme polimer sensör olarak incelenmiştir. Bu pH sensörü yapısında şişirilmiş hidrojel içeren amin ile kaplanarak bağlanmıştır. Polimerin pH etkisiyle şişmesi, polimerin omurgasında tepki ve ozmatik basınç etkisi oluşturmuştur. Polimer mikromoleküler olarak genişmiş ve bu genişleme optik olarak gözlenmiştir. Bu değişkenler sayesinde polimerdeki şişme ve



polimerden yansıyan ışık arasında ilişki kurularak, yansıyan ışığın dalga boyu sayesinde pH ölçümü yapılmıştır.

**Ishak ve ark. (2004)** yaptıkları çalışmada; talk, CaCO<sub>3</sub> ve kaolen dolgulu polipropilenin mekanik ve yüzeysel özelliklerini incelemişlerdir. Üç dolgu maddesinin de çekirdeklenme kabiliyetine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Talk ve CaCO<sub>3</sub> malzemeden hibrit karışımlar hazırlamışlar ve tek bir dolgu maddesi kullandıkları karışımları oluşturmuşlardır. Birden çok dolgu maddesiyle yapılmış karışımların malzeme üzerinde mekanik olarak olumlu sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Çevre şartlarında beklendikleri örnekleri mekanik testlere tabi tutmuşlar ve bunların sonucunda mekanik özelliklerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

**Buggy ve ark. (2005)** tarafından yapılan çalışmada; naylon 6.6 polimer malzemesi ile kalsine kaolen dolgu malzemeden kompozit oluşturmuşlardır. Yapılan mekanik testler sonucunda kaolen dolgu malzemesinin naylon 6.6 ile bir etkileşimin olmadığını tespit etmişler ve oluşturulan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmediğini yorumlamışlardır.

**Lakard ve ark. (2005)** tarafından yapılan çalışmada; polipirol ve polifenilendiamin incelenmiştir. Bu iki polimerin potansiyometrik tepkileriyle pH ölçümü sağlanmıştır. İçerisindeki amino grupları sayesinde düzenli şekilde pH değişimiyle potansiyometrik farklar oluşturularak ölçüm yapılmıştır.

**Othman ve ark. (2006)** tarafından yapılan çalışmada; Polipropilen polimer malzemesiyle bentonit organik dolgu maddesi Maleik Anhidrit (PPMAH) ve hurma yağı katkısı (POFA) iki farklı bağlayıcı ile karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi 180°C Polydrive Thermo Haake cihazıyla yapılmıştır. Bentonit dolgu maddesi karışım yapılmadan önce 105 °C de 24 saat kurutulmuş ve ağırlık olarak %0 dan %50'ye kadar dikkatlice polipropilene eklenmiştir. Bağlayıcı malzemeler dikkatli bir şekilde kompozit malzemeye eklenmiştir. Oluşturulan örneklerin mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Bu araştırma sonucunda, (POFA) bağlayıcısı kullanılmış örneklerin (PPMAH) bağlayıcısı kullanılmış örneklere göre gerilme mukavemetinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Darbe deneyi sonucunda karışım miktarıyla birlikte darbe dayanımlarında lineer bir artış gözlenmiştir. DSC cihazıyla yaptıkları analizler sonucunda PP malzemesinin kristalizasyonunun bağlayıcı maddeler ile azaldığı tespit edilmiştir.

**Joseph ve ark. (2006)** tarafından yapılan çalışmada; nano teknolojik paketleme bariyerlerinin gelişimi sağlanmış, gaz ve nem alışverişi azaltılmıştır.

**Chang ve ark. (2007)** tarafından yapılan çalışmada; nano-kaolen ve nano-hidroksil alüminyum oksalat (HAO) birleşiminin düşük yoğunluktaki polietilen (LPDE)/etilen propilen dien kauçuk (EPDM) kompozitlerinde ki ısıya dayanım etkisini incelemişlerdir. Sıcaklık testi sonuçları nano-kaolen ve nano-HAO birleşiminin ısıya dayanım konusunda mükemmel bir durum göstermiştir. Aynı şekilde elektronik taramalı mikroskop (SEM) ve Fourier kızılötesi dönüşüm (FTIR) analizleri de iç yapıdaki nano kaolenin dağılımının ve bağ durumlarının iyileştirdiğini tespit etmişlerdir.

**Miller ve ark. (2008)** tarafından yapılan bir çalışmada; nano teknolojik ürünlerin kullanılmasıyla paketleme folyoların gözeneklerinin iyileştirilmesi, bariyer özelliklerinin, aktif paketleme ile mikrop ve mantar önleyici yüzeylerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

**Yerlikaya ve ark. (2008)** tarafından yapılan çalışmada; probiyotik süt ürünlerinin ambalaj malzemesi ile birlikte davranışlarını incelenmiş ve sonuç olarak oksijen konsantrasyonunun bu ürünlerde kalitenin düşmesine yol açtığı ve bu sorunun aktif ve akıllı ambalajlarla çözülebileceği belirtilmiştir.

**Silva ve ark. (2008)** tarafından yapılan çalışmada; polistiren- akrilik asit pH ölçümü incelenmiştir. Kopolimerler, farklı stiren ve akrilik asit oranlarıyla sentezlenmiştir. İletkenlik ölçümleri bağıl nemin 1- 10 % değerleri için yapılmıştır. pH değeri bu aralıkta doğrusal olarak değişim göstermiştir. Yüksek bağıl nemli ortamlarda polimerler genelde istikrarlı davranmadıkları için pH ölçümünde ki hatalar saptanmıştır. Polielektrolitlerin içindeki su iyonları nedeniyle yüksek çözünürlüğe sahip oldukları belirtilmiş ve bu sorun çapraz bağlar sayesinde su çözünürlüğü azaltılarak aşılmış, dayanıklılık artırılmış ve istikrarlılık sağlayan hidrofobik monomerler ilave edilerek çözüldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca bu sayede malzemeye nem sensörü özelliği de verilmiştir. Bu polimerlerden yansıyan ışığın dalga boyu sayesinde pH ölçümü yapılması sağlanmıştır.

**Henriette ve ark. (2009)** tarafından yapılan çalışmada; gıda ambalajları uygulamalarında kullanılan nanokompozitleri incelemişlerdir. Ambalaj yapımı için kullanılan malzemelerin ayrıştırılamamasının çevresel problemlere sebep olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada farklı biyopolimerler kullanılmıştır. Fakat kullanılan biyopolimerlerin mekanik ve koruyucu özellikleri zayıf olduğundan kullanılma alanlarının sınırlı olduğunu göstermişlerdir.

Özelliklerini güçlendirmek için nanopartiküller eklenerek nanokompozitler üretilmişler ve sonuçta mekanik özelliklerin iyileştirildiğini tespit etmişlerdir. Dolgu maddesi oranının artmasını partiküllerin boyutunun azalmasıyla sağlamışlardır.

**Bouwmeester ve ark. (2009)** tarafından yapılan çalışmada; ambalajların bariyer özelliklerinin artırılmasında kullanılan nanokompozitler, silikat nanoparçacıklar, magnezyum, çinko oksit ve nano gümüş malzemelerinin gıda ile teması incelenmiştir. Nişastadan yapılmış olan kompozit filmlerden metallerin minimum düzeyde ayrıldığını tespit etmişlerdir.

**Leong ve ark. (2009)** tarafından yapılan çalışmada; kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) ve talk dolgulu polipropilen hibrit kompozitlerin; doğal şartlar altında erime ve kristalleşme gibi mekanik ve morfolojik davranışlarındaki etkileri ele alınmıştır. Doğal aşınma şartlarına maruz bırakılan polipropilen kompozitlerde; polimer derecesinin, yapılmış olan kızılötesi spektrum parametreleri ve termal analizler sonuçlarından gözlemlendiği gibi, foto oksidasyon ve mekanik özelliklerindeki değişimler sonucu düştüğü gözlenmiştir. Buna rağmen, doğal aşınma şartlarından oluşan etkilerin kompozitin olduğu molekül kompozisyonuna, kompozitteki dolgu malzemesine ve kompozitin yüzeysel işlenebilirliğine göre çeşitlilik gösterdiği gözlenmiştir.

**Zhangzhun Lu ve ark. (2009)** tarafından yapılan çalışmada kaolen dolgu maddesini nano boyutta  $\text{TiO}_2$  ile kaplayarak renk verme özellikleri geliştirilmiştir. Bu kaplamada titanyum tetraklorit ( $\text{TiCl}_4$ ) başlatılmış depozyon yöntemini kullanmışlardır. Renk ölçümleri sonucunda, kaolen dolgu maddesi  $\text{TiO}_2$  ile nano boyutta yüzeyi kaplanması sonucunda beyazlığın azaldığını tespit etmişlerdir.

**Zhao ve ark. (2010)** tarafından yapılan çalışmada; işlenmemiş kaolen ve polimetakrilat ile işlenmiş kaolen malzemeler PP ile kompozit malzeme elde etmişlerdir. İşlenmiş kaolen malzemenin işlenmemiş kaolen malzemeye göre mekanik, ısıl özellikleri iyileştirdiğini ve daha iyi bir matris fiber karışımı oluşturduğunu tespit etmişlerdir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

Doğal yoğurdun bozulmasını algılayan ve bozulmanın etkisiyle renk değiştirebilen akıllı malzemelerin oluşturulması için kompozit maddesi oluşturulmalıdır. Akıllı ambalajın üretimi için, kullanılan malzemelerin özellikleri belirtilmelidir. Bu akıllı ambalaj malzemesinin sonuçlarının değerlendirilebilmesi için kullanılan doğal yoğurdun özellikleri belirtilmektedir.

