



**ÇEŞİTLİ MİKRO BESİN ELEMENTİ İÇEREN SODYUM
KARBOKSİMETİL SELÜLOZ VE κ-KARRAGENAN HİDROJEL
SİSTEMLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE ETKİNLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Gülen Oytun AKALIN

**DOKTORA TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2017

Gülen Oytun AKALIN tarafından hazırlanan “ÇEŞİTLİ MİKRO BESİN ELEMENTİ İÇEREN SODYUM KARBOKSİMETİL SELÜLOZ VE κ -KARRAGENAN HİDROJEL SİSTEMLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE ETKİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Kimya Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mehlika PULAT

Kimya Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan : Prof.Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Prof. Dr. Meral KARAKIŞLA ŞAHİN

Kimya Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Prof.Dr. Halil İbrahim ÜNAL

Kimya Anabilim Dalı,, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Doç.Dr. Hayrettin TÜMTÜRK

Kimya Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 24/02/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Gülen Oytun AKALIN

24/02/2017

ÇEŞİTLİ MİKRO BESİN ELEMENTİ İÇEREN SODYUM KARBOKSİMETİL
SELÜLOZ VE κ -KARRAGENAN HİDROJEL SİSTEMLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE
ETKİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Gülen Oytun AKALIN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2017

ÖZET

Sunulan çalışmada, çeşitli mikro besin elementleri içeren sodyum karboksimetil selüloz (NaCMC) ve kappa-karragenan (κ -Karragenan) hidrojel sistemlerinin üretimi ve tarımsal amaçlı kullanılabilirlikleri araştırıldı. Çalışmanın birinci kısmında, FeCl_3 iyonik çapraz bağlayıcısı kullanılarak ve polimer/çapraz bağlayıcı miktarları değiştirilerek 12 farklı NaCMC hidrojeli sentezlendi. Çalışmanın ikinci kısmında; farklı miktarlarda glutaraldehit (GA) içeren 6 farklı κ -Karragenan hidrojelleri kimyasal çapraz bağlanma yöntemiyle elde edildi. Üretilen NaCMC ve κ -Karragenan hidrojellerinin oluşum yüzdeleri belirlendikten sonra hidrojellerin şişme davranışları zamana, sıcaklığa ve pH'ya karşı incelendi. Hidrojellerin bozunma deneyleri 30°C de ve $\text{pH}=7,0$ de yapıldı. Ayrıca hidrojellerinin FTIR ve SEM analizleri de gerçekleştirildi. NaCMC hidrojellerinin EDAX analizi, Fe^{3+} içeriğini saptayabilmek amacıyla yapıldı. SEM analizlerinden NaCMC hidrojellerinde tanecikliliğin ve gözenekliliğin çoğunlukla nano boyutta olduğu, κ -Karragenan hidrojellerinin gözenekliliğinin ise mikro boyutunda olduğu saptandı. Çalışmanın üçüncü kısmında; bakır, çinko ve mangan mikro besin elementleri, seçilen dört çeşit NaCMC ve üç çeşit κ -Karragenan hidrojellerine emdirme yöntemiyle yüklendi ve atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) ile in vitro, model ve toprak salım çalışmaları gerçekleştirildi. Çalışmanın son aşamasında; tarımsal uygulamaya örnek olmak amacıyla Zn^{2+} , Cu^{2+} ve Mn^{2+} yüklü bir NaCMC ve bir κ -Karragenan hidrojellerinin buğday çim gelişimine etkisi araştırıldı. Genel olarak kullanılan mikro besin elementleri miktarı arttıkça, fide çıkış sayısı, fide boyu, gelişme ve uzama verimlerinin de önemli miktarda arttığı belirlendi. Sonuçlar Zn^{2+} , Cu^{2+} ve Mn^{2+} etkisi açısından değerlendirildiğinde, en yüksek gelişme ve uzama veriminin Zn^{2+} içeren örneklerde elde edildiği saptandı.

Bilim Kodu : 20107

Anahtar Kelimeler : NaCMC, κ -Karragenan, hidrojel, mikro besin elementleri, kontrollü salım sistemleri

Sayfa Adedi : 183

Danışman : Prof. Dr. Mehlika PULAT

DEVELOPMENT OF SODIUM CARBOXYMETHYL CELLULOSE AND
κ-CARRAGEENAN HYDROGEL SYSTEMS CONTAINING VARIOUS
MICRONUTRIENTS AND INVESTIGATION OF THEIR EFFECTIVENESS
(Ph.D. Thesis)

Gülen Oytun AKALIN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2017

ABSTRACT

In this study, the production and the agricultural usability of sodium carboxymethyl cellulose (NaCMC) and kappa-carrageenan (κ-Carrageenan) hydrogel systems containing various micronutrients were investigated. In the first part of the study, 12 different NaCMC hydrogels were synthesized by using FeCl₃ ionic crosslinker with changing polymer and crosslinker amounts. In the second part of the study, κ-Carrageenan hydrogels containing 6 different amounts of glutaraldehyde (GA) were synthesized with the chemical crosslinking method. The gel formation percentages of all produced hydrogels were determined then the swelling behaviors of hydrogels were investigated against time, temperature and pH. The degradation test of hydrogel was carried out at 30°C pH=7.0. Moreover, hydrogels were analyzed with FTIR and SEM/EDAX. EDAX analysis of NaCMC hydrogels were performed in order to determine the contents of Fe³⁺. According to the SEM analysis, it was determined that granularity and porosity of the NaCMC hydrogel were mostly in the nanosize in case the porosity of the κ-Carrageenan hydrogels was in the micron size. In the third part of the study, copper, zinc, mangan micronutrients were loaded into four selected NaCMC and three selected κ-Carrageenan hydrogels by using soaking method and in vitro, model and soil release studies were carried out with Atomic Absorption Spectrometer (AAS). In the last part of study, the effects of Zn²⁺, Cu²⁺ ve Mn²⁺ loaded NaCMC and κ-Carrageenan hydrogels on wheatgrass growth were investigated to be an example for the agricultural application. It was determined that as the amount of micronutrients in general increased, the output seedling growth, growth and elongation efficiency increased significantly. When the results were analyzed with regards to the effect of Zn²⁺, Cu²⁺ and Mn²⁺, it was observed that the highest growth and elongation efficiency were obtained in samples containing Zn²⁺.

Science Code : 20107

Key Words : NaCMC, κ-Carrageenan, hydrogel, micronutrients, controlled release systems

Page Number : 183

Supervisor : Prof. Dr. Mehlika PULAT

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim süresince, bilgisi, tecrübeleri ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, tez çalışmamın her aşamasında titiz, disiplinli ve anlayışlı yaklaşımı ile beni yönlendiren saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehlika PULAT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamızın yürütülmesinde ve yönlendirilmesindeki katkılarından dolayı Tez İzleme Komitesi üyeleri sayın Prof. Dr. Meral KARAKIŞLA ŞAHİN ve sayın Doç. Dr. Hayrettin TÜMTÜRK'e, tez çalışmalarım süresince 05/2015/08 no'lu araştırma projeme destek sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na, lisansüstü çalışmamı anlayışla karşılayan ve destekleyen, görev yapmakta olduğum Aksaray Üniversitesi ve Bilimsel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi yöneticelerine çok teşekkür ederim. ATR-FTIR spektrumlarının alınmasında imkânlarından yararlandığım Namık Kemal Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı'na ve SEM analizlerini titizlikte gerçekleştiren ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer hocam Sayın Prof.Dr. Zekiye SULUDERE'ye “Gazi Üniversitesi” çok teşekkür ederim. Lisansüstü eğitim süresince, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen çok değerli arkadaşım Dr. Özlem EROL'a “Gazi Üniversitesi”, bu süreçte her zaman yanımda olup desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Bihter TAYLAN ALBAYRAK'a, Uzm. Öznur ÖZTUNA TANER'e “Aksaray Üniversitesi”, Dr. Şeyda CEYLAN CÖMERT'e ve Okutman Ayşegül CAN'a “Aksaray Üniversitesi” çok teşekkür ederim. Hayatım boyunca bana her zaman güvenen, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, yüksek lisans ve doktora dönemim boyunca bana büyük sabır gösteren, sıkıntılarımı paylaşan ve bugünlere gelmemi sağlayan, akademik hayata girmemde en büyük etken olan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xx
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Bitki Besin Elementleri.....	3
2.2. Gübreler.....	6
2.3. Mikro Besin Elementleri.....	8
2.3.1. Bakır.....	10
2.3.2. Çinko.....	10
2.3.3. Mangan.....	10
2.4. Geleneksel Gübreleme Yöntemleri.....	11
2.5. Kontrollü Salım Gübreleri.....	12
2.6. Hidrojeller.....	15
2.6.1. Hidrojellerin sınıflandırılması.....	15
2.6.2. Hidrojellerde suyun konumu ve şişme davranışları.....	18
2.7. Hidrojellerin KGS Sistemlerinde Kullanımları.....	19
2.8. Biyobozunur Polimerler.....	21

	Sayfa
2.9. NaCMC.....	23
2.10. Karragenan.....	25
2.11. Buğday Çimi.....	30
3.DENEYSEL KISIM.....	33
3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Cihazlar.....	33
3.2. NaCMC Hidrojellerin Hazırlanması.....	34
3.3. κ -Karragenan Hidrojellerin Hazırlanması.....	35
3.4. Hidrojellerin Hidrojel Oluşum Verimlerinin Gravimetrik Olarak İncelenmesi..	36
3.5. ATR-FTIR Analizi.....	38
3.6. Hidrojellerin Şişme Davranışlarının İncelenmesi.....	38
3.6.1.Hidrojellerin zamana göre şişme davranışlarının incelenmesi.....	38
3.6.2.Hidrojellerin sıcaklık değişimine göre şişme davranışlarının incelenmesi	39
3.6.3.Hidrojellerin pH değişimine göre şişme davranışlarının incelenmesi.....	39
3.7. Hidrojellerin Bozunma Davranışlarının İncelenmesi.....	39
3.8. Hidrojellerin SEM İncelemesi.....	40
3.9. NaCMC Hidrojellerinin EDAX İncelemesi.....	40
3.10. Mikro Besin Elementi Yüklü Hidrojellerin Hazırlanması.....	40
3.11. NaCMC ve κ -Karragenan Hidrojellerinden Mikro Besin Elementlerinin İn Vitro Salımı.....	41
3.12. Model Salım Çalışması.....	41
3.13. Toprakta Salım Çalışması.....	42
3.14. Mikro Besin Elementi Yüklü Hidrojellerin Buğday Çimi Gelişimine Etkisinin İncelenmesi.....	42
4. DENEYSEL BULGULAR VE YORUM.....	45
4.1. NaCMC Hidrojellerinin Üretimi ve Karakterizasyonu.....	45

	Sayfa
4.1.1. NaCMC hidrojel oluşum mekanizması ve verimleri.....	45
4.1.2. NaCMC hidrojelinin ATR-FTIR analizi.....	48
4.1.3. NaCMC hidrojellerin şişme deneylerinin sonuçları.....	50
4.1.4. NaCMC hidrojellerinin bozunma davranışları.....	56
4.1.5. NaCMC hidrojellerinin SEM analizi.....	58
4.1.6. NaCMC hidrojellerinin EDAX incelemesi.....	63
4.2. κ-Karragenan Hidrojellerinin Üretimi ve Karakterizasyonu.....	66
4.2.1. κ-Karragenan hidrojel oluşum mekanizması ve verimleri.....	66
4.2.2. κ-Karragenan hidrojelinin ATR-FTIR analizi.....	68
4.2.3. κ-Karragenan hidrojellerin şişme deneylerinin sonuçları.....	70
4.2.4. κ-Karragenan hidrojellerinin bozunma davranışları.....	73
4.2.5. κ-Karragenan hidrojellerinin SEM analizi.....	74
4.3. Hidrojellerden Mikro Besin Elementlerinin Salımı.....	76
4.3.1. NaCMC hidrojellerinden mikro besin elementlerinin in vitro salımı.....	76
4.3.2. NaCMC hidrojellerinden mikro besin elementleri salım kinetiğinin değerlendirilmesi.....	78
4.3.3. NaCMC hidrojellerinden mikro besin elementlerinin topraktaki salımı..	83
4.3.4. κ-Karragenan hidrojellerinden mikro besin elementlerinin in vitro salımı.....	85
4.3.5. κ-Karragenan hidrojellerinden mikro besin elementleri salım kinetiğinin değerlendirilmesi.....	87
4.3.6. κ-Karragenan hidrojellerinden mikro besin elementlerinin model salımı.....	88
4.3.7. κ-Karragenan hidrojellerinden mikro besin elementlerinin topraktaki salımı.....	90
4.4. Tüm Salım Sonuçlarının Toplu Değerlendirilmesi.....	92

Sayfa

4.5. Mikro Besin Elementi Yüklü Hidrojellerin Buğday Çimi Gelişimine Etkisinin İncelenmesi.....	94
4.5.1. Zn^{2+} yüklü NaCMC-9 hidrojellerinin buğday çimi gelişimine etkisi.....	94
4.5.2. Zn^{2+} yüklü K-6 hidrojellerinin buğday çimi gelişimine etkisi.....	101
4.5.3. Farklı mikro besin elementi içeren NaCMC hidrojellerinin buğday çimi gelişimine etkisi.....	108
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	115
KAYNAKLAR.....	121
EKLER.....	133
EK-1. pH =2,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 10,0 ve 12,0 Britton-Robinson Tampon (BRT) çözeltilerinin hazırlanması.....	134
EK-2. NaCMC hidrojellerinin zamana karşı ortalama şişme değerleri (%).....	135
EK-3. NaCMC hidrojellerinin sıcaklığa karşı ortalama şişme değerleri (%).....	138
EK-4. NaCMC hidrojellerinin pH'ya karşı ortalama şişme değerleri (%).....	141
EK-5. NaCMC hidrojellerinin zamana karşı ortalama bozunma (%) değerleri.....	144
EK-6. κ -Karragenan hidrojellerinin zamana karşı ortalama şişme değerleri (%).....	147
EK-7. κ -Karragenan hidrojellerinin sıcaklığa karşı ortalama şişme değerleri (%).....	148
EK-8. κ -Karragenan hidrojellerinin pH'ya karşı ortalama şişme değerleri (%).....	149
EK-9. κ -Karragenan hidrojellerinin zamana karşı ortalama bozunma değerleri (%)....	150
EK-10. NaCMC hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının in vitro salım değerleri (%).....	151
EK-11. NaCMC hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının in vitro salım değerleri (%).....	152
EK-12. NaCMC hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının in vitro salım değerleri (%).....	153
EK-13. NaCMC hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının salım kinetik parametrelerinin bulunması.....	154
EK-14. NaCMC hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının salım kinetik parametrelerinin bulunması.....	155

Sayfa

EK-15. NaCMC hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının salım kinetik parametrelerinin bulunması.....	156
EK-16. NaCMC hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının model salım değerleri (%).....	157
EK-17. NaCMC hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının model salım değerleri (%).....	158
EK-18. NaCMC hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının model salım değerleri (%).....	159
EK-19. NaCMC hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının topraktaki salım değerleri (%).....	160
EK-20. NaCMC hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının topraktaki salım değerleri (%).....	161
EK-21. NaCMC hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının topraktaki salım değerleri (%).....	162
EK-22. κ -Karragenan hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının in vitro salım değerleri (%)....	163
EK-23. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının in vitro salım değerleri (%)....	164
EK-24. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının in vitro salım değerleri (%)...	165
EK-25. κ -Karragenan hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının salım kinetik parametrelerinin bulunması.....	166
EK-26. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının salım kinetik parametrelerinin bulunması.....	167
EK-27. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının salım kinetik parametrelerinin bulunması.....	168
EK-28. κ -Karragenan hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının model salım değerleri (%).....	169
EK-29. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının model salım değerleri (%).....	170
EK-30. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının model salım değerleri (%).....	171
EK-31. κ -Karragenan hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının topraktaki salım değerleri (%).	172
EK-32. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının topraktaki salım değerleri (%).	173
EK-33. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının topraktaki salım değerleri (%)	174
EK-34. N-9 örneklerinde ortalama fide çıkış sayısının zamanla değişim değerleri.....	175
EK-35. N-9 örneklerinde ortalama fide boylarının (cm) zamanla değişim değerleri....	176
EK-36. K-6 örneklerinde ortalama fide çıkış sayılarının zamanla değişim değerleri....	177

Sayfa

EK-37. K-6 örneklerinde ortalama fide boylarının (cm) zamanla değişim değerleri....	178
EK-38. Farklı mikro besin elementleri içeren N-9 örneklerinde ortalama fide çıkış sayılarının zamanla değişim değerleri.....	179
EK-39. Farklı mikro besin elementleri içeren N-9 örneklerinde ortalama fide boylarının (cm) zamanla değişim değerleri.....	180
ÖZGEÇMİŞ.....	181
DİZİN.....	183



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bazı bitki besin elementleri ve etkileri.....	5
Çizelge 2.2. Mikro besin elementlerinin eksikliklerinin belirtileri.....	9
Çizelge 2.3. Hidrojellerin sınıflandırılmaları.....	16
Çizelge 3.1. NaCMC hidrojellerinin hazırlanmasında kullanılan polimer ve çapraz bağlayıcı miktarlarının hidrojel oluşumuna etkisi.....	35
Çizelge 3.2. κ -Karragenan hidrojellerinin hazırlanmasında kullanılan polimer ve çapraz bağlayıcı miktarlarının hidrojel oluşumuna etkisi.....	37
Çizelge 3.3. AAS’de çalışma koşulları.....	41
Çizelge 3.4. Torfun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	42
Çizelge 3.5. KGS örneklerin grup çalışmaları ve deney koşulları.....	44
Çizelge 4.1. NaCMC hidrojellerin üretim koşulları ve bazı karakteristik özellikleri....	46
Çizelge 4.2. NaCMC (%5) hidrojellerin hazırlanmasında kullanılan ve yapıya giren Fe^{3+} miktarları.....	47
Çizelge 4.3. NaCMC hidrojellerin morfolojik özellikleri	63
Çizelge 4.4. NaCMC hidrojellerinin EDAX sonuçları.....	66
Çizelge 4.5. κ -Karragenan hidrojellerin üretim koşulları ve bazı karakteristik özellikleri.....	68
Çizelge 4.6. κ -Karragenan hidrojellerinin morfolojik özellikleri.....	76
Çizelge 4.7. Difüzyon mekanizması ile n değeri arasındaki ilişki.....	79
Çizelge 4.8. NaCMC hidrojellerine ait salım kinetiği parametreleri.....	80
Çizelge 4.9. κ -Karragenan hidrojellerine ait salım kinetiği parametreleri.....	87
Çizelge 4.10. Cu^{2+} iyonlarının hidrojellerden in vitro (İS), model (MS) ve topraktaki salımının (TS) karşılaştırmalı sonuçları.....	92
Çizelge 4.11. Zn^{2+} iyonlarının hidrojellerden in vitro (İS), model (MS) ve topraktaki salımının (TS) karşılaştırmalı sonuçları.....	93

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.12. Mn^{2+} iyonlarının hidrojellerden in vitro (İS), model (MS) ve topraktaki salımının (TS) karşılaştırmalı sonuçları.....	93
Çizelge 4.13. N-9 hidrojel örnekleri kullanılarak elde edilen büyüme ve gelişme değerleri.....	100
Çizelge 4.14. K-6 hidrojel örnekleri kullanılarak elde edilen büyüme ve gelişme değerleri.....	107
Çizelge 4.15. 15 adet N-9 hidrojel örnekleri kullanılarak elde edilen büyüme ve gelişme değerleri.....	113



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bitki besin elementleri	3
Şekil 2.2. Bitki besin elementlerinin sınıflandırılması.....	4
Şekil 2.3. Gübrelerin sınıflandırılması	6
Şekil 2.4. KGS sınıflandırılmasının şematik gösterimi.....	13
Şekil 2.5. Kimyasal hidrojellerin oluşum tepkimeleri	17
Şekil 2.6. Selülozun kimyasal yapısı.....	23
Şekil 2.7. NaCMC nin kimyasal yapısı	24
Şekil 2.8. κ , ι ve λ Karragenanların tekrarlanan gruplarının kimyasal formülü	28
Şekil 3.1. NaCMC hidrojellerin elde edilişinin şematik gösterimi.....	35
Şekil 3.2. κ -Karragenan hidrojellerin elde edilişinin şematik gösterimi.....	36
Şekil 4.1. NaCMC hidrojelinin oluşum mekanizması.....	45
Şekil 4.2. NaCMC (a) polimerinin ve (b) hidrojelinin FTIR spektrumları.....	49
Şekil 4.3. %3 NaCMC hidrojellerin ortalama şişme (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği (T=30°C; pH=7,0).....	50
Şekil 4.4. %5 NaCMC hidrojellerin ortalama şişme (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği (T=30°C; pH=7,0).....	51
Şekil 4.5. %7 NaCMC hidrojellerin ortalama şişme (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği (T=30°C; pH=7,0).....	51
Şekil 4.6. %3 NaCMC hidrojellerin ortalama şişme (%) değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiği (pH=7,0; 24 saat).....	52
Şekil 4.7. %5 NaCMC hidrojellerin ortalama şişme (%) değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiği (pH=7,0; 24 saat).....	53
Şekil 4.8. %7 NaCMC hidrojellerin ortalama şişme (%) değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiği (pH=7,0; 24 saat).....	53
Şekil 4.9. %3 NaCMC hidrojellerin ortalama şişme (%) değerlerinin pH ile değişimi grafiği (T=30°C; 24 saat).....	54

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. %5 NaCMC hidrojenlerin ortalama şişme (%) değerlerinin pH ile değişimi grafiği (T=30°C; 24 saat).....	55
Şekil 4.11. %7 NaCMC hidrojenlerin ortalama şişme (%) değerlerinin pH ile değişimi grafiği (T=30°C; 24 saat).....	55
Şekil 4.12. %3 NaCMC hidrojenlerin ortalama bozunma (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği (T=30°C; pH=7,0).....	56
Şekil 4.13. %5 NaCