

**TAVUK ETİNDE BOZULMAYI İZLEMELİK İÇİN TAZELİK  
İNDİKATÖRÜ GELİŞTİRİLMESİ**

**DEVELOPMENT OF FRESHNESS INDICATOR FOR  
MONITORING OF SPOILAGE ON CHICKEN MEAT**

**BATUHAN DEMİREL**

**PROF. DR. DİLEK ŞOLPAN ÖZBAY**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Kimya Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2019

**BATUHAN DEMİREL**'in hazırladığı “**Tavuk Etinde Bozulmayı İzlemek İçin Tazelik İndikatörü Geliştirilmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **KİMYA ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Belma IŞIK

Başkan



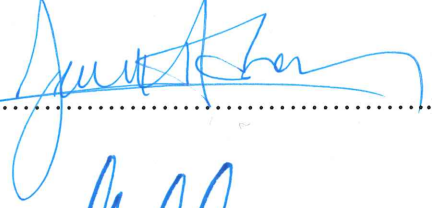
Prof. Dr. Dilek ŞOLPAN ÖZBAY

Danışman



Prof. Dr. Uğur Adnan SEVİL

Üye



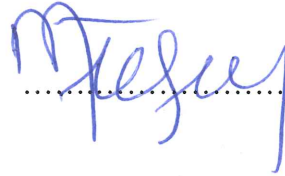
Doç. Dr. Meryem SEFERİNOĞLU

Üye



Doç. Dr. Murat TORUN

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak 2019/ /2019 tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu çalışmayı değerli aileme ithaf ediyorum,

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

30 / 09 / 2019

  
BATUHAN DEMİREL

## YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayımlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren .... ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

30 / 09 / 2019

  
BATUHAN DEMİREL

## ÖZET

### TAVUK ETİNDE BOZULMAYI İZLEMEK İÇİN TAZELİK İNDİKATÖRÜ GELİŞTİRİLMESİ

**Batuhan DEMİREL**

**YÜKSEK LİSANS, KİMYA Bölümü**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Dilek ŞOLPAN ÖZBAY**

**30 Eylül 2019, 81 sayfa**

Gıda sektöründe, çabuk bozulabilen pek çok ürün satışı gerçekleşene kadar soğuk zincir içerisinde kalmalıdır. Fakat taşıma ve depolanma süreçlerinde soğuk zincirin kırılması ürünlerin son kullanma tarihlerinden önce bozulmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle günümüzde akıllı ambalajlama ve akıllı etiketleme üzerine pek çok araştırma yapılmaktadır. Akıllı ambalajlar, ürünün bozulmasını geciktiren koruyucu özelliğe sahip malzemelerdir. Akıllı etiketler ise üründeki bozulmayı tespit amaçlı kullanılırlar. Akıllı etiketler genellikle bozulmayı renk değişimi veya mevcut rengin kaybolması ile belli ederler.

Bu çalışmada tavuk etindeki bozulmayı tespit amacıyla tazelik indikatörü geliştirilmiştir. Tazelik indikatörü olarak pH indikatörü seçilmiştir. Bu amaçla, sodyum aljinat (NaAlg) (orta viskozitede, %3 (m/m)) ve akrilamid (AAm) monomeri (%50 (m/m)) karıştırılarak gama kaynağında ışınlanmış ve semi-IPN yapılar oluşturulmuştur. Oluşan yapıların hidrojel özelliği incelenmiş ve şişme davranışı pH 4,0, 7,0 ve 8,0'de saf su ve değişik

derişimlerdeki boya çözeltilerinde takip edilmiştir. Hazırlanan adsorbentin boyalara karşı adsorpsiyon davranışı incelenmiş ve adsorpsiyon ve desorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Boya adsorplanmamış ve adsorplanmış (NaAlg/AAm)IPN yapıların spektrometrik ve ısı karakterizasyonları yapılmıştır. Boya veya indikatör olarak ise tavuk etinin bozduğunda gösterdiği pH aralığında renk değişimi gösterebilen Metil Kırmızısı, Metil Turuncusu, Kurkumin ve Bromokresol Yeşili indikatör olarak seçilmiştir.

Tavuk etinde denenen etiketlerden asidik bölgede hazırlanan Bromokresol Yeşili (turuncu renkli) adsorplanmış (NaAlg/AAm)IPN 48. saatte turuncudan yeşile, 72. saatte ise yeşilden maviye dönerek tavuktaki bozunmayı göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı etiket, Tazelik indikatörü, pH indikatörü, tavuk eti, Bromokresol Yeşili

## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF FRESHNESS INDICATOR FOR MONITORING OF SPOILAGE ON CHICKEN MEAT**

**Batuhan DEMİREL**

**Master of Science, Department of CHEMISTRY**

**Supervisor: Prof. Dr. Dilek ŞOLPAN ÖZBAY**

**30 September 2019, 81 pages**

In the food industry, many perishable products should remain in the cold chain until the sale is realized. However, breakage of the cold chain during transport and storage can cause products to breakdown before their expiration date. Therefore, many researches have been conducted on smart packaging and smart labeling. Smart packages are protective materials that delay the deterioration of the product. On the other hand smart labels are used to detect the spoilage of the product. Smart labels often indicate spoilage by discoloration or loss of color.

In this study, freshness indicator was developed to detect spoilage in chicken meat. pH indicator was selected as the freshness indicator. For this purpose, sodium alginate (NaAlg) (medium viscosity, 3% (m/m)) and acrylamide (AAm) monomer (50% (m/m)) were mixed and irradiated in <sup>60</sup>Co-gamma source to form semi-IPN structures. Hydrogel



properties of the structures were examined and swelling behavior was monitored at pH 4,0, 7,0 and 8,0 in pure water and dye solutions of different concentrations. The adsorption properties of the prepared adsorbent against the dyes was investigated and adsorption and desorption studies were carried out. The spectrometric and thermal characterizations of (NaAlg/AAm)IPN and dye adsorbed-(NaAlg/AAm)IPN structures were performed. The indicator of methyl red, methyl orange, curcumin and bromocresol green which can show color change in the pH range shown in the decomposition of chicken meat was chosen as indicator.

Among the labels tested in chicken meat, the bromocresol green (orange colored) adsorbed-(NaAlg/AAm)IPN that was prepared in the acidic region showed the degradation in chicken by turning from orange to green after 48 hours and from green to blue after 72 hours.

**Keywords:** Smart label, freshness indicator, pH indicator, chicken meat, bromocresol green

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın başlangıcından sonuna kadar her aşamasında bilgi ve deneyimlerini; ilgisini ve samimiyetini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Dilek ŞOLPAN ÖZBAY'a;

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, değerli hocam Doç. Dr. Murat Torun'a;

Tez çalışmamın her aşamasında yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen, değerli laboratuvar arkadaşım Furkan DEMİR'e;

Çalışmalarım boyunca yanımda olan, büyük desteğini gördüğüm büyüğüm Hüseyin ÖZBAY'a;

Karşılaştığım tüm zorlukları atlatmamda bana verdiği güç ve destek için sevgili eşim Merve ÖZKUTLU DEMİREL'e;

Yaptığım her işte beni destekleyen ve bana inanan, babam Serdar Demirel'e;

Hayatımın her döneminde olduğu gibi çalışmalarım boyunca da yanımda olan, üzerimdeki hakkını kelimelerle ifade edemeyeceğim, annem Güngör AKSOY'a;

Sevgili ağabeyim Göktürk DEMİREL'e ve ailemin bütün güzel insanlarına; bu tez çalışmasının başarıyla tamamlanmasına katkılarından dolayı teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
ÇİZELGELER.....	ix
ŞEKİLLER.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Polimerler .....	3
2.2. Radyasyon Polimerizasyonu .....	3
2.3. Hidrojeller .....	4
2.4. Semi IPN .....	6
2.5. Gıda Bozunması .....	10
2.6. Akıllı Ambalajlar ve Akıllı Etiketler.....	13
2.7. Kullanılan Kimyasallar.....	19
2.7.1. Sodyum Aljinat .....	19
2.7.2. Akrilamid .....	20
2.7.3. Kurkumin .....	20
2.7.4. Metil Turuncusu .....	21
2.7.5. Metil Kırmızısı .....	22
2.7.6. Bromokresol Yeşil.....	22

2.8. Ultraviyole-Görünür Bölge (UV-GB) Spektroskopisi .....	24
2.9. Fourier Taramalı Infrared Spektroskopisi (FTIR).....	24
2.10. Termogravimetrik Analiz (TGA) .....	25
2.11. Şişme Dengesi .....	25
2.12. Adsorpsiyon ve Adsorpsiyon İzotermi.....	25
2.12.1. Freundlich İzotermi.....	26
2.12.2. Langmuir İzotermi .....	26
2.12.3. BET İzotermi .....	27
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	28
3.1. Kullanılan Kimyasallar.....	28
3.2. IPN Yapılarının Hazırlanması .....	28
3.3. Şişme Testleri .....	31
3.4. Ultraviyole (UV)-Görünür Bölge (GB) Spektroskopisi.....	32
3.5. (NaAlg/AAM)IPN Yapılarının Adsorpsiyon Çalışmalarında Kullanılması..	32
3.6. Boya Desorpsiyon Çalışmaları .....	33
3.7. Karakterizasyon Çalışmaları .....	33
3.7.1. Spektroskopik Karakterizasyon.....	33
3.7.2. Isıl Karakterizasyon.....	33
3.8. Tazelik İndikatörünün Çalışabilirliğinin İncelenmesi .....	34
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	35
4.1. (NaAlg/AAM)IPN Hidrojellerinin Adsorpsiyon Çalışmalarında Kullanılması .....	38
4.1.1. (NaAlg/AAM)IPN Hidrojellerine Boya Adsorpsiyonuna pH Etkisi ve UV-GB Spektrumlarının İncelenmesi-Kalibrasyon Doğrularının Elde Edilmesi .....	38
4.2. Adsorpsiyon Hesaplamaları .....	41

4.2.1. Başlangıç Derişiminin Bromokresol Yeşilinin Adsorpsiyonuna Etkisi .....	41
4.3. Karakterizasyon Çalışmaları .....	46
4.3.1. Spektroskopik Karakterizasyon - FTIR Analizleri.....	46
4.3.2. Isıl Karakterizasyon - TGA Analizleri .....	51
4.3. (NaAlg/AAm)IPN Hidrojel ve İndikatörlerin pH'a Karşı Davranışlarının İncelenmesi.....	58
4.3.1. (NaAlg/AAm)IPN Hidrojel ve İndikatörlerin Amonyak Gaz Fazındaki Davranışlarının İncelenmesi.....	60
4.3.2. (NaAlg/AAm)IPN Hidrojel ve İndikatörlerinin Trietanol Amin Gaz Fazındaki Davranışlarının İncelenmesi.....	61
4.3.3. (NaAlg/AAm)IPN Hidrojel ve İndikatörlerinin Putresinin Gaz Fazındaki Davranışlarının İncelenmesi.....	62
4.3.4. (NaAlg/AAm)IPN Hidrojel ve Boyaların Tavuk Etindeki Davranışlarının İncelenmesi.....	63
5. YORUM.....	65
6. KAYNAKLAR .....	67
EKLER.....	77
Ek-1 Kurkumin (C) çözeltileri için kalibrasyon eğrileri .....	77
Ek-2 Metil Turuncusu (MO) çözeltileri için kalibrasyon eğrileri. ....	78
Ek-3 Metil Kırmızı (MR) çözeltileri için kalibrasyon eğrileri. ....	79
Ek-4 Bromokresol Yeşili (BCG) çözeltileri için kalibrasyon eğrileri.....	80
ÖZGEÇMİŞ .....	81

## ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. Hidrojellerin sınıflandırılması.....	5
Çizelge 2.2. Kırmızı ve Beyaz Ette Bozulmaya Neden Olan Bakteriler. ....	11
Çizelge 2.3. Akıllı ambalajlama teknolojisi metodları ve kullanım alanları.....	19
Çizelge 3.1. Kimyasalların Yapıları .....	29

## ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Çapraz bağlı hidrojelin yapısı. A: Dört fonksiyonlu çapraz bağlar, B: Çok fonksiyonlu çapraz bağlar, C-D: Zincir uçları, E: Dolaşmış ve birbirine karışmış polimer zincirler, F: İki zincir takılması, G: Çapraz bağlanmamış küçük zincirler, Mc: İki çapraz bağ merkezi arasındaki zincirin molekül kütlesi, H: Çapraz bağlar arasındaki boşluk, $\phi$ : Çapraz bağlar arasındaki boşluklara difüzlendi çözücü.....	5
Şekil 2.2. TTI Etiketi.....	16
Şekil 2.3. Şok ve titreşim kaydedici.....	17
Şekil 2.4. Mikrodalga Uyumlu Ambalajlama.....	17
Şekil 2.5. Oksijen temizleyici.....	17
Şekil 2.6. pH tazelik etiketleri.....	18
Şekil 2.7. Sodyum aljinatın molekül yapısı.....	19
Şekil 2.8. Akrilamidin molekül yapısı.....	20
Şekil 2.9. Kurkumin'in molekül yapısı.....	21
Şekil 2.10. Metil Turuncusu'nun molekül yapısı.....	21
Şekil 2.11. Metil Kırmızısı'nın molekül yapısı.....	22
Şekil 2.12. Bromokresol Yeşil'in Molekül Yapısı.....	23
Şekil 3.1. (NaAlg/AAm)IPN yapısının hazırlanmasına ait şematik gösterimi.....	31
Şekil 3.2. (NaAlg/AAm)IPN örneklerin görüntüsü.....	31
Şekil 4.1. (NaAlg/AAm)IPN hidrojellerinde kütlece % şişmenin zamanla değişimi. [C]: 1000 mgL <sup>-1</sup> , t : 25 °C.....	36
Şekil 4.2. (NaAlg/AAm)IPN hidrojellerinde kütlece % şişmenin zamanla değişimi. [MO]: 1000 mgL <sup>-1</sup> , t : 25 °C.....	36

Şekil 4.3. (NaAlg/AAm)IPN hidrojenlerinde kütlece % şişmenin zamanla değişimi. [MR]: 1000 mgL <sup>-1</sup> , t : 25 °C.....	37
Şekil 4.4. (NaAlg/AAm)IPN hidrojenlerinde kütlece % şişmenin zamanla değişimi. [BCG]: 1000 mgL <sup>-1</sup> , t : 25 °C.....	37
Şekil 4.5. Kurkumin (C) çözeltisinin UV-GB spektrumu.....	39
Şekil 4.6. Metil Turuncusu (MO) çözeltisinin UV-GB spektrumu (pH:8).....	39
Şekil 4.7. Metil Turuncusu (MO) çözeltisinin UV-GB spektrumu (pH:4).....	40
Şekil 4.8. Metil Kırmızı (MR) çözeltisinin UV-GB spektrumu.....	40
Şekil 4.9. Bromokresol Yeşili (BCG) çözeltisinin UV-GB spektrumu.....	41
Şekil 4.10. BCG'nin (NaAlg/AAm)IPN'e adsorpsiyonuna başlangıç derişiminin etkisi. pH: 3,5, m <sub>(NaAlg/AAm)IPN</sub> : ~ 0,5 gram, Adsorpsiyon süresi: 500 dakika, Sıcaklık: 25°.....	43
Şekil 4.11. (NaAlg/AAm)/IPN'e BCG adsorpsiyonu için Freundlich izoterm grafiği. m <sub>(NaAlg/AAm)IPN</sub> :~0,5 gram, pH: 3,5, Adsorpsiyon süresi: 500 dakika, Sıcaklık: 25°C.....	43
Şekil 4.12. BCG için Freundlich adsorpsiyon izotermi. m <sub>(NaAlg/AAm)IPN</sub> : ~0,5 gram, pH: 3,5, Adsorpsiyon süresi: 500 dakika, Sıcaklık: 25°C.....	44
Şekil 4.13. BCG için Langmuir adsorpsiyon izotermi. m <sub>(NaAlg/AAm)IPN</sub> : ~0,5 gram, pH: 3,5, Adsorpsiyon süresi: 500 dakika, Sıcaklık: 25°C.....	44
Şekil 4.14. BCG'nin (NaAlg/AAm)IPN'e adsorpsiyonuna başlangıç derişiminin etkisi. pH: 8,0, m <sub>(NaAlg/AAm)IPN</sub> : ~0,5 gram, Adsorpsiyon süresi: 500 dakika, Sıcaklık: 25°C.....	45
Şekil 4.15. BCG'nin (NaAlg/AAm)IPN'ine adsorpsiyon ve desorpsiyonu. m <sub>(NaAlg/AAm)IPN</sub> : ~0,5 gram, Adsorpsiyon ve desorpsiyon süresi: 500 dakika, Sıcaklık: 25°C.....	46



Şekil 4.16. (a) NaAlg, (b) (NaAlg/AAm)IPN, (c) PAAm, (d) Kurkumin (C), (e) (NaAlg/AAm)IPN-C yapılarının FTIR spektrumları.....	48
Şekil 4.17. (a) NaAlg, (b) (NaAlg/AAm)IPN, (c) PAAm, (d) Methyl Orange (MO), (e) (NaAlg/AAm)IPN-MO yapılarının FTIR spektrumları.....	49
Şekil 4.18. (a) NaAlg, (b) (NaAlg/AAm)IPN, (c) PAAm, (d) Methyl Red (MR), (e) (NaAlg/AAm)IPN-MR yapılarının FTIR spektrumları.....	50
Şekil 4.19. (a) NaAlg, (b) (NaAlg/AAm)IPN, (c) PAAm, (d) Bromocresol Green (BCG), (e) (NaAlg/AAm)IPN-BCG yapılarının FTIR spektrumları.....	51
Şekil 4.20. (a) NaAlg (siyah), (b) (NaAlg/AAm)IPN (kırmızı), (c) PAAm (mavi), (d) Curcumin (yeşil), (e) (NaAlg/AAm)IPN-Curcumin (kahverengi) yapılarının TGA-DTG termogramları.....	54
Şekil 4.21. (a) NaAlg (siyah), (b) (NaAlg/AAm)IPN (kırmızı), (c) PAAm (mavi), (d) Metil Turuncusu (MO) (yeşil), (e) (NaAlg/AAm)IPN-MO (kahverengi) yapılarının TGA-DTG termogramları.....	55
Şekil 4.22. (a) NaAlg (siyah), (b) (NaAlg/AAm)IPN (kırmızı), (c) PAAm (mavi), (d) Metil Kırmızısı (MR) (yeşil), (e) (NaAlg/AAm)IPN-MR (kahverengi) yapılarının TGA-DTG termogramları.....	56
Şekil 4.23. (a) NaAlg (siyah), (b) (NaAlg/AAm)IPN (kırmızı), (c) PAAm (mavi), (d) Bromokresol Yeşili (BCG) (yeşil), (e) (NaAlg/AAm)IPN-BCG (kahverengi) yapılarının TGA-DTG termogramları.....	57
Şekil 4.24. Kurkumin, Metil Turuncusu, Metil Kırmızısı ve Bromokresol Yeşili adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN hidrojellerinin farklı pH'lardaki görüntüleri.....	58
Şekil 4.25. Tazelik indikatörünün çalışabilirliği: (a) Farklı pH'daki boya çözeltilerinde adsorpsiyona maruz bırakılan (NaAlg/AAm)IPN hidrojelleri, (b) boya adsorbe etmiş (NaAlg/AAm)IPN hidrojellerinin içlerinden ip geçirilmiş hali, (c) amonyak çözeltisi üzerine sarkıtılan boya adsorbe etmiş (NaAlg/AAm)IPN hidrojeller, (d) 48 saat sonra amonyak gaz fazındaki görünüm ve renk değişiklikleri.....	61

Şekil 4.26. Tazelik indikatörünün çalışabilirliği: (a) Farklı pH'daki boya çözeltilerinde adsorpsiyona maruz bırakılan (NaAlg/AAm)IPN hidrojelleri, trietanol amin üzerindeki gaz fazında 48 saat sonraki görünüm ve renk değişiklikleri.....62

Şekil 4.27. Tazelik indikatörünün çalışabilirliği: (a) Farklı pH'daki boya çözeltilerinde adsorpsiyona maruz bırakılan (NaAlg/AAm)IPN hidrojelleri, trietanolamin üzerindeki gaz fazında 48 saat sonraki görünüm ve renk değişiklikleri.....63

Şekil 4.28. Tazelik indikatörünün çalışabilirliği: Farklı boya çözeltilerinde adsorpsiyona maruz bırakılan (NaAlg/AAm)IPN hidrojellerinin tavuk göğüs eti üzerinde 48 ve 72 saat sonraki görünüm ve renk değişiklikleri.....64

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$q_e$	Birim adsorbent başına, adsorplanan madde kütlesi ( $\text{mgg}^{-1}$ )
$K_f$	Adsorpsiyon kapasitesi
$C_e$	Dengede çözültide bulunan maddenin derişimi ( $\text{mgL}^{-1}$ )
$n$	Adsorpsiyon yoğunluğu (birimi yok)

### Kısaltmalar

IPN	İç İçe Girmiş Polimer Ağı
TTI	Zaman Sıcaklık İndikatörü
TVBN	Toplam Uçucu Bazik Azot
C	Kurkumin
MR	Metil Kırmızısı
MO	Metil Turuncusu
BCG	Bromokresol Yeşili
TGA	Termal Gravimetrik Analiz
FTIR	Fourier Taramalı Kızılötesi Spektroskopisi
UV-GB	Ultraviyole-Görünür Bölge

# 1. GİRİŞ

Tavuk etinin bozulması, üzerinde üreyen mikroorganizma faaliyetlerine bağlıdır. Bu faaliyetler neticesinde tavuk etinin yapısında kalıcı ve istenmeyen değişiklikler gerçekleşir, bu değişimler “bozulma” olarak adlandırılır. Tavuk etinin üretiminden son tüketiciye kadar geçen sürede etin bozulma hızını arttıran en önemli faktör depolama sırasındaki sıcaklık koşullarıdır. Çünkü tavuk etinin üzerinde faaliyet gösteren mikroorganizmalar belirli sıcaklık değerlerinde hayatta kalabilirler. Bu sebeple tavuk eti soğuk zincir içinde muhafaza edilerek bozulma süresi uzatılır. Fakat soğuk zincirde meydana gelecek kırılmalar son kullanma tarihinden önce etin bozulmasına neden olur [1].

Bu sebeple son yıllarda aktif ve akıllı ambalajlar ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Geleneksel ambalajlamada, birincil amaç ürünü nem, ışık, hava, kirlilikler ve fiziksel hasarlardan korumak için bir bariyer olarak davranmasını sağlamaktır. Aktif ambalajlama, geleneksel ambalaj malzemelerinde yapılan kimyasal modifikasyonlar ile raf ömrününün uzamasını sağlamaktadır. Akıllı ambalajlamalar ise ürünün raf ömrünü uzatıcı bir etkisi yoktur, fakat ürünün bulunduğu çevredeki ve ürünün yapısındaki değişimleri, renk değişimleri ile gösterebilen belirteçlerdir [1].

Akıllı ambalajlamaya örnek olarak; laktik asit bazlı zaman-sıcaklık indikatörleri [2], ikili renk indikatörleri [3], salmonella biyosensörleri [4], kolorimetrik karışık-pH boya bazlı indikatörleri [5], fotokromik zaman-sıcaklık indikatörleri [6], karbondioksit indikatörleri [7] gösterilebilir.

Bu çalışmada, tavuk etindeki bozulmayı zamanla tavuk etinden oluşan uçucu amonyak ve biyojan amin türü bileşiklere ve dolayısıyla pH değişimine dayanarak belli edebilen bir tazelik indikatörü geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, NaAlg ve AAm kullanılarak gama radyasyonu ile yarı-içiçe girmiş ağ yapılı bir adsorbent sentezlenip kullanılmıştır. Kurkumin, Metil Turuncusu, Metil Kırmızısı ve Bromokresol Yeşili pH indikatörlerinin farklı pH ortamlarında ve belirli derişimlerde (NaAlg/AAm)IPN’e adsorplanması incelenmiştir.

Kurkumin, Metil Turuncusu, Metil Kırmızısı ve Bromokresol Yeşili adsorplamış ve adsorplamamış (NaAlg/AAm)IPN yapıların spektroskopik ve ısıl karakterizasyonları yapılmıştır. Bu dört farklı pH indikatörünü adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN yapılarının tavuk etinin bozulması sonrası paket içinde oluşacak atmosferin taklidi ortamlarda ve oda sıcaklığında kapalı kap içerisinde tavuk eti ile birlikte bulundurulurken, yapılarındaki değişimler takip edilmiştir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Polimerler

Polimer; poli = çok ve mer= birim olmak üzere Latince iki kelimedenden oluşmuştur. Polimer yapıda tekrarlanan en küçük birim monomerin kimyasal ve fiziksel özellikleri elde edilen polimerin karakteristik özelliklerini belirler. İki monomerin kimyasal bağ ile birleşmesi sonucu oluşan moleküle dimer, üç tanesinin birleşmesi ile oluşana trimer, dört tanesinin birleşmesiyle oluşana tetramer denir. Bu birleşme 100'ün üzerinde gerçekleşirse oluşan maddeye polimer denir [8]. Polimerler genel olarak basamaklı (kondenzasyon polimerizasyonu) ve katılma polimerizasyonu (zincir polimerizasyonu) ile elde edilir [9].

### 2.2. Radyasyon Polimerizasyonu

Gama ışınları ve elektron demetleri gibi etkileştiği maddede yüklü partiküller ve radikaller oluşturan yüksek enerjili iyonlaştırıcı radyasyonlarla polimer hazırlanması, yöntemin oldukça kullanışlı ucuz ve temiz bir yöntem olmasından dolayı tercih edilir hale gelmiştir. Radyasyon teknolojisi kullanılarak farklı kimyasal yapıda sentetik, doğal ve sentetik/doğal hidrojenlerin ve süper emici polimerlerin hazırlanması konusunda başta Hacettepe Üniversitesi, Radyasyon ve Polimer Bilimi Araştırma Laboratuvarları olmak üzere radyasyon teknolojisi kullanan hemen hemen her araştırma merkezinde bu konuda yapılan çalışmalar yoğunlaşarak devam etmektedir [10-13].

Hidrojenlerin hazırlanması konusunda yakın zamanda yapılan çalışmalar incelendiğinde, sentetik polimerler yerine hidrokolloidlerin pasta kıvamı koşullarında (%20-30 (m/m) polimer derişimi) veya doğrudan katı halde radyasyonla çapraz bağlanma çalışmalarının ön plana çıktığı görülmektedir. Pasta kıvamı koşullarında polimer derişimi, radyasyonun doğrudan etkisi sonucu oluşan radikallerin çapraz bağlar oluşturmasını sağlayacak kadar yüksektir, aynı zamanda ortamda radyolizi sonucu -OH ve diğer radikalik birimleri oluşturmaya yetecek kadar su da bulunmaktadır. Bu sayede yeni polimerleri oluşturmak üzere radikal-radikal ve radikal-polimerik radikal reaksiyonları sonucu çapraz bağlanmalar gerçekleşir. Polimer derişiminin radikal-radikal reaksiyonlarına katkıda bulunmaya yetecek kadar yüksek olmaması durumunda bozunma gerçekleşir.

Ortamda suyun bulunması makro radikallerin bir araya gelip çapraz bağlı hidrojel ağ yapısını oluşturmalarına katkı sağlar. Ayrıca suyun radyolizi sonucu oluşan serbest

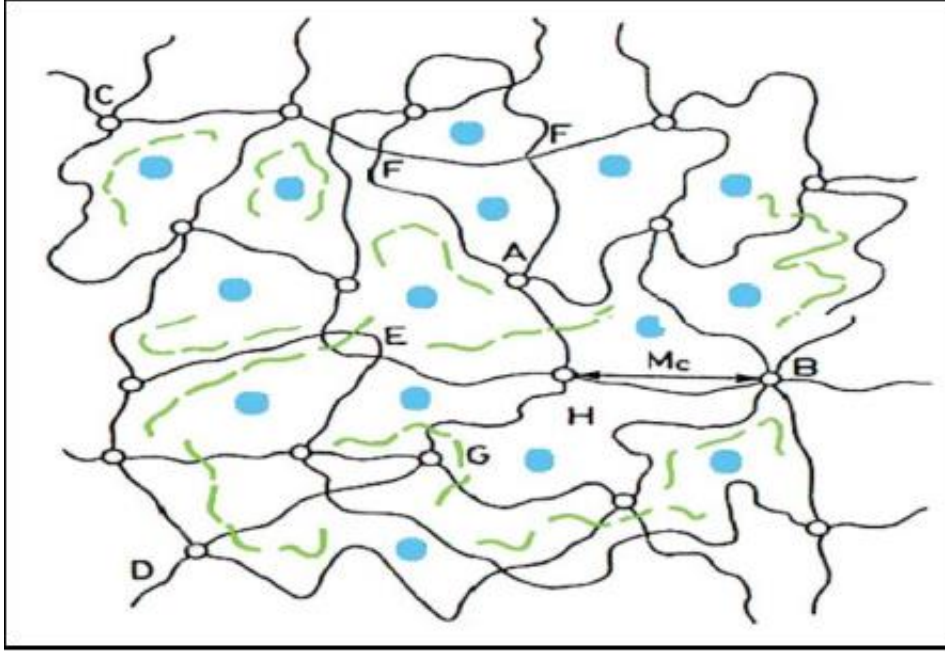
radikaller, polimer zincirinden H-atomu kopararak makro radikal yoğunluğunu artırır. Modifikasyonun gerçekleşebileceği derişim doğal polimerin yapısına, süstitüsyon (yer değiştirme) derecesine (SD), polimerin başlangıçtaki molekül ağırlığına v.b. etkilere bağlıdır. Örneğin, karboksimetil selülozun çapraz bağlanması yüksek SD etkili olduğu belirlenmiştir [14, 15]. Benzer sonuçlar metil selüloz ve hidroksipropil selülozun [16, 14], karboksimetil nişastanın [17], akasya sakızının (gum arabic) [18] ve karboksimetil kitin ve kitosanın [19] bu koşullarda ışınlanması sonucu da elde edilmiştir [20].

### 2.3. Hidrojeller

Hidrojeller, suda çözünmeyerek şişme özelliği gösteren, çapraz bağlı, üç boyutlu ağ yapılı polimerlerdir. Kütlesinin %100'ünden fazla su içeriği olan hidrojel yapılara süper adsorbent ve kütlesinin %20 kadar su içeriği olan jeller ise kserojel özelliği göstermektedir. Yapılarında yüksek oranda su bulundurabilme, yumuşak ve esnek fiziksel özelliklere sahip olmaları nedeniyle hidrojeller, canlı dokulara büyük benzerlik göstermektedirler [21].

Su sever özellikteki hidrojeller hidrofilik yapıya sahiptirler. Bir polimerin ana zincirinde ya da yan dallarında hidroksil, karboksil, karbonil, amin ve amid gibi hidrojen bağı oluşturabilme yeteneğine sahip su sever grupların bulunması polimerin dolayısıyla jelin hidrofilik özellikte olmasını sağlar. Çapraz bağlı polimerdeki hidrofilik yapıların fazla sayıda olması daha fazla şişmeye sebep olur [21]. Kimyasal bağlar ya da iyonik etkileşim, hidrojen bağı, fiziksel etkileşimler, van der Waals kuvvetleri, hidrofobik etkileşimler gibi kohezyon kuvvetleri aracılığıyla hidrojellerin üç boyutlu yapısı gerçekleşir. Hidrofobik özellik ise çapraz bağlanma sonucu jelin şişme davranışını doğrudan etkilemektedir [21]. Fiziksel çapraz bağlı jellerin dış çevre değişimine fazlaca duyarlı oldukları bilinmektedir. Şekil 2.1'de çapraz bağlı hidrojel yapısı verilmiştir [21].

Polimerik hidrojeller, hazırlama metodlarına, fiziksel yapılarına, iyonik yüklerine ve çapraz bağlanma durumlarına bağlı olarak sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırma Çizelge 2.1'de şematik olarak gösterilmiş ve önemli hidrojel türlerinden bazıları alt başlıklar halinde açıklanmıştır [21].



Şekil 2.1. Çapraz bağlı hidrojinin yapısı. A: Dört fonksiyonlu çapraz bağlar, B: Çok fonksiyonlu çapraz bağlar, C-D: Zincir uçları, E: Dolaşmış ve birbirine karışmış polimer zincirler, F: İki zincir takılması, G: Çapraz bağlanmamış küçük zincirler, Mc: İki çapraz bağ merkezi arasındaki zincirin molekül kütlesi, H: Çapraz bağlar arasındaki boşluk, Çapraz bağlar arasındaki boşluklara difüzleneren çözücü [21].

### Çizelge 2.1. Hidrojellerin sınıflandırılması.

#### -Hazırlama yöntemine göre

Homopolimer hidrojeller  
Kopolimer hidrojeller  
Çoklu polimer hidrojeller  
IPN (interpenetrating networks) hidrojeller

#### -İçerdikleri yan gruplara göre

Nötral (iyonik olmayan) hidrojeller  
İyonik hidrojeller  
(Anyonik (negatif yüklü) hidrojeller  
Katyonik (pozitif yüklü) hidrojeller  
Poliamfolitik hidrojeller

#### -Fiziksel yapılarına göre

Amorf hidrojeller  
Yarı-kristalin hidrojeller  
Hidrojen bağlı hidrojeller

#### -Çapraz bağlanma durumlarına göre

Fiziksel hidrojeller  
Kimyasal hidrojeller

#### -Kaynaklarına göre

Doğal hidrojeller  
Sentetik hidrojeller

#### -Su içeriklerine göre

Düşük şişme dereceli (%20-50) hidrojeller  
Orta şişme dereceli (%50-90) hidrojeller  
Yüksek şişme dereceli (%90-99,5) hidrojel  
Süper absorbant (>%99,5) hidrojeller

#### -Kimyasal kararlılıklarına göre

Biyobozunur hidrojeller  
Biyobozunmayan hidrojeller



## 2.4. Semi IPN

Yarı iç-içe girmiş polimerler (yarı-IPN'ler) ve iç-içe geçen polimerler (IPN'ler), biyomedikal ve farmasötik uygulamalar için yenilikçi materyaller olarak ortaya çıkmıştır. Bu yapılardaki ilgi, IPN'lerin her polimerik bileşenin ya da yeni bir sisteme yol açan yarı IPN'lerin elverişli özelliklerini, genellikle iki tek bileşenden farklı olan özelliklerle birleştirme olasılığıdır [22].

İlk sentetik IPN'nin geliştirilmesi genel olarak Aylsworth'a atfedilmiştir; patentinde, sülfürle çapraz bağlanmış bir doğal kauçuk ve fenol-formaldehit reçinesi karışımından oluşan bir "geliştirilmiş kauçuk" malzemesinin hazırlanmasını anlatmıştır [23]. Bununla birlikte, IPN sistemleri fikri yıllar içinde birkaç kez yeniden keşfedildi [24, 25]. Aslında, birkaç yıl sonra Staudinger ve Hutchinson (1951) aynı monomer çözeltisinde şişen, optik kullanıma uygun ve çapraz bağlı polistiren veya polimetil metakrilattan oluşan kalın tabaka veya blokların hazırlandığını bildirdi. [26]. Bağımsız olarak, 1955'te Solt, katyonik gruplardan oluşan ikinci bir ağa sahip anyonik gruplar içeren bir ağ polimerize etti. Böylece, yeni bir iyon değişim reçinesi elde edilir. Sadece 1960 yılında "iç-içe geçen polimer ağlar" terimi, aynı kimyasal bileşime sahip iki özdeş ağdan oluşan bir IPN hazırlayan Millar tarafından yazılmıştır [27]. İki farklı polimerden oluşan iç içe geçme polimer ağları daha sonra Frisch ve Sperling'in çalışmaları ile bağımsız olarak geliştirildi. Başlangıç bileşenlerinin doğası sayesinde, Frisch elde edilen malzemenin oluşturduğu ağ, iç içe geçen elastomer ağı olarak tanımlandı [28, 29]. Sperling ve Friedman (1969), UV polimerizasyonu ile poli (etil akrilat) ve polistiren bazlı bir IPN sentezledi [22].

IPN sistemleri için başlıca iki farklı sınıflandırma türü vardır. Birinci sınıflandırma türü, ortaya çıkan IPN ağının polimerik bileşenleri arasında mevcut olan kimyasal bağlara dayanmaktadır [30, 31]. Bu nedenle, kimyasal bağlara dayanarak ayırt etmek mümkündür:

- Kovalent yarı IPN:** Çapraz bağlı iki ayrı polimer sistem tarafından tek bir polimerik ağ oluşturulur.
- Kovalent olmayan yarı IPN:** polimer sistemlerinden sadece biri çapraz bağlanmıştır.
- Kovalent olmayan tam IPN:** iki ayrı polimer bağımsız olarak çapraz bağlanır.

İkinci bir sınıflandırma, sentetik yöntemeye dayanmaktadır.

**Sıralı IPN:** Bu tip ağlarda, “sıralı” terimi polimerizasyonun zaman sırasını gösterir [24]. Sıralı IPN'de, polimer (I) çapraz bağlanır ve elde edilen ağ daha sonra polimer (II) 'nin monomeri tarafından şişirilir. Ardından, polimer (II) çapraz bağlayıcı varlığında yerinde polimerize edilir ve / veya çapraz bağlanır. Bu sentezler basittir: sadece hem monomer (II) hem de tepkimeye giren maddelerin polimer ağında (1) düzgün bir şekilde şişmesini gerektiriyorlardı. Genellikle elastomerler ağ (I) için kullanılır çünkü kolayca şişerler [31].

**Eşzamanlı IPN:** Tek adımlı bir prosedürde eşzamanlı bir IPN, I ve II monomerleri ile ilgili aktivatörleri ve çapraz bağlayıcıları karıştırmak ve çapraz bağlamak suretiyle oluşturulur. Bu sentetik işlem bile basittir ve sadece iki polimerizasyon yolunun karışmasını gerektirmez. Sıralı IPN'lerle karşılaştırıldığında, eşzamanlı IPN'ler daha iyidir çünkü başlangıç monomerik karışımı oldukça uyumludur ve bu nedenle sonuçta ortaya çıkan ağda daha yüksek derecede bir karışım karışımı elde edilmektedir.

**Lateks IPN:** İlk lateks IPN, Frisch ve arkadaşları tarafından sentezlendi. Her iki lateks bileşeni normalde elastomerik olduğundan, bu IPN sistemlerine iç içe geçen elastomerik ağlar da denir. Lateks tip IPN'de, her iki ağ da, tek bir lateks partikülüne dahil edilir, genellikle ikinci monomerin, birinci çapraz bağlı monomerin orijinal tohum lateksindeki çapraz bağlama maddesi ve aktivatörü ile birlikte polimerleştirilmesiyle dahil edilir [31]. Genellikle bir “çekirdek” ve “kabuk” yapısı gösterirler.

**Termoplastik IPN:** Termoplastik IPN'lerde, polimerler arasındaki çapraz bağlanma fizikseldir. Termoplastik IPN'de meydana gelebilecek üç tür fiziksel çapraz bağ vardır. Özellikle, iyonomer oluşumunda, çapraz bağlar, polimer zinciri boyunca mevcut iyonik gruplardan, kısmen kristalli polimerlerde, kristalli bölgelerden meydana gelen fiziksel çapraz bağlardan ve son olarak ABA yapılı blok kopolimerlerden kaynaklanır, böylece uç bloklar ayrı bir faz oluşturur ve böylece çapraz bağlar, camsı alanlardan kaynaklanmaktadır [24]. Doğası gereği, bu malzemeler yüksek sıcaklıklarda akar, ancak çapraz bağların varlığından dolayı kullanım sıcaklığında tipik bir IPN davranışı sergiler [30].

**Gradyan IPN:** Gradyan IPN'ler, makroskopik düzeyde lokasyondan lokasyona değişen kompozisyonlara sahiptir [32]. Birinci monomer ağının, ikinci monomerin ağındaki şişmesiyle oluşabilir ve dengenin kurulmasından önce hızlı bir polimerizasyon

gerçekleştirilir. Bu şekilde, ikinci monomer, sonuçtaki IPN'de birinci polimer ağı üzerinde bir konsantrasyon gradyanı sergiler [22].

IPN ve yarı IPN ağları karışımlardan, blok kopolimerlerden ve aş kopolimerlerinden ayırt edilebilir. IPN ve yarı IPN'nin en önemli özelliği faz ayrımıdır. Faz ayrılması, heterojen bir ağı oluşumuna yol açar. Esas olarak, IPN'leri ağlarını oluşturan bileşenlerin kimyasal olarak farklı yapısından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, sistemin yüksek viskozitesi ve zincirler arasındaki dolaşma nedeniyle ayrılma işlemi çok yavaş ilerlemektedir.

**Çekirdeklenme ve büyüme:** bu durumda, ikinci fazın küreleri, birinci fazın matrisi içinde oluşturulur. Bu küreler çaplarında bir artışa yol açarak büyür.

**Spinodal ayrışma:** en yaygın faz mekanizmasıdır. Burada, ikinci fazın birbirine bağlı silindirleri, birinci fazın matrisi içinde oluşturulur. Bu silindirler dalga genliklerini artırarak büyür. Daha sonra, kabalaşmak ve birleşmek önemli değişikliklere neden olabilir. Bununla birlikte, bu değişiklikler, etki alanlarını küçük tutan çapraz bağlantılar tarafından engellenebilir.

Faz ayrılması IPN ağlarının morfolojisini etkiler. Özellikle, jelleşme faz ayrılmasından önce gerçekleştiğinde, sonuçta ortaya çıkan ağ sıralı IPN durumunda olan daha küçük faz alanını gösterir. Faz ayrılması jelasyondan önce meydana gelirse, faz alanı boyutları büyük olma eğilimindedir. Ek olarak, faz ayrılması IPN'nin camsı geçiş sıcaklığını da ( $T_g$ ) etkilemektedir [33]. Aslında IPN sistemleri, tek polimerik bileşenlerin camsı geçiş sıcaklığına tekabül eden, içeriye doğru kayma olan veya olmayan iki cam geçiş sıcaklığı gösterebilir. Alternatif olarak, IPN ağları, bileşenlerin cam sıcaklıklarına orta, geniş ya da keskin bir  $T_g$  gösterebilir. Birçok durumda, bir içe kayma veya  $T_g$ 'nin birleşmesi gözlenmiştir ve Sperling ve diğerlerinin bildirildiği gibi, genellikle çapraz bağların varlığından kaynaklanan iki polimerin karışabilirliğindeki bir artış olarak yorumlanır. Bununla birlikte, tek bir geçiş sıcaklığı, mutlaka, IPN'lerde iki ağı uyumluluğunun kanıtı olarak değerlendirilemez. Aslında, fazlardan birinin küçük etki alanları durumunda faz ayrımlı IPN'lerde bile bir cam geçiş noktası gözlemlenebilir [33, 34]. Yarı IPN sistemleri genellikle yarı IPN'lerde tam olanlara göre tam bir faz ayrılmasından dolayı tam IPN'lere kıyasla geçiş sıcaklığında daha yüksek bir kayma gösterir [22].

Faz ayrılmasına rağmen, IPN ve yarı IPN çeşitli avantajlar gösterir. Bunlar arasında IPN veya yarı IPN ağını oluşturan tek polimerlerin mekanik özelliklerine kıyasla gelişmiş mekanik özellikler bulunur. Bu nedenle, IPN veya yarı IPN ağlarında tüm bileşenlerin sinerjik bir etkisi gözlenir. Bu temelde, uygun bir şekilde başlangıç IPN veya yarı IPN materyallerinin seçilmesiyle, istenen mekanik özelliklere sahip ağlar elde etmek mümkündür [35, 27]. Isıl kararlılık ve kimyasal direnç, IPN'ler ve yarı IPN sistemlerinin sahip oldukları özelliklerdir. Ek olarak, diğer polimerik karışım türleriyle karşılaştırıldığında, IPN'ler çözücüler içinde çözülmeden şişer.

Son olarak, bir IPN iskeletini oluşturan iki polimerik ağ, kimyasal bağlar kopmadıkça ayrılamaz [22].

## 2.5. Gıda Bozunması

Et; besin zincirinin ana bileşenlerinden biridir. Etler kırmızı et ve beyaz et olarak ikiye ayrılır. Et ürünleri yüksek oranda protein, kompleks vitamin, amino asit, kollajen ve içerdikleri doymuş yağlardan dolayı memeliler için çok önemlidir. Et, insanlığın varlığından bu yana hem etçil hem de otçul beslenen insanlar için vazgeçilmez bir gıda kaynağıdır. İnsanlık, uzun yıllardır pişmeden çiğ ürünler tüketmektedir. Ateşin keşfi ile insanlar yiyeceklerini farklı şekillerde pişirmeyi öğrendiler. Günümüzde pek çok üretim işleminden sonra etler çoğunlukla yarı mamul olarak evimize girmektedir. Bu işlenmiş et ürünleri (balık, kümes hayvanları, büyükbaş hayvanlar ve küçükbaş hayvanlar) üretim ağı sırasında ciddi kontrollerden geçmeli ve tazelik ve mikrobiyolojik olarak uygun değerlere sahip olmalıdır [36]. Bu üretim ağının örnekleri arasında soğuk zincir, karkas kesimleri için bekleme süreleri, hayvanların cilt hijyeni, kesimhanelerin sterilizasyonu, kasap bıçakları vb. Gastrointestinal içerikler ve kesim sırasında sığır ve küçükbaş hayvanlarda çalışanlar tarafından kullanılan kıyafetler gibi ekipmanların sterilizasyonu bulunur [37].

Her bir gıda ürünü, üretim ve depolama sırasında herhangi bir zamanda kendi spesifik ve karakteristik mikroflorasını barındırır. Bu mikroflora, hammadde florasının, işlenmesinin, korunmasının ve saklama koşullarının bir fonksiyonudur. Belirli bir üründe hangi mikroorganizmaların çoğalacağını tahmin etmek büyük bir doğrulukla mümkündür. Duyusal reddedilme noktasında (bozulma), bozulma mikroflorası (veya bozulma birliği) bozulmalara neden olan mikroorganizmalardan ve hoş olmayan değişikliklere neden olan mikroorganizmalardan oluşur. İlki, ürünün spesifik bozulma organizmasıdır.

Çizelge 2,2' de kırmızı ve beyaz et bozulmasında gözlenen bakteriler verilmiştir. XX sıkça rastlanıyor, X varlığı biliniyor, - yok anlamını taşımaktadır [38].

Bozulmada mikroorganizmaların sebep olduğu aralık oldukça geniştir. Bakteriler; et, kümes hayvanları, balık, kabuklu deniz ürünleri, süt ve bazı süt ürünleri gibi proteinli yiyeceklerin en hızlı ve belirgin bozulma olaylarından bazılarından sorumludur. Mayaların ve küflerin büyümesi genellikle bakterilerinkinden daha yavaştır, ancak yararlanabilecekleri çok çeşitli ekolojik nişler, çeşitli substratları kullanma kabiliyeti ve (vegetatif) bakterilerden daha aşırı koşulların toleransı onları zararlı maddeler haline getirir [1].

Çizelge 2.2. Kırmızı ve Beyaz Ette Bozulmaya Neden Olan Bakteriler.

Bakteri Türü	Kırmızı Et	Beyaz Et	Bakteri Türü	Kırmızı Et	Beyaz Et
Acinetobacter	++	++	Leuconostoc	+	-
Aeromonas	++	+	Listeria	+	++
Alcaligenes	+	+	Microbacteriu m	+	+
Bacillus	+	+	Micrococcus	+	+
Brochothrix	+	+	Moraxella	++	+
Campylobacter	-	++	Paenibacillus	+	+
Carnobacterium	+	-	Pantoea	+	+
Citrobacter	+	+	Pediococcus	+	-
Clostridium	+	+	Proteus	+	+
Corynebacterium	+	++	Pseudomonas	++	++
Enterobacter	+	+	Psychrobacter	++	+
Enterococcus	++	+	Salmonella	+	+
Escherichia	+	+	Serratia	+	+
Flavobacterium	+	+	Shewanella	+	-
Hafnia	+	-	Staphylococcus	+	+
Kocuria	+	+	Vagococcus	-	++
Kurthia	+	-	XXWeissella	+	-
Lactococcus	+	-	Yersinia	+	-
Lactobacillus	+	-			

++: sıkça rastlanıyor, +: varlığı biliniyor, - : yok

Çiğ gıdalar genellikle kolay bozunmayan yapılar (meyve derisi, fındık kabukları, kepek, kollajen kas dokusu, yumurta kabukları vb.) sayesinde mikroorganizmaların saldırılarına karşı korunur. Bu yapılara sadece uygun enzimler (selülaz, pektinaz, proteaz vb.) içeren mikrobiyal türler saldırabilir. Sonuç olarak, hasattan önce çiğ gıdalar genellikle sadece yüzeyde kirlenir. Ancak, işleme aşaması başlar başlamaz, bu koruma durur ve gıdalar mikroorganizmaların yayılmasına daha açık hale gelir [1]. Genel olarak, sıvı gıdalar hızlı bir şekilde bozulur, çünkü organizmalar kendi hareketleri veya konveksiyon akımları ile gıda boyunca kolayca yayılabilir. Et güveçleri, çorbalar ve konserve meyveler gibi yarı katı yiyecekler, sıvı yiyecekler kadar hızlı bir şekilde tüketilebilir. Katı gıdalar dış yüzeylerinden içeri doğru bozulma eğilimindedir, bunlar kirlenmiş ilk yüzeylerdir [39,1].

Besinlerin besin bileşimi, aynı zamanda makul derecede mikroorganizma türlerinin büyümesini de etkiler. Et, balık, balıklar gibi proteinli yiyeceklerin proteolitik organizmalar tarafından saldırıya uğraması; Ekmek, un, makarna, şurup ve reçel olarak “karbonhidrat” gıda maddesi fermente edici organizmaların saldırısına daha fazla maruz kalır; yağların lipolitik organizmalar tarafından saldırıya uğraması muhtemeldir [1].

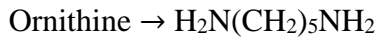
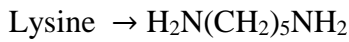
Yiyeceklerin buhar basıncının saf suyun buhar basıncına oranı olan su aktivitesi ( $a_w$ ), sulu bir faz, metabolik aktivitesinin ana şartı olduğundan mikroorganizmaların büyümesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çoğu mikroorganizma için iyi olan 0,995-0,980 aralığıdır.  $a_w$ 'nin düşürülmesi (örneğin, tuz, şeker, kurutma veya sertleştirme nedeniyle) mikrobiyolojik büyümeyi engeller veya gecikme fazının artmasına ve düşük bir büyüme oranına neden olur ve böylece daha uzun bir raf ömrüne yol açar. Mikroorganizmaların su aktivitesi bakımından farklı talepleri olduğu için, mikrofloranın birleşimi yaygınlıktan etkilenir [1]. Bir gıdanın pH değeri, üzerinde bulunabilecek mikorganizma türü ve sayısını sınırlar [39]. Çoğu mikroorganizma, bakteriyel sitoplazmanın pH'ına bağımlı olan ve bakteriyel enzimaktiviteler için en uygun olan nötr pH çevresinde gelişir (41). Bununla birlikte, bu aralıkların dışındaki bir pH da çıkabilen bakteriler vardır. Örneğin, daha düşük pH aralıkları, *Lactobacillus* (3,0 ve 4,4) ve *Acetobacter* (2 ve 8) tarafından kontrol edilebilir [40,1]. Genel olarak, mikroorganizmalar stresle başa çıkabilmek için bazı pH koşullarında hayatta kalmalarını sağlayan yanıt mekanizmaları kurmuşlardır. *Salmonella Typhimurium* ile, farklı asit seviyelerinde aktif olan iki sisteme karşılık gelen iki aşamalı bir işlem vardır: tolerans tepkisi (pH 4,5 ve 6,0 arasında) ve daha asidik pH'a direnç tepkisi [41]. Bazı proteolitik bakteriler daha yüksek bir pH'da büyüyebilir çünkü büyüme sırasında yüksek pH'yi tamponlamak için aminler üretirler [40,1].

İşleme, taşıma ve depolama sırasındaki sıcaklık koşulları bozulma işlemini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Artan sıcaklık koşulları, gecikme evresinin uzunluğunda ve üretim zamanlarında bir azalmaya ve dolayısıyla büyüme hızında bir artışa yol açmaktadır. Ayrıca protein sentezini, enzim aktivitesini, çözünen alımını ve dolayısıyla raf ömrünü de etkiler. Her organizma belirli bir sıcaklık aralığında organizmalar sıcaklık tercihlerine göre kaba kategorilere ayrılır: psirofiller, mezofiller ve termofiller (39). *Psyrrophiles*,  $-5^{\circ}\text{C}$  ila  $35^{\circ}\text{C}$  büyüme aralığında bulunan organizmalardır. Asgari büyüme aralığı  $-5^{\circ}\text{C}$  ila  $5^{\circ}\text{C}$ , optimum  $12-15^{\circ}\text{C}$  ve maksimum  $15-20^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Örnekler arasında gıda kaynaklı patojenler *Yersinia enterocolitica* ve *Listeria monocytogenes* ve bozulma bakterisi *Pseudomonas* bulunur. İnsan ve hayvanların çoğunun patojenleri ve çoğu gıda bozucu mikroorganizmalarının bulunduğu kategori, mezofillerdir: minimum büyüme aralığı 5–15°C, optimum 30–45°C ve maksimum 35–47°C'dir. Bu patojenlerin örnekleri *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Clostridium botulinum* ve *Staphylococcus aureus*'tur. Termofiller için minimum büyüme aralığı 40–45°C, optimum 55–75°C ve maksimum 60–90°C'dir. Örnekler arasında *Clostridium thermosaccharolyticum* ve *Geobacillus stearothermophilus* bulunmaktadır. [40, 1].

Bir gıdanın oksijen gerilimi ve oksidasyon azaltma (O-R) potansiyeli, içinde üreyebilecek organizma tipini etkiler. Aerobik organizmalar tarafından bozulma, yiyeceklerin yüzeyinde meydana gelir; Çoğu taze bitki ve hayvansal gıdalar boyunca düşük O-R bulunur ve bunlar sadece yüzeyde aerobiktir. Fakültatif organizmalar hem yiyeceklerin yüzeyinde hem de içlerinde, yiyecek kutularının *Bacillus* cinsinin üyeleri tarafından bozulmasının gösterdiği şekilde büyür. Anaerobik organizmalar, iç kutular gibi anaerobik koşullar altında tutulan yiyecekler içinde büyür; benzer şekilde vakum ambalajları bakterisi ve mayaların mayalanmayan bozulmasına karşı sorumludur [39]. Mayalar hem aerobik hem de anaerobik koşullarda yetişir. Küfler aerobiktir, çünkü bozulmalar genellikle yüzeyde başlar, ancak miselyum daha sonra yemeğin içine nüfuz eder [1].

Diaminler, kadaverin ve putresin (etin bozulmasının metabolik yan ürünleri) etin bozulmasının bir göstergesi olarak incelenmiştir [42]. Bu diaminlerin yapısı aşağıdaki şekilde gibidir:



## 2.6. Akıllı Ambalajlar ve Akıllı Etiketler

Geleneksel gıda ambalajının temel işlevi, gıda bozulmalarının azaltılmasını (böylece raf ömrünü uzatır), kalite ve güvenliğin korunmasını ve gıdaya verilen fiziksel zararın azaltılmasını / ortadan kaldırılmasını içerir. Ambalaj, içeriği ısı, ışık, nem, basınç, oksijen, enzimler, mikroorganizmalar, kokular, böcekler, toz ve kir gibi faktörlerden korumaya yarar. Gıda ambalajlamasının geleneksel ikincil işlevi, ürünün pazarlanmasında yatmaktadır. Son yıllarda, ambalajlamanın pazarlama karmasının doğal bir parçası olarak



önemini artan bir şekilde ortaya koymuştur. İkincil bir işlev görmesine rağmen, gıda ambalajlamasının bu yönü ürünün satışları üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bununla birlikte, önemli ölçüde gıda atıkları sorunu ve hafifçe korunmuş, taze tatma, uygun yiyecekler için artan tüketici taleplerinin yanı sıra değişen perakende uygulamaları (yani, gıda dağıtımının küreselleşmesi) için artan tüketici talepleri ortaya çıkmaya başladı [43].

Tüketicinin, ambalajlanmış gıdanın kalitesi hakkında daha bilinçli kararlar vermesini sağlayarak, gereksiz yere daha az gıdanın atılacağı ümit edilmektedir. Yüksek kaliteli ambalajlanmış gıdaya olan talep devam ettikçe, bilimsel araştırmalar, ambalajlama teknolojisi alanında önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Böylece, gıda ve ambalajlama arasındaki etkileşim, tüketiciye, içinde bulunan gıdaların kalitesi hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlama amacıyla, değişmeye başlamıştır. Bu akıllı ambalajlamanın temelidir. Akıllı ambalajlamanın tanımını çevreleyen bir karışıklık olduğu açıktır ve genellikle akıllı ve aktif ambalaj gibi benzer, ancak farklı terimler birbirinin yerine kullanılır. Kaynaklar akıllı ambalajlamayı “raf ömrünü uzatmak, güvenliği arttırmak, iyileştirmek için karar vermeyi kolaylaştırmak için akıllı işlevleri (bilimsel mantığı tespit etme, algılama, kaydetme, izleme, iletişim kurma ve uygulama gibi) bir ambalajlama sistemi olarak tanımlamaktadır [44].

Akıllı bir ambalajlama sisteminin öncelikli amacının bir problemi ortaya koymak olduğunu vurgularken, aktif bir ambalajlama sistemi temel olarak gıda ürünü korumak için harekete geçmekle (örneğin, antimikrobiyallerin serbest bırakılması) ilgilenmektedir. Robertson (2006), aktif ambalajlamayı “ambalajlama sisteminin performansını artırmak için ambalajlama malzemesine veya ambalajlama boşluğuna kasıtlı olarak dahil edilmiş olan ambalajlama malzemelerinin içine yerleştirilen ambalajlama” olarak tanımlamaktadır. Aktif ambalajlama örnekleri, koruyucuların yavaş salınımını içerir. Paketin içinde nemin emilmesi veya istenen sıcaklığı koruyan bir bileşen. Akıllı ambalajlama terimi en yaygın olarak hem akıllı hem de aktif ambalajlamayı kapsayan geniş bir tanım olarak kullanılsa da [45], akıllı ambalajlama yerine yaygın olarak kullanılır. Akıllı ambalajlamanın potansiyel avantajları çok sayıda olmasına rağmen, akıllı ambalajlamanın kullanımıyla ilgili endişeler bulunmaktadır. Tüketicilerin aşırı biyolojik olarak parçalanamayan plastiklerin kullanımından kaynaklanan çevresel etkilerin daha fazla farkında olduğu bir dönemde, akıllı ambalajlamanın yaygın olarak kullanılması için gerekli olabilecek artan ambalajlama miktarına ilişkin kaygılar dile getirilmiştir [46]. Ek olarak, göstergelerden gıda maddelerine kimyasal göç de geçerli bir

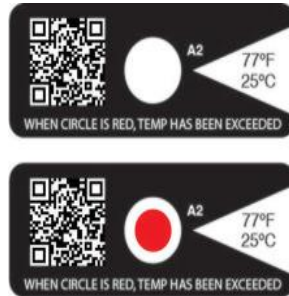
endişe kaynağı olarak gündeme gelmiştir. 2004 yılına kadar Avrupa'da akıllı ambalajlamanın doğru kullanımı ve üretimi konusunda resmi bir mevzuat yoktu. 1935/2004 / EC sayılı Tüzük ve daha spesifik olarak, en son yapılan 450/2009 / EC sayılı Tüzük, gelişmeleri, güvenliği ve pazarlamaları için parametreleri tanımlamak için belirlenmiştir. Bu makaleler, akıllı / aktif ambalajlamadan gıda maddesine kimyasal geçiş yapılmamasını sağlayarak, tüm ürünlerdeki göç testinin önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, bu tür bir ambalajın tüketiciyi yanlış yönlendirmemesi gerektiğini de taahhüt ederler.

Akıllı ambalajlama teknolojilerini yiyecek ve içecek ambalajlamasına dahil etmenin en uygun yollarından biri akıllı etiketlerdir. Akıllı etiketlerin işlevselliği tipik olarak, çevreleyen çevre ile etkileşime girecek şekilde kimyasal olarak formüle edilmiş mürekkepler şeklindedir. Akıllı etiketlerin hızla genişleyen elektronik sektörünün yanı sıra, mekanik aktivasyona (örneğin Timestrip ®, <http://www.timestrip.com/>) dayanan etiket örnekleri de vardır. Bunun hızla genişleyen bir araştırma alanı olduğu açıktır ve önümüzdeki yıllarda çeşitli yiyecek ve içeceklerde görünen ticarileşmiş sofistike akıllı etiketlerde bir artış görmeyi bekleyebiliriz [44].

Ambalajlanmış gıdanın kalitesini izlemek için önemli bir gösterge sıcaklıktır. Zaman sıcaklık indikatörleri (TTI), soğutma zincirindeki sıcaklık geçmişinin gıda üzerindeki genel etkisini, ürün birim seviyesine kadar izlemek, kaydetmek için uygun maliyetli ve kullanıcı dostu cihazlar olarak kullanılır [47]. Çalışma prensipleri temelinde, TTI sistemleri kimyasal, fizikokimyasal veya biyolojik sistemler olarak sınıflandırılır; entegre zaman ve sıcaklığa bağlı değişimleri, geri dönüşsüz bir görünür renk gelişimi, renk değişimine doğru bir hareket veya tutarlılıktaki mekanik bir değişim olarak ortaya çıkar. Göstergeler doğrudan ürün özellikleri hakkında, paket ve üst boşluk gazları ve paketin saklama ortamı hakkında bilgi verebilir [48]. TTI, bir gıda ürününün tam veya kısmi sıcaklık geçmişini yansıtan kolay ölçülebilir, zaman ve sıcaklığa bağlı bir değişim gösterebilen basit, ekonomik bir cihaz olarak tanımlanabilir [49]. Piyasada halen mevcut olan TTI'ler farklı prensiplere dayalı çalışma mekanizmalarına sahiptir. TTI çalışma prensibi, genellikle mekanik deformasyon, renk gelişimi veya renk hareketi şeklinde gözle görülür bir tepki olarak ifade edilen mekanik, kimyasal, enzimatik veya mikrobiyolojik geri dönüşsüz değişiktir [49]. Kimyasal veya fiziksel tepkiler, kimyasal reaksiyonlara veya asit baz reaksiyonu, erime, polimerizasyon vb. gibi zaman ve sıcaklık içeren fiziksel değişikliklere dayanır. Bununla birlikte biyolojik tepkiler,

mikroorganizmaların, sporların, enzimlerin zaman veya sıcaklıkla enzimlerin eylemlerindeki değişikliklere dayanır [50]. Tepkimenin hızı sıcaklığa bağlıdır, ürün kalitesinin bozulmasından sorumlu olan kötüleşen reaksiyonlara (tavuğun bozulmasına neden olan) benzer şekilde daha yüksek sıcaklıklarda artar. Böylece TTI'nin görünür tepkisi, beraberindeki ürünün zaman ve sıcaklık geçmişini kümülatif olarak yansıtmaktadır [51]. TTI'nin aktivasyonu çok basit bir işlemdir ve aktivasyondan sonra kolayca ölçülebilen yeniden üretilebilir bir zaman ve sıcaklığa bağlı dönüşüm gösterir. Ancak bu dönüşüm geri dönüşümlü olmamalı ve tercihen zahmetsizce bozulma derecesi ve kalan raf ömrü ile ilgilidir. Tepki mekanizmalarına bağlı olarak, TTI'ler kısmi veya tam tarih göstergeleri olarak nitelendirilebilir [52] . TTI'ler üç kategoride sınıflandırılabilir:

1. Kritik sıcaklık göstergeleri (CTI), üründe bulunan belirli bir bileşenin referans sıcaklığın üstünde (veya altında) olduğunu gösterir. Patojenik bir mikroorganizmanın kritik sıcaklığının veya büyümesinin üstünde önemli bir proteinin denatürasyonu, bir CTI'nın yararlı olacağı diğer önemli durumdur.
2. Kritik zaman sıcaklık entegratörleri (CTTI'ler), dağıtım zincirindeki bozulmaları belirtmede ve kalite veya güvenlik için önemli olan reaksiyonların kritik bir sıcaklığın üzerinde ölçülebilir hızlarda başlatıldığı veya gerçekleştiği ürünler için faydalıdır. Bu tür reaksiyonların örnekleri, mikrobiyal büyüme veya kritik sıcaklığın altında inhibe edilen enzimatik aktivitedir.
3. TTI'ler, ürünün geçmişi boyunca sıcaklık sınırlayıcı olan kesintisiz bir yanıt sağlar [53] Şekil 2.2' de TTI etiketi görülmektedir.



Şekil 2.2. TTI Etiketi [53].

Diğer akıllı ambalajlar ve etiketler şu şekildedir;

Şok ve titreşim veri kaydedicileri, bu cihazlarla donatılmış kaplarda saklanan yiyeceklerin maruz kaldığı şok miktarını algılayan, tespit edebilen ve izleyebilen elektronik cihazlardır. Bunlar, taşıma sırasında depolanan gıdada aşırı şok olup olmadığını anlamada yardımcı olurlar (Şekil 2.3), böylece ambalajların çatlak ve hasar açısından manuel muayenesinin azaltılmasına yardımcı olacaktır. Dijital bir veri depolama cihazına bağlanan tipik olarak mikro / nano elektromekanik sensörler vardır.



Şekil 2.3. Şok ve titreşim kaydedici [53].

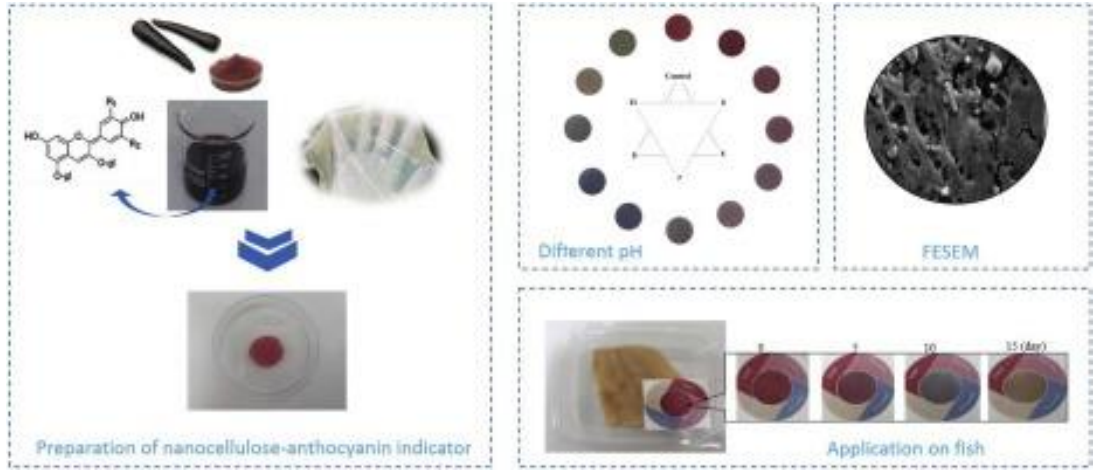
Mikrodalga Uyumlu Ambalajlama (Şekil 2.4), mikrodalga fırınlarda açılmadan kullanılabilen gıda ambalajlarını içerir.

Oksijen temizleyicileri (Şekil 2.5), ince ambalaj filmleri ve yiyeceğin geri kalanından izole edilmiş ancak yiyecekle aynı bölmenin içine yerleştirilen demirin nano parçacıklarıdır, oksijenin (Şekil 2.5) ambalaj içindeki atmosferden absorbe edilmesine yarar, bu sayede mikrobiyal aktivite büyük ölçüde azalır. Bu, demirin paslanarak oksijen almasına izin verilirken olur.



Şekil 2.4. Mikrodalga Uyumlu Ambalajlama [53].Şekil 2.5. Oksijen temizleyici[53].

Renk bazlı pH indikatörü, et tazeliğinin mikrobiyal metabolitlerinin tespitinde kullanılacak umut verici bir indikatördür. Bu yöntem et tazeliğini izlemek için paket üzerinde bir etiket olarak kullanılır (Şekil 2.6). Örneğin, immobilize edilmiş pH boyası (bromocresol yeşili), balık bozulma indikatörü olarak kullanılmıştır [54, 55]. Bu gösterge pH değişimlerine dayanarak çalışır, çünkü paket boşluğunun içindeki gıda bozulmaları sırasında üretilen toplam uçucu bazik azot (TVBN), pH artışına neden olur ve bunun sonucunda gösterge rengi sarıdan maviye döner ve çıplak gözle kolayca tespit edilebilir. Ayrıca, benzer prensibi kullanan araştırmalar da literatürde mevcuttur[56].



Şekil 2.6. pH tazelik etiketleri [53].

Son yıllarda kullanımı gittikçe artan akıllı paketlenme teknikleri ambalajlanmış gıdaların taşınması ve depolanması sırasında maruz kaldığı koşulları gösteren sistemler olup özellikle dağıtım ve depolama sırasında gıdanın kalite özelliklerinin korunmasında ve gıda güvenliğinin sağlanmasında ambalaj içi ve dışı indikatörü olarak kullanılmaktadır [4]. Akıllı paketlenme tekniklerinin birçoğunda değişik uygulama alanlarındaki sensörler ve indikatörler (Çizelge 2.1.) kullanılmaktadır.

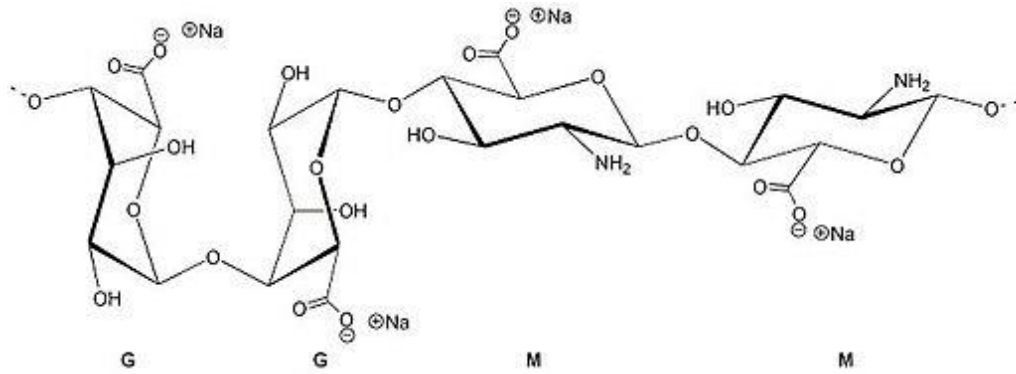
Çizelge 2.3. Akıllı ambalajlama teknolojisi metodları ve kullanım alanları.

İndikatör	Metot	Amaç	Hedef Gıda
Zaman Sıcaklık İndikatörü	Mekaniksel, Kimyasal, Enzimatik	Depolama koşullarını saptamak	Soğuk ve dondurulmuş koşullarda saklanan gıdalar
O <sub>2</sub> İndikatörü	Redoks boya, pH boya	Depolama koşullarını saptamak	Vakumlu paketlenen gıdalar
CO <sub>2</sub> İndikatörü	Kimyasal	Paket sızıntısının tespiti	Modifiye veya kontrolü atmosferde paketlenen gıdalar
Mikrobiyal Üreme İndikatörü	pH boya, mikrobiyal metabolit boya	Gıdaların Mikrobiyal kalitelerinin tespiti	Et, balık ve tavuk gibi çabuk bozulan gıdalar
Patojen İndikatörü	Çeşitli kimyasal ve immünokimyasal metotlar	E.coli, O157 gibi spesifik patojen tespiti	Et, balık ve tavuk gibi çabuk bozulan gıdalar
Renk İndikatörü	Mekaniksel, Kimyasal, Enzimatik	Ambalaj içindeki gıdanın sıcaklığı hakkında bilgi edinme	Mikrodalga fırında hazırlanan gıdalar

## 2.7. Kullanılan Kimyasallar

### 2.7.1. Sodyum Aljinat

Aljinat, deniz kahverengi yosunlarından elde edilen doğrusal bir hidrofilik polisakkarittir ve yapıdaki alternatif  $\alpha$ -L-guluronik ve  $\beta$ -D-mannuronik asit bloklarından oluşur. Sodyum aljinatın yapısı (NaAlg) Şekil 2.7'de verilmiştir.



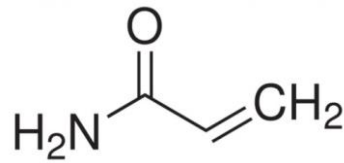
Şekil 2.7. Sodyum aljinatın molekül yapısı [57].

Aljinat yapısındaki tekrar eden birimlerin düzenlenmesi ve bileşimi aljinatın fiziksel özelliklerini belirler. Memelilerde degradasyon enzimlerinin bulunmamasından dolayı, yüksek moleküler ağırlıklı aljinat vücutta yavaşça bozulur. Aljinatın olağanüstü özelliği, iki değerli katyonlarla, çoğunlukla kalsiyumlu jelleşme özelliğidir [57].

### 2.7.2. Akrilamid

Akrilamid ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}_2$ ), (2-propenamid), (AAm) oda sıcaklığında beyaz kristalli bir maddedir. Reaktif elektrofilik çift bağlar ve amid grupları içeren akrilamid, hem zayıf asidik hem de bazik özellikler sergileyebilir. Akrilamid ilk önce C. Maurea tarafından 1893'te 10 °C'da doymuş bir benzen akrilik klorür çözeltisine kuru amonyak ilave edilerek üretilmiştir, daha sonra da amonyum klorür süzülerek ve akrilamid soğutulularak yavaşça kaynatılmıştır. Polimeri olan poliakrilamid, kağıt hamuru, kağıt ve madencilik endüstrisinde ve ayrıca su ve atık su işlemlerinde su arıtımında kullanılan bir polimerdir [58].

Doymamış karbonil grubu, elektrofilik olan ve dolayısıyla genellikle biyolojik moleküllerde reaksiyona girebilen nükleofilik gruplarla kolayca bulunabilen karboksilatlar, aminler ve tiyollerin yapısına sahiptir. Akrilamid polimerinin toksik özellikleri olmamasına rağmen, monomer toksik özelliklere sahip olabilir [59].

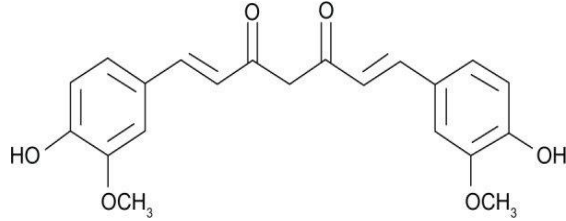


Şekil 2.8. Akrilamidin molekül yapısı [58].

### 2.7.3. Kurkumin

Kurkumin (C), lipid peroksidasyonunu inhibe eden ve reaktif oksijen türlerini süpürerek enflamatuvar bileşiklerin oluşumunu azaltan bir antioksidan olup molekül yapısı Şekil 2.10'da verilmektedir. *Curcuma longa* L. (zerdeçal)'ın ana bileşeni olan Kurkumin, ilk olarak 1815 yılında Vogel ve Pelletier tarafından izole edildi. 1870 yılında Daube tarafından kristalize edilen, 1910'da yapısını netleştirdi. Geleneksel olarak, anoreksinin önlenmesi ve tedavisi, öksürük, diyabetik yaralar, karaciğer hastalıkları, romatizma ve

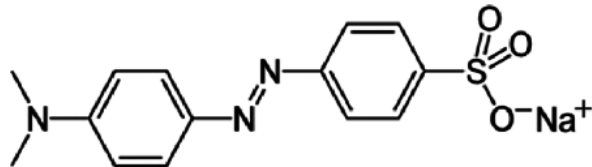
sinüzit ve dış cilt hasarları gibi birçok hastalığın tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Zerdeçal sarı çiçekleri, büyük yaprakları ve rizomlarının olduğu çok yıllık otsu bir bitkidir. Zerdeçal Linnaeus tarafından *C.longa* olarak tanımlandı. Yabani zerdeçal *Caromatica* ve yerel türler *C. Longa* olarak adlandırılır. Zerdeçal bitkisel protein (%6,3), yağ (%5,1), mineraller (%3,5), karbonhidratlar (%69,4) ve su (%13,1) içerir. Zencefil ailesine ait zerdeçalın temel biyoaktif bileşeni olan Kurkumin (diferulolmetan) (%3-%4), bitkinin sarı renginin kaynağıdır ve Kurkumin I (%94), Kurkumin II (%6) ve Kurkumin III'den (% 0,3) oluşur. Moleküler ağırlık 368,37 g/mol ve erime noktası 183°C'dir. Organik çözücüye bağlı olarak UV-Vis spektrofotometrik çalışmalarda Kurkuminin azami ışık emiciliği 400-430 nm arasındadır. Ticari dereceli Kurkumin dimetoksisürkümin (Mw 338 g/mol, genellikle %10-20) ve bisdimetoksikürkümin (Mw 308 g/mol, genellikle % 5'ten az) içerir [60].



Şekil 2.9. Kurkumin'in molekül yapısı [60].

#### 2.7.4. Metil Turuncusu

Metil Turuncusu (MO); tekstil, baskı, kâğıt, ilaç, gıda ve araştırma laboratuvarlarında yaygın olarak kullanılan suda çözünür bir monoazo boyadır. Bir monoazo boyası olan metil turuncu,  $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$  molekül formülüne ve 327,33 molekül ağırlığına sahiptir, molekül yapısı Şekil 2.10'da verilmiştir. Mavi-yeşil Metil Turuncusu absorbe edici ışığın yapısı 4-(4-(dimetilamino)fenilazo)benzensülfonik asit sodyum tuzudur (Şekil 2.12) [61].

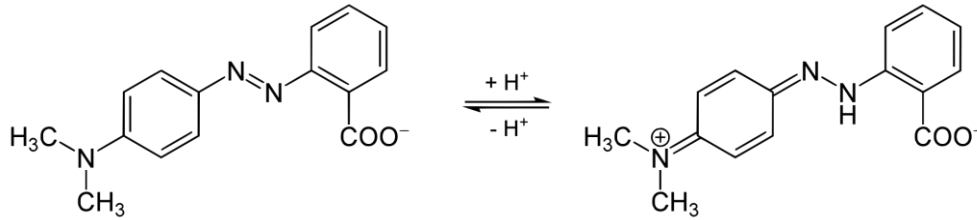


Şekil 2.10. Metil Turuncusu'nun molekül yapısı [61].



### 2.7.5. Metil Kırmızısı

Metil Kırmızısı (2- (N, N-dimetil-4-aminofenil) azobenzenkarboksilik asit (MR), asidik çözeltilerde kırmızıya dönüşen bir indikatör boyasıdır (Şekil 2.11'de Metil Kırmızısının molekül yapısı gösterilmiştir). Bir azo boyasıdır ve koyu kırmızı kristalimsi bir tozudur. Metil Kırmızısı bir pH indikatördür; 4,4'ün altındaki pH'larda kırmızı, 6,2 pH'da sarıdır [62].

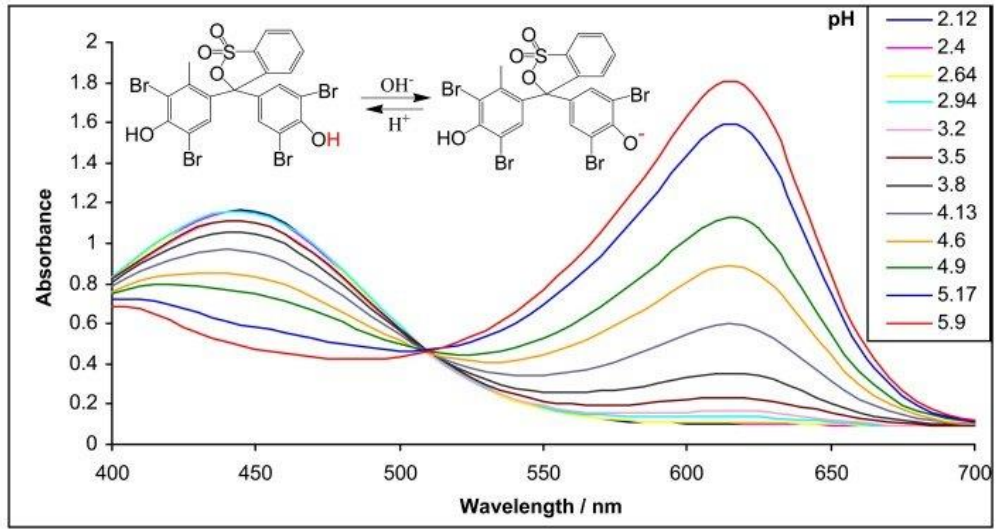


Şekil 2.11. Metil Kırmızısı'nın molekül yapısı [62].

### 2.7.6. Bromokresol Yeşil

Bromokresol Yeşili (BCG), trifenilmetan ailesinin (triarilmetan boyaları) bir boyasıdır. Sülfoneftalin adı verilen bir boya sınıfına aittir. Mikroorganizmalar ve titrasyonlar için büyüme ortamları gibi uygulamalarda pH indikatörü olarak kullanılır. Klinik pratikte yaygın olarak bir tanı tekniği olarak kullanılır. Bromokresol Yeşilinin en yaygın kullanımı, olası böbrek yetmezliği ve karaciğer hastalığı vakalarında memeli kan örneklerinde serum albümin konsantrasyonunu ölçmektir. Bu boyanın asit ve bazik formları, UV-Görünür bölge spektrumlarında, yaklaşık 515 nm'de izosbestik bir noktaya sahiptir, iki formun, başka bir madde oluşturmadan, doğrudan birbirinin yerine geçtiğini göstermektedir ve molekül yapısı Şekil 2.12'de verilmiştir [63].

Bu reaksiyonun asit ayrışma sabiti (pKa) 4,8'dir. Musluk suyu, bir Bromokresol Yeşili çözeltisi verecek kadar baziktir. Serbest asit formunda (açık kahverengi katı) veya bir sodyum tuzu (koyu yeşil katı) olarak kullanılabilir. Aynı zamanda prostaglandin E2 taşıma proteininin bir inhibitörüdür. İlave uygulamalar sol-gel matrislerinde kullanım, amonyağın algılanması ve insan plazması ve serumunda albüminin ölçülmesini içerir [64].



Şekil 2.12. Bromokresol yeşil'in molekül yapısı ve UV-GB spektruu [63].

## 2.8. Ultraviyole-Görünür Bölge (UV-GB) Spektroskopisi

Ultraviyole (UV) veya polimerlerin görünür bölge (GB) ışık absorpsiyonu, makromoleküllerin enerji seviyeleri arasında elektronik geçişlere yol açar. Bu elektronik geçişler sonucunda elektronik soğurma spektrumları elde edilir. UV-görünür bölge (UV-GB) spektroskopisi çoklu bağlar, aromatik konjuge yapılar ve bağlanmamış makromolekül bağları (oksijen, azot ve kükürt gibi) hakkında bilgi sağlar. 400-800 nm arasında ışığı absorplayan polimerlerin görünür renkleri vardır. Absorbans (A) veya geçirgenlik (T) değerleri doğrudan tüm spektrometrelerle ölçülebilir. Absorpsiyon spektrumları dalga boyu,  $\lambda$  (nm veya  $\text{Å}$ ) karşı absorbans (A) veya geçirgenlik (% T) olarak elde edilebilir. Makromoleküllerin UV-görünür spektroskopisi ile nitel analizine ek olarak, nicel analiz de mümkündür. Moleküler sönme katsayısı ( $\epsilon$ ), hücre boyutu (l) ve absorpsiyon (A) biliniyorsa, kromofor grupları içeren bileşiklerin konsantrasyonu Lambert-Beer yasası kullanılarak kantitatif olarak belirlenebilir. Lambert-Beer yasası aşağıdaki denklem ile verilmektedir.

$$A = \log (I_0 / I) = \epsilon \cdot c \cdot l \quad (2.1.)$$

A; absorpsiyon,  $I_0$  ve I; sırasıyla gelen ve geçen ışığın şiddeti,  $\epsilon$ ; moleküler ekstinkiyon katsayısı, c; derişim, l; hücre boyutunu ifade eder [65].

## 2.9. Fourier Taramalı Infrared Spektroskopisi (FTIR)

Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi son yıllarda kimyasal analiz için en güçlü tekniklerden biri olarak kabul edilir ve biyolojik analizde gıda da dahil olmak üzere çeşitli uygulamalara yeni yollar açmaktadır. Fourier dönüşümü (FT), spektrumun elde edilmesi için interferogramlara uygulanan matematiksel bir işlemdir. Temel olarak FT, interferometre tarafından sağlanan interferogramı, ışıktaki her dalga boyu için sinüs dalgalarına böler. Bu sinüs dalgaları, geleneksel spektrumu üretmek için dalga boyu üzerinde düzenlenir. FTIR yapımı için pek çok farklı malzeme ve bileşen türü mevcuttur. Bir FTIR spektrometresinin önemli bileşenleri, interferometre, kaynak, ışın ayırıcı, detektör ve lazerdir [66].

## **2.10. Termogravimetrik Analiz (TGA)**

Termogravimetri (TG), kütle kaybının, sabit hızdaki sabit bir sıcaklıkta veya sabit sıcaklıktaki zamanın bir fonksiyonu olarak sürekli ölçüleceği dinamik bir yöntemdir. Kütle kaybının sıcaklığa karşı çizildiği grafiklere termogram denir. Termogravimetrik eğriler birkaç adımdan oluşabilir. İlk adım, desorbe edilmiş çözücünden gelen küçük kütle kayıplarını temsil eder. Bu kütle kaybı yaklaşık 100 °C ise, muhtemelen su kaybindan kaynaklanmaktadır. Türev termogravimetri (DTG), zamana bağlı kütle değişim türevlerinin ( $dw / dt$ ), sabit hızdaki veya sabit sıcaklıktaki sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçüldüğü dinamik bir yöntemdir. Elde edilen eğri, kütle değişiminin ilk türev eğrisidir. Bu eğri, kademeli olarak azalan eğri yerine tepe noktaları içerir [67].

## **2.11. Şişme Dengesi**

Jellerin en belirgin özelliği, sıvı olarak şişmesidir. Dış koşullara yanıt olarak, jel ağları, çözücüyü absorplayarak şişer veya çözücüyü, termodinamik dengeye ulaşana kadar çözücüyle dışarı çıkararak çeker. Bu dengeye şişme dengesi denir. Denge, jel ve çözücü arasındaki etkileşimle belirlenir ve aynı ağ olsa bile sıcaklık, çözücü bileşimi, pH, hidrostatik basınç ve dış elektrik alanı gibi çeşitli koşullara duyarlı bir şekilde yanıt verir. Şişmenin derecesi, iyonları ağlara sabitleyerek de önemli ölçüde artar. Ayrıca, ağa ve çözücüye bağlı olarak hacimsel bir faz geçişi meydana gelebilir. Hacim, dış geçiş koşullarında ufak bir değişiklik bile olsa, faz geçiş noktasında 10-100 kat daha fazla değişecektir. Bu tür olayları gösteren jellerden başka hiçbir katı yoktur [68].

## **2.12. Adsorpsiyon ve Adsorpsiyon İzotermi**

Sabit sıcaklıkta adsorbent tarafından adsorbe edilen malzeme miktarı ile denge basıncı veya denge konsantrasyonu arasındaki ilişki, adsorpsiyon izotermi olarak adlandırılır. Adsorpsiyon izotermi, bir maddenin ne kadarının adsorbant tarafından adsorbe edebileceği hakkında bir fikir verir. Adsorbe edilen malzemenin miktarı, adsorbe edilecek malzemenin özelliklerine, konsantrasyonuna ve sıcaklığına bağlıdır [69]. Adsorpsiyona adsorplayıcı yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, adsorbant madde sıcaklığı, çözeltinin pH'ı, iyonik şiddet yapılan modifikasyon, çalkalama hızı, temas ettiği süre gibi parametreler etki eder. Birim adsorbant başına, adsorplanan madde miktarı eşitlik 2.2 ile belirlenebilir.

$$q_e = [(C_0 - C_e) m] / V \quad (2.2.)$$

$q_e$ : Adsorplanmış madde kütlesi ( $\text{mgg}^{-1}$ )

$C_0$ : Boya çözeltisinin başlangıç derişimi ( $\text{mgL}^{-1}$ )

$C_e$ : Boya çözeltisinin denge derişimi ( $\text{mgL}^{-1}$ )

$V$ : Çözelti hacmi (L)

$m$ : Adsorbent kütlesi (g)

### 2.12.1. Freundlich İzotermi

Bu izoterm tipinde, belirli miktarda adsorbentle adsorbe edilen malzemenin miktarı basınç (veya derişim) ile hızla artar ve katı yüzey adsorbe edilen molekülleri ile doyurulduğunda daha yavaş artar. Freundlich izotermi, artık ve atık suyun arıtılmasında kullanılan adsorbanların adsorpsiyon özelliklerini tanımlamak için sıklıkla kullanılır. Freundlich adsorpsiyon izotermi aşağıdaki eşitlik 2.3. ile oluşturulur;

$$q_e = K_f \times C_e^{1/n} \quad (2.3.)$$

Bu eşitlikte;  $q_e$ : birim adsorbent başına, adsorplanan madde kütlesi ( $\text{mgg}^{-1}$ ),  $C_e$ : dengede çözeltide bulunan maddenin derişimi ( $\text{mgL}^{-1}$ ),  $K_f$ : Freundlich sabiti (birimi yok),  $n$ : adsorpsiyon yoğunluğu (birimi yok) [70] . Eşitlik 2.3'ün ln'li ifadesi 2.4 eşitliğindeki gibidir.

$$\ln(q_e) = \ln(K_f) + 1/n (\ln(C_e)) \quad (2.4.)$$

2.4. eşitliği doğrusal olup  $K_f$  ve  $n$  sabitleri elde edilen grafiğin eğiminden bulunur.  $K_f$  ne kadar büyükse adsorpsiyon kapasitesi o kadar yüksektir.  $1/n$  ise 0-1 arasındadır ve  $n=1$  olduğunda izoterm doğrusaldır.  $n<1$  durumunda ise düşük derişimlerde yüksek adsorpsiyon kapasitesi görülür.

### 2.12.2. Langmuir İzotermi

Birçok durumda ve özellikle kimyasal adsorpsiyonda, konumlandırma sağlanır.  $X/m$  oranı, monomolekül tabakasını oluşturan tüm katı yüzeyi kaplayan adsorbe edilmiş gazın sınırlayıcı değerini gösterir. Freundlich izotermi bunu açıklayamaz. Bunu açıklamak için

Irving Langmuir, Dünya üzerindeki kimyasal adsorpsiyonun bir molekül katmanı ve Dünya üzerindeki dinamik bir denge olduğunu varsayarak Langmuir izotermi elde etti. Gaz molekülleri, gazın katı yüzeye temas etmesine izin vermek için elastik katıya maruz bırakılmaz ve gaz faza dönmeden önce doğal adsorpsiyon meydana gelir. Langmuir eşitliği (eşitlik 2.5.) aşağıdaki gibi ifade edilir [71] :

$$C_e/q_e = 1/(q_m + K_L) + C_e/q_m \quad (2.5.)$$

$C_e$ : Dengedeki çözeltide bulunan adsorplanmış madde derişimi ( $mgL^{-1}$ )

$q_e$ : Denge, birim adsorbent maddedeki adsorplanmış olan madde miktarı ( $mgg^{-1}$ )

$q_m$ : Tek tabakaya karşılık olan, maksimum adsorpsiyon miktarı ( $mgg^{-1}$ )

$K_L$ : Langmuir sabiti (birimi yok)

### 2.12.3. BET İzotermi

Brunauer, Emmett ve Teller şu varsayımları ortaya koymuşlardır; katı maddelerin yüzeyi, tek bir molekül tabaka ile kaplanmadan önce birçok çoklu molekül tabaka oluşturur, adsorpsiyon dengesi gerçekleştiğinde katmanların hepsi için bir denge hali gerçekleşmektedir, ilk katman dışında, bağ enerjisinin sorumlu kuvvetleri, gazın sıvılaşmasındaki kuvvetlerin aynısıdır. BET, bu kabullerden yola çıkarak 2.6. eşitliği önermişlerdir [72] :

$$q_e = (Q B C_e) / ((C_s - C_e) (1 + ((c-1) P) / P_0)) \quad (2.6.)$$

$C_e$ : Dengedeki çözeltide bulunan madde miktarı ( $mgL^{-1}$ )

$C_s$ : Çözeltideki adsorplamanın doygunluk derişimi ( $mgL^{-1}$ )

$B$ : Çözelti ve adsorbent arasındaki enerji için sabit

$Q$ : Yüzeydeki bir tabakanın oluşumu için, ağırlık olarak birim adsorbent başına adsorplanan madde miktarı ( $mgg^{-1}$ )'dir.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Kullanılan Kimyasallar

Bu tez çalışmasında IPN hazırlanması için orta viskozitede Aljinik asidin sodyum tuzu sodyum aljinat (NaAlg) (A-2023, Sigma Chemical Co., St Louis, MO) firmasından, akrilamid (AAm) BDH firmasından temin edilmiştir. Tazelik indikatörü olarak geliştirilmesi amaçlanan IPN yapılarına adsorbe edilen Kurkumin (C) ABCR firmasından, Metil Turuncusu (MO), Metil Kırmızı (MR) ve Bromokresol Yeşili (BCG) Merck firmasından sağlanmıştır. Nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ve sodyum hidroksit (NaOH) ortamın pH'ını ayarlamak için kullanılmış olup, her iki bileşik de Merck firmasındandır. Çözücü olarak etil alkol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) Sigma-Aldrich firmasından alınmıştır. Deiyonize su kullanılmıştır. Tazelik indikatörlerinin çalışırılığını incelemek için kullanılan amonyak (NH<sub>3</sub>), trietanolamin (C<sub>6</sub>H<sub>15</sub>NO<sub>3</sub>) Merck, putresin (C<sub>4</sub>H<sub>12</sub>N<sub>2</sub>) Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. Tazelik indikatörlerinin çalışabilirliği ise Beypiliç marka tavuk etlerinde denenmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan kimyasalların yapıları Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir.

#### 3.2. IPN Yapılarının Hazırlanması

Bu çalışmada NaAlg çözeltisi %3 (m/m) olarak % 50 (m/m) akrilamid çözeltisi içinde hazırlandı. Hazırlanan çözelti 3 mm çaplı polivinilklorür pipetlerde 0,028 kGy/saat doz hızına sahip gama kaynağında 10 kGy ışınlandı. Işınlanan örnekler pipetlerden çıkarılarak polimerleşmeyen monomerin uzaklaştırılması için suda bekletildi ve kesilerek kurutuldu ve daha sonra kullanılmak üzere saklandı. Şekil 3.1'de (NaAlg/AAm)IPN yapısının hazırlanmasına ait şematik gösterim verilmiştir. 10 kGy ışınlama dozunda %100 jelleşmeye ulaşıldığı için örnekler 10 kGy ışınlama dozuna maruz bırakıldı [73]. Yüzde jelleşme eşitlik 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 3.2'de ise hazırlanan (NaAlg/AAm)IPN örneklerin görüntüsü verilmiştir.

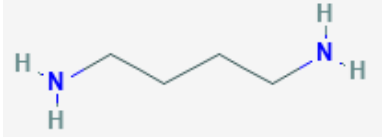
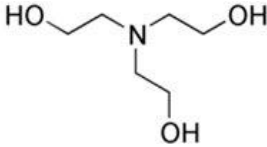
$$\%Jelleşme = \frac{m_o}{m_t} * 100 \quad (3.1.)$$

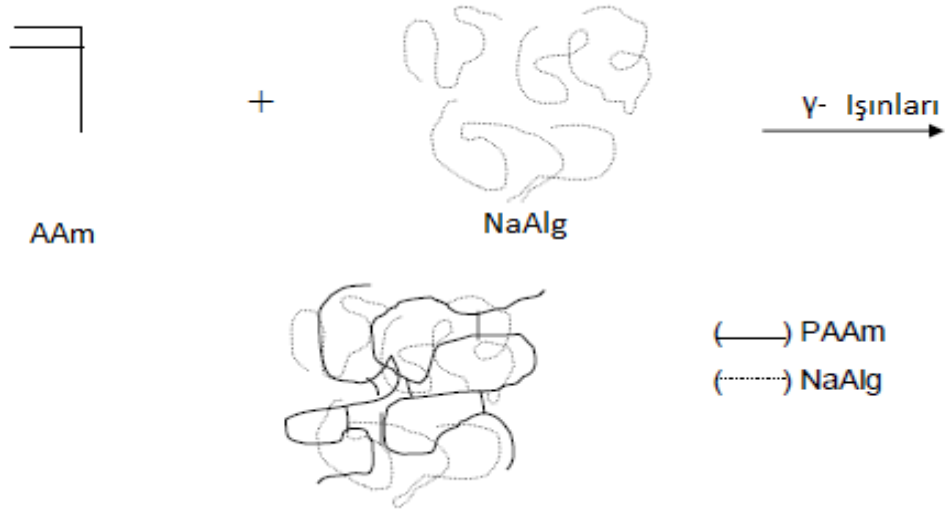
$m_o$ : Başlangıçtaki kütle  $m_t$ : Işınlanmış kuru örneklerin kütlesi.

Çizelge 3.1. Kimyasalların yapıları.

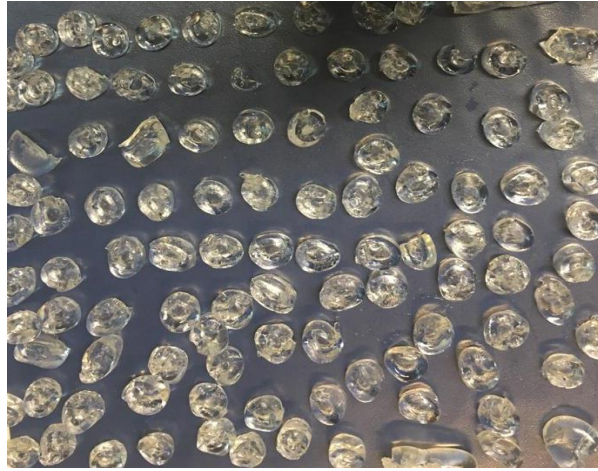
Kimyasal	Yapısı
<b>Sodyum aljinat (NaAlg)</b>	
<b>Akrilamid (AAm)</b>	
<b>Bromokresol Yeşili (BCG)</b>	
<b>Kurkumin (C)</b>	
<b>Metil Kırmızısı (MR)</b>	
<b>Metil Turuncusu (MO)</b>	
<b>Nitrik asit (HNO3)</b>	<b>HNO<sub>3</sub></b>
<b>Sodyum hidroksit (NaOH)</b>	<b>NaOH</b>
<b>Etil alkol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)</b>	
<b>Amonyak (NH<sub>3</sub>)</b>	<b>NH<sub>3</sub></b>



<p><b>Putresin (C<sub>4</sub>H<sub>12</sub>N<sub>2</sub>)</b></p>	
<p><b>Trietanol amin (C<sub>6</sub>H<sub>15</sub>NO<sub>3</sub>)</b></p>	



Şekil 3.1. (NaAlg/AAm)IPN yapısının hazırlanmasına ait şematik gösterim [73].



Şekil 3.2. (NaAlg/AAm)IPN örneklerin görüntüsü.

### 3.3. Şişme Testleri

C, MO, MR, BCG çözeltileri oda sıcaklığında farklı pH değerlerinde (NaAlg/AAm)IPN örneklerinin su ve farklı pH'a sahip boya içeren çözeltilerde kütle değişimleri zamanla takip edilmiştir. Yüzde şişme değerleri 3.2 eşitliği ile bulunmuştur.

$$\% \text{ Şişme} = \left[ \frac{(m_t - m_o)}{m_o} \right] \times 100 \quad (3.2.)$$

$m_t$  örneklerin t zamanındaki kütlesi,  $m_o$  başlangıç kütlesidir.

### **3.4. Ultraviyole (UV)-Görünür Bölge (GB) Spektroskopisi**

Bu çalışmada UV-GB spektrumlarının elde edilmesi için Varian Carry 100 model cihaz kullanılmıştır. Hazırlanan boya (indikatör) çözeltilerinin analizleri 200-800 nm dalga boyu aralığında ve 10 nm/saniye tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin UV-GB spektrumlarının kaydedilmesi için belirlenen dalga boyu aralığında örneklerin absorbanslarının ölçümü kuvars küvetle yapılmıştır. Dalga boyuna-absorbans değişimleri kaydedilen örneklerin UV-GB spektrumlarından yararlanarak hem adsorpsiyon çalışmaları ve ilgili hesaplamalar yapılabilmiş hem de gerekli kalibrasyon doğruları oluşturulmuştur.

### **3.5. (NaAlg/AAm)IPN Yapılarının Adsorpsiyon Çalışmalarında Kullanılması**

(NaAlg/AAm)IPN yapıların C, MO, MR, BCG için adsorplama özelliklerinin belirlenmesi ve adsorpsiyona pH etkisini incelemek amaçlı belli başlangıç derişimli boya çözeltileriyle farklı pH'larda yapılan şişme deney sonuçlarından da yararlanarak adsorpsiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon çalışmaları sonucunda çözeltide kalan boya miktarları UV-GB spektroskopi cihazı ile tayin edilmiştir. Daha önceden tespit edilen maksimum şişmenin görüldüğü sürelerde, kuru (NaAlg/AAm)IPN'ler boya çözeltilerine (stok çözelti derişiminden başlayarak farklı derişimlerde) konularak zamanla boya adsorplama kapasiteleri UV-GB spektrumları kullanılarak hazırlanan kalibrasyon doğrularından yararlanarak eşitlik 2.2 ( $q_e = [(C_o - C_e)V]/w$ ) yardımıyla hesaplanmıştır.

### 3.6. Boya Desorpsiyon Çalışmaları

Adsorpsiyon çalışmalarında, boya çözeltilerinin başlangıç derişimi ve ortamın pH'ının adsorpsiyona etkisi incelendikten sonra, kullanılan adsorbentin hem tekrar kullanılabilirliğinin incelenmesi, hem de hangi boyanın adsorbentten ne miktarda ve ne kadar sürede desorbe olacağı ile ilgili desorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Desorpsiyon yüzdesi ise eşitlik 3.3 ile belirlenmiştir.

$$\% D : [C_o / (C_o - C_s) ] \times 100 \quad (3.3.)$$

% D : % Desorpsiyon

C<sub>o</sub> : Boya başlangıç derişimi (mgL<sup>-1</sup>)

C<sub>s</sub> : Boya son derişimi (mgL<sup>-1</sup>) 'dir.

### 3.7. Karakterizasyon Çalışmaları

#### 3.7.1. Spektroskopik Karakterizasyon

NaAlg, AAm, (NaAlg/AAm)IPN, C, MO, MR, BCG ve boyaların adsorpsiyonu sonrası boya adsorplamış yapıların FTIR spektrumları Perkin Elmer FTIR Two kullanılarak kaydedilmiştir. Hazırlanan numunelerin analizleri geçirgenlik modu kullanılarak 4000-400 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında ve 4 cm<sup>-1</sup> ayırıcılıkla yapılmıştır.

#### 3.7.2. Isıl Karakterizasyon

Termogravimetrik analizde incelenen malzemenin ısıl kararlılığı incelenebilmektedir. Malzemelerin bozunma şekilleri ilgilenilen malzeme için karakteristiktir. Hangi sıcaklık veya sıcaklıklarda maksimum bozunma görülmekte, bozunan maddeden hangi sıcaklıkta ne kadar bozunmamış madde bulunmaktadır gibi bilgiler edinilebilmektedir. NaAlg, AAm, (NaAlg/AAm)IPN, C, MO, MR, BCG ve boyaların adsorpsiyonu sonrası boya adsorplamış yapıların sıcaklıkla yapılarındaki değişim Perkin Elmer Pyris model Termogravimetrik analizör (TGA) cihazı ile incelenmiştir. Isıl analizler 25°C'den 800°C'ye kadar 20 °C dakika<sup>-1</sup> ısıtma hızında azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir [74].

### 3.8. Tazelik İndikatörünün Çalışabilirliğinin İncelenmesi

Boya adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN yapılarının tazelik indikatörü olarak geliştirilmiş olduğu düşüncesiyle, tazelik indikatörlerinin çalışabilirliğinin zamanla farklı etkenlere bağlı olarak etten oluşacak olan amonyak ( $\text{NH}_3$ ), trietanolamin ( $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$ ), putresin ( $\text{C}_4\text{H}_{12}\text{N}_2$ ) ile etkileşimleri ve indikatör olarak pH'a bağlı renk değişimi ve şişme görülüp görülmeyeceği tavuk etinde denenmiştir. Denemelerde 4 indikatör (Bromokresol Yeşili, Kurkumin, Metil Kırmızısı, Metil Turuncusu) çözeltisinde şişmeye ve adsorpsiyona bırakılan (NaAlg/AAm)IPN yapısı daha önceden belirlenmiş maksimum şişme ve adsorpsiyon süresine gelindiğinde çözeltilerden alınmıştır. Denemelerde ilk önce amonyak ardından trietanolamin sonrasında putresin en sonda tavuk eti kullanılmıştır. Denemelerde kullanılan malzemeler 500 mililitrelik cam erlene konmuştur. Tazelik indikatörleri içlerinden ip geçirerek erlen içine sarkıtılmış fakat adsorbentin (veya tazelik indikatörünün) erlen içindeki tavuk etindeki yağ, protein vb maddelerle direkt etkileşimini önlemek ve sadece uçucu hale geçen bazik (özellikle biyoaminlerle) türlerle temas etmesi sağlanmış olup tavuk eti ile temas ettirilmemişlerdir. Erlenlerin ağzı kapatılmış ve indikatörlerdeki değişim zamanla gözlenerek fotoğraflanmıştır.

## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

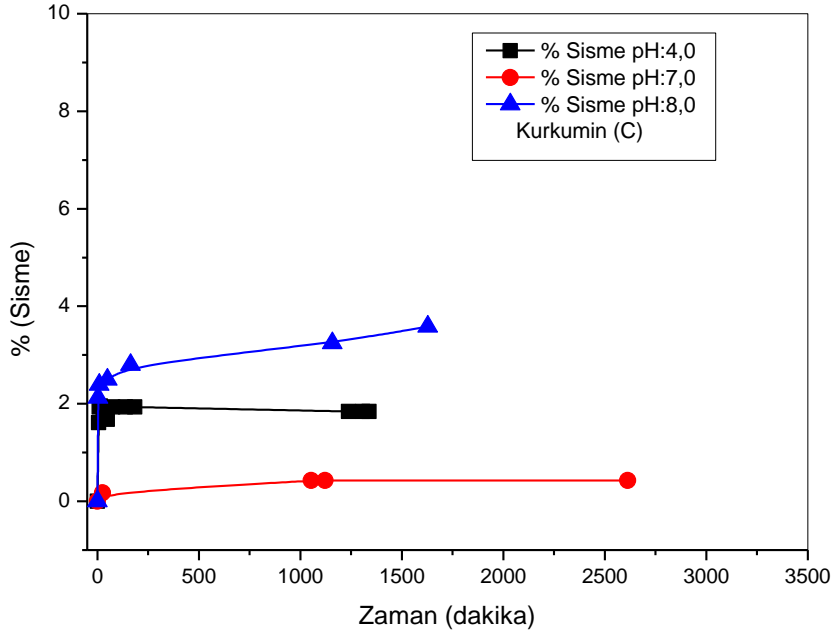
Bu çalışmada tazelik indikatörü olarak geliştirilen (NaAlg/AAm)IPN'lere değişik pH aralıklarında renk değiştiren (özellikle tavuk etinin bozulmasına duyarlı olabilecek pH aralığında) boyaların adsorpsiyonu amaçlanmıştır. Hazırlanan (NaAlg/AAm)IPN hidrojelinde NaAlg'ın doğal bir polimer olması ve AAm'inde polimerleştikten sonra monomer özelliğini göstermemesinden dolayı adsorbent olarak gıda ile teması uygun olacağı düşünülmüştür.

(NaAlg/AAm)IPN'e adsorbe edilerek tazelik indikatörü eldesinde kullanılacak olan boyalarında gıdalla temasında sakıncası olmayan gıda boyar maddesi olmasına dikkat edilmiştir. Bu amaçla hem bir gıda maddesi olması hem de farklı pH'lardaki renk değişiminden yararlanılabileceği düşüncesiyle Kurkumin (C) adsorpsiyon çalışmalarında öncelikle tercih edilmiştir [60]. Fakat Kurkumin (C)'ye alternatif diğer boyar maddeler de incelenmiştir.

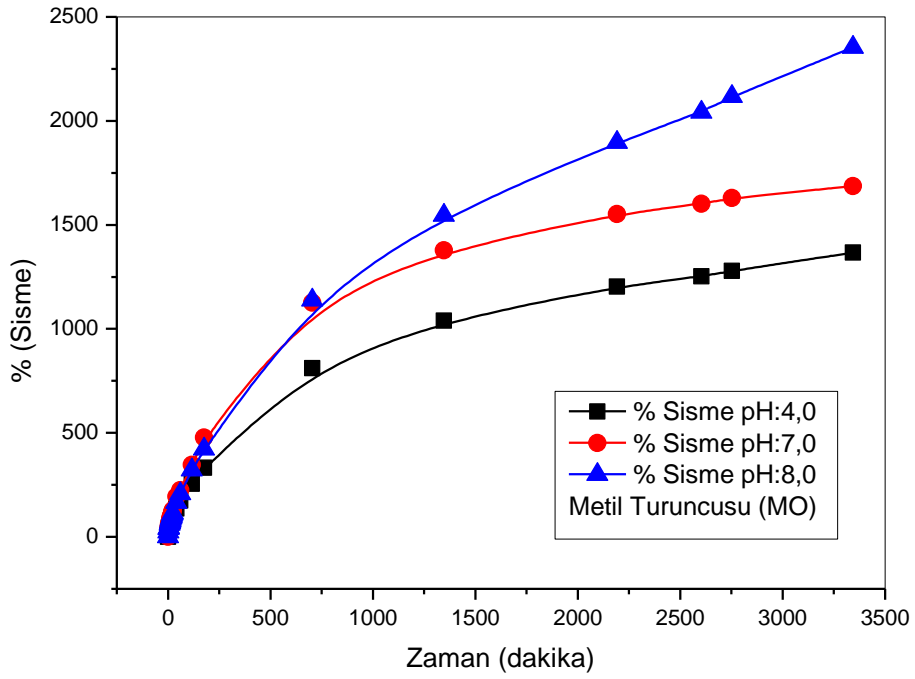
Bu amaçla sentezlenen IPN yapılarının belli pH aralıklarında şişme veya büzülme özelliklerinin de bir belirteç olduğu düşünülebilir. (NaAlg/AAm)IPN yapıları hem AAm'in hem de NaAlg'ın suda çözünür olmasından kaynaklı IPN yapılarda suda yapısına kütlelerinin %20'sinden fazla su aldığında hidrojel olarak tanımlanabilir.

Hazırlanan (NaAlg/AAm)IPN hidrojeller, pH'ı 4,0, 7,0 ve 8,0 olan C, MO, MR, BCG'nin  $1000 \text{ mgL}^{-1}$  derişimindeki çözeltilerinde ağırlık artışı takip edilerek % şişme-zaman eğrileri oluşturulmuştur. Kütlece % şişme değerleri eşitlik 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır. Kurkumin (C) suda çözünür olmadığından %95 (m/m)'lik etanol çözeltisinde % şişme-zaman eğrileri oluşturulmuştur. C, MO, MR, BCG için farklı pH'lardaki zamanla % şişme değişimleri Şekil 4.1-4.4'de görülmektedir.

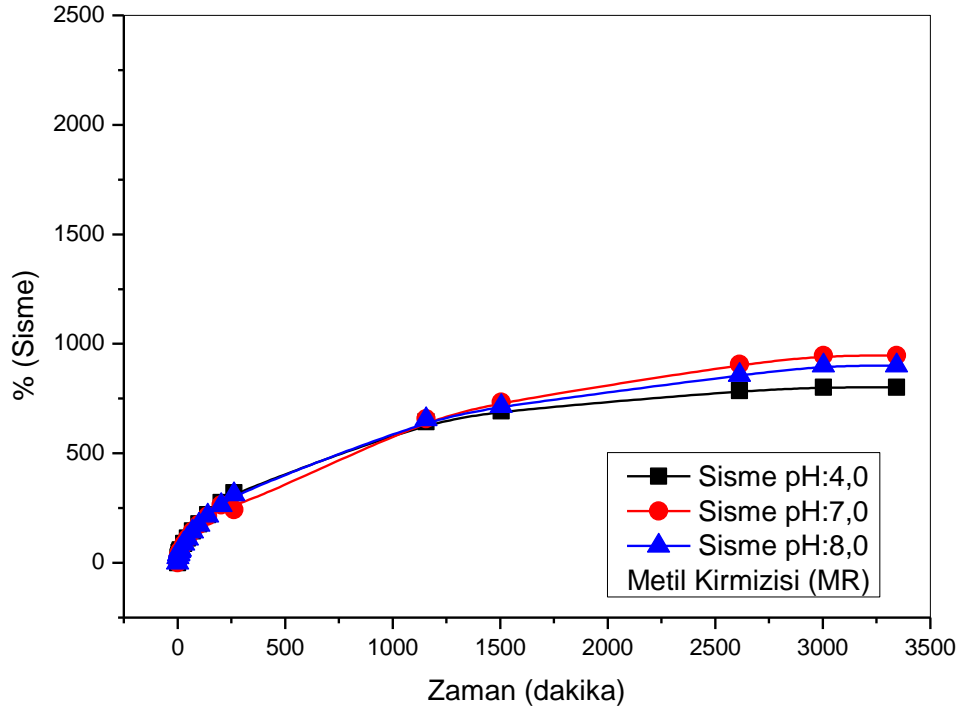
Kurkumin suda çözünmediği için %95 (m/m)'lik etanol çözeltisinde şişme özelliği incelenmiştir. Fakat pH 4,0, 7,0 ve 8,0'de şişmenin çok yüksek olmadığı tespit edilmiştir. Fakat BCG ve MO çözeltilerinde pH 4,0, 7,0 ve 8,0 deki şişme değerleri en yüksek pH 8 bazik ortamda olmak üzere oldukça yüksek bulunmuştur. Bu sonuç adsorpsiyon-desorpsiyon çalışmalarıyla da desteklenirse hem boya adsorpsiyonu hem de şişmenin yüksek olması özellikle bazik ortamda bazik ortama duyarlı hidrojeller olduğu söylenebilecektir. MR'de ise şişmenin pH 4,0, 7,0 ve 8,0'de yüksek olduğu ancak BCG ve MO'ın yarısı kadar olduğu fakat C ile kıyaslanamayacak kadar yüksek olduğu bulunmuştur.



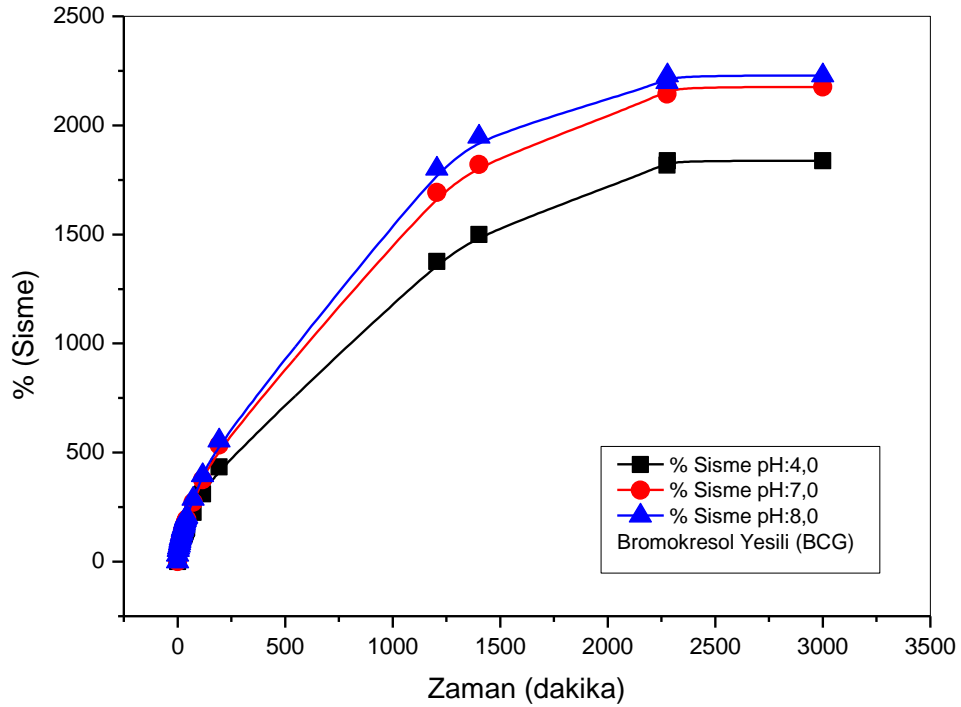
Şekil 4.1. (NaAlg/AAm)IPN hidrojellerinde kütlece % şişmenin zamanla değişimi. [C]:  $1000 \text{ mgL}^{-1}$ ,  $t : 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Şekil 4.2. (NaAlg/AAm)IPN hidrojellerinde kütlece % şişmenin zamanla değişimi. [MO]:  $1000 \text{ mgL}^{-1}$ ,  $t : 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Şekil 4.3. (NaAlg/AAm)IPN hidrojellerinde kütlece % şişmenin zamanla değişimi.  
[MR]: 1000 mgL<sup>-1</sup>, t : 25 °C.



Şekil 4.4. (NaAlg/AAm)IPN hidrojellerinde kütlece % şişmenin zamanla değişimi.  
[BCG]: 1000 mgL<sup>-1</sup>, t : 25 °C.



#### 4.1. (NaAlg/AAm)IPN Hidrojellerinin Adsorpsiyon Çalışmalarında Kullanılması

##### 4.1.1. (NaAlg/AAm)IPN Hidrojellerine Boya Adsorpsiyonuna pH Etkisi ve UV-GB Spektrumlarının İncelenmesi-Kalibrasyon Doğrularının Elde Edilmesi

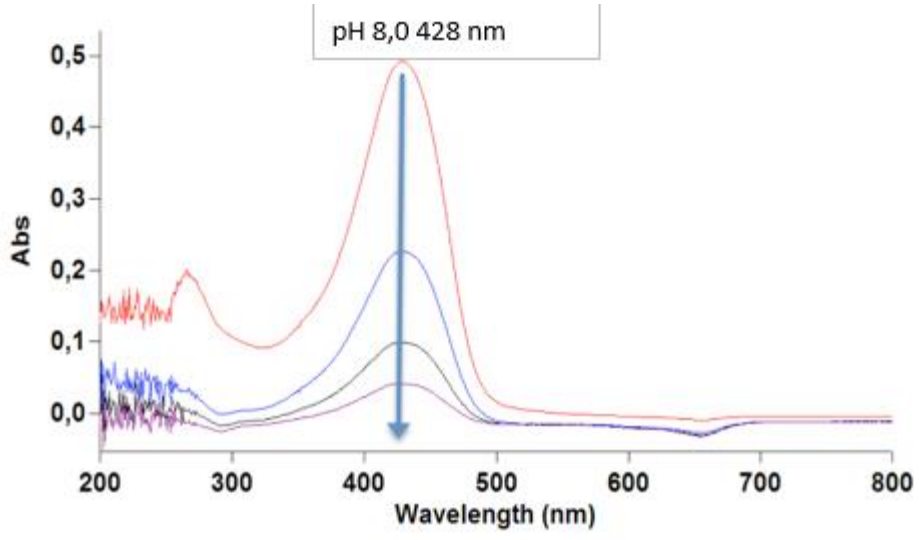
(NaAlg/AAm)IPN hidrojellerine boya adsorpsiyonunun incelenmesi ve pH etkisini tespit etmek için ilk olarak boya çözeltilerinin farklı pH ve farklı derişimlerinde UV-GB spektrumları kaydedildi. Kurkumin için pH 10'da renk değişimi olmaktadır. Ancak tavuk etinde kullanılması planlanan tazelik indikatörü için pH 10 çok bazik olup, tavuk etinden zamanla açığa çıkacak olan uçucu aminlerin ortamın pH'ını 10 yapması mümkün olamayacağından hem adsorpsiyon hem de UV-GB spektrumları pH 8,0'de gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5). Kurkumin için 425 nm'de görülen absorbana molekülde varolan  $\pi$ - $\pi^*$  geçişleri nedeniyle olmaktadır. Kurkumin doğal gıda maddesi olması nedeniyle öncelikle tercih edilmiştir, ancak hem suda çözünür olmaması hem de pH 10 da renk değişiminin olması nedeniyle başka boyar madde alternatifleri oluşturulmuştur [60].

Metil Turuncusu bir diğer alternatif boya olarak kullanılmıştır. MO'nın pH 4,0 ve 8,0'deki farklı derişimlerdeki çözeltileri için  $\lambda_{max}$  değerleri sırasıyla 470 ve 463 nm olarak bulunmuştur ve bu değerler literatürle uyumludur [61]. Bu sonuçlar pH 4,0 ve 8,0'de farklı renklerde sahip olmasından dolayı tazelik indikatörü eldesi için hidrojellere adsorplanması çalışmaları yapılmıştır. Ancak farklı iki pH'da farklı renkler göstermesi  $\lambda_{max}$  değerlerinin birbirine çok yakın olması nedeniyle iki ayrı UV-GB spektrumu olarak Şekil 4.6 ve 4.7'da verilmiştir.

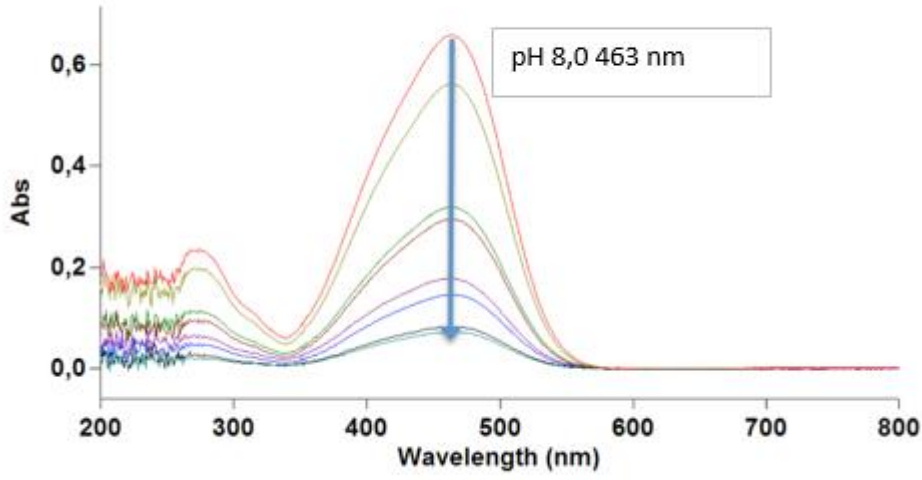
Metil Kırmızı için kaydedilen UV-GB spektrumlarından (Şekil 4.9) ve farklı pH'a sahip çözeltilerde (pH 8,0 ve 4,0 için 430 ve 523 nm  $\lambda_{max}$ 'a sahiptir.) farklı renk oluşturması ve literatürden [62] anlaşıldığı üzere gıdalarda kullanılabilmesi nedeniyle tazelik indikatörünün oluşturulmasında kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

BCG'nin farklı pH'taki ve farklı derişimdeki çözeltileri için UV-GB spektrumu Şekil 4.9'da görülmektedir. pH 3,5'de 444 nm'de ve pH 8,0'de ise 616 nm'de maksimum absorbansın görüldüğü dalga boyu ( $\lambda_{max}$  değerleri tespit edilmiş olup, pH 3,5 ve pH 7,0 ve 8,0'de ise hem farklı renklere sahip hem de farklı  $\lambda_{max}$ 'a sahip olmaları pH'a karşı duyarlı olabilecek tazelik indikatörü oluşturulabileceğinin göstergesi olmuştur.

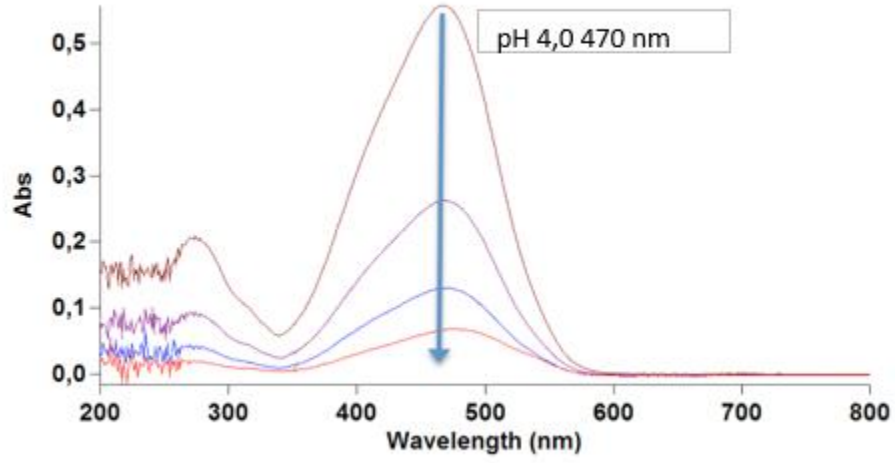
Farklı pH ve derişimlerdeki dört boyanın adsorpsiyon çalışmaları için gerekli olacak kalibrasyon doğruları oluşturulmuş ve Ek 1-4 olarak verilmiştir.



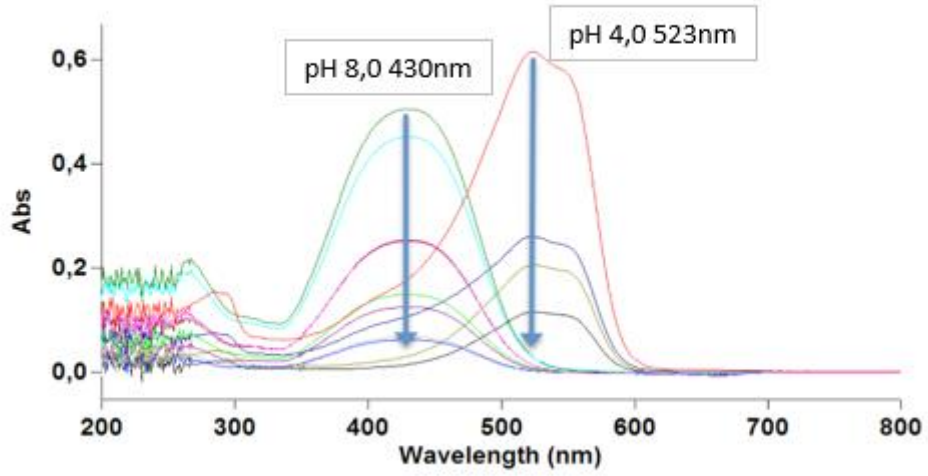
Şekil 4.5. Kurkumin (C) çözeltisinin UV-GB spektrumu.



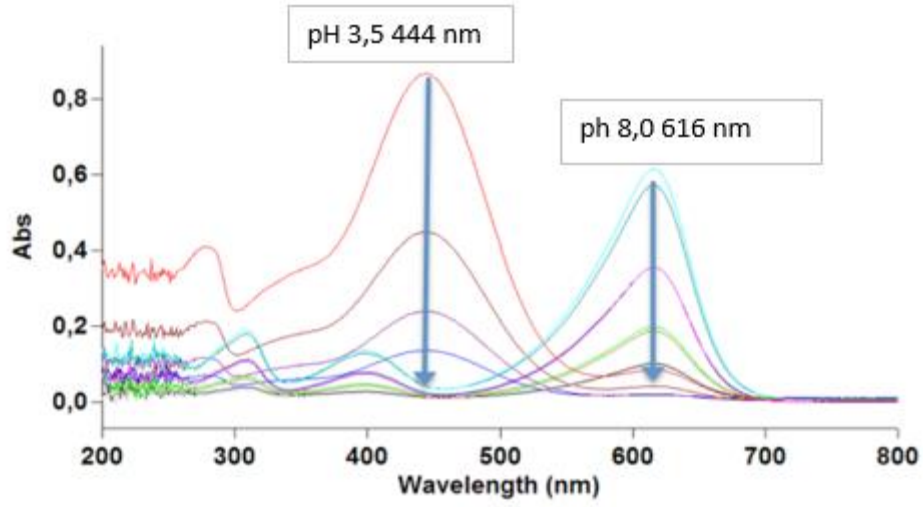
Şekil 4.6. Metil Turuncusu (MO) çözeltisinin UV-GB spektrumu (pH:8,0).



Şekil 4.7. Metil Turuncusu (MO) çözeltisinin UV-GB spektrumu (pH:4,0).



Şekil 4.8. Metil Kırmızısı (MR) çözeltisinin UV-GB spektrumu.



Şekil 4.9. Bromokresol Yeşili (BCG) çözeltisinin UV-GB spektrumu.

## 4.2. Adsorpsiyon Hesaplamaları

### 4.2.1. Başlangıç Derişiminin Bromokresol Yeşilinın Adsorpsiyonuna Etkisi

(NaAlg/AAm)IPN yapısına BCG'nin adsorpsiyon kapasitesini incelemek için (2,5 – 25) mg L<sup>-1</sup> derişim aralığında çalışılmıştır. Sonuçlar Şekil 4.10.'da verilmiştir. Derişim arttıkça adsorpsiyon kapasitesinin arttığı görülmektedir. BCG derişimi arttıkça BCG ile (NaAlg/AAm)IPN arasındaki derişim farkının artması sonucu büyük sürücü kuvvet ortaya çıkmaktadır. (NaAlg/AAm)IPN yapısına bağlanabilecek BCG'nin yüksek olmasını sağlamak amacıyla en yüksek BCG derişimi ile başlayarak adsorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Adsorpsiyon izotermi çözültide bulunan ve çözülti ortamından uzaklaştırılması istenen türler ile adsorbent yüzeyine adsorplanan bu türler arasındaki denge durumunu açıklamaktadır. Miktarı bilinen ve ortamdaki adsorbente adsorplanacak olan maddeyi içeren çözülti arasında denge sözkonusudur, bu denge hali adsorpsiyon dinamiği olarak bilinmekte ve denge anında çözültideki madde miktarı ve katı adsorbent yüzeyindeki madde miktarı değişmez. Adsorpsiyon adsorbentin yüzey alanına, tanecik büyüklüğüne, sıcaklığa, çözültinin pH'ına, iyon etkisi ve çalkalama hızı ile, etkileşme süresi (temas süresi) ve pek çok diğer parametreye bağlıdır. Bu etkenlere bağlı olan adsorpsiyon şekli ise adsorpsiyon izotermi olarak bilinen değişik ifadelerle adlandırılır. Adsorpsiyon izotermilerinin oluşturulmasında

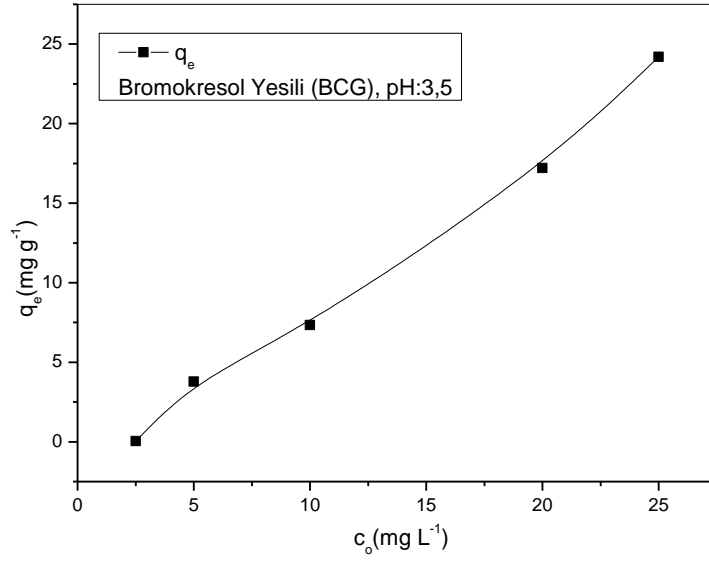
ve hedef molekül ile adsorbent arasındaki etkileşimi açıklamak için en çok kullanılan adsorpsiyon izotermi Freundlich ve Langmuir izotermidir. Bu çalışmada amacımıza en uygun cevabı veren BCG boyasının (NaAlg/AAM)IPN yapısına adsorpsiyonu ve ilgili izotermi verilmiştir.

Langmuir adsorpsiyon izotermi ise moleküllerin adsorbente tek tabaka oluşturacak şekilde bağlandığını, bağlanma bölgelerinin eşit ve homojen yüzey enerjisine sahip olduğunu, adsorbente adsorplanan moleküllerin komşu moleküllerle etkileşiminin ihmal edildiği kabul edilmektedir.

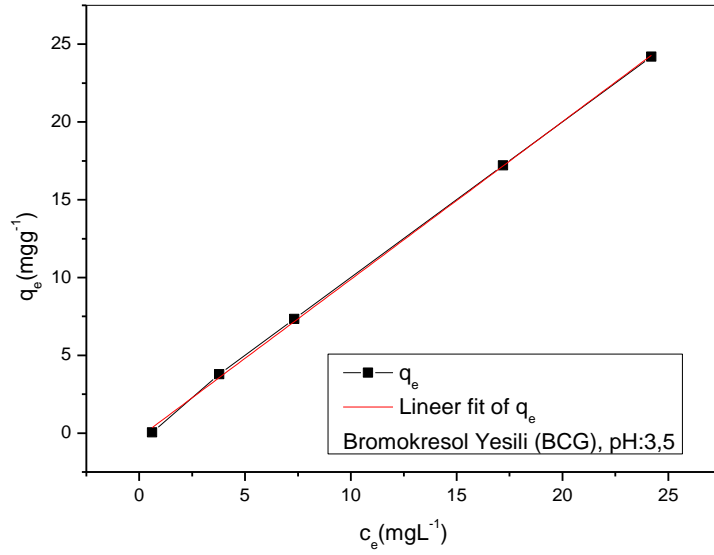
Freundlich adsorpsiyon izotermi adsorpsiyonun çok tabakalı olduğunu ve adsorpsiyon yüzeyinin heterojen yüzey enerjisine sahip olduğunu kabul etmekte olup her bir aktif bağlanma yerlerinin komşu aktif bağlanma bölgeleri ile etkileşimde olduğu kabul edilmektedir. Eşitlik 2.3'de eşitliğin her iki tarafının logaritması alınırsa eşitlik (eşitlik 2.4.) daha kullanışlı hale gelir.  $\ln q_e$ 'nin  $\ln C_e$ 'ye karşı grafiği doğrusal değişim gösterdiğinde Freundlich adsorpsiyon izotermi uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Eğim ve kesim noktasında ise adsorpsiyon sabitleri elde edilebilmektedir. Eğimin 0 ve 1 arasında olması adsorpsiyon yoğunluğunun ve yüzey heterojenliğinin bir ölçüsü olmaktadır. Eğimin sıfıra yakın olması ise adsorpsiyonun o kadar heterojen olduğunu ifade etmektedir. Eğimin birden düşük olması da kemisorpsiyon anlamına gelir ve bir üstündeki eğim ( $1/n$ ) değerleri ise fiziksel adsorpsiyon anlamına gelirken, eğimin bu bahsedilen sayısal değerleri aslında adsorpsiyonun kimyasal veya fiziksel bir göstergesi olmaktadır. Freundlich adsorpsiyon izotermi eşitlik 2.4. kullanılarak elde edilmiştir.

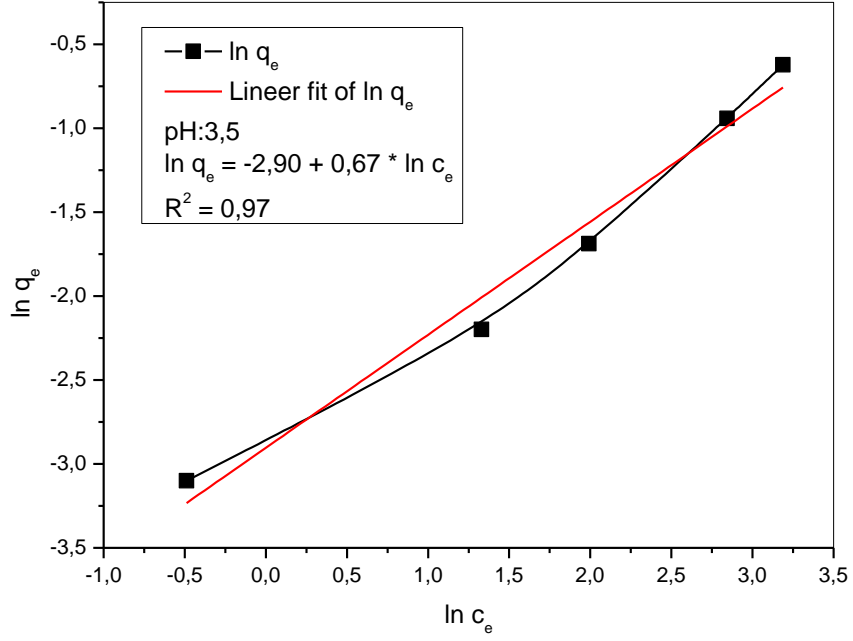
Sabit sıcaklık ve pH'da, gram adsorbent tarafından ( $q_e$ , eşitlik 2.2. ile hesaplanan) adsorbe edilen madde miktarı, denge çözelti derişimi ( $C_e$ ) ile değişiminin bir ifadesi olan adsorpsiyon izotermi pH 3,5 ve 8,0'deki BCG sulu çözeltileri için,  $q_e$ 'nin  $C_e$ 'ye karşı grafiği ve eşitlik 2.4 kullanılarak oluşturulan  $\ln q_e$ 'nin  $\ln C_e$ 'ye karşı değişimler Şekil 4.11 ve 4.12'de görülmektedir. BCG adsorpsiyonunun Freundlich adsorpsiyon izotermine uyduğu bulunmuş, eğim ( $1/n$ ) ise 0,67 ve  $n$  ise 1,49 olarak hesaplanmıştır,  $n > 1$ 'dir ve bu da çalıştığımız derişim aralığında (boya için yüksek) adsorpsiyonun yüksek olduğunu bir ifadesidir.  $\ln q_e - \ln C_{eq}$  grafiğinden elde edilen doğru için regrasyon katsayısı 0,97'dir. Şekil 4.13'de ise  $C_e/q_e - C_e$  grafiği oluşturulmuş fakat 0,51 regrasyon katsayısı ile Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olmadığı görülmüştür.



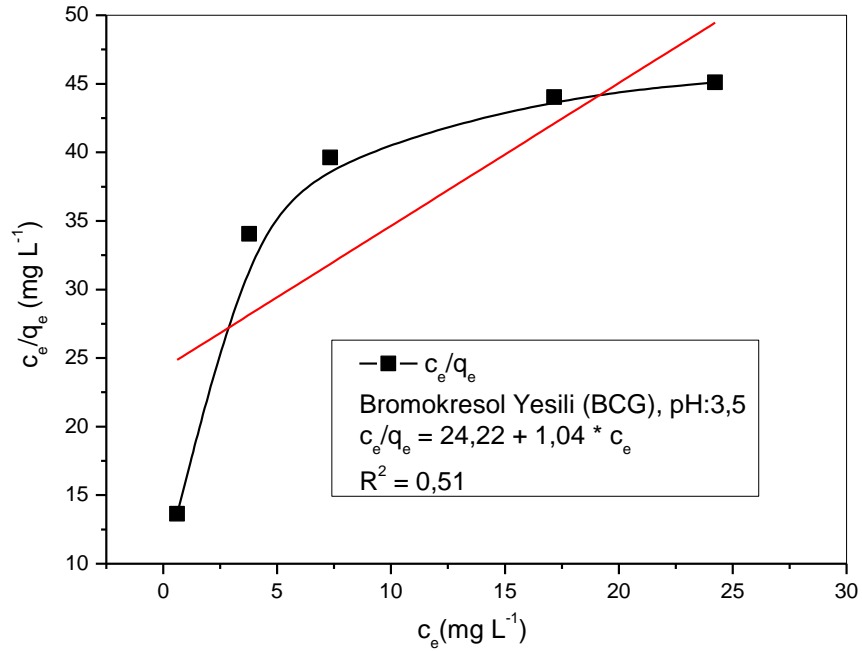
Şekil 4.10. BCG'nin (NaAlg/AAm)IPN'e adsorpsiyonuna başlangıç derişiminin etkisi.  
 pH: 3,5,  $m_{(\text{NaAlg/AAm})\text{IPN}}$ :  $\sim 0,5$  gram, Adsorpsiyon süresi: 500 dakika,  
 Sıcaklık: 25°C.



Şekil 4.11. (NaAlg/AAm)/IPN'e BCG adsorpsiyonu için Freundlich izoterm grafiği.  
 $m_{(\text{NaAlg/AAm})\text{IPN}}$ :  $\sim 0,5$  gram, pH: 3,5, Adsorpsiyon süresi: 500 dakika, Sıcaklık:  
 25°C.

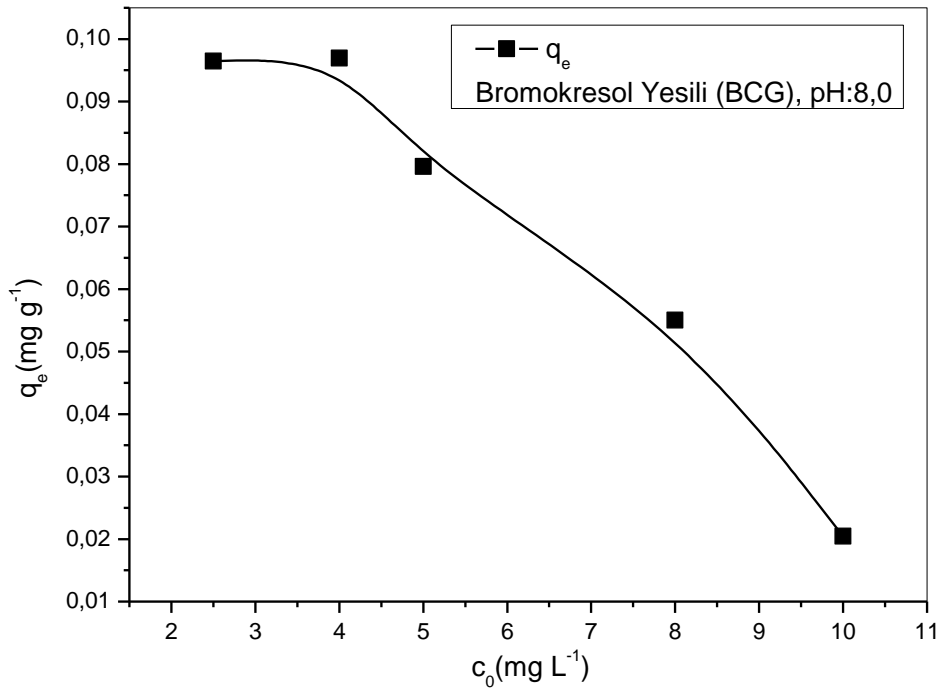


Şekil 4.12. BCG için Freundlich adsorpsiyon izoterminin.  $m_{(\text{NaAlg/AAm})\text{IPN}} \sim 0,5$  gram, pH: 3,5, Adsorpsiyon süresi: 500 dakika, Sıcaklık: 25°C.



Şekil 4.13. BCG için Langmuir adsorpsiyon izoterminin.  $m_{(\text{NaAlg/AAm})\text{IPN}} \sim 0,5$  gram, pH: 3,5, Adsorpsiyon süresi: 500 dakika, Sıcaklık: 25°C.

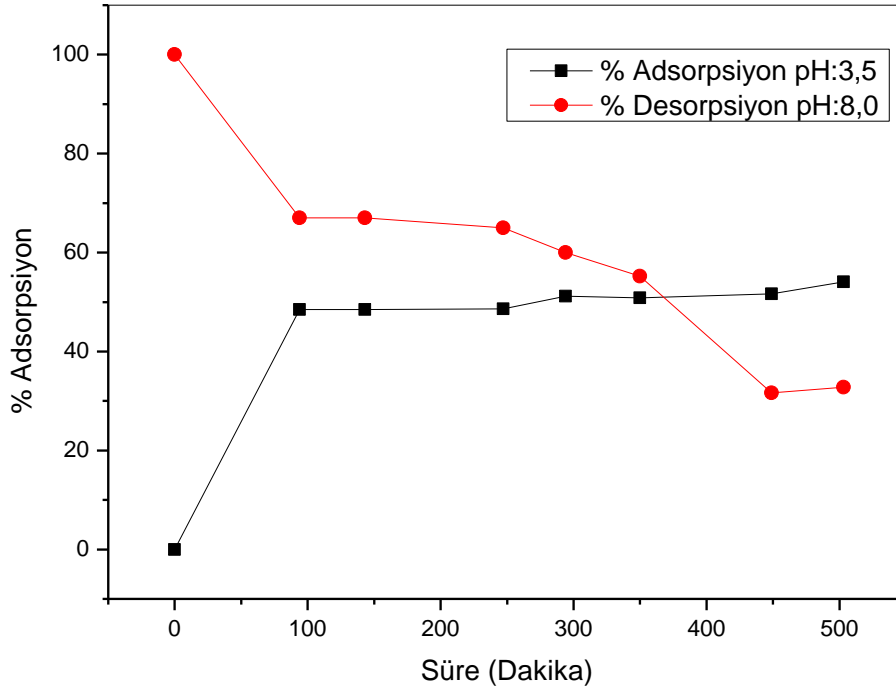
BCG'nin (NaAlg/AAm)IPN'e adsorpsiyonu pH 8 değerinde BCG'nin değişik başlangıç derişimleriyle incelenmiştir. pH 8'de gram adsorbent başına BCG adsorpsiyonunun BCG başlangıç derişimi ile azaldığı bulunmuştur (Şekil 4.14). (NaAlg/AAm)IPN'e BCG adsorpsiyonu pH 3,5'de gerçekleştirilmiş ve desorpsiyon çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. BCG'nin adsorpsiyonunun Freundlich izotermine uyduğu ve dolayısıyla çok tabakalı ama heterojen bir adsorpsiyonun olduğu yaklaşımından hem BCG yapısındaki fonksiyonel grupların çok ve değişik olması hem de (NaAlg/AAm)IPN yapısında varolan çok ve değişik fonksiyonel grupların bulunması nedeniyle adsorpsiyonun çok tabakalı olması kabul edilebilir bir durumdur. Sonuçlar Şekil 4.15'de görülmektedir.



Şekil 4.14. BCG'nin (NaAlg/AAm)IPN'e adsorpsiyonuna başlangıç derişiminin etkisi.

pH: 8,0,  $m_{(NaAlg/AAm)IPN}$ : ~0,5 gram, Adsorpsiyon süresi: 500 dakika, Sıcaklık: 25°C.





Şekil 4.15. BCG'nin (NaAlg/AAM)IPN'ine adsorpsiyon ve desorpsiyonu.  $m_{(NaAlg/AAM)IPN} \sim 0,5$  gram, Adsorpsiyon ve desorpsiyon süresi: 500 dakika, Sıcaklık: 25°C.

### 4.3. Karakterizasyon Çalışmaları

#### 4.3.1. Spektroskopik Karakterizasyon - FTIR Analizleri

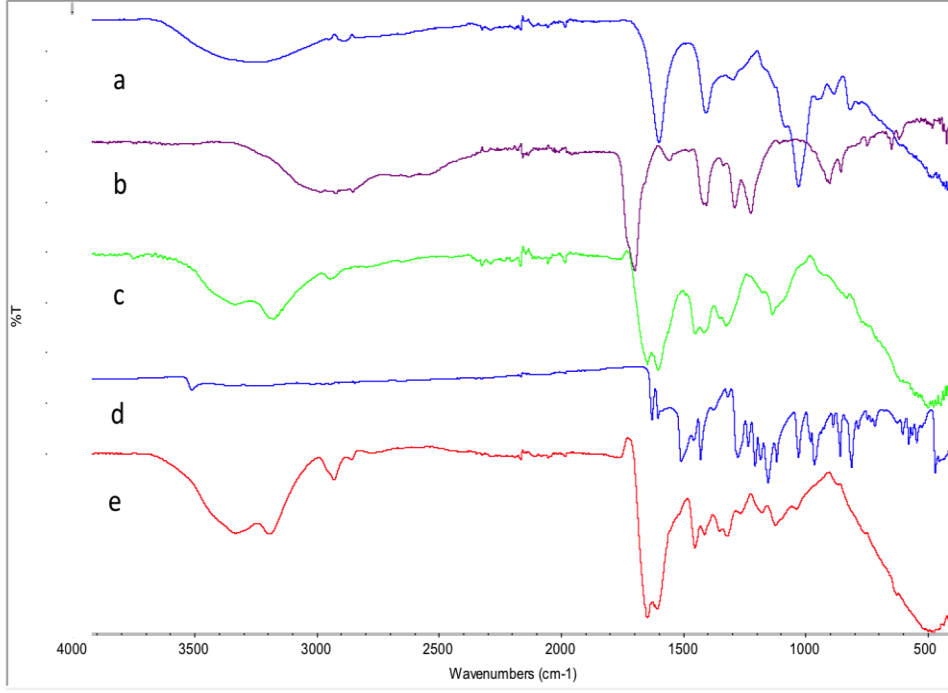
Sodyum aljinat (NaAlg) ve akrilamid (AAM) kullanılarak hazırlanan yarı içiçe-geçmiş polimerik yapıların karakterizasyonu FTIR spektroskopisi kullanılarak yapılmıştır. NaAlg ve PAAM'nin ve elde edilen (NaAlg/AAM)IPN yapılarının FTIR spektrumları alınmıştır. Dört farklı boyar maddenin adsorpsiyonu amaçlı hazırlanan (NaAlg/AAM)IPN ve boyar maddelerle etkileşmesi ve adsorpsiyon sonucu elde edilen yapıların da FTIR spektrumları kaydedilerek spektrumlar karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.16 (a)'da NaAlg'a ait spektrumda  $3450 \text{ cm}^{-1}$ 'de -OH gerilme titreşimi  $1648 \text{ cm}^{-1}$ 'de  $\text{COO}^-$  karboksilat tuz grubuna ait simetrik ve asimetrik gerilme piki ve  $1440 \text{ cm}^{-1}$  de ise C-O gerilmelerine ait titreşim pikleri ve  $1050 \text{ cm}^{-1}$ 'de C-O-C ile  $819 \text{ cm}^{-1}$ 'de ise Na-O gerilme titreşimine ait pikler görülmektedir. Sodyum aljinatın FTIR spektrumunda C-O-C gerilmesine ait  $1050 \text{ cm}^{-1}$  civarındaki band aynı zamanda sakkarid yapısından da kaynaklıdır [75].

(c)'de ise PAAm'e ait FTIR spektrumunda 3400 ve 3200  $\text{cm}^{-1}$ 'de N-H grubuna ait simetrik ve asimetrik gerilme ve 2932  $\text{cm}^{-1}$ 'de ise CH gerilme titreşimine ait pikler yerılırken, 1670  $\text{cm}^{-1}$ 'de ise C=O ile 1500-1300  $\text{cm}^{-1}$  arasında CH bükülme titreşimine ait belirgin pikler bulunmaktadır [76].

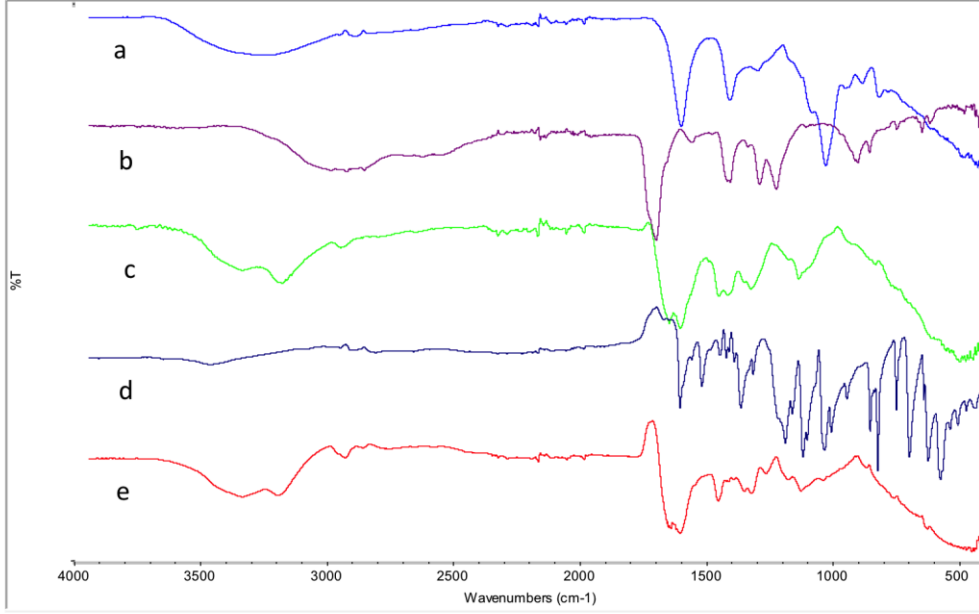
(b)'de ise (NaAlg/AAm)IPN yapısının FTIR spektrumu görülmektedir. IPN yapısında hem NaAlg'den hem de PAAm'den belirgin absorpsiyon bantları yerılırken  $\text{COO}^-$  ve  $\text{CONH}_2$  etkileşimi sonucu bazı piklerde kayma ve örtüşmeler vardır. 3400-3200  $\text{cm}^{-1}$ 'deki N-H ve O-H gerilme titreşimlerine ait pikler  $\text{COO}^-$  ve  $\text{CONH}_2$  arasındaki etkileşmenin neticesi olarak daha kısa dalga boyuna kaymış durumdadır. IPN yapısında C=O ve C-O-C gerilme titreşimlerine ait bandlarda daha yüksek dalga sayısına kaydığı ve şiddetlerinin arttığı, 1633 ve 1440  $\text{cm}^{-1}$ 'deki C-O-C bandlarının ise şiddetlerinde azalma görülmüştür.

Şekil 4.16. (d) ve (e) de verilen Kurkumin ve (NaAlg/AAm)IPN-C için FTIR spektrumlarında ise, Kurkuminin FTIR spektrumunda 3510  $\text{cm}^{-1}$ 'de fenolik -OH gerilme titreşimine karşılık gelen karakteristik bant bulunmaktadır. (NaAlg/AAm)IPN-Kurkumin örneklerinde ise 3400-3100  $\text{cm}^{-1}$ 'e kaydığı görülmüştür. Ayrıca sırasıyla C-O gerilimi ve C-C aromatik grubundan kaynaklanan 1627 ve 1600  $\text{cm}^{-1}$ 'deki bantlar gözlenmiştir. Bu sonuçlar literatür ile uyumludur [77]. 1627 ve 1600  $\text{cm}^{-1}$ 'de C=C gerilmesine ait pikler yerılmaktadır. Kurkuminde bulunan 1509  $\text{cm}^{-1}$ 'de görülen C=O piki (NaAlg/AAm)IPN-Kurkumin yapısında 1480  $\text{cm}^{-1}$ 'e kaymıştır. 1152  $\text{cm}^{-1}$ 'de ise C-O ( $\text{O-CH}_3$ ) ve 1026  $\text{cm}^{-1}$ 'deki C-O-C gerilmesine ait piklerin sırasıyla 1140  $\text{cm}^{-1}$ 'e ve 1010  $\text{cm}^{-1}$ 'e kaydığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ise Kurkumin ve (NaAlg/AAm)IPN arasında etkileşmenin olduğunu göstermektedir. [78,79].



Şekil 4.16. (a) NaAlg, (b) (NaAlg/AAM)IPN, (c) PAAm, (d) Kurkumin (C), (e) (NaAlg/AAM)IPN-C yapılarının FTIR spektrumları.

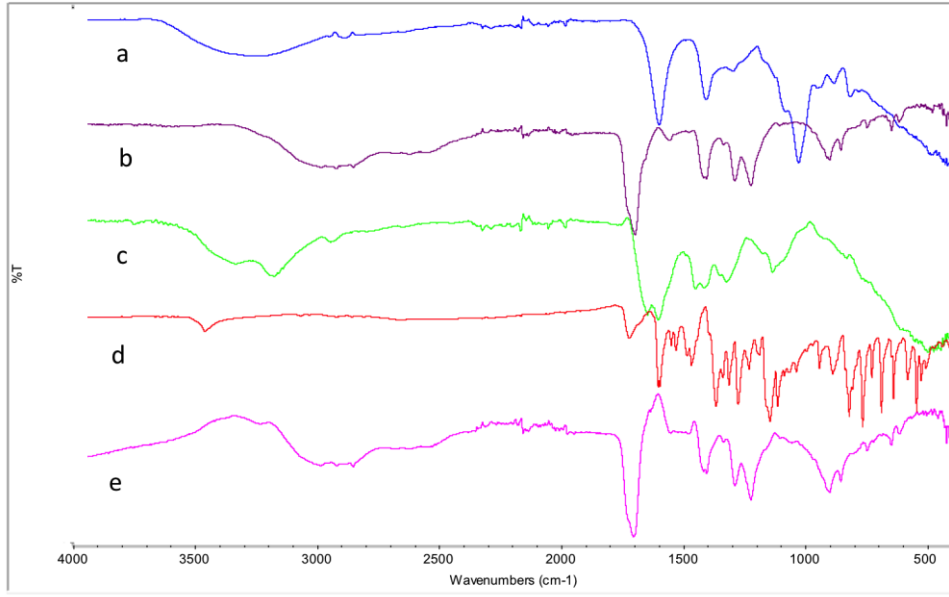
Şekil 4.17. (d) ve (e) de verilen Metil Turuncusu ve (NaAlg/AAM)IPN-MO için FTIR spektrumlarında, Metil Turuncusu ve (NaAlg/AAM)IPN' i arasındaki kimyasal etkileşimler FTIR spektrumu ile incelenmiş ve NaAlg, PAAm, (NaAlg/AAM)IPN' ve Metil Turuncusu ile karşılaştırılmıştır. Metil Turuncusu FTIR spektrumunda,  $-C=C-$  gerilimi  $1599\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlenmiştir,  $-S=O$  gerilimi  $1120\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir,  $-C=N$  gerilimi  $1314\text{ cm}^{-1}$ ' de gözlenmiştir,  $-N-H$  gerilmesi  $3400\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlendi. (NaAlg/AAM)IPN-MO'nun FTIR spektrumunda aromatik-CH gerilmesi  $2980$  ve  $3040\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir,  $C=C$ -gerilmesi  $1660\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir,  $-CH$  bükülmesi  $802\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir,  $-CH$  gerilmesi  $2893.1\text{ cm}^{-1}$ 'de  $-CH_3$  titreşimleri  $1442\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenmiştir.  $-C=C$ -gerilmesi  $1599\text{ cm}^{-1}$ 'den  $1629\text{ cm}^{-1}$ 'e kaymıştır.,  $-CH$  gerilme frekansı  $2935\text{ cm}^{-1}$ 'de ve  $-CH_3$  titreşimleri  $1437\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlendi. [80].



Şekil 4.17. (a) NaAlg, (b) (NaAlg/AAm)IPN, (c) PAAm, (d) Metil Turuncusu (MO), (e) (NaAlg/AAm)IPN-MO yapılarının FTIR spektrumları.

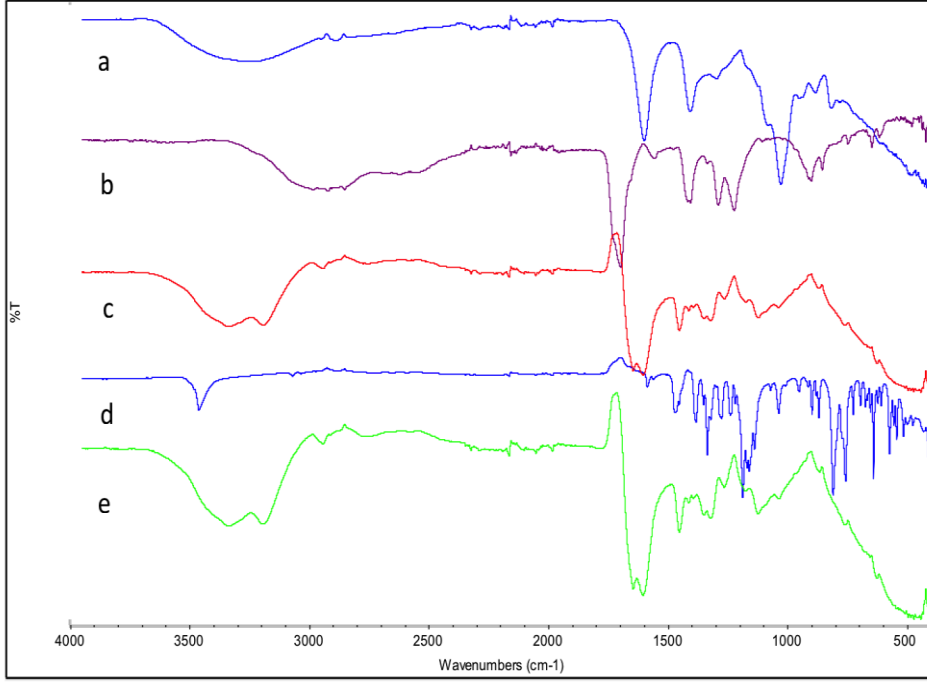
Şekil 4.18. (d) ve (e) de verilen Metil Kırmızısı ve (NaAlg/AAm)IPN-MR için FTIR spektrumlarında, Metil Kırmızısının FTIR spektrumunda 504-1555  $\text{cm}^{-1}$  arasında belirgin azo bağı (N=N) titreşimlerini göstermektedir. Aromatik bölgenin bantları arasında 1400-1600  $\text{cm}^{-1}$  frekans aralığındaki aromatik bölgeden kaynaklanan bantlar da azo bağı gerilmesi olarak görülür. Azo kromoforun absorpsiyon bandı, C=C absorpsiyon bantlarından farklıdır. Çeşitli mono-azo boyalarındaki azo absorpsiyon bantları 1504  $\text{cm}^{-1}$ -1555  $\text{cm}^{-1}$  arasında yer almaktadır. Aromatik bölge nedeniyle, yüksek enerji bantları 1419  $\text{cm}^{-1}$  ile 1487  $\text{cm}^{-1}$ , düşük enerji bantları 1590  $\text{cm}^{-1}$  ile 1619  $\text{cm}^{-1}$  arasındadır. Aromatik bölge (C=C) spektrumunda 1600  $\text{cm}^{-1}$  ve 1484  $\text{cm}^{-1}$ 'de görünür. 1528  $\text{cm}^{-1}$  ve 1547  $\text{cm}^{-1}$  frekansları azo kromofor grubuna aittir. 1225  $\text{cm}^{-1}$ , C-N gerilmesinden (azo bağı C-N) kaynaklanmaktadır. C-N absorpsiyonu aromatik bileşiklerde daha yüksek bir frekansta meydana gelir, çünkü rezonans halka ile bağı azot atomu arasındaki çift bağı karakteristiğini artırır. Tersiyer amindeki C-N, 1162  $\text{cm}^{-1}$  ve 1144  $\text{cm}^{-1}$ 'de belirgindir.

(NaAlg/AAm)IPN-MR'in FTIR spektrumunda ise hem MR hem de IPN'e ait bantlar bulunmaktadır. Özellikle 1600-1700  $\text{cm}^{-1}$  bölgesi daha geniş bir frekans bölgesinde görülmektedir. 800-500  $\text{cm}^{-1}$  frekans bölgesinde ise özellikle glikozid yapısının hakim olduğu açıktır. 3200-3400  $\text{cm}^{-1}$  frekans aralığında ise IPN yapısının bantları yer almaktadır. Sonuç olarak her iki yapıya ait pikler yer almaktadır [81,82].



Şekil 4.18. (a) NaAlg, (b) (NaAlg/AAm)IPN, (c) PAAm, (d) Metil Kırmızısı (MR), (e) (NaAlg/AAm)IPN-MR yapılarının FTIR spektrumları.

Şekil 4.19 (d) ve (e) de verilen Bromokresol Yeşili ve (NaAlg/AAm)IPN-BCG için FTIR spektrumları kıyaslandığında, BCG FTIR spektrumunda, BCG molekülü,  $3461\text{ cm}^{-1}$ 'de OH gerilmesine ait bant  $1460\text{ cm}^{-1}$ 'de bir karbonil bant gösterir.  $1600\text{ cm}^{-1}$  de aromatik C=C ve  $1460\text{ cm}^{-1}$  C=O gerilme bandı,  $1000\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$  frekans aralığı  $\text{SO}_3^-$  gruplarına ait (özellikle  $1160\text{ cm}^{-1}$ ) titreşim bandı,  $580\text{ cm}^{-1}$ 'de ise C-Br gerilmesine ait pikler yer almaktadır. (NaAlg/AAm)IPN-BCG FTIR spektrumunda ise  $3100\text{-}3400\text{ cm}^{-1}$  aralığında IPN yapısından kaynaklı ve BCG'deki OH gerilmesine ait pikler geniş bir frekans aralığında görülmektedir.  $1160\text{ cm}^{-1}$ 'de yeralan sulfonat grubunun gerilme bandı şiddeti biraz azalmış olarak yer almaktadır. C-Br gerilimine ait  $580\text{ cm}^{-1}$ 'deki belirgin pik IPN ile etkileşme sonucu FTIR spektrumunda  $900\text{-}500\text{ cm}^{-1}$ 'deki geniş band aralığı içerisinde kalmaktadır. (NaAlg/AAm)IPN'nin FTIR spektrumundaki C=O piki ise şiddeti artmış olarak BCG ile etkileşimden sonraki spektrumda görülmektedir. OH ve  $\text{SO}_3^-$  grupları ile etkileşiminin olması FTIR spektrumlarından da açıkça görülmektedir [83].



Şekil 4.19. (a) NaAlg, (b) (NaAlg/AAm)IPN, (c) PAAm, (d) Bromocresol Yeşili (BCG), (e) (NaAlg/AAm)IPN-BCG yapılarının FTIR spektrumları.

#### 4.3.2. Isıl Karakterizasyon - TGA Analizleri

NaAlg, PAAm, NaAlg/AAm, (NaAlg/AAm)-boyar madde yapılarının ısıl özellikleri incelenmiş ve ısıl dayanımları ve bozunma davranışları karşılaştırılmaları olarak kaydedilmiştir ve Şekil 4.20-23’de TGA-DTG termogramları verilmiştir.

NaAlg, PAAm, NaAlg/AAm, (NaAlg/AAm)-boyar maddenin ısıl kararlılığını incelemek için, maksimum ağırlık kaybının olduğu sıcaklık ( $T_{max}$ ) ve başlangıç madde miktarının yarıya indiği sıcaklık ( $T_{1/2}$ ) direkt olarak Şekil 4.20’de verilen dinamik termogramlardan bulunmuştur. NaAlg için  $T_{max} = 258$  °C ve  $T_{1/2} = 300$  °C’dir. 800 °C’da ise bozunmadan geriye kalan madde miktarı ise %30’dur. NaAlg için ağırlık kaybı iki basamakta gerçekleşmektedir. İlk ağırlık kaybı yaklaşık 60-120 °C sıcaklıkta bağlı suyun kaybolmasını içerir, ikincisi ise 258 °C ‘da başlar ve NaAlg’ın bozunmasını gösterir.

PAAm için  $T_{max} = 396$  °C ve  $T_{1/2} = 386$  °C’dir. 800 °C’da ise bozunmadan geriye kalan madde miktarı ise %30’dur. PAAm için ağırlık kaybı üç basamakta gerçekleşmektedir. İlk ağırlık kaybı yaklaşık 60-100 °C sıcaklıkta nem kaybı sonucu suyun kaybolmasını içerir, ikincisi ağırlık kaybı ise 259 °C ‘da PAAm zincirlerinin bozunmasını içeren ısıl prosesle

alakalıdır ve 396 °C ‘daki üçüncü bozunma basamağı daha ileri ısı bozunma mekanizmasını gösterir.

(NaAlg/AAm)IPN için maksimum bozunmanın gerçekleştiği sıcaklık 396 °C olup ağırlık kaybının yarıya indiği sıcaklık ise 384 °C’dır. IPN yapısı sıcaklığın artmasıyla birkaç bozunma basamağında değişik bozunmalara uğrayarak 800 C’da yaklaşık %4 bozunmadan kalan madde miktarı ile yapısı değişmektedir. (NaAlg/AAm)IPN yapısının ısı kararlılığı IPN’i oluşturan NaAlg ve PAAm’in ısı kararlılıkları arasında olup PAAm ısı yapısına daha yakındır.

Şekil 4.20’de Kurkumin için TGA eğrisi, Kurkuminin bozulmaya başlamasından ötürü 270–445 °C aralığında kütle kaybı görülmüştür. Kurkuminin 200°C’a kadar oldukça kararlı olduğu 200°C’den sonra 500°C’ye kadar hızlı kütle kaybına uğradığı görülmektedir. Kurkumin yaklaşık olarak 410°C’da ise kütesinin yarısını kaybetmiştir [84]. Kurkumin adsorplanmış IPN(NaAlg/AAm)’nin termogramı incelendiğinde Kurkumin adsorplanmamış IPN ile büyük benzerlik göstermektedir. Kurkumin adsorplanmış IPN(NaAlg/Aam) 380 °C etrafında kütesinin yarısını kaybetmiştir. 320-400 °C arasında ise %40’luk kütle kaybına uğramıştır. Kurkumin ve Kurkumin adsorplanmış (NaAlg/AAm)IPN hidrojenlerinin termogramları kıyaslandığında Kurkuminin ısı davranışının oldukça yüksek olduğu ve NaAlg’ninkine yakın olduğu ve (NaAlg/AAm)IPN’nin ısı kararlılığına benzer özellikte olduğu ve (NaAlg/AAm)IPN-C yapısının Kurkumin ve (NaAlg/AAm)IPN arasında olduğu tespit edilmiştir.

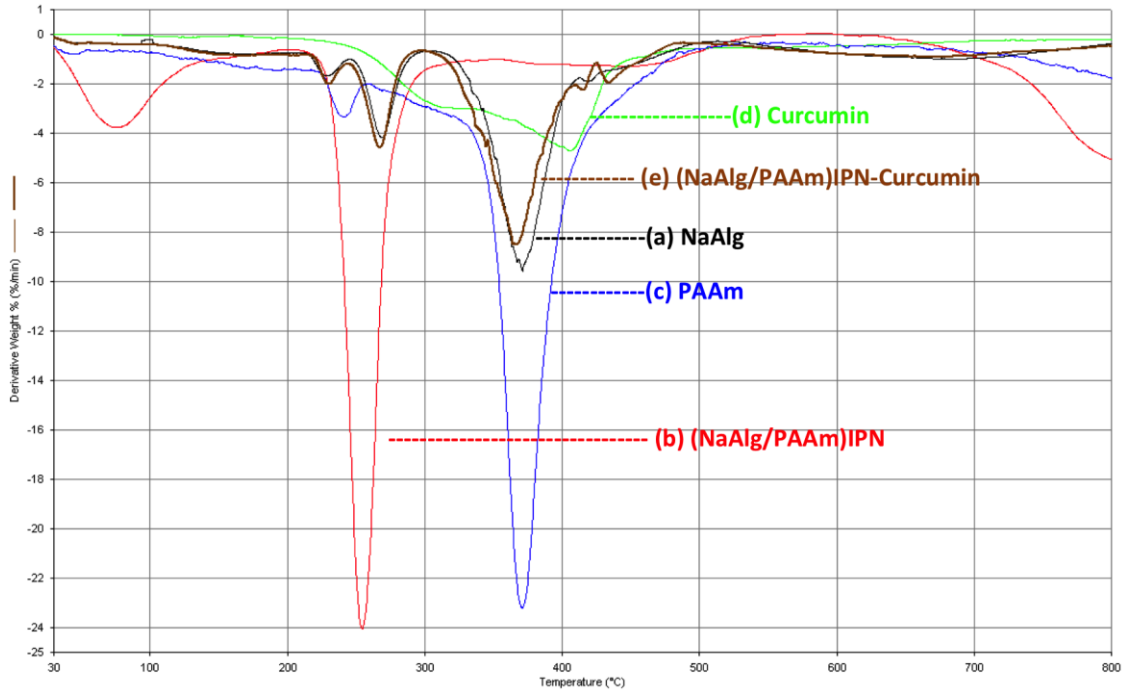
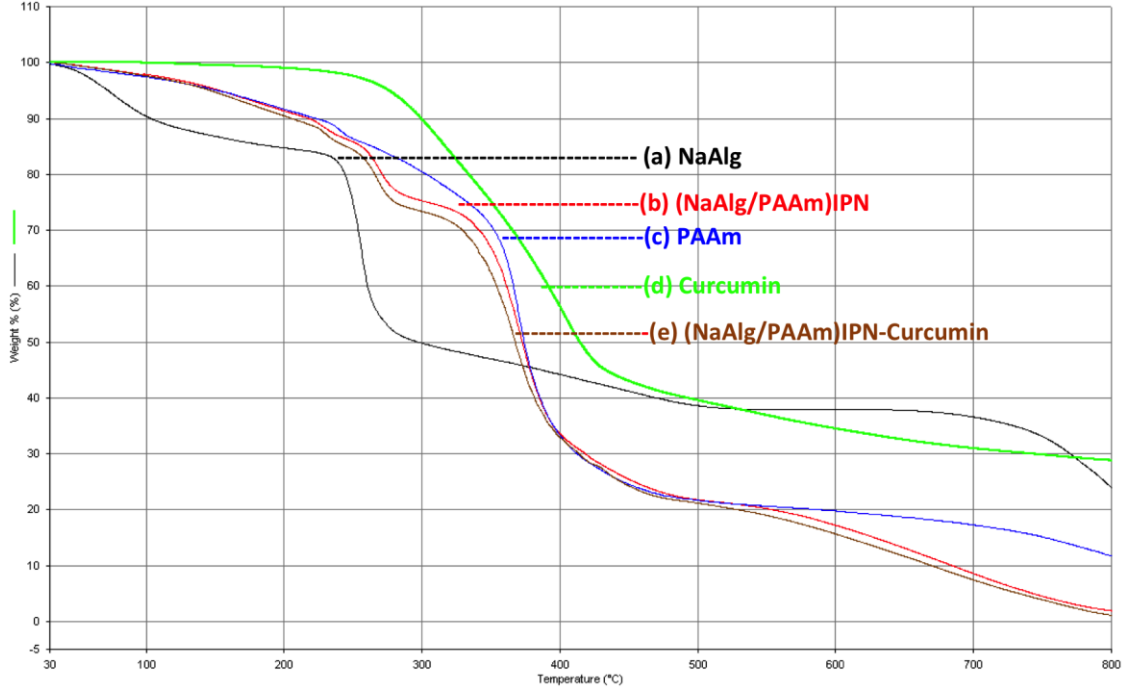
Şekil 4.21’de Metil Turuncusunun ısı dayanımının çalışmada kullanılan diğer malzemelerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Metil Turuncusu başlangıç kütesinin yarısını 690 °C’da kaybetmektedir. 800 °C’da ise bozunmadan geriye kalan kütle yaklaşık %30’dur. Metil Turuncusu adsorplanmış (NaAlg/AAm)IPN’nin termogramından Metil Turuncusu adsorplanmamış (NaAlg/AAm)IPN ile büyük benzerlik göstermektedir. Metil Turuncusu adsorplanmış (NaAlg/AAm)IPN yaklaşık 360°C’da kütesinin yarısını kaybetmiştir.

Şekil 4.22’deki termogram incelendiğinde Metil Kırmızısının 200°C’a kadar kararlı olduğu 200-400°C arasında hızlı bir kütle kaybı olduğu gözükmektedir. Yaklaşık 250°C’ de ise Metil Kırmızısı kütesinin yarısını kaybetmiştir [85]. Metil Kırmızısı adsorplanmış (NaAlg/AAm)IPN’nin ısı kararlılığı ile Metil Kırmızısı adsorplanmamış (NaAlg/AAm)IPN büyük benzerlik göstermektedir. Metil Kırmızısı adsorplanmış (NaAlg/AAm)IPN yaklaşık

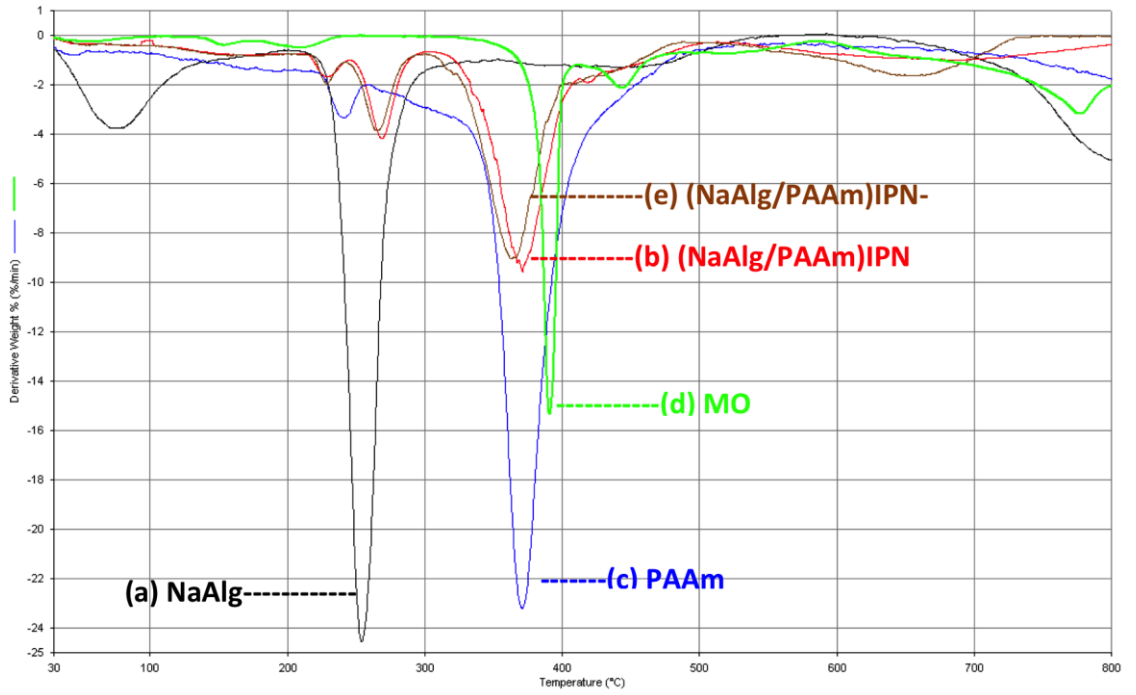
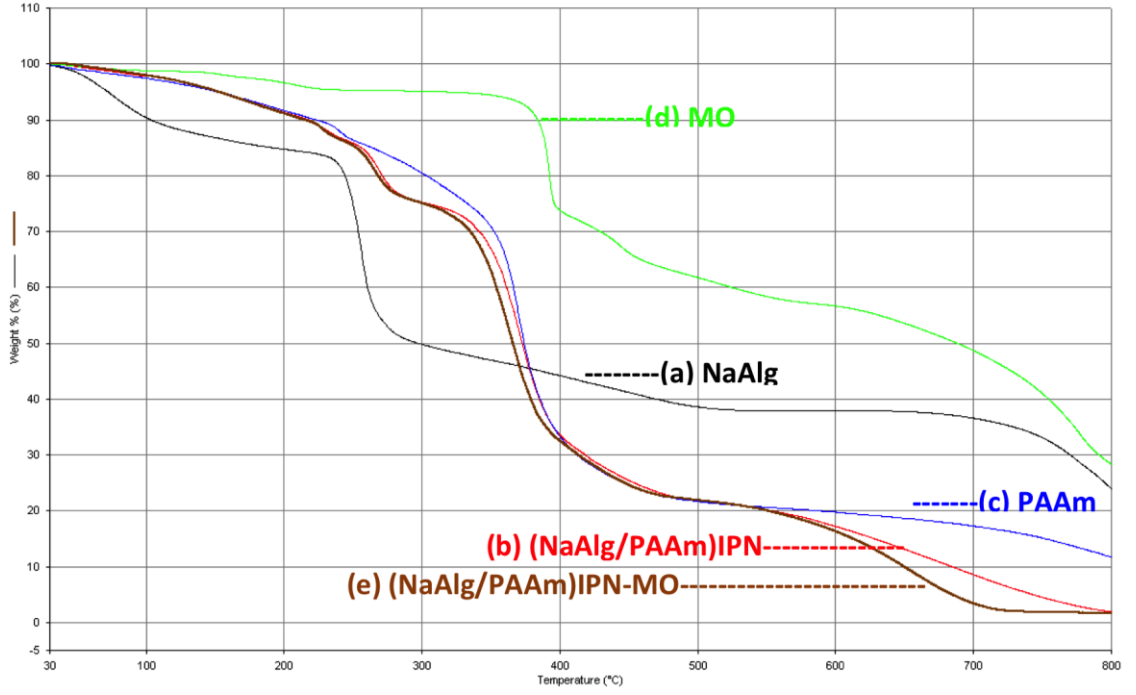
370°C’da kütlesinin yarısını kaybetmiştir. 600 °C’da bozunmadan geriye kalan kütle ise %15’dir.

Şekil 4.23’de BCG’nin termogramından 230°C’a kadar önemli bir kütle kaybı olduğu görülmektedir. 230°C’ de kütle kaybı başlamış ve 250°C’de kütle kaybetmeye devam etmiş ve kütlenin yarısının kaybı 350°C’de gerçekleşmiştir. BCG adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN’nin termogramı incelendiğinde (NaAlg/AAm)IPN ile 300 °C’ye kadar benzerlik gösterdiği gözükmemektedir. 300-370 °C arasında (NaAlg/AAm)IPN’nin daha yüksek ısı dayanım gösterdiği 370-570 °C arasında bromokresol adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN’nin daha iyi ısı dayanım gösterdiği gözlenmiştir.

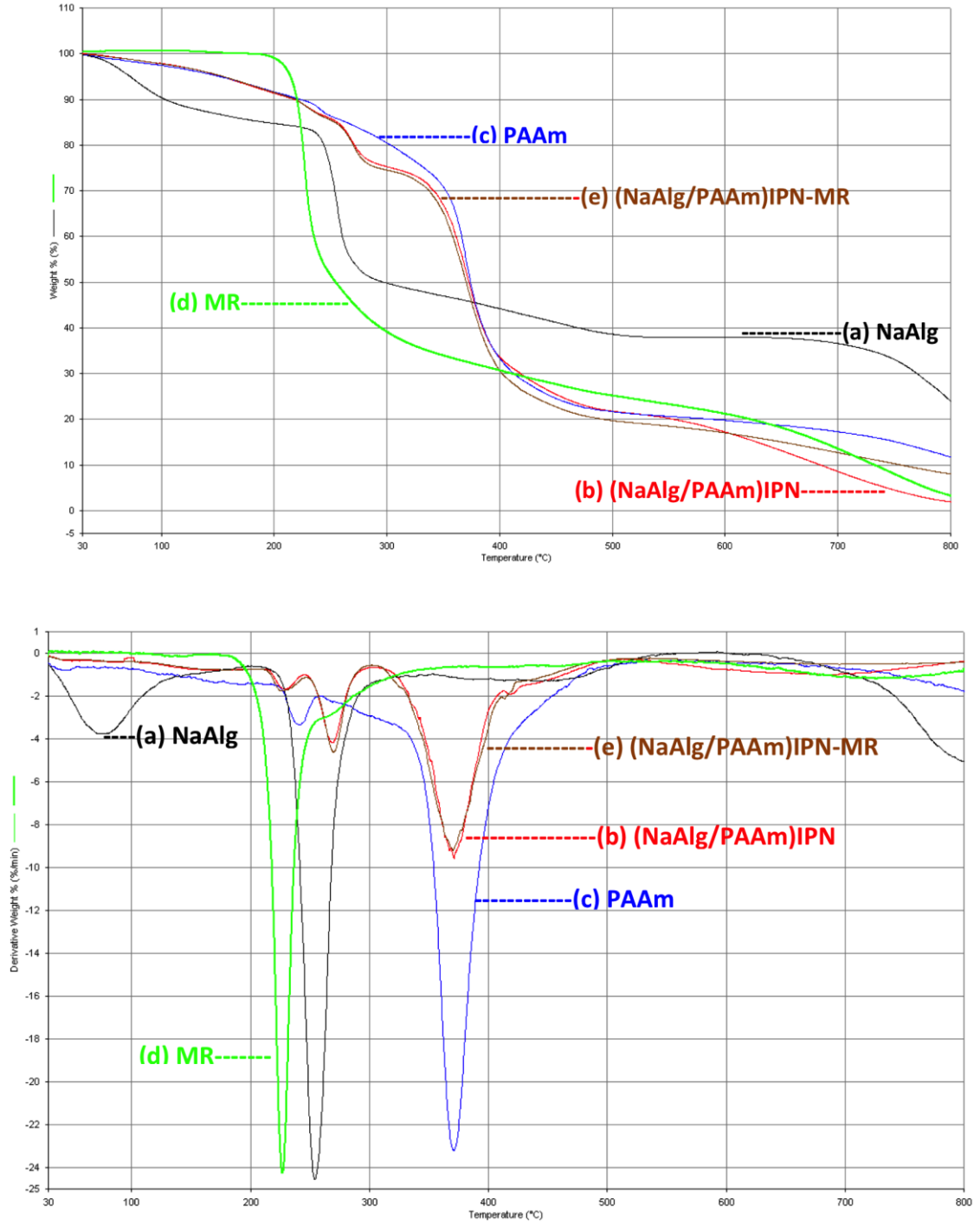




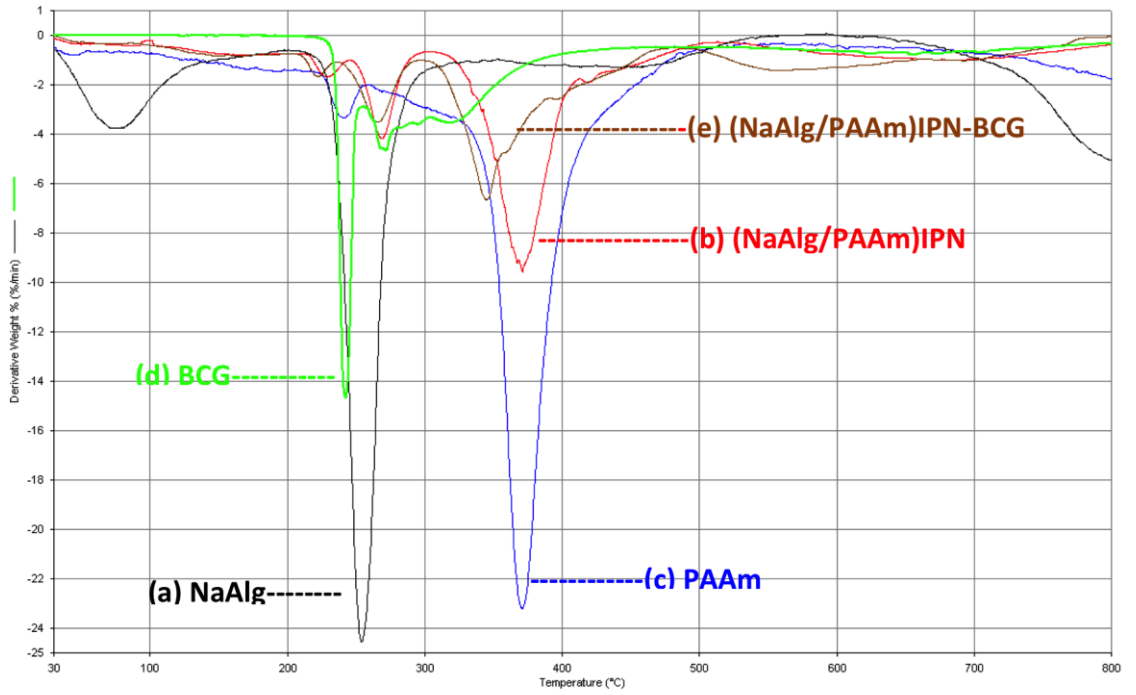
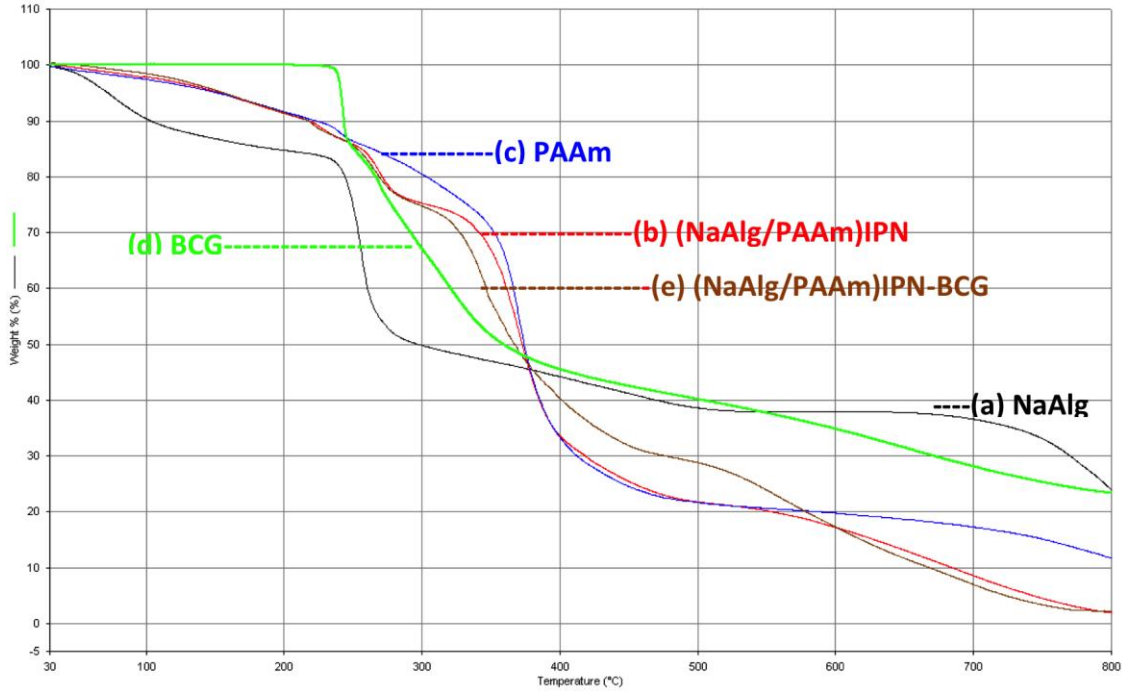
Şekil 4.20. (a) NaAlg (siyah), (b) (NaAlg/AAm)IPN (kırmızı), (c) PAAm (mavi), (d) Kurcumin (yeşil), (e) (NaAlg/AAm)IPN-Kurcumin (kahverengi) yapılarının TGA-DTG termogramları.



Şekil 4.21. (a) NaAlg (siyah), (b) (NaAlg/AAm)IPN (kırmızı), (c) PAAm (mavi), (d) Metil Turuncusu (MO) (yeşil), (e) (NaAlg/AAm)IPN-MO (kahverengi) yapılarının TGA-DTG termogramları.



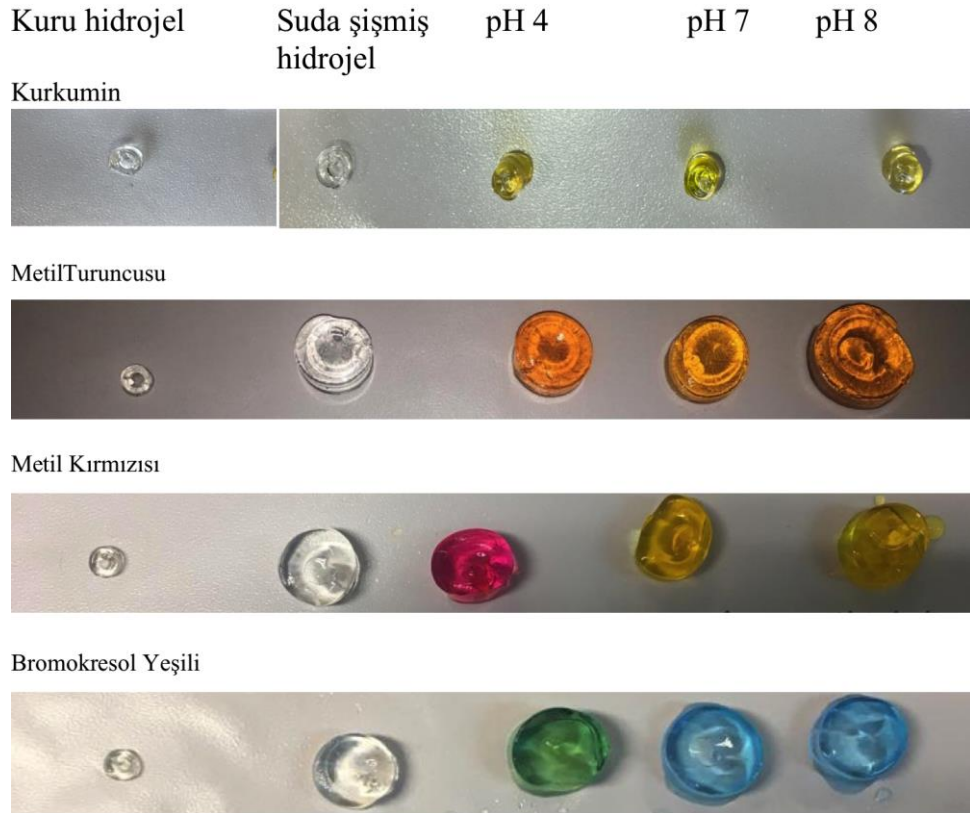
Şekil 4.22. (a) NaAlg (siyah), (b) (NaAlg/AAM)IPN (kırmızı), (c) PAAm (mavi), (d) Metil Kırmızısı (MR) (yeşil), (e) (NaAlg/AAM)IPN-MR (kahverengi) yapılarının TGA-DTG termogramları.



Şekil 4.23. (a) NaAlg (siyah), (b) (NaAlg/AAm)IPN (kırmızı), (c) PAAm (mavi), (d) Bromokresol Yeşili (BCG) (yeşil), (e) (NaAlg/AAm)IPN-BCG (kahverengi) yapılarının TGA-DTG termogramları.

#### 4.3. (NaAlg/AAm)IPN Hidrojel ve İndikatörlerin pH'a Karşı Davranışlarının İncelenmesi

Bu çalışmada tavuk etinin bozulmasının takip edilebilmesi için tazelik indikatörü yapımı hedeflenmiştir. Bu indikatörün geliştirilmesi için (NaAlg/AAm)IPN hidrojeli radyasyonla hazırlanmıştır. Tazelik indikatörünün oluşturulmasında bir sonraki basamak üretilen (NaAlg/AAm)IPN hidrojelinin dört farklı boyayı (pH indikatörü) adsorplayabilmesidir. Bu amaçla adsorpsiyon-desorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir ve özellikle yapıda boyanın desorbe olması ve uzun süre (en az raf ömrü kadar) kararlılığını koruyabilmesi hedeflenmiştir. Bu aşamada tavuk etinin bozulması ile tavuk etinde oluşan bakterilerin yaydığı kimyasalların pH üzerinde yapacağı değişiklikler esas alınarak Kurkumin (C), Metil Turuncusu (MO), Metil Kırmızısı (MR) ve Bromokresol Yeşili (BCG) pH indikatörlerini adsorplayan hidrojellerin farklı pH'larda aldıkları renk ve kararlı kaldıkları süre önemlidir. Şekil 4.24'de dört pH indikatörü adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN hidrojelinin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.24. Kurkumin, Metil Turuncusu, Metil Kırmızısı ve Bromokresol Yeşili adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN hidrojellerinin farklı pH'lardaki görüntüleri.

Tazelik indikatörünün tavuğa temas etmeden çalışılması hedeflenmiştir. Tavuktan bakteriyel aktivite sonrası salınacak uçucu N içeren amin bazlı kimyasal bileşiklerin tazelik indikatörünün rengini bazik bölgede değiştirmesi beklenmektedir. Şekil 4.24’de görüldüğü üzere (NaAlg/AAm)IPN hidrojelinin kuru ve saf suda şişmiş hali renksiz ve şeffaftır.

Kurkumin (C) adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN hidrojelinde asidik bölgede turuncu (pH 10’ dan yüksek pH’larda renk kırmızıya dönüşmektedir.) nötr ve bazik bölgede koyu sarı renklidir. (NaAlg/AAm)IPN-C yapısı pH’a bağlı olarak renk değişimi göstermektedir. Tavuk etinin bozulması sonucu pH değişimine yol açan bileşiklerin oluşmasıyla (NaAlg/AAm)IPN-C yapısında renk değişimi olmuş ancak açık sarıdan koyu sarıya renk değişimi olmuş ve fakat bu renk değişikliği insan gözü tarafından rahatlıkla fark edilebilecek bir renk değişikliği değildir. Fakat Kurkumin indikatörü için bazik ve asidik bölgede renk farkı az olduğundan son kullanıcının bu renk farkını algılaması zor olacaktır. Bu sebeple diğer boyalar tazelik indikatörünü oluşturmak amaçlı denenmiştir.

Metil Turuncusu (MO) adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN hidrojelinde asidik bölgede turuncu (pH 4’ den düşük pH’larda renk kırmızıya dönüşmektedir) nötr ve bazik bölgede turuncu renklidir. (NaAlg/AAm)IPN-MO yapısı pH’a bağlı olarak renk değişimi göstermektedir. Tavuk etinin bozulması sonucu pH değişimine yol açan bileşiklerin oluşmasıyla (NaAlg/AAm)IPN-MO yapısında renk değişimi olmuş ancak turuncudan koyu sarıya renk değişimi olmuş ve fakat bu renk değişikliği insan gözü tarafından kolay fark edilebilecek bir renk değişikliği değildir. Fakat MO indikatörü için bazik ve asidik bölgede renk farkı az olduğundan son kullanıcının bu renk farkını algılaması zor olacaktır. Bu sebeple MO indikatöründen bu metot ile verimli sonuç elde edilmesi güçtür ve diğer boyalar tazelik indikatörünü oluşturmak amaçlı denenmiştir.

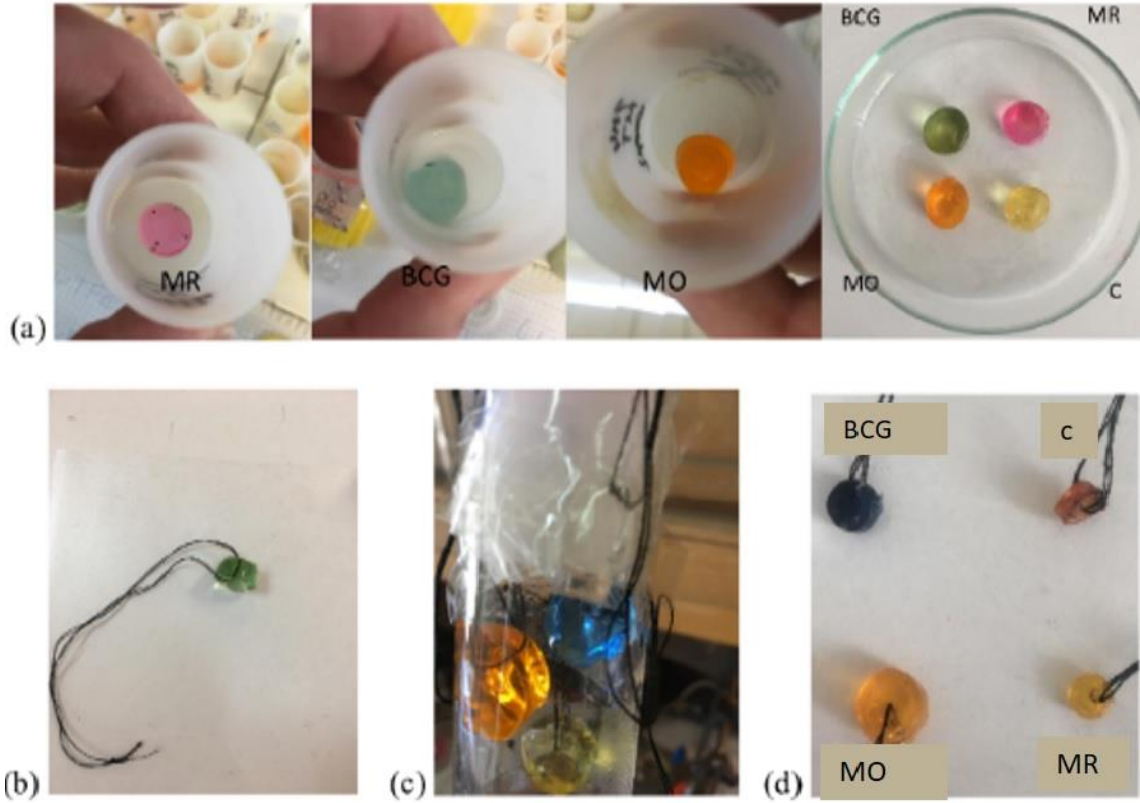
Metil Kırmızısı (MR) adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN hidrojelinde asidik bölgede kırmızı nötr ve bazik bölgede sarı renklidir. (NaAlg/AAm)IPN-MR yapısı pH’a bağlı olarak renk değişimi göstermektedir. Tavuk etinin bakteriyel aktivite sonrası bozulması ile pH değişimine yol açan uçucu N içeren amin bileşiklerinin oluşması sonucu (NaAlg/AAm)IPN-MR yapısında renk değişimi olmuştur. Bu sebepten hazırlanacak tazelik indikatörü (NaAlg/AAm)IPN hidrojelinde ve MR için başlangıçta asidik bölge seçilecek, tavuk etinde gerçekleşecek bakteriyel aktivite sonrası yayılacak amin gazları ile tazelik indikatörünün kırmızı renginin (MK adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN hidrojelinde

için) sarıya değiştiği gözlenmiştir. Bu durumda bu tazelik indikatörünü kullanacak son kullanıcılar için oldukça ayırt edici ve anlaşılır bir renk değişimidir.

Bromokresol Yeşili (BCG) adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN hidrojel asidik bölgede yeşil (pH 4'den düşük pH'larda renk sarı-mavi dönüşmektedir) nötr ve bazik bölgede mavi renklidir. (NaAlg/AAm)IPN-BCG yapısı pH'a bağlı olarak renk değişimi göstermektedir. Tavuk etinin bakteriyel aktivite sonrası bozulması ile pH değişimine yol açan uçucu N içeren amin bileşiklerinin oluşması sonucu (NaAlg/AAm)IPN-BCG yapısında renk değişimi olmuştur. Bu sebepten hazırlanacak tazelik indikatörü (NaAlg/AAm)IPN hidrojel ve BCG için başlangıçta asidik bölge seçilecek, tavuk etinde gerçekleşecek bakteriyel aktivite sonrası yayılacak uçucu N içeren amin bileşikleri ile tazelik indikatörünün yeşil renginin (BCG adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN hidrojel için) (eğer indikatör pH 4'ün altında hazırlanırsa renk sarı turuncu arası olacaktır) maviye değiştiği gözlenmiştir. Bu durumda bu tazelik indikatörünü kullanacak son kullanıcılar için oldukça ayırt edici ve anlaşılır bir renk değişimidir. Renk değişiminin düşük pH değerlerinde olması ise bir başka avantaj olmaktadır.

#### **4.3.1. (NaAlg/AAm)IPN Hidrojel ve İndikatörlerin Amonyak Gaz Fazındaki Davranışlarının İncelenmesi**

Tazelik indikatörünün çalışmasını test etmek için öncelikle amonyak seçilmiştir. Tazelik indikatörünün çalışmasını incelemek için bozulmakta olan tavuktan bakteriyel aktivite sonrası salınan uçucu N içeren amin bileşiklerinin yaratacağı pH değişiminin tazelik indikatörü (pH indikatörü) ile takip edilmesi amaçlanmıştır. Amonyak gazının yaratacağı pH değişiminin tavuk etinin bozulması sonucu açığa çıkan amin türü gaz bileşiklerden çok daha etkili olması beklenmektedir. Bu aşamada 4 adet kuru hidrojel pH'ı 4 olan boya çözeltilerinde adsorpsiyona maruz bırakılmıştır. Adsorpsiyon tamamlandıktan sonra boya adsorbe etmiş (NaAlg/AAm)IPN hidrojelleri Şekil 4.25'de gösterildiği gibi içlerinden ip geçirilerek amonyak çözeltisi içeren bir erlen içerisine sarkıtılmış ve erlenin ağzı sıkıca kapatılarak zamanla boya adsorbe etmiş hidrojellerin görünümü ve renkleri takip edilmiştir. Gaz fazındaki amonyak ile gözlenen değişimler çok kısa sürede gerçekleşmiştir. Bu sonuç tazelik indikatörü olarak kullanılabileceğini göstermektedir. 48 saat boyunca görünümler takip edilmiş ve renk değişimleri oluşan boya adsorplamış hidrojellerin görünümü Şekil 4.25'de görülmektedir.



Şekil 4.25. Tazelik indikatörünün çalışabilirliği: (a) Farklı pH'daki boya çözeltilerinde adsorpsiyona maruz bırakılan (NaAlg/AAm)IPN hidrojelleri, (b) boya adsorbe etmiş (NaAlg/AAm)IPN hidrojellerinin içlerinden ip geçirilmiş hali, (c) amonyak çözeltisi üzerine sarkıtılan boya adsorbe etmiş (NaAlg/AAm)IPN hidrojeller, (d) 48 saat sonra amonyak gaz fazındaki görünüm ve renk değişiklikleri.

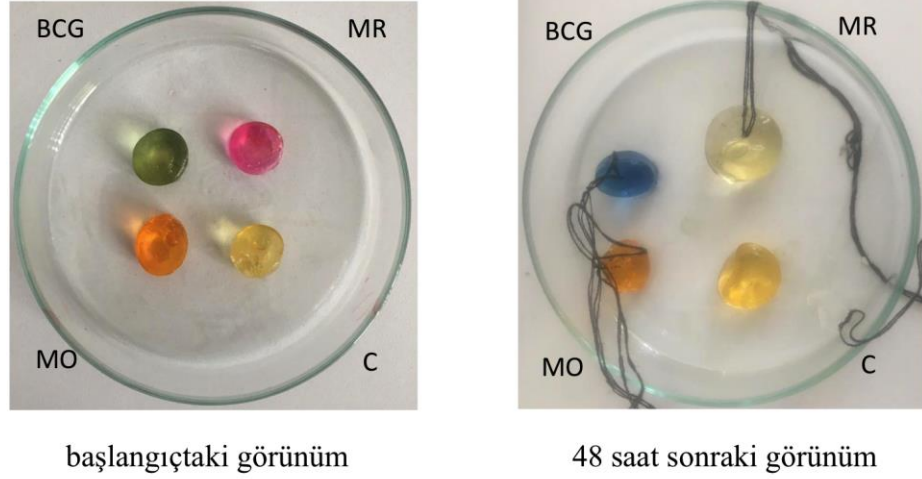
Şekil 4.25 (d)'den Bromokresol Yeşili (BCG), Metil Kırmızı (MR) ve Kurkumin (C) adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN hidrojellerinin renk değiştirdiğini görebiliriz. Metil Turuncusu ile hazırlanan hidrojellerde anlaşılır bir renk değişimi olmamıştır.

#### 4.3.2. (NaAlg/AAm)IPN Hidrojeli ve İndikatörlerinin Trietanol Amin Gaz Fazındaki Davranışlarının İncelenmesi

(NaAlg/AAm)IPN hidrojeli çalışmada kullanılan 4 farklı boya (pH indikatörü) adsorbe edildikten sonra bir biyoamin olan trietanolamin ile tazelik indikatörü olarak çalışabilirlikleri incelenmiştir. Her ne kadar trietanol amin tavuğun bozulması sonucu açığa çıkan bir bileşik olmasa da yapısı ve etkisi amonyağa göre tavuğun bozulması sonucu ortaya çıkacak sonuç için daha gerçekçi bir karşılaştırma imkanı sunmaktadır.



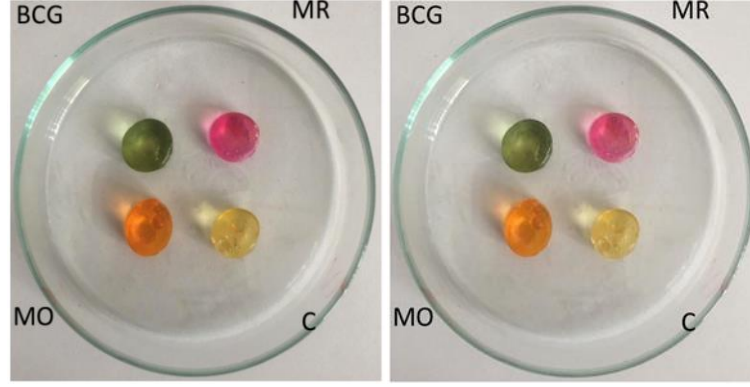
Şekil 4.26'dan görüldüğü gibi Metil Turuncusu (MO) ve Kurkumin (C) ile hazırlanmış örneklerde gözle görülür bir değişim olmamıştır, fakat Bromokresol Yeşili (BCG) ve Metil Kırmızısı (MR) ile hazırlanan örneklerde değişim gözlenmiştir. Bromokresol Yeşili (BCG) ve Metil Kırmızısı (MR) renk değişim pH aralıkları birbirine yakınken Kurkumin için bu aralık çok daha yüksektir. Bu sebeple Kurkumin için değişim gözlenememiştir.



Şekil 4.26. Tazelik indikatörünün çalışabilirliği: (a) Farklı pH'daki boya çözeltilerinde adsorpsiyona maruz bırakılan (NaAlg/AAm)IPN hidrojelleri, trietanol amin üzerindeki gaz fazında 48 saat sonraki görünüm ve renk değişiklikleri.

### 4.3.3. (NaAlg/AAm)IPN Hidrojel ve İndikatörlerinin Putresinin Gaz Fazındaki Davranışlarının İncelenmesi

Amonyak ve trietanolamin ile yapılan denemelerden sonra putresin ile çalışılmıştır. Putresin trietanol amin gibi bir biyoamindir, trietanol aminden farkı ise putresin tavuğun bozulması sonucu ortaya çıkan gazlardan birisidir. Bu bakımdan tavukla yapılacak deneme öncesi bu deney önemli bilgiler sunacaktır. Bu denemede herhangi bir hidrojelde renk değişimi gözlemlenmemiştir (Şekil 4.27). Bu durum tavuk eti ile yapılacak denemede umut kırıcı olsa da tavuk etinden yayılan tek gaz putresin olmadığından için tavuk etinde farklı sonuçlar elde etmek hala mümkün gözükmemektedir.



Şekil 4.27. Tazelik indikatörünün çalışabilirliği: (a) Farklı pH'daki boya çözeltilerinde adsorpsiyona maruz bırakılan (NaAlg/AAm)IPN hidrojelleri, trietanolamin üzerindeki gaz fazında 48 saat sonraki görünüm ve renk değişiklikleri.

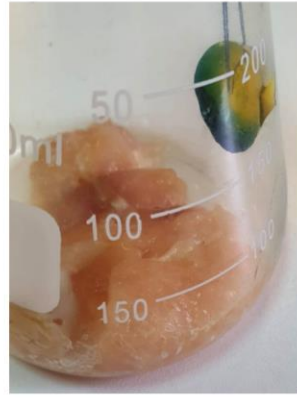
#### 4.3.4. (NaAlg/AAm)IPN Hidrojel ve Boyaların Tavuk Etindeki Davranışlarının İncelenmesi

Bu denemede bu çalışmanın nihai amacı olan tavuk etinin bozulması takip edilecektir. Tavuğun göğüs kısmından alınan yaklaşık 100 g et bu denemede kullanılmıştır. Tavuk etinin türlerine göre de (göğüs, derili-derisiz, kanat vb.) sonuç farklılık gösterebilir [2]. Şekil 4.28'den görüldüğü gibi sadece Bromokresol Yeşili (BCG) renk değişimi göstermiş, Kurkumin (C) ve Metil Kırmızısı (MR) içeren hidrojeller saydamlaşmış, Metil Turuncusu (MO) adsorplamış hidrojel başlangıçtaki (asidik ortamdaki) rengini korumuş ve bir değişim göstermemiştir.

Sonuç olarak bromokresol ile hazırlanan tazelik indikatörü belli bir hızla renk değişimi göstererek tavuktaki bozulmayı tespit edebilmiştir. Ancak tavuk etinin soğuk ortamda muhafaza edildiği düşünülürse, yapılan denemelerin sıcaklıkla ve özellikle düşük sıcaklıklarda incelenmesi uygun olacaktır.



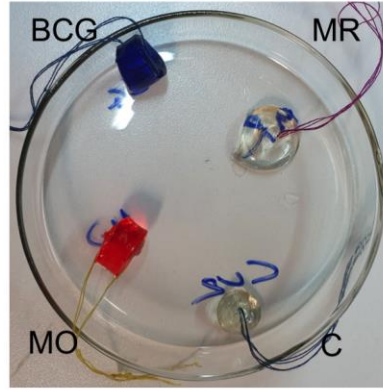
başlangıçtaki görünüm



48 saat sonraki görünüm



72 saat sonraki görünüm



72 saat sonraki görünüm

Şekil 4.28. Tazelik indikatörünün çalışabilirliği: Farklı baya çözeltilerinde adsorpsiyona maruz bırakılan (NaAlg/AAM)IPN hidrojellerinin tavuk göğüs eti üzerinde 48 ve 72 saat sonraki görünüm ve renk değişiklikleri.

## 5. YORUM

- NaAlg (%3 m/m) ve AAm (%50 m/m) karışımı, (NaAlg/AAm)IPN elde etmek için 0,028 kGy/saat doz hızına sahip <sup>60</sup>Co-gama kaynağında 10 kGy ışınlanmıştır.
- (NaAlg/AAm)IPN 4,0, 7,0 ve 8,0 pH'a sahip ağırlıkça %95'lik etanol-su karışımındaki Kurkumin çözeltisinde şişme özelliği incelenmiş ve pH 8,0 de %4 şişme göstermiştir.
- (NaAlg/AAm)IPN 4,0, 7,0 ve 8,0 pH'a sahip Metil Turuncusu sulu çözeltisinde şişme özelliği incelenmiş ve pH 8 de %2400 şişme göstermiştir.
- (NaAlg/AAm)IPN 4,0, 7,0 ve 8,0 pH'a sahip Metil Kırmızısı sulu çözeltisinde şişme özelliği incelenmiş ve pH 8 de %1000 şişme göstermiştir.
- (NaAlg/AAm)IPN 4,0, 7,0 ve 8,0 pH'a sahip Bromokresol Yeşili sulu çözeltisinde şişme özelliği incelenmiş ve pH 8 de %2300 şişme göstermiştir.
- Kurkumin, Metil Turuncusu, Metil Kırmızısı ve Bromokresol Yeşili sulu çözeltilerinin UV-GB spektrumları kaydedilmiş ve literatür ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. 4 indikatör için kalibrasyon doğruları oluşturulmuştur.
- (NaAlg/AAm)IPN'nin BCG adsorpsiyonu için adsorpsiyon izotermi oluşturulmuştur. Oluşturulan izotermde adsorpsiyonun Freundlich adsorpsiyon izotermine uygun olduğu tespit edilmiştir.
- NaAlg, AAm, (NaAlg/AAm)IPN ve boyar maddeler, boyar madde adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN'lerin karakterizasyonu FTIR spektroskopik yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.
- NaAlg, AAm, (NaAlg/AAm)IPN ve boyar maddeler, boyar madde adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN'lerin ısıl karakterizasyonu termogravimetrik analiz yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.
- C, MO, MR ve BCG adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN'lerin pH'a karşı davranışları incelenmiştir. Kurkumin adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN'in asidik ve bazik bölge de gözle çok ayırteci renk farkına sahip olmadığı görülmüştür. Metil Turuncusu adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN'in asidik ve bazik bölge de gözle ayırtebilebilir renk farkına sahip olmadığı görülmüştür. Metil Kırmızısı adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN'in asidik bölgede sarı, bazik bölgede kırmızı olduğu tespit

edilmiştir. Bromokresol Yeşili adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN'in asidik bölgede sarı-yeşil, bazik bölgede mavi olduğu görülmüştür.

- C, MO, MR ve BCG adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN'lerin amonyak gaz fazındaki davranışları incelenmiştir ve (NaAlg/AAm)IPN'lerin anında bazik bölgedeki renklerine döndüğü tespit edilmiştir.
- C, MO, MR ve BCG adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN'lerin trietanol amindeki davranışları incelenmiştir, Metil Turuncusu ve Kurkumin ile hazırlanmış örneklerde gözle görülür bir değişim olmamıştır, fakat Bromokresol Yeşili ve Metil Kırmızısı ile hazırlanan örneklerde değişim gözlenmiştir.
- C, MO, MR ve BCG adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN'lerin putresindeki davranışları incelenmiştir, bu denemede hidrojellerde herhangi bir renk değişimi olmamıştır.
- C, MO, MR ve BCG adsorplamış (NaAlg/AAm)IPN'lerin tavuk etindeki davranışları incelenmiştir; sadece Bromokresol Yeşili renk değişimi göstermiş, Kurkumin ve Metil Kırmızısı içeren hidrojeller saydamlaşmış, Metil Turuncusu adsorplamış hidrojel başlangıçtaki (asidik ortamdaki) rengini korumuş ve bir değişim göstermemiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] L. Petruzzi, *Microbial Spoilage of Foods Fundamentals Vol.1* University Foggia, Chapter 1, **2017**.
- [2] H. R. Park, Y. A. Kim, S. W. Jung, H. C. Kim and S. J. Lee Response of Microbial Time Temperature Indicator to Quality Indices of Chicken Breast Meat during Storage *Food Sci. Biotechnol.* 22(4): 1145-1152 (2013) DOI 10.1007/s10068-013-0196-4, **2013**.
- [3] B. Kuswandi, A. Chemo, and Biosensors Group 56Author Links Open Overlay Panel, Faculty of Pharmacy, University of Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121, Indonesia, **2017**.
- [4] I. C. S. Horikawa , K. Bryant , R. Riggs , B. A. Chin , J. M. Barbaree , Bacterial Assessment Of Phage Magnetoelastic Sensors For Salmonella Enterica Typhimurium Detection in Chicken Meat Materials Engineering Program, Department of Mechanical Engineering, Auburn University, Auburn, AL 36849, USA Department Of Biological Sciences, Auburn University, AL 36849, USA, **2017**.
- [5] C. Rukchona, Development Of A Food Spoilage Indicator For Monitoring Freshness Of Skinless Chicken Breast At Chareeya Nopwinyuwongac Sudsai Trevanichbc Tunyarut Jinkarnac Panuwat Suppakulac Department Of Packaging And Materials Technology, Faculty Of Agro-Industry, Kasetsart University, 50 **2014**.
- [6] A. P. D. R. Brizio, Use Of Smart Photochromic Indicator For Dynamic Monitoring Of The Shelf Life Of Chilled Chicken Based Products , Carlos Prentice Federal University Of Rio Grande — FURG, School Of Chemistry And Food EQA, Brazil *Meat Science* 96, 1219–1226, **2014**.
- [7] R. D. Pergola, Carbon Dioxide Colorimetric Indicators For Food Packaging Application: Applicability Of Anthocyanin And Poly-Lysine Mixtures

Department Of Environmental Science, University Of Milano-Bicocca Milan,  
Piazza Della Scienza 1, 20126 Milano, Italy , **2017.**

- [8] MEGEP Plastik Teknolojisi Polimerleri Fiziksel Özellikleri 2, MEB Ankara, **2016.**
- [9] Prof. Dr. M. Saçak, Polimer Kimyasına Giriş ,A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları,**1998.**
- [10] IAEA-TECDOC-1324, Radiation Synthesis and Modification of Polymers For Biomedical Applications Final Results Of A Co-Ordinated Research Project **1996–2000.**
- [11] IAEA-TECDOC-1422, Radiation Processing Of Polysaccharides, **2004.**
- [12] K. Makuuchi, Critical Review Of Radiation Processing Of Hydrogel and Polysaccharide, Radiation Physics And Chemistry, 79, 267-271, **2010.**
- [13] S. K. H. Gulrez, S. Al-Assaf, G. O. Phillips, Hydrogels: Methods Of Preparation, Characterisation and Applications, Intech - Open Access Publisher, **2011.**
- [14] X.Shen, Y. Kitajyo, Q. Duan, A. Narumi, H. Kaga, H. Kaneko, T. Satoh, T. Kakuchi Synthesis and Photocrosslinking Reaction of N-Allylcarbamoymethyl Cellulose Leading to Hydrogel, **2005.**
- [15] R. A. Wacha, H. Mitomoa, N. Nagasawab, F. Yoshiib, Radiation Crosslinking Of Carboxymethylcellulose Of Various Degree Of Substitution at High Concentration In Aqueous Solutions pf Natural pH, **2003.**
- [16] Y. Horikawa , S. Kawachi, T. Honna, Sedimentation Behavior Of Dispersed Particles of Clay And Silt In Acidic and Alkaline Suspensions Of Inorganic Materials From Various Volcanic Ash Soils, **2004.**

- [17] F. Yoshii, L. Zhao, R. A. Wach, N. Nagasawa, H. Mitomo, T Kume, Hydrogels Of Polysaccharide Derivatives Crosslinked with Irradiation At Paste-Like Condition, **2003**.
- [18] T. Katayamaa, M. Nakaumab, S. Todorikic, G. O. Phillipsd, M. Tadaa, Radiation-Induced Polymerization Of Gum Arabic (Acacia Senegal) In Aqueous Solution, **2006** .
- [19] Zhao, L., Mitomo, H., Nagasawa, N., Yoshii, F., Kume, T., Radiation Synthesis And Characteric Of Hydrogels Based On Carboxymethylated Chitin Derivatives. Carbohydrate Polymers, 51, 169–175, **2003**.
- [20] H. Hayabolulu, Akriklik Asit Sodyum Tuzu / Keçiboynuzu Çekirdeği Sakızı Yarı İç İçe Geçmiş Ağ Yapılarının Radyasyonla Sentezi ve Süper Emici Davranışlarının İncelenmesi Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin Kimya Anabilim Yüksek Lisans Tezi, **2011**.
- [21] G. O. Akalın, Jelatin Hidrojellerinin Sentezlenmesi Şişme/Bozunma Davranışlarının İncelenmesi ve Uygun İmmobilize Lipaz–Jelatin Hidrojel Sisteminin Oluşturulması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, **2011**.
- [22] N. Zoratto, P. Matricardi, Semi-IPNs And IPN-Based Hydrogels, Adv Exp Med Biol. **2018**.
- [23] J. W. Aylsworth, Of East Orange, New Jersey, Assignor To Condensite Company Of America, Of East Orange, New Jersey, A Corporation Of New Jersey Patented Sept.22, **1914**.
- [24] L. H. Sperling, Interpenetrating Polymer Networks and Related Materials Macromolecular Reviews, Vol. 12, 141-180, **1977**.
- [25] L. H. Sperling, Interpenetrating Polymer Networks and Related Materials, Lehigh University, **1977**.



- [26] H.P. Staudinger , H.M. Hutchinson,U.S. Patent 2,400,720 , **1946**.
- [27] D. Klemperer, Polymer Alloys II: Blends, Blocks, Grafts and Interpenetrating Networks. Plenum, New York,**1980**.
- [28] S. Banerjee, S. Ray, S. Maiti, K. Sen, K. Bhattacharyya, U.K., Kaity, S., Ghosh, A., Interpenetrating polymer network (IPN): a novel biomaterial. International Journal of Applied Pharmaceutics 2, 28e34, **2010**.
- [29] H. L. Frisch, A Topologically Interpenetrating Elastomeric Network , Vol. 7, PP. 775-779, **1969**.
- [30] J. James, G. V. Thomas, H. Akhina, S. Thomas, Micro- And Nano-Structured Interpenetrating Polymer Networks: State Of The Art, New Challenges And Opportunities. In: Thomas, S., Grande, D., Cvelbar, U., Raju, K.V.S.N., Narayan, R., Thomas, S.P. (Eds.), Micro- And Nano-Structured Interpenetrating Polymer Networks: From Design To Applications. Wiley, pp. 1e27, **2016**.
- [31] A. Lohani, G. Singh, , S.S. Bhattacharya, A. Verma, Interpenetrating Polymer Networks As Innovative Drug Delivery Systems. Journal Of Drug Delivery, **2014**.
- [32] L.H. Sperling,V. Mirshra, The Current Status Of Interpenetrating Polymer Networks.Polymers For Advanced Technologies 7, 197e208,**1996**.
- [33] Y.S. Lipatov, T. Alekseeva, Phase-Separated Interpenetrating Polymer Networks Advances in Polymer Science 208, **2007**.
- [34] A.P.Mathew, Interpenetrating Polymer Networks: Processing, Properties And Applications. In: Ochsner, A., Silva, L.F.M., Altenbach, H. (Eds.), Advances in Elastomers I.Springer, Berlin, pp. 283e301, **2013**.
- [35] P. Matricardi, C. D. Meo, T. Coviello, W.E. Hennink, F. Alhaique, Interpenetrating Polymer Networks Polysaccharide Hydrogels For Drug Delivery And Tissue Engineering, Advanced Drug Delivery Reviews 65, **2013**.

- [36] R.V. Lechowich, Microbiology of Meat in “The Science of Meat and Meat Products Ed. by J.F. Price and B.S. Schweigert, W.H. Freeman and Company, San Francisco, **1971**.
- [37] Ö. Mindivanli, Et ve Balıklarda Tazelik İndikatörü Olarak Nanobiyosensörlerin Geliştirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, **2014**.
- [38] D. I. Ellis, R. Goodacre, Quantitative Detection And Identification Methods For Microbial Spoilage, **2006**.
- [39] H.A. Modi, An Introduction To Microbial Spoilage Of Foods. In: Modi, H.A., Microbial Spoilage Of Foods. Aavishkar Publishers, Jaipur, India, pp. 43-66, **2009**.
- [40] P.M. Davidson, F.M. Critzer, Interventions To Inhibit Or Inactivate Bacterial Pathogens in Foods. In: Oyarzabal, O.A., Backert, S. (Eds.), Microbial Food Safety: An Introduction. Springer, New York, NY, pp. 189-202, **2012**.
- [41] F. Baron, M. Gautier, Microbial Spoilage. In: Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., Brule, G. (Eds.), Handbook Of Food Science and Technology 1: Food Alteration And Food Quality. Wiley, New York, NY, pp. 55-97, **2016**.
- [42] D. Dave, A.E. Ghaly, Meat Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: A Critical Review, **2011**.
- [43] T. E. Quested, A. D. Parry, S. Easteal, R. Swannell, Food And Drink Waste From Households In The UK, **2011**.
- [44] G.A. Skinner, Smart Labelling Of Foods And Beverages , **2015**.
- [45] J. Kerry, P. Butler, Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods , Chichester, John Wiley & Sons Ltd, **2008**.

- [46] P. Butler, "Smart Packaging – Intelligent Packaging For Food, Beverages, Pharmaceuticals And Household Products,"11–13, **2001**.
- [47] M.C. Giannakouroua, K. Koutsoumanisb, G.J.E. Nychasc, P.S. Taoukisa, Field Evaluation Of The Application Of Time Temperature Integrators For Monitoring Fish Quality In The Chill Chain, **2005**.
- [48] R. Ahvenainen, E. Hurme, Active And Smart Packaging For Meeting Consumer Demands For Quality And Safety, **1997**.
- [49] P.S. Taoukis, T.P. Labuza, Applicability Of Time-Temperature Indicators As Shelf Life Monitors Of Food Products. *J. Food Sci.* 54, 783–788,**1989**.
- [50] B. Kuswandi, Y. Wicaksono, A. Abdullah, Y.H. Lee, M. Ahmed, Smart Packaging: Sensors Formonitoring Of Food Quality And Safety. *Sens. Instrument. Food Qual.* 5, 137–146, **2011**.
- [51] P.S. Taoukis, Application Of Time-Temperature Integrators For Monitoring And Management Of Perishable Product Quality in The Cold Chain. In: J. Kerry, P. Butler, (Eds.), *Smart Packaging Technologies For Fast- Moving Consumer Goods*. John Wiley & Sons, Ltd, Pp. 61–74, **2008**.
- [52] J.D. Selma, Time–Temperature Indicators. In Rooney ML (Ed.), *Active Food Packaging*. Blackie Academic & Professional:London, 213–237, **1995**.
- [53] Dr. S. S. Bhatnagar, Recent Trends in Active Smart and Intelligent Packaging for Food Products ,Bölüm 10, **1970**.
- [54] A. Pacquit , K. T. Laua, H. McLaughlin , J. Frisby , B. Quilty, D. Diamonda, Development Of A Volatile Amine Sensor For The Monitoring Of Fish Spoilage, **2006**.
- [55] A. Pacquit , J. Frisby , D. Diamond , K. T. Lau , A. Farrell ,B. Quilty, D. Diamond, Development Of A Smart Packaging For The Monitoring Of Fish Spoilage, **2007**.

- [56] B. Kuswandi, A. Nurfawaidi, On-Package Dual Sensors Label Based On pH Indicators For Real-Time Monitoring Of Beef Freshness, **2017**.
- [57] Seda Sivri, Development Of Nanocomposite Hydrogels For Controlled Release Of Proteins, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, **2016**.
- [58] H. Lingnert, S. Grivas, M. Jägerstad, K. Skog, M. Törnqvist, P. Åman, Acrylamide in Food: Mechanisms Of Formation And Influencing Factors During Heating Of Foods, **2002**.
- [59] A. Yıldız, Katı Faz Ekstraksiyon Metodu ile LC/MSMS Cihazı Kullanılarak İşlenmiş Gıdalarda Akrilamid Tayini Ve Çeşitli Ön İşlemlerin Patates Kızartmasındaki Akrilamid Oluşumu Üzerindeki Etkisi, Dicle Üniversitesi Doktora Tezi , **2014**.
- [60] N. E. Akkaya, Kurkuminin Sudaki Çözünürlüğünün Arttırılması Ultrases Ortamında Aljinat - Kurkumin Kompleksleri Hazırlanması Ve Kürecik Eldesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, **2014**.
- [61] M. Yaman, Metil Oranj Tekstil Boyar Maddesine Maruz Kalan Gammarus Pulex 'De Bazı Antioksidan Ve Detoksifikasyon Enzim Aktivitesindeki Değişiklikler, Yüksek Lisans Tezi, Munzur Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, **2018**.
- [62] H. T. Clarke; W. R. Kirner, "Methyl Red". Organic Syntheses.; Collective Baskı 1, sayfa 374, **1941**.
- [63] F. Senese. "Acid-Base Indicators". Frostburg State University Dept. of Chemistry, **1980**.
- [64] A. T. Hoang, Sensitive Naked-Eye Detection Of Gaseous Ammonia Based On Dye-Impregnated Nanoporous Polyacrylonitrile Mats. Sensors And Actuators : Chemical. 230 (Supplement C): 250–259, **2016**.

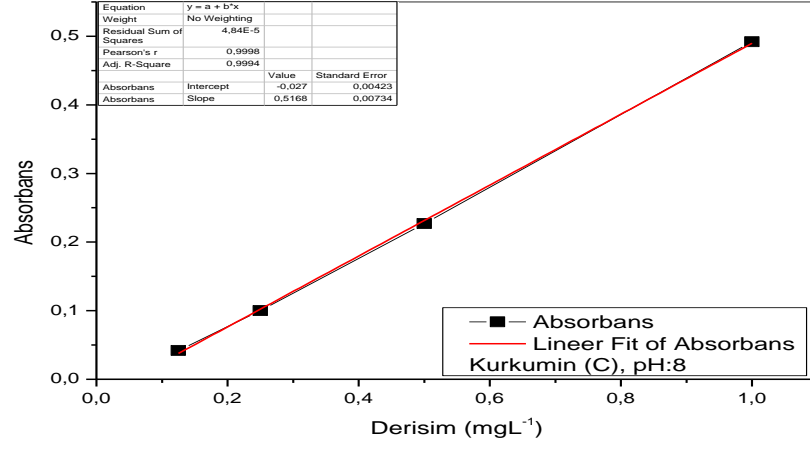
- [65] J. F. Rabek, *Experimental Methods in Polymer Chemistry*, John Wiley-Sons, **1980**.
- [66] Professor D.W. Sun, *Principles of Infrared Spectroscopy*, 1. Baskı 2009
- [67] J.F. Rabek, *Experimental Methods in Polymer Chemistry*, John Wiley-Sons, **1980**.
- [68] Y. Osada, *Gels handbook. Volume 1: The Fundamentals*, **2001**.
- [69] H. Akyıldız, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Aktivasyonu ile Zeytin Çekirdeğinden Aktif Karbon Üretimi, İTÜ Yüksek Lisans Tezi, **2017**.
- [70] P. A. Webb, C. Orr, *Analytical Methods in Fine Particle Technology*, Micrometrics, Ins. Corp. USA., **1997**.
- [71] I. Langmuir, The Constitution And Fundamental Properties of Solids and Liquids, *Journal Of The American Chemical Society*, 38, 2221-2295, **1916**.
- [72] S. Brunauer, S. P. H. Emmett, E. Teller, Adsorption Of Gases In Multimolecular Layers, *Journal Of The American Chemical Society*, 60, 309-319, 1972
- [73] D. Şolpan, M. Torun, O. Güven, The Usability Of (Sodium Alginate/Acrylamide) Semi-Interpenetrating Polymer Networks On Removal Of Some Textile Dyes, **2008**.
- [74] O. Bal, Antimicrobial Properties Of Polyethylene (PE) Based Packaging Films Prepared By Radiation induced Grafting and Modification, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **2016**.
- [75] H. Gharekhanian, A. Olada, A. Mirmohsenia, A. Bybordib, Superabsorbent Hydrogel Made Of NaAlg-G-Poly(AA-Co-AAm) And Rice Husk Ash: Synthesis, Characterization, And Swelling Kinetic Studies, Baskı 168, **2017**.

- [76] P. Lia, S. Nam, H. Kimc, S. Heoad, J. Heelee, Novel Paam/Laponite Clay Nanocomposite Hydrogels With Improved Cationic Dye Adsorption Behavior, Baskı 39, **2008**.
- [77] M. M. Ribasa, G. S. B. Sakataa, A. E. Santosa, C. D. Magroa, G. P. S. Aguiarb, M. Lanzaa, J.V. Oliveiraa, Curcumin Cocrystals Using Supercritical Fluid Technology, **2019**.
- [78] S. Metinoğlu, Y. Süzen, Polifosfazen Yapılı Kurkumin Mikrokürelerin Sentezi, Karakterizasyonu ve Spektroskopik Özellikleri, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8: 56-65, **2017**.
- [79] G. Rüzgar, M. Birer, S. Tort, F. Acartürk, Elektroçekim Nanolifler ile Kurkuminin Sudaki Çözünürlüğünün Arttırılması Çalışması, Fabad J. Pharm. Sci., 38, 3, 143-149, **2013**.
- [80] R. Nandini, B. Vıshalakshi, A Study Of Interaction Of Methyl Orange With Some Polycations, **2010**.
- [81] F. Ahmed, R. Dewani, M. K. Pervez, S. J. Mahboob, S. A. Soomro, Non-Destructive FTIR Analysis Of Mono Azo Dyes, **2015**.
- [82] A. Tripathi, Y. Singh, D. K. Verma, M. R. Ranjan, Sk Srivastava, Bioremediation Of Hazardous Azo Dye Methyl Red By A Newly Isolated Bacillus Megaterium Itbhu01: Process Improvement Through Ann-Ga Based Synergistic Approach, **2015**.
- [83] R. G. Rao, A. Ravichandran, G. Kandalam, S. A. Kumar, S. Swaraj, M. Sridhar, Screening Of Wild Basidiomycetes And Evaluation Of The Biodegradation Potential Of Dyes And Lignin By Manganese Peroxidases, **2019**.

- [84] R. K. Gangwar, G. B. Tomar, V. A. Dhumale, S. Zinjarde, R. B. Sharma, S. Datar, Curcumin Conjugated Silica Nanoparticles For Improving Bioavailability And Its Anticancer Applications, *Agriculture Food Chemistry*, **2013**.
- [85] R. Giustetto, K. Seenivasan, D. Pellerej, G. Ricchiardi, S. Bordiga, Spectroscopic Characterization And Photo/Thermal Resistance of A Hybrid Palygorskite/Methyl Red Mayan Pigment, *Microporous And Mesoporous Materials* 155, Sayfa 167–176, **2012**.

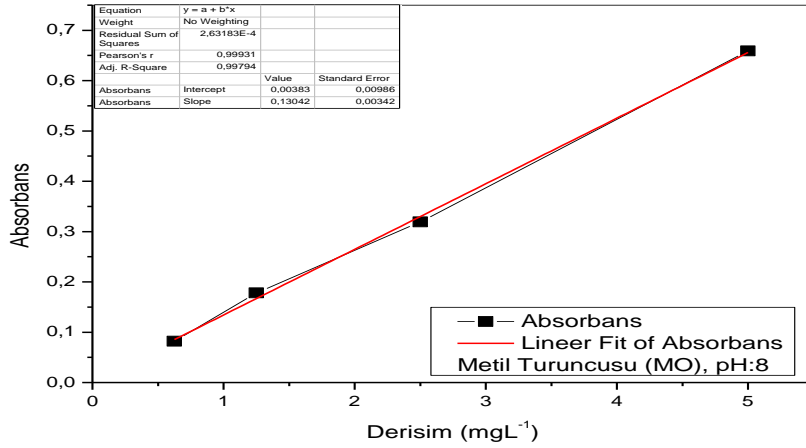
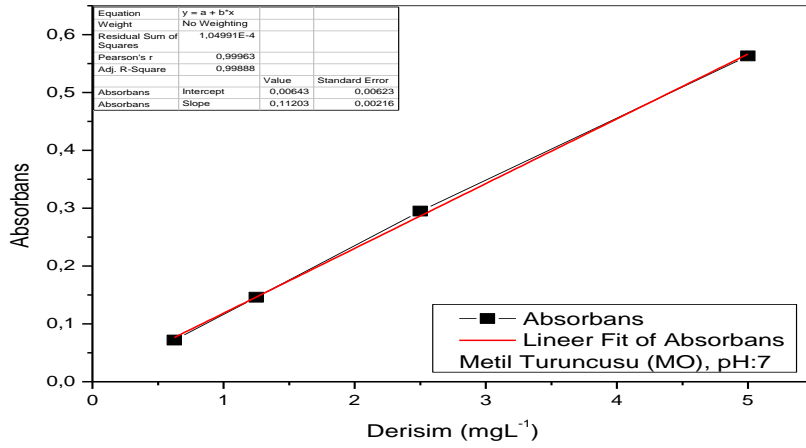
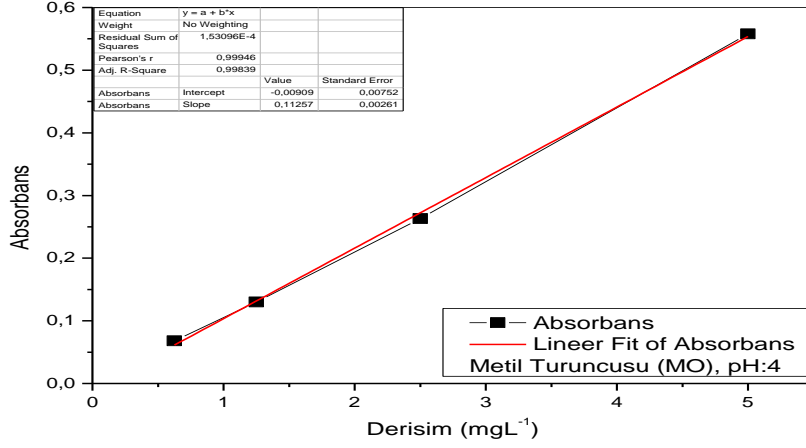
## EKLER

### EK 1 – Kurkumin (C) çözeltileri için kalibrasyon eğrileri

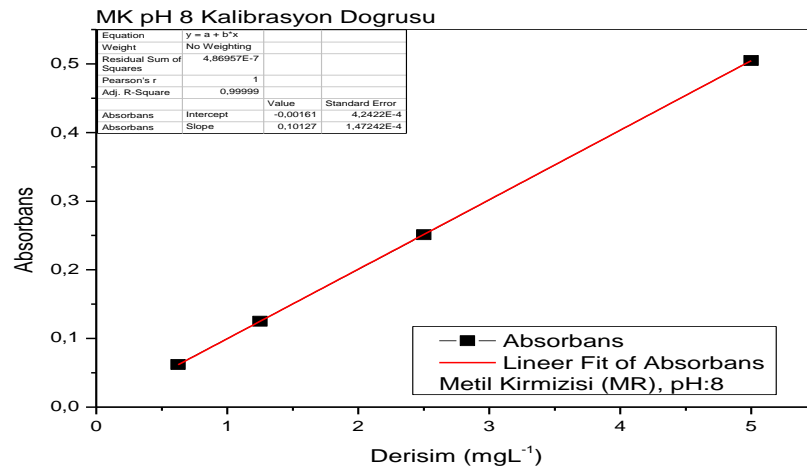
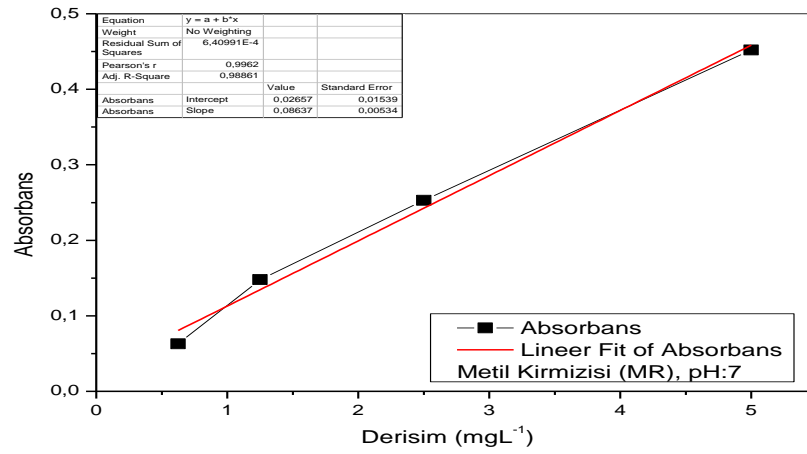
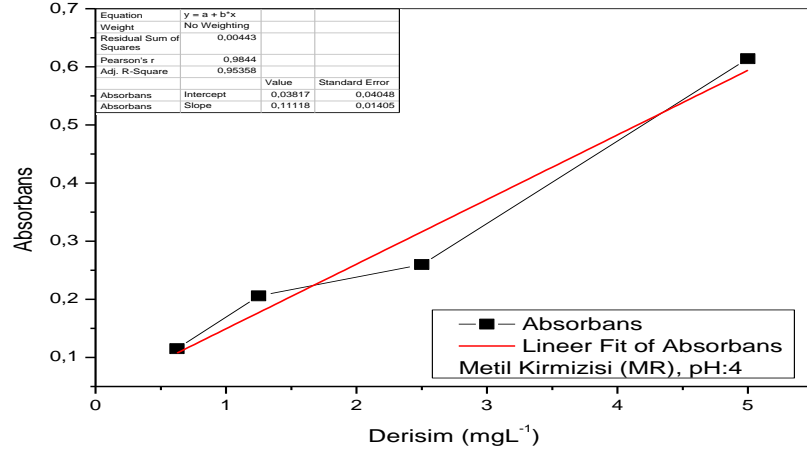




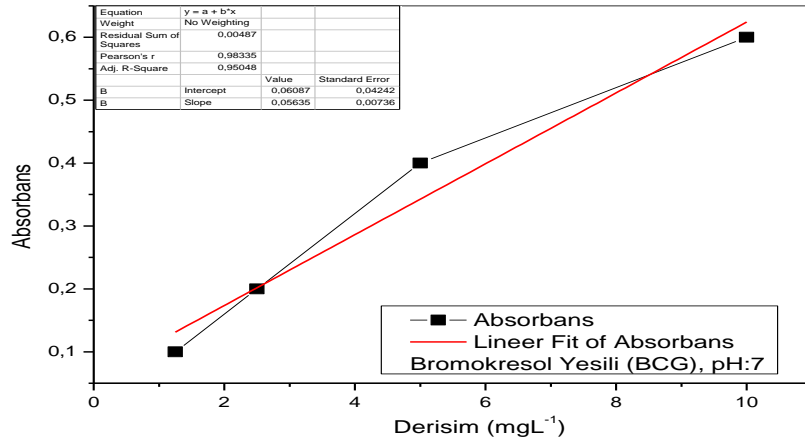
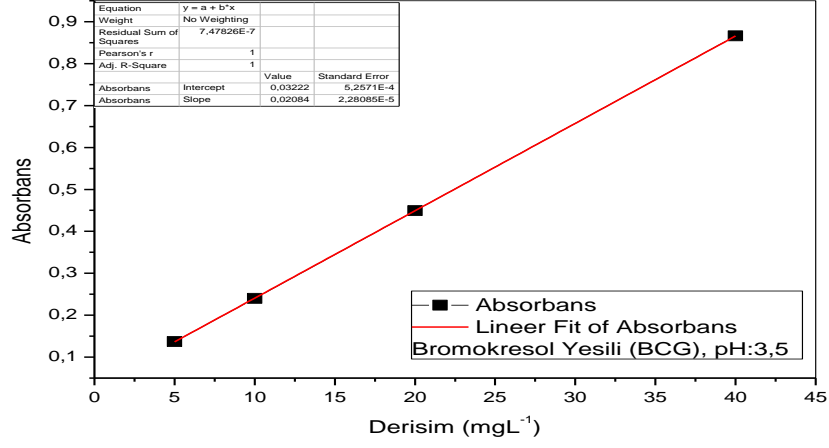
## Ek-2 Metil Turuncusu (MO) çözeltileri için kalibrasyon eğrileri.



### Ek-3 Metil Kırmızısı (MR) çözeltileri için kalibrasyon eğrileri.



#### Ek-4 Bromokresol Yeşili (BCG) çözeltileri için kalibrasyon eğrileri.





HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 30/09/2019

Tez Başlığı / Konusu: "TAVUK ETİNDE BOZULMAYI İZLEMELİK İÇİN TAZELİK İNDİKATÖRÜ GELİŞTİRİLMESİ" Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 67 sayfalık kısmına ilişkin, 30/09/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 9'dur.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

30/09/2019

Adı Soyadı: **BATUHAN DEMİREL**  
Öğrenci No: **N16122450**  
Anabilim Dalı: **KİMYA**  
Programı: **YÜKSEK LİSANS**  
Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

**Prof.Dr.DİLEK ŞOLPAN ÖZBAY**

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Batuhan Demirel  
Doğum yeri : İstanbul  
Doğum tarihi : 01/06/1990  
Medeni hali : Evli  
Elektronik posta adresi : batuhand@gmail.com  
Yabancı dili : İngilizce

### EĞİTİM DURUMU

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü (2008-2014)  
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü (2016-2019)

### İş Tecrübesi

2015-2018 : Nisshin Seifun Turkey Kalite Kontrol Analisti  
2018- : Türkiye Petrolleri Petrol Dağıtım A.Ş. Kalite Kontrol  
Uzmanı