##### 3.1.1 Kullanılan doğal yoğurdun özellikleri

Bu araştırmada katkısız doğal yoğurt kullanılmıştır. Kullanılan doğal yoğurdun içeriği ve diğer özellikleri Çizelge 3.1. 'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Doğal yoğurdun özellikleri

<b>Yoğurt İçeriği</b>	<b>Oranı</b>
Kuru Madde Oranı	13-14%
Yağ Oranı	4%
Su	80-86%
Protein	4-8%
Süt Şekeri	2-5%
Mineral Madde	0.8-1.2%
Renk	Porselen Beyazı
pH	4

Bu araştırmada kullanılan doğal yoğurt üreticiden tüketiciye pazarlanmak üzere imal edildiği ilk gün alınmıştır. Kullanılan doğal yoğurt Şekil 3.1.'de verilmektedir.



Şekil 3.1. Doğal yoğurt

### 3.1.2 Polipropilen malzemesinin özellikleri

Bu araştırmada matris malzemesi olarak ticari ismi Petoplen MH 418 polipropilen malzeme kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Petoplen MH 418 Polipropilen Malzeme Özellikleri

<b>Ticari İsmi: Petoplen MH 418</b>			
<b>Deney Adı</b>	<b>Birimi</b>	<b>Değeri</b>	<b>Metodu</b>
Erime Akış Hızı (MFR)(2160 g, 230°C)	g/10d	4.0 - 6.0	ASTM D-1238
Kirlilik, 100 g	ad	Max. 10	TM-113
Balık Gözü	ad/g	Max. 11	TM-125
Akma Noktasındaki Gerilme Dayanımı	kg/cm <sup>2</sup>	350	ASTM - 638
Kopma Noktasında Gerilme Dayanımı	kg/cm <sup>2</sup>	430	ASTM - 638
Renk B 10 D 65	-	1.8	Hunter Lab. CQ

### 3.1.3 Kaolen malzemesinin özellikleri

Bu araştırmada akıllı ambalaj deney örneklerinin hazırlanması sırasında, polipropilen matrisinin nem emiciliğini arttırmak amacıyla kullanılan, optik ve fiziksel özellikleri iyi olan UR-C 70/90 kalsine edilmiş kaolen malzeme kullanılmıştır. Kaolen malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3.'te verilmektedir.

Çizelge 3.3. UR-C 70/90 Kaolen malzemesinin özellikleri

Fiziksel Özellikleri		Kimyasal Özellikleri	
Parlaklık(ISO)	90±1	%SiO <sub>2</sub>	48.7
Tortu(325#)	Max. 0.01	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47.4
%>5 micron	6	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6
%<2 micron	68-72	%TiO <sub>2</sub>	0.6
% Nem	Max. %1	%Alkaliler	0.4
pH	5.5-6.5	Mineral	<0.1%
Özgül Ağırlık	2.64	Genel Olarak Amorf	

### 3.1.4 Enjeksiyon makinesinin özellikleri

Homojen olarak hazırlanmış örnekler, vidalı enjeksiyon makinesi ile kalıp içine basılmıştır. Deney örneklerinin oluşturulmasında kullanılan enjeksiyon makinesi şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.2. Vidalı enjeksiyon makinesi

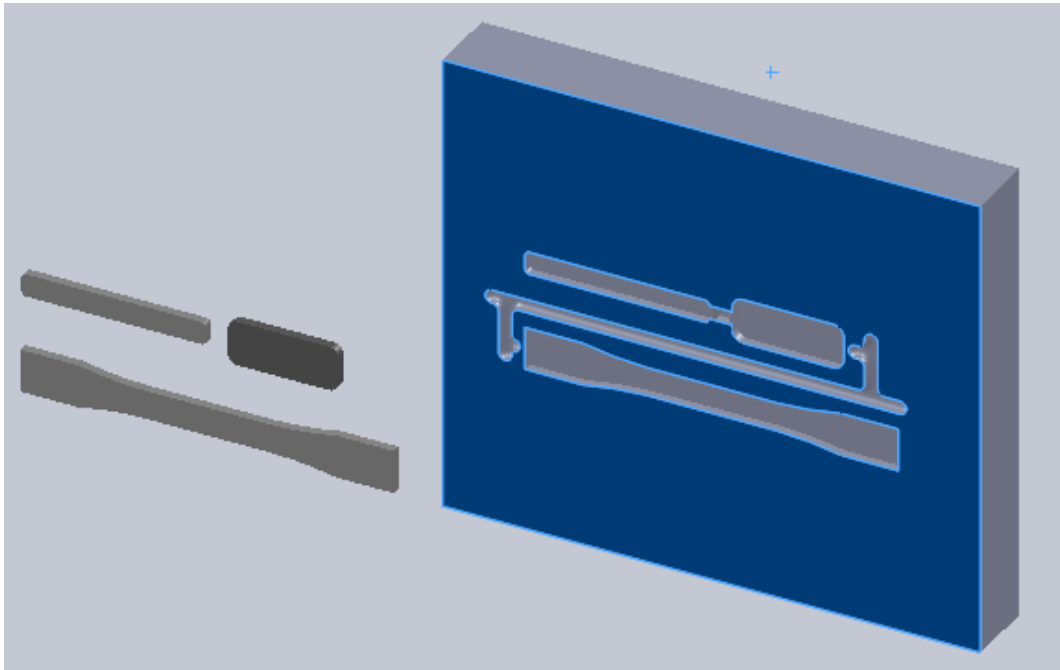
Akıllı ambalaj örneklerinin oluşturulmasında kullanılan enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri Çizelge 3.4.’te verilmektedir.

Çizelge 3.4. Enjeksiyon makinesinin özellikleri

<b>Enjeksiyon Makinesi</b>		
Kilitleme Kuvveti	ton	110
Hidrolik İtici Güç	ton	3
Vida Çapı	mm	45
Enjeksiyon Kapasite	cm <sup>3</sup>	250
Enjeksiyon Hızı	cm/sn	100
Enjeksiyon Basıncı	kg/cm <sup>2</sup>	1650
Motor Gücü	kw	11
Isıtma Gücü	kw	7.2

### 3.1.5 Akıllı ambalaj deney örneklerinin enjeksiyon edileceği kalıp

Akıllı ambalaj deney örneklerinin oluşturulabilmesi amacıyla kalıp tasarımı yapılmıştır. Kalıp tasarımı içerisinde araştırmada kullanılan akıllı ambalaj deney örneklerinin standartlara bağlı kalarak tasarım ve analiz programı yardımıyla çizimi hazırlanmıştır. Oluşturulan akıllı ambalaj deney örneği kalıbı Şekil 3.3.'te verilmektedir.



Şekil 3.3. Akıllı ambalaj deney örneğinin kalıp şekli

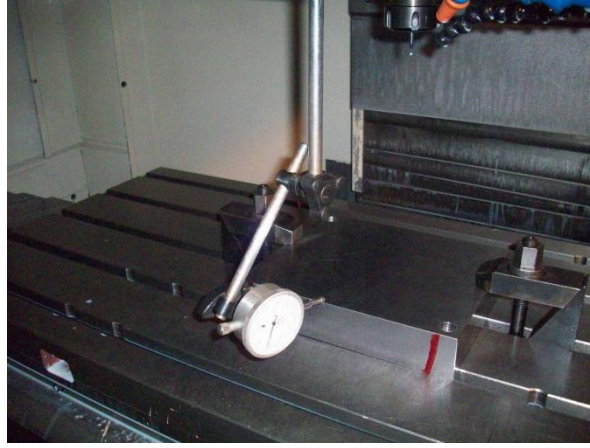
Çizimi yapılmış örnekler için kalıbı oluşturacak malzeme seçimi yapılmıştır. Nümerik kontrollü takım tezgahında tasarımı yapılan parçalar oluşturulmuş ve enjeksiyon yapılacak akıllı ambalaj deney örneklerinin cinsine ve içerdiği katkı göz önüne alınarak 6 mm çap

boyutlu yolluklar açılmıştır. Parlatma işlemi yapılan kalıp işleve hazır, son haline getirilmiştir. Şekil 3.4.'te erkek ve dişi kalıbın seçimi ve ana hatlarının oluşturulması gösterilmektedir.



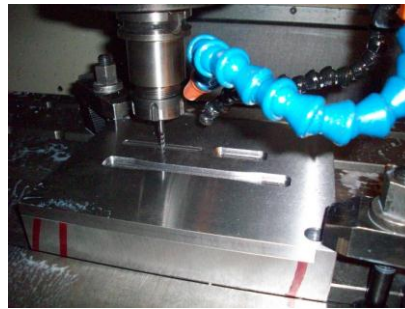
Şekil 3.4. Erkek ve dişi kalıpların seçimi ve ana hatlarının oluşturulması

Kullanılmış olan kalıp malzemesinin nümerik kontrollü takım tezgahına bağlanması Şekil 3.5.'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Kalıp malzemesinin nümerik kontrollü takım tezgahına bağlanması

Kullanılmış olan kalıbın nümerik kontrollü takım tezgahında işleme aşaması Şekil 3.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Kalıbın işleme aşaması



Kullanılmış olan kalıp malzemesinin yolluklarının açılmış hali Şekil 3.7.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Kalıp yolluklarının açılmış hali

### 3.1.6 Deneylerde kullanılan cihazlar

Oluşturulmuş olan akıllı ambalaj deney örnekleri ile ilgili analizlerinin yapılması amacıyla deneylerde kullanılan cihazların listesi, Çizelge 3.5.'te verilmektedir.

Çizelge 3.5. Deneylerde kullanılacak cihazların listesi

Deney No	Kullanılan Deney Aletleri
1	Çekme Deneyi
2	Darbe Deneyi
3	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)
4	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)
5	Akışkanlık Oranı Ölçüm Cihazı (MFR)
6	Yüzey Pürüzlülüğü Test Cihazı
7	Sertlik Ölçüm Cihazı
8	Hassas Terazı ve Kurutma Fırını
9	Fourier Transform Infrared Spektrofotometre (FTIR)
10	Renk Ölçüm Cihazı

## 3.2 Yöntem

Akıllı ambalaj deney örneklerinin oluşturulması sırasında kullanılacak olan matris ve dolgu malzemesinin karıştırılması, oluşan karışımın düzenlenmesi ve deneylerin yapılacağı makinelerin belirlenmesi gerekmektedir.

### 3.2.1 Denemelerin düzenlenmesi

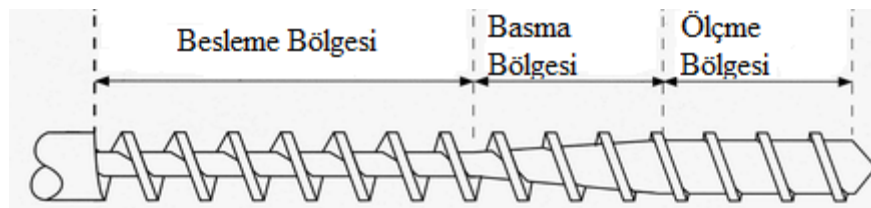
Akıllı ambalaj malzemesi deney örneklerinin oluşturulmasında kullanılan kaolen inorganik dolgu maddesinin içerisinde bulunan nemin azaltılması için 24 saat süre ile 130 °C’de kurutma fırınında kurutulmuştur. Kaolen malzemenin polipropilen içerisinde kütleli olarak %0 ve %8 aralığında homojen karışımı yapılması için belirlenen temizlenmiş bir kap içerisinde 15 dk süre ile karıştırılmıştır. Örneklerin kütleli karışım oranları ve isimlendirilmeleri Çizelge 3.6.’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Akıllı ambalaj örneklerinin kütleli karışım oranları ve isimlendirmeleri

Kütleli Karışım Oranı	PP (gr)	Kaolen (gr)	İsimlendirme
Saf PP	2000	0	PP0K
PP + %1 Kaolen	2000	20	PP1K
PP + %2 Kaolen	2000	40	PP2K
PP + %3 Kaolen	2000	60	PP3K
PP + %4 Kaolen	2000	80	PP4K
PP + %5 Kaolen	2000	100	PP5K
PP + %6 Kaolen	2000	120	PP6K
PP + %7 Kaolen	2000	140	PP7K
PP + %8 Kaolen	2000	160	PP8K

### 3.2.2 Deney çubuklarının oluşturulması

Karışımı yapılmış olan malzemeler ile deney örneklerinin oluşturulması için enjeksiyon makinesi kullanılmıştır. Enjeksiyon makinesinde kullanılan vida bölgesel olarak ısı ve şekil farklılıkları göstermektedir. Vidanın bölgeleri Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Enjeksiyon vidasının bölgeleri

Enjeksiyon vidasının bölgesel sıcaklıkları malzemelere ve içerisine ilave edilen katkı maddelerinin cinsine bağlı olarak değiştirilmiştir. Akıllı ambalaj deney örneklerinin oluşturulması için kullanılan en uygun bölge sıcaklıkları Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Enjeksiyon vidasının bölgelerinin sıcaklıkları

Vida Bölgesi	Kullanılan Sıcaklık (°C)
Besleme Bölgesi	220
Basma Bölgesi	225
Ölçme Bölgesi	230

Akıllı ambalaj deney örneğinin oluşturulması için kalıp enjeksiyon makinesine bağlanmıştır. Bir grup deney örneğinin uygun şartlar sağlandıktan sonra üretim zamanı 40sn olarak belirlenmiştir. Uygun üretim şartların sağlanmasında enjeksiyon sıcaklığı, kullanılan kalsine edilmiş kaolen ve polipropilen miktarı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılmış olan kalıbın enjeksiyon makinesine indirilmesi Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Kalıbın enjeksiyon makinesine indirilmesi

Deneylerde kullanılmış olan kalıbın enjeksiyon makinesine bağlanması Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



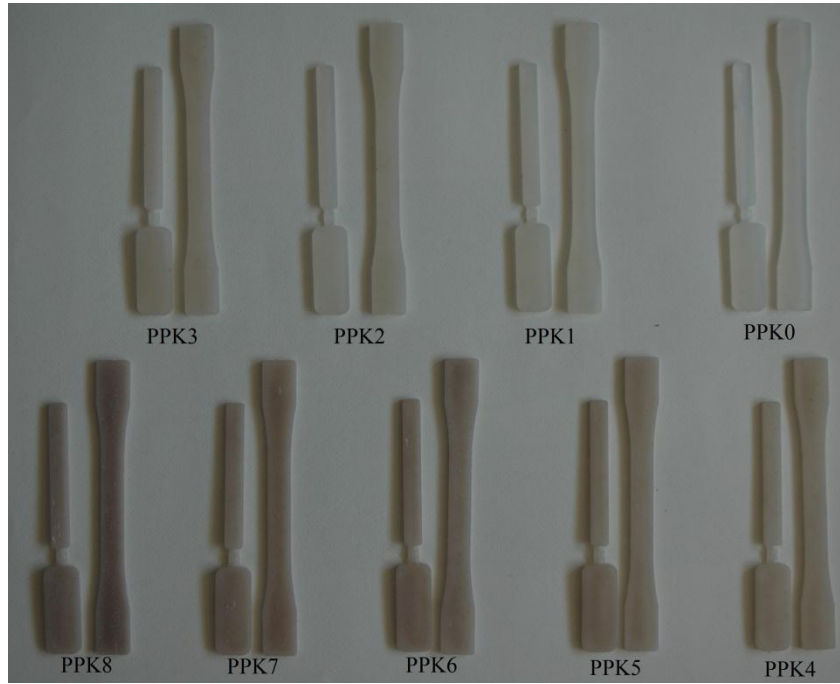
Şekil 3.10. Kalıbın enjeksiyon makinesine bağlanması

Deneylerde kullanılmış olan akıllı ambalaj deney örneklerinin üretim aşaması Şekil 3.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Deney örneklerinin üretim aşaması

Akıllı ambalaj deney örneklerinin enjeksiyon makinesinde belirlenen sıcaklık, basınç ve zaman içerisinde 20 şer adet üretimi yapılmıştır. Şekil 3.12.'de üretimi yapılmış ve denemelere hazır hale getirilmiş akıllı ambalaj deney örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Üretilmiş olan akıllı ambalaj deney örnekleri

### 3.2.3 Çekme deneyi ile örnek malzeme gerilme tespiti

Üretilmiş olan deney örneklerinin çekme özelliklerini belirlemek amacıyla çenelerle tutularak sabit bir hızda çekilmiştir. 500N ve 10KN kuvvet ölçüm aralığına sahiptir. ISO 527 genel plastik standardı göz önüne alınmıştır. Çekme deneyi düzeneği Şekil 3.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Çekme deneyi düzeneği

### 3.2.4 Darbe deney düzeneği

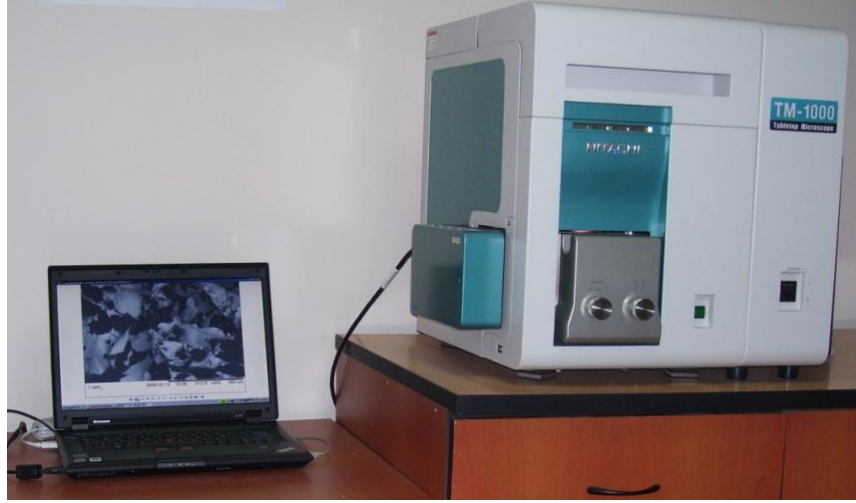
Akıllı ambalaj deney örneklerinin darbe testlerinde Izod-Charpy deney düzeneği kullanılmıştır. Deneyde kullanılan düzeneğin kapasitesi 21.68 joule ve maksimum 150 derecelik çene açısına sahiptir. ISO 179 genel plastik standardı göz önüne alınmıştır. Kullanılan deney cihazı düzeneği Şekil 3.14.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Izod charpy deney düzeneği (<http://www.internationalequipments.com>)

### 3.2.5 Taramalı elektron mikroskopla (SEM) örnek malzeme görüntüleri

Akıllı ambalaj deney örneklerinin görüntülenmesinde taramalı elektron mikroskobu deney düzeneği kullanılmıştır. Kullanılan deney düzeneği Şekil 3.15.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Taramalı elektron mikroskobu

### 3.2.6 Yüzey pürüzlülüğü test cihazı ile yüzey pürüzlülük tespiti

Akıllı ambalaj deney örneklerinin yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ölçüm deney düzeneği kullanılmıştır. Deney düzeneği ISO 4287 plastik malzeme genel standardı göz önüne alınmıştır. Kullanılan deney aleti Şekil 3.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Yüzey pürüzlülüğü deney düzeneği

### 3.2.7 Sertlik tespiti

Akıllı ambalaj deney örneklerinin sertlik değerlerinin belirlenmesinde Shore D sertlik ölçüm deney düzeneği kullanılmıştır. ISO 868 plastik malzeme genel standardı göz önüne alınmıştır. Kullanılan deney aleti Şekil 3.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Sertlik ölçme deney aleti

### 3.2.8 Nem emiciliği ölçümü

Akıllı ambalaj deney örneklerinin su emiciliği değerlerinin belirlenmesinde kurutma fırını ve hassas terazi kullanılmıştır. ISO 62 plastik malzeme genel standardı göz önüne alınmıştır. Kullanılan deney aleti Şekil 3.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Nem emiciliği ölçümlerinde kullanılan hassas terazi

### 3.2.9 Isıl özelliklerinin belirlenme yöntemi

Akıllı ambalaj deney örneklerinin ısıl özelliklerinin belirlenmesinde diferansiyel taramalı kalorimetre deney düzeneği kullanılmış olup, DSC cihazı yardımıyla oluşturulan malzemelerin termik özellikleri incelenmiştir. ISO 11357 plastik malzeme genel standardı göz önüne alınmıştır. DSC cihazıyla birlikte malzemenin endotermik ve ekzotermik ısıl şartları incelenmiş, reaksiyon başlangıç noktaları tespit edilmiştir. Kullanılan deney düzeneği Şekil 3.19.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Diferansiyel taramalı kalorimetre deney düzeneği

### 3.2.10 Akışkanlık oranı belirleme yöntemi

Akıllı ambalaj deney örneklerinin akış özelliklerinin belirlenmesinde akışkanlık oranı belirleme deney düzeneği kullanılmıştır. MFR cihazı yardımıyla oluşturulan malzemelerin akışkanlık özellikleri incelenmiştir. DIN EN ISO 1133 plastik malzeme genel standardı göz önüne alınmıştır. Kullanılan deney düzeneği Şekil 3.20.'de gösterilmiştir.





Şekil 3.20. Akışkanlık oranı deney düzeneği

### 3.2.11 Frekans tepkilerinin belirlenmesi

Akıllı ambalaj deney örneklerini oluşturan maddelerin frekans tepkileri değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Kullanılan deney düzeneği Şekil 3.21.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Fourier transform infrared spektrofotometre (FTIR) cihazı

### 3.2.12 Renk ölçümü

Akıllı ambalaj deney örneklerinin renk değişikliklerinin PPK0 şahit alınarak ölçümünün belirlenmesinde ASTM 6290-05e1 standardı kullanılmıştır. Kullanılan deney aleti Şekil 3.22.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Renk ölçüm cihazı

### 3.2.13 pH ölçümü

Deneyde kullanılan yoğurdun zamanla pH değişimlerinin belirlenmesinde hassas indikatörler kullanılmıştır. Kullanılan deney cihazı Şekil 3.23’de gösterilmektedir.



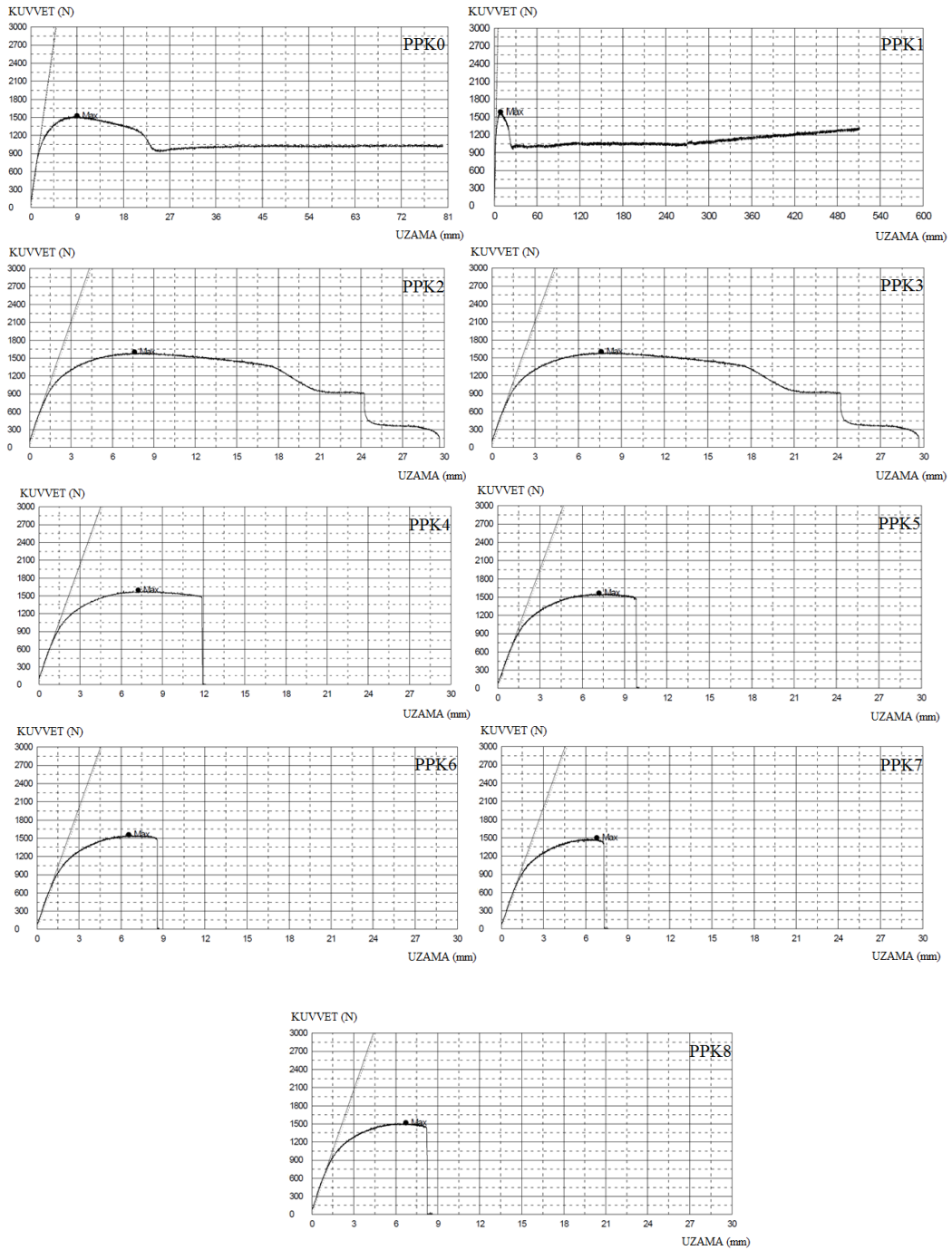
Şekil 3.23. pH ölçümü indikatörleri cihazı

Tüm bu deney düzenekleri kullanılarak yapılmış denemeler sonucunda oluşturulmuş olan akıllı ambalaj deney örneklerinin mekanik, fiziksel, ısıl ve renk değişim değerleri ölçülmüştür.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1 Çekme Deneyi Sonuçları

Akıllı ambalaj örnekleri 5 mm/dk hızla 10 KN'luk bir kuvvetle analiz edilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen deney örneklerinin çekme deneyleri sonucundaki Kuvvet-Uzama grafiği değerleri Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Akıllı ambalaj deney örneklerinin çekme uzama eğrisi

Çekme deneyi sonucunda akıllı ambalaj deney örneklerinin mekanik davranışları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Akıllı ambalaj deney örneklerinin mekanik özellikleri

<b>Deney Örnekleri</b>	<b>Maksimum Kuvvet (N)</b>	<b>Maksimum Uzama (mm)</b>	<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Akma Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Elastik Gerilme Sınırı (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>
PPK0	1528.130	9.0030	30.1393	15.5319	699.476	-
PPK1	1587.500	8.8117	31.3104	18.1822	654.560	-
PPK2	1603.130	7.6000	31.6186	15.9634	790.257	-
PPK3	1575.000	7.7830	31.0639	16.2099	755.247	4.41
PPK4	1596.880	7.2490	31.4953	16.9495	757.060	4.46
PPK5	1565.630	7.1855	30.8790	17.0112	745.193	2.83
PPK6	1559.380	6.5580	30.7557	17.0112	763.935	2.00
PPK7	1503.130	6.7950	29.6463	16.2099	763.688	2.16
PPK8	1518.750	6.7260	29.9544	16.6414	785.985	1.85

## 4.2 Darbe Deneyi Sonuçları

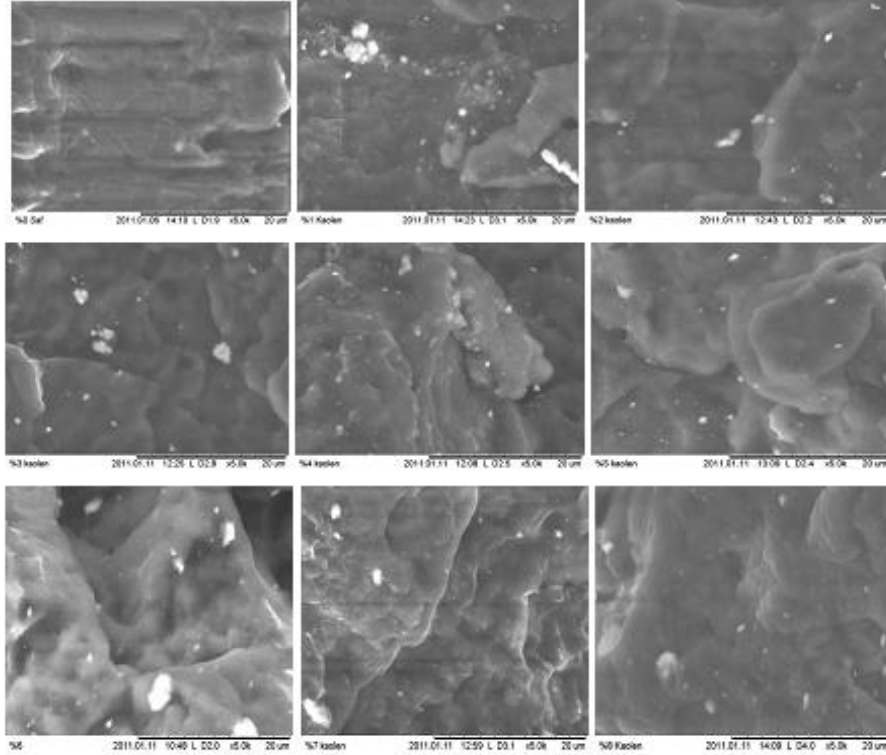
Akıllı ambalaj deney örneklerinin darbe deneyi sonuçlarında elde edilen verileri Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Akıllı ambalaj deney örneklerinin darbe deneyi sonuçları

<b>Deney Örneği</b>	<b>Darbe Deneyi Sonucu (J)</b>
PPK0	3.44
PPK1	2.57
PPK2	2.84
PPK3	1.75
PPK4	1.13
PPK5	0.88
PPK6	0.96
PPK7	0.88
PPK8	0.63

### 4.3 Taramalı Elektron Mikroskobu ile Tespit Edilen Görüntü

Akıllı ambalaj örneklerinin Taramalı Elektron Mikroskobu ile yapılan 20µm yakınlığındaki incelemeleri sonucunda elde edilen görüntüler Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Akıllı ambalaj deney örneklerinin elektron mikroskobu görüntüleri

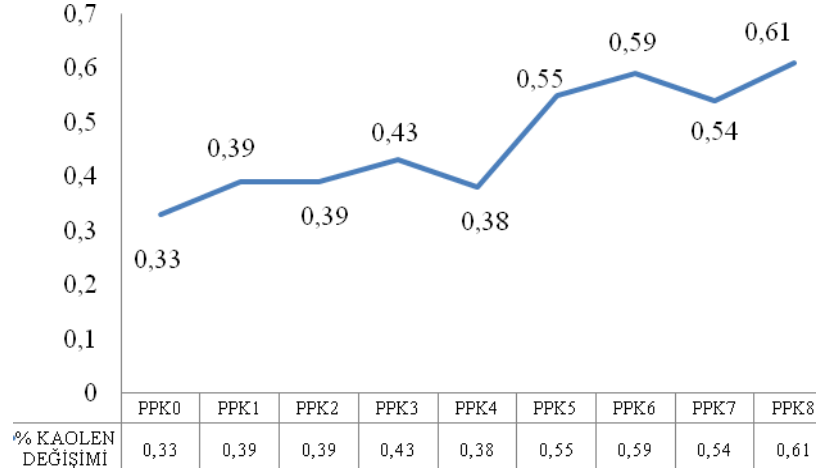
### 4.4 Yüzey Pürüzlülüğü Testi Sonuçları

Akıllı ambalaj deney örneklerinin yüzey pürüzlülüğü test cihazı ile yapılan incelemeler sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Akıllı ambalaj deney örneklerinin yüzey pürüzlülüğü değerleri

Deney Örnekleri	Yüzey Pürüzlülüğü
PPK0	0.33
PPK1	0.39
PPK2	0.39
PPK3	0.43
PPK4	0.38
PPK5	0.55
PPK6	0.59
PPK7	0.54
PPK8	0.61

Akıllı ambalaj deney örneklerinin yüzey pürüzlülüğü testi sonuçlarının grafiksel olarak incelenmesinde elde edilen değerler Şekil 4.3.'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Akıllı ambalaj deney örneklerinin yüzey pürüzlülüğü değerleri

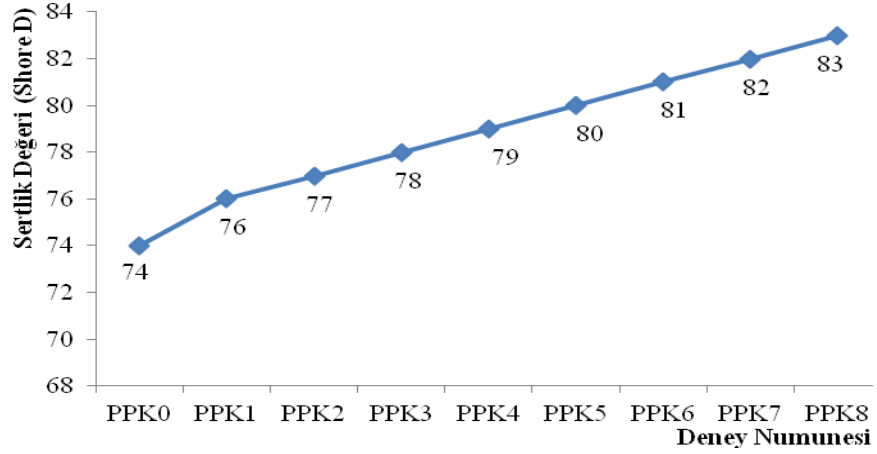
#### 4.5 Sertlik Deneyi Sonuçları

Akıllı ambalaj deney örneklerinin sertlik ölçümü cihazı ile yapılan incelemeler sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Akıllı ambalaj deney örneklerinin sertlik değerleri

Deney Örneği	Sertlik Ölçüsü (Shore D)
PPK0	74
PPK1	76
PPK2	77
PPK3	78
PPK4	79
PPK5	80
PPK6	81
PPK7	82
PPK8	83

Akıllı ambalaj deney örneklerinin sertlik değerleri sonuçlarını grafiksel olarak incelenmesinde elde edilen değerler Şekil 4.4.'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Akıllı ambalaj deney örneklerinin sertlik değerleri

#### 4.6 Nem Emiciliği Deneyi Sonuçları

24 Saat boyunca 140 °C’de fırında kurutulan örnekler hassas terazi yardımıyla ağırlıkları ölçülmüştür. Şekil 4.5.’te kurutma yapılan örnekler gösterilmiştir.



Şekil 4.5. 140°C ‘de kurutulan akıllı ambalaj deney örnekleri

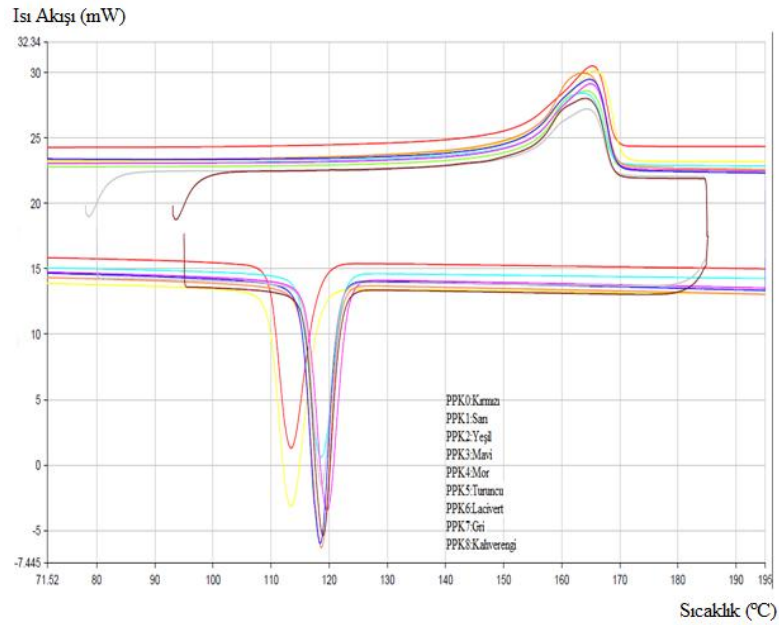
Kurutma yapılmasının ardından pH derecesi 7.8 olan 10°C suya konulan akıllı ambalaj deney örnekleri aldığı nem miktarları ile birlikte ağırlıklarında değişimler meydana gelmiştir. Bu değişim miktarlarının artışı, akıllı ambalaj malzemesindeki nem oranlarının değişiminin, dolgu maddesi oranıyla arasındaki bağlantının olduğunu göstermiştir. Akıllı ambalaj deney örneklerinin kurutma yapıldıktan sonraki ve suda bekletilmelerinden sonraki ağırlıkları Çizelge 4.5.’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Akıllı ambalaj deney örneklerinin su emiciliği

Deney Örnekleri	Kurutulduktan Sonraki Ağırlıkları (gr)	Suda Bekletildiğindeki Ağırlıkları (gr)	Emilen Su (gr)
PPK0	3.0609	3.0634	0.0025
PPK1	3.1495	3.1521	0.0026
PPK2	3.1532	3.1558	0.0026
PPK3	3.1704	3.1731	0.0027
PPK4	3.1916	3.1949	0.0033
PPK5	3.2218	3.2252	0.0034
PPK6	3.2286	3.2320	0.0034
PPK7	3.2420	3.2455	0.0035
PPK8	3.2895	3.2940	0.0045

#### 4.7 Akıllı Ambalaj Deney Örneklerinin Isıl Özellikleri Sonuçları

5mg ağırlığındaki akıllı ambalaj deney örneklerinin Diferansiyel Taramalı Kalorimetre cihazı ile yapılan 40°C ile 230°C arasında dakikada 10°C'lik sıcaklık değişim ile gerçekleştirilen ısıl özelliklerindeki incelemeler ile elde edilen sonuçları Şekil 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Akıllı malzeme deney örneklerinin DSC sonuçları

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Cihazı ile yapılan endotermik inceleme sonucundaki değerler Çizelge 4.6.'da verilmiştir.



Çizelge 4.6. Deney örneklerinin endotermik özellikleri

<b>Deney Örneği</b>	<b>Reaksiyon Başlangıç Noktası (°C)</b>	<b>Pik Noktası (°C)</b>	<b>Reaksiyon Bitiş Noktası (°C)</b>	<b>Alan (mJ)</b>	<b>Delta H (J/g)</b>	<b>Pik Yüksekliği (mW)</b>
PPK0	153.240	165.320	169.090	376.699	75.340	5.9846
PPK1	153.190	165.680	170.130	421.746	84.349	6.6023
PPK2	154.900	164.620	168.960	308.815	61.704	5.4832
PPK3	154.420	163.870	168.690	314.364	62.873	5.0922
PPK4	153.220	165.070	169.040	366.033	73.207	6.099
PPK5	154.220	164.060	169.160	467.459	93.492	6.743
PPK6	152.640	164.970	169.100	432.178	86.436	6.5225
PPK7	153.510	164.430	168.640	293.263	58.653	4.7535
PPK8	154.690	164.370	168.730	317.613	63.523	5.472

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Cihazı ile yapılan ekzotermik inceleme sonucundaki değerler Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Deney örneklerinin ekzotermik özellikleri

<b>Deney Örneği</b>	<b>Reaksiyon Başlangıç Noktası (°C)</b>	<b>Pik Noktası (°C)</b>	<b>Reaksiyon Bitiş Noktası (°C)</b>	<b>Alan (mJ)</b>	<b>Delta H (J/g)</b>	<b>Pik Yüksekliği (mW)</b>
PPK0	118.010	113.490	109.850	-427.945	-85.589	-13.7655
PPK1	118.110	113.380	109.620	-545.893	-109.179	-16.4412
PPK2	120.410	116.000	112.650	-441.090	-88.218	-14.7087
PPK3	122.410	118.650	114.960	-405.422	-81.084	-13.9437
PPK4	123.030	119.560	116.120	-473.911	-94.782	-17.4316
PPK5	121.730	118.620	115.190	-510.666	-102.133	-19.8824
PPK6	121.490	118.450	115.100	-493.202	-98.640	-19.8763
PPK7	121.570	118.690	115.840	-342.802	-68.560	-15.3223
PPK8	122.020	118.920	115.850	-445.855	-89.171	-18.5442

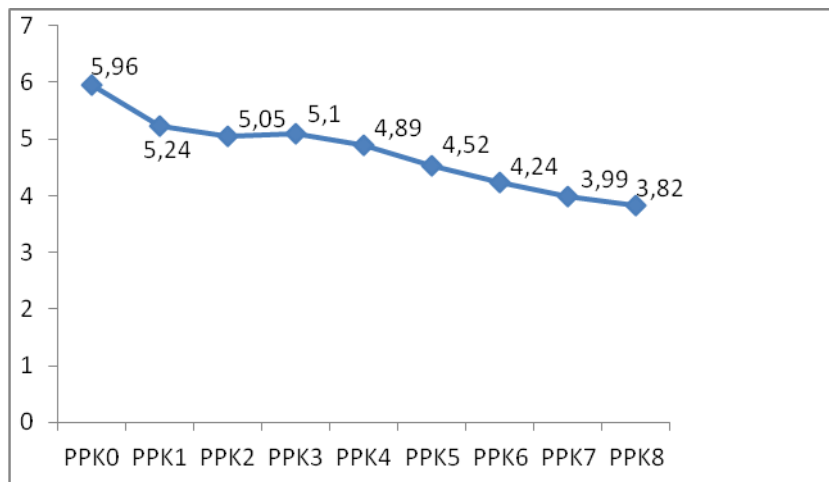
#### 4.8 Akışkanlık Oranı Cihazı ile Saptanan Sonuçlar

Akışkanlık Oranı Cihazı ile yapılan inceleme sonucundaki değerler Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Akıllı ambalaj deney örneklerinin akışkanlık oranları

Deney Örneği	Akışkanlık Oranı
PPK0	5.96
PPK1	5.24
PPK2	5.05
PPK3	5.10
PPK4	4.89
PPK5	4.52
PPK6	4.24
PPK7	3.99
PPK8	3.82

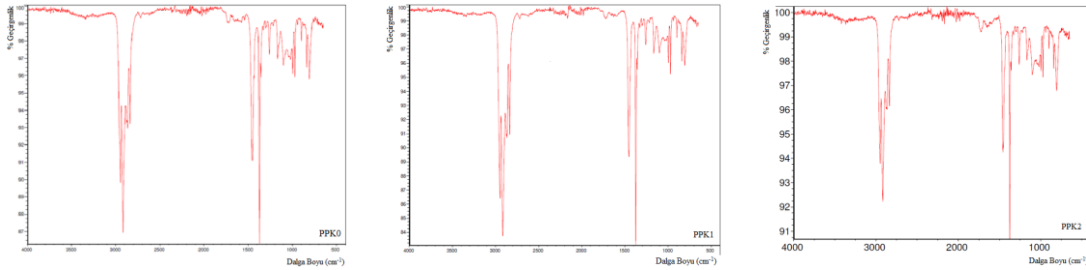
Akıllı ambalaj deney örneklerinin akışkanlık oranı testi sonuçlarının grafiksel olarak incelenmesinde elde edilen değerler Şekil 4.7.'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Akıllı ambalaj deney örneklerinin akışkanlık oranları

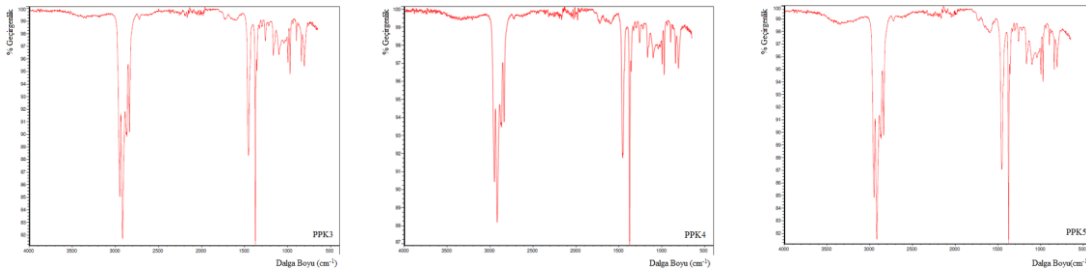
## 4.9 Frekans Tepki Sonuçları

FTIR cihazı ile kalsine edilmiş kaolenin polimere katıldıktan sonra oluşturulan akıllı ambalaj deney örnekleri üzerinden 5mg'lık parçalar alınmış ve bu parçalar üzerinden frekans geçirgenliklerindeki değişiklikler incelenmiştir. PPK0, PPK1 ve PPK2 akıllı ambalaj deney örneklerinin sonuçları Şekil 4.8.'de verilmiştir.



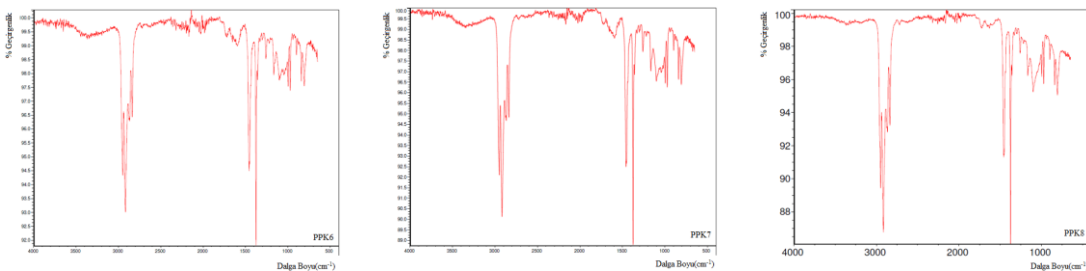
Şekil 4.8. PPK0, PPK1 ve PPK2 deney örneklerinin FTIR test cihazı sonuçları

PPK3, PPK4 ve PPK5 akıllı ambalaj deney örneklerinin FTIR spektrofotometresiyle yapılan analiz sonuçları Şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. PPK3, PPK4 ve PPK5 deney örneklerinin FTIR test cihazı sonuçları

PPK6, PPK7 ve PPK8 akıllı ambalaj deney örneklerinin FTIR spektrofotometresiyle yapılan analiz sonuçları Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. PPK6, PPK7 ve PPK8 deney örneklerinin FTIR test cihazı sonuçları

#### 4.10 Renk Ölçümü Sonuçları

Akıllı ambalaj deney örneklerinin enjeksiyon makinesi ile üretiminden sonra yapılan renk ölçümü değerleri Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Akıllı ambalaj deney örneklerinin renk değerleri

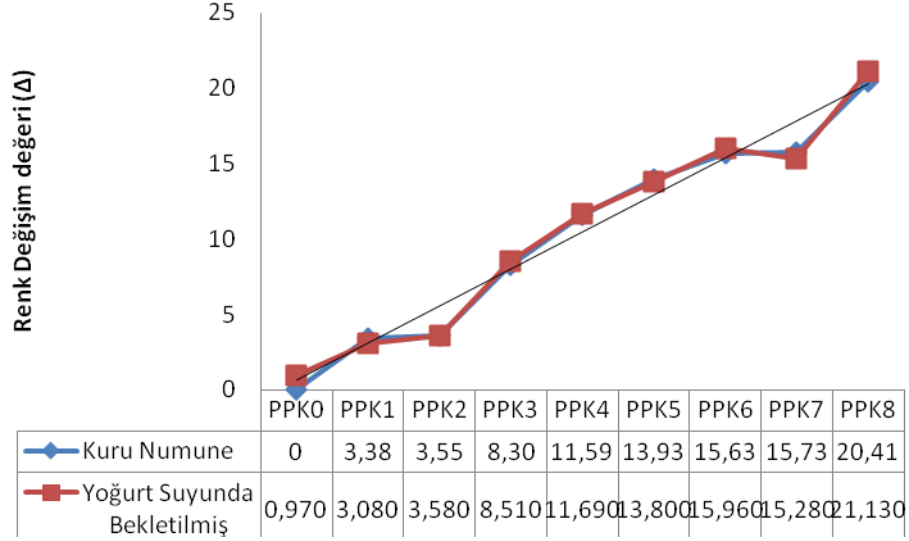
<b>Deney Örneği</b>	<b>Renk Değerleri (L)</b>	<b>Renk Değişim Değerleri (<math>\Delta</math>)</b>
PPK0	37.94	0
PPK1	41.29	3.38
PPK2	41.46	3.55
PPK3	46.21	8.30
PPK4	49.53	11.59
PPK5	51.43	13.93
PPK6	53.08	15.63
PPK7	53.06	15.73
PPK8	57.62	20.41

Yoğurt serumunda +5 °C'de pH 4 ortamında 15 gün süre ile bekletilen akıllı ambalaj deney örneklerinin renk ölçümü değerleri Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Akıllı ambalaj örneklerinin yoğurt serumundan sonraki renk değerleri

<b>Yüzde Kaolen Oranı</b>	<b>Renk Değerleri (L)</b>	<b>Renk Değişimi Değerleri (<math>\Delta</math>)</b>
PPK0	36.99	0.970
PPK1	40.99	3.080
PPK2	41.49	3.580
PPK3	46.42	8.510
PPK4	49.55	11.690
PPK5	51.32	13.800
PPK6	53.37	15.960
PPK7	52.64	15.280
PPK8	58.55	21.130

Akıllı ambalaj deney örneklerinin renk ölçüm değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Akıllı ambalaj deney örneklerinin renk ölçümü karşılaştırma sonucu

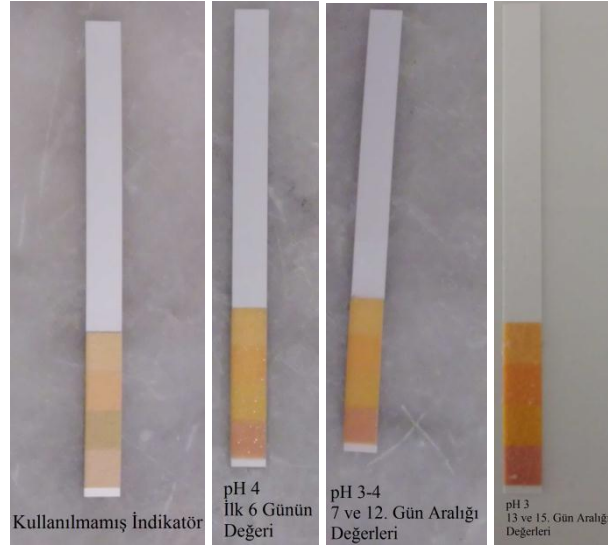
#### 4.11 Yoğurdun pH Değişimi Ölçümü Sonuçları

Araştırmada kullanılacak olan doğal yoğurdun +5 °C 'de zamanla pH değişimleri incelenmiştir. Analiz sonucunda bulunan değerler Çizelge 4.11.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Deneyde kullanılan yoğurdun zamanla pH değerlerinin değişimi

Ölçüm Zamanı	pH Değeri
1.Gün	4
2.Gün	4
3.Gün	4
4.Gün	4
5.Gün	4
6.Gün	4
7.Gün	3--4
8.Gün	3--4
9.Gün	3--4
10.Gün	3--4
11.Gün	3--4
12.Gün	3--4
13.Gün	3
14.Gün	3
15.Gün	3

Bu araştırmada kullanılan yoğurdun pH değişimi Şekil 4.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Yoğurdun zamanla ph değişimi

Ölüm günleri arttıka asitlik oranının arttığı indikatörler yardımıyla gözlemlenmiştir.

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu araştırmada kullanılmak üzere yapılmış olan kalıp, yolluk ve sıcaklık değerleri nem emiciliği ve renk değişim indikatörünü plastik malzeme içerisinde dağılımını sağlayacak şekilde arttırılmıştır ve sıcaklık artışıyla birlikte akıllı malzemenin matris malzemesi olarak kullanılan PP'nin akışkanlığının arttırılması ve enjeksiyon optimum değeri 220°C, 225°C, 230°C bölgesel sıcaklıkları ile gerçekleştirilmiştir. Bu durum PP polimerinin yapısal düzeninde sıcaklık ile bağlarının gevşemesi ve yapının viskozitesinin azalması sonucuna dayanmaktadır.

Yapılan çekme deneyleri sonucunda renk değişiminin yoğun olduğu akıllı ambalaj deney örneklerinde kopma uzaması ve maksimum uzama noktalarının azaldığı görülmüştür. Elastik gerilme sınırının renk değişim miktarı ile birlikte artmış olduğu görülmüştür. Renk değişimiyle birlikte maksimum kuvvet, akma dayanımını, çekme dayanımı değerlerinde belirgin artışlar gözlenmemiştir.

Darbe deneyi sonucunda oluşturulan akıllı ambalaj malzemesinin renk değişiminin arttığı örneklerde sönmölen enerji miktarının azaldığı görülmüştür bunun nedeni renk değişimini ve nem emiciliğini sağlayan kaolen miktarının artışıdır. Kaolen miktarının artış göstermesi çekme deneyindeki kopma uzamasının azalması ile birlikte ele alındığında; matris malzemesi olarak kullanılan PP polimerinin içerisinde dağılmış olan renk değişimi ve nem emiciliği materyallerinin ara yüzey bağlarının uzama ve enerji sönmöleme sırasında matris malzemesinden ayrılmasıyla açıklanmıştır.

Akıllı ambalaj malzemesi örneklerinin çekilen SEM görüntüleri incelendiğinde oluşturulan örneklerin Renk değişim miktarının artmasıyla renk değişim maddesi dağılımının daha düzenli ve homojen olduğu gözlemlenmiş ve topaklanmaların düşük renk değişimi miktarında gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Renk değişimi miktarının artmasıyla matris malzemesi olarak kullanılan PP miktarının bağlayıcılığının azaldığı görülmüştür. Ayrıca yapılan araştırmada PPK0 örneğinin görüntüleri baz alındığında renk değişim malzemesinin PP malzemesinde oluşan boşlukları doldurmuştur.

Akıllı ambalajlama deney örneklerinin termal analizi sonucunda ise polipropilenin içerisindeki kaolenin çekirdeklenme etkisi sonucunda artığı gözlemlenmiştir. Diğer taraftan erime sıcaklığı renk değişim malzemesinin düşük moleküler ağırlığı sayesinde azalmıştır.

Akışkanlık oranı ölçümü sonucunda ise renk değişim miktarının artışıyla akıllı ambalaj deney örneklerinin akış oranlarının düştüğü görülmüştür. Aynı ortam koşullarında yoğunluğun artışının renk değişim materyallerinin deney örnekleri içerisindeki oranıyla arttığı gözlemlenmiştir. Bu duruma dayanılarak akıllı ambalaj deney örneklerinin oluşturulması sırasındaki gerekli enjeksiyon sıcaklıklarının ve basıncının artırılmasının gerekliliği tespit edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü testi sonucunda akıllı malzeme deney örneklerinin yüzeyindeki topografyanın, renk değişim oranıyla arttığı gözlenmiştir. Bu durumun malzeme üzerindeki sıvı emiciliği ve renk değişimini sağlayan materyalin akıllı ambalaj deney örnekleri üzerindeki yüzey alanının arttığını belirtir. Bu artışın nedeni polimer malzemenin içerisine dağılmış olan dolgu malzemesinin, matrisin birim alanına düşen sayının artmasıyla açıklanmıştır.

Sertlik deneyi sonucunda renk değişim miktarının artmasının akıllı ambalaj deney örneğinin sertliğinin artmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak akıllı malzeme yüzeyinde yapılan ölçümlerin nem emiciliği faktörüyle uyumlu olduğu sonucunu doğurmuştur.

Akıllı ambalaj deney örneklerinin renk değişim değerlerinin artış göstermesi, örneklerinin kurutulması ve yoğurt serumu içerisinde bekletilmesi işlemlerinden sonra su emiciliği miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Akıllı malzemelerin yüzeysel boyuttaki men emici faktörlerinin doğal yaşam şartlarında da nem çekici özelliklerinin iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

FTIR spektroanalizi sonucunda renk değişim değerlerinin artmasıyla birlikte PP polimerinin arasındaki bağların geçirgenlik değerleri artmış olduğu gözlemlenmiştir. Polipropilenin karbon bağları arasında asimetric gerilmelerin oluştuğu ve bunun sonucunda akıllı ambalajlama deney örneğindeki dolgu malzemesinin etkisinin bağlar arasındaki gerilmeye neden olduğu sonucuna varılmıştır. %7 ve %8 katkı oranlı akıllı ambalaj örneklerinde kaolen dolgu malzemesinin oluşturduğu silikat gerilmeleri gözlenmiştir.

Renk değişimi değerlerinin belirlenmesi için doğal yoğurt serumu içerisinde bekletilen akıllı ambalaj malzemesi, dolgu malzemesi olan kaolen miktarının deney örnekleri içerisindeki değerinin artması sonucunda renk değerlerinin doğru orantıda arttığı gözlemlenmiştir. Kaolenin su çekiciliği ve renk değişiminin serum ile temas eden bölgelerde



ve yoğun olduğu alanlarda daha fazla olduğu organik yapısının doğal şartlarda nem emiciliğine yatkın olması nedeniyle açıklanmıştır.

Araştırmalarda kullanılan doğal yoğurdun pH'nın belirlenmesinde 15 gñnlük periyodik ölçümler yapılmasıyla, içerisinde bulunduğu mikrobiyal oluşumun ölçümler sırasında serumun pH derecesini azalttığı gözlemlenmiştir. Bakterilerin oluşturduğu enzimlerin ve fermantasyonun sonucunda ortaya çıkan artıkların yoğurdun bozulmasını gerçekleştirir. Bu durumun sonucunda doğal yoğurttaki serum oluşumu ve asitlik derecesi arttığı görñlmüřtür.

Yapılan araştırmada doğal yoğurdun bozulması sonucunda oluşacak serumu ve pH değişimi, ağırlıkça %8 kaolen malzemesi içeren akıllı ambalaj örneği sayesinde bozulma tarihi belirtilmeden tespit edilmiştir. Ayrıca deney örnekleri ile yapılan termal analizler sonucunda ısıl değerlerinin iyileştirilmesi sayesinde reaksiyon başlangıç ve bitiş noktalarının ekzotermik reaksiyonda azaldığı, endotermik reaksiyonda ise üretim aşamasında harcanan enerjinin düřürñldüđu görñlmüřtür.

Doğal yoğurtta oluşan serum ve pH değişiminin, PP polimerine eklenen kalsine edilmiş kaolen malzemeyle emilerek bünyeye katılan yine polimer formdaki renk indikatörünün etkilenmesi sonucu renk değişiminin olduğu görñlmüřtür. İndikatör etki derecesini arttırmak için oransal değerin değişmesi yanında polimer yapı ile uyum göstermesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Böylece yoğurt ambalaj kaplarında renk değişimini algılayarak kullanıcıya bilgi veren akıllı malzeme yapısının oluşumu sağlanmıştır. Ancak bu oluşumun uygulamaya girmesi için yoğurt üreticilerinin bu konuda istekli olması yanında gıda ambalaj uygulamalarında da yasal düzenlemelerin getirilmesi zorunludur. Geliřtirilen kap malzemesi uygulamasının gıda ambalaj kapları uygulamalarında geniş bir yer işgal edeceği aşık olmaktadır..

## 6. KAYNAKLAR

- Bente F, Hellstorm T, Henrysdotter, G Hjulmand-Lassen ,M Rüdinger, J, Sipilainen-Malm T, Solli E, Svensson K, Tharkelsson E A, Tuomaala V (2000). Active and Intelligent Food Packaging, a nordic report on legislative aspects. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 13-21.
- Bouwmeester H, Dekkers S, Noordam M Y, Hagens W I, Bulder A S, Heer C, Voorde S, Wijnhoven S, Marvin H, Sips A (2009). Review of Health Safety Aspects of Nanotechnologies in Food Production. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 53:52-62.
- Carvalho A J F de, Curvelo A A S, Agnelli J A M (2000). First Insight on Composites of Thermoplastic Starch and Kaolin, *Carbohydrate Polymers*, 45:189-194.
- Chang Z, Guo F, Chen J, Yu J, Wang G (2007). Synergistic Flame Retardant Effects of Nano-kaolin and Nano-HAO on LDPE/EPDM Composites. *Polymer Degradation and Stability*, 92: 1204-1212.
- Conway V L, Hassen K P, Zhang L, Seitz W R, Gross T S (1996). The Influence of Composition on the Properties of pH-swelling Polymers for Chemical Sensors, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 45:1-9.
- Day B P F (1992). Guidelines for the Good Manufacturing and Handling of MAP'ed Food Products, Tech. Manual No:34, C.&C. Food Research Ass., C.Campden, Glos., UK .
- Demjen Z, Pukanszky B, Nagy Jr J (1999). Possible Coupling Reactions of Functional Silanes and Polypropylene, *Polymer*, 40:1763-1773.
- Da Silva L, Da Silva F E, Franco C V, Nuemberg R B, Gomes T, Miranda R, Da Silva Paula M M (2008). Humidity and pH Sensor Based On sulfonated Poly-{styrene-acrylic acid} Polymer. *Synthesis and Characterization, Materials Science & Engineering C. Biomimetic and Supramolecular Systems*, 29:599-601.
- Ertekin K, Alp S, Karapire C, Yenigül B, Henden E, İçli S (2000). Fluorescence Emission Studies of an Azlactone Derivative Embedded in Polymer Films an Optical Sensor for pH Measurements, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 137:155–161.
- Europa web site summaries of legislations, SCAD Plus Active and intelligent packaging, [http://europa.eu/legislation\\_summaries/consumers/product\\_labelling\\_and\\_packaging/121084\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/consumers/product_labelling_and_packaging/121084_en.htm), (31.01.2012).
- Ferrage E, Martin F, Boudet A, Petit S (2002). Talc as Nucleating Agent of Polypropylene : Morphology Induced by Lamellar Particles Addition and Interface Mineral-Matrix Modelization, *Journal of Material Science*, 37:1561-1573.
- Freedonia report, Çalışma 2236, Ağustos 2007.
- Han C D, Weghe T V D, Shete P, Haw J R (1981). Effects of Coupling agents on the Rheological Properties, Processability, and Mechanical Properties of Filled Polypropylene, *Polymer Engineering and Science*, 21:196-203.

- Han Y H, Ho C H L, Rodrigues E T (2005). Intelligent Packaging, In: Innovations in Food Packaging, Edited by Han, J.H., Elsevier Academic Press, London, 138-153.
- Henriette M, Azedero C (2009). Nanocomposites for Food Packing Applications. Food Research International, 42: 1240-1253.
- <http://pubpages.unh.edu/~harter/crystal.htm>, 2006
- Joseph T, Morrison M (2006). Nanotechnology in Agriculture and Food, 3:7-11
- Köroğlu F N (2004). Nitrofenollerin İyonik ve İyonik Olmayan Organobentonitlerle Adsorpsiyon ve Desorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Lakarad B, Herlem G, Lakard S, Guyetant R, Fahys B (2005), Potentiometric pH Sensors Based on Electrodeposited Polymers, Polymer, 46:12233-12239.
- Leong Y W, Abu Bakar M B, Mohd Z A, Ariffin I & A (2004). Characterization of Talc/Calcium Carbonate Filled Polypropylene Hybrid Composites Weathered in A Natural Environment, Polymer Degradation & Stability, 83: 411-422.
- Leong Y W, Bahar M B A, Ishak Z A M, Ariffin A, Pukanszky B (2004) Comparison of the Mechanical Properties and Interfacial Interactions Between Talc Kaolin, and Calcium Carbonate Filled Polypropylene Composites, Journal of Applied Polymer Science, 91: 3315-3326.
- Lu Z, Ren M, Yin H, Wang A, Ge C, Zhang Y, Yu L, Jiang T (2009). Preparation of Nanosized Anatase TiO<sub>2</sub>-Coated Kaolin Composites and Their Pigmentary Properties, Powder Technology, 196:122-125.
- M. Buggy, G Bradley, A Sullivan (2005). Polymer-Filler Interactions in Kaolin/Nylon 6,6 Composites Containing a Silane Coupling Agent, Department of Materials Science and Technology, University of Limerick, Limerick, Ireland, 36:437-442.
- Mahalik N P, Nambiar A N (2010). Trends in Food Packaging and Manufacturing Systems and Technology. Trend in Food science & Technology, 21: 117-128.
- Maiti S N, Lopez B H (1992). Tensile Properties of Polypropylene/Kaolin Composites, Journal of Applied Polymer Science, 44: 353-360.
- Mareri P, Bastide S, Binda N, Crespy A (1997). Mechanical Behaviour of Polypropylene Composites Containing Fine Mineral Filler: Effect of Filler Surface Treatment, Composite Science and Technology, 58:747-752.
- Miller D, Wilkes J, Conte E (1999). Food quality indicator device, PCT Patent application, WO 99/04256.
- Mileer G, Senjen R (2008). Nanotechnology in Food & Agriculture. Friends of the Earth, 10:3-8.
- Mitsubishi K, Kodama S, Kawasaki H (1985). Mechanical Properties Filled with Calcium Carbonate, Polymer Engineering and Science, 25:1059-1073.

- Othman N, Ismail H, Mariatti M (2005). Effect of Compatibilisers on Mechanical and Thermal Properties of Bentonite Filled Polypropylene Composites, *Polymer Degradation and Stability*, 91:1761-1774.
- Ou Y, Fang X, Feng Y (1997). Chinese Journal of Polymer Science: Rheological Behavior of Kaolin Toughened Polypropylene Composites, 1: 8-14.
- Özçandır S, Yetim H (2010). Akıllı Ambalajlama Teknolojisi ve Gıdalarda İzlenebilirlik Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010, 5: 1-11
- Qiu W, Mai K, Zeng H (2000). Effect of Silane-Grafted Polypropylene on the Mechanical Properties and Crystallization Behavior of Talc/Polypropylene Composites, *Journal of Applied polymer Science*, 77: 2974-2977.
- Salmah H, Ruzaidi C M, Supri A (2009). Compatibilisation of Polypropylene/Ethylene Propylene Diene Terpolymer/Kaolin Composites: The Effect of Maleic Anhydride-Grafted-Polypropylene, *Journal of Physical Science* 20:99-107.
- Stricker F, Bruch M, Mülhaupt R (1997). Mechanical and Thermal Properties of Syndiotactic Polypropylene Filled with Glass Beads and Talcum, *Polymer*, Vol.28, , 5347-5353.
- Tekinsen O C (2000). Süt Ürünleri Teknolojisi. Selçuk Üniversitesi Basımevi No:3, 329s, Konya.
- T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Gıda Kontrol Genel Müdürlüğü, [www.gkgm.gov.tr](http://www.gkgm.gov.tr), (Ulaşım Tarihi:31.01.2012).
- Westover D, Seitz W R, Lavine B K (2002). Synthesis and Evaluation of Nitrated Poly(4- hydroxystyrene) Microspheres for pH Sensing, *Microchemical Journal*, 74: 121-130.
- Yam K L, Takhistov P T, Miltz J ( 2005). Intelligent Packaging: Concepts and Applications, *J. Food Sci.*, 70: 1-9.
- Yasar H (2001). Plastikler Dünyası, MMO Yayınları, 2. Baskı, Ankara.
- Yerlikaya O, Karagözlü C, Ender G, Akbulut N (2008). Türkiye 10. Gıda Kongresi 21-23 Mayıs, Erzurum,681-684.
- Yue F, Ngai T S ve Hailin G (1995). A Novel Paper pH Sensor Based on Polypyrrole, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 32:33-39.
- Zhao S, Qiu S, Zheng Y, Cheng L, Guo Y (2010). Synthesis and Characterization of Kaolin with Polystyrene via In-Situ Polymerization and Their Application on Polypropylene, *Materials&Design*, 32:957-963.

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Kırklareli’nde doğdu. İlköğrenimini Kırklareli Ziya Gökalp İlköğretim Okulu’nda, orta öğretimini Fahri Kasapoğlu Orta Okulu’nda tamamladı. Lise öğrenimini Kırklareli Atatürk Süper Lisesi’nde tamamladı. 2000 yılında girdiği Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2004 yılında Onur Öğrencisi unvanı alarak Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2005 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2006 yılı Aralık ayında Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2007 yılında Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden Yüksek Lisans diploması alarak mezun oldu. 2008 yılında Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ziraat Mühendisliği Bölümü’nde doktora eğitimine başladı. Yine aynı yılın şubat ayında Erasmus Öğrenci Değişim Hareketi kapsamında 2008-2009 döneminde Macaristan’ın Szent İstvan Üniversitesi’nde doktora öğrencisi olarak bulundu. 2006 yılında Çorlu Mühendislik Fakültesi Trakya Üniversitesi’nden ayrılarak Namık Kemal Üniversitesi’ne bağlandığından, bu tarihten itibaren iş yaşamına Namık Kemal Üniversitesi bünyesinde devam etmeye başladı. Evli olan Sencer Süreyya KARABEYOĞLU halen Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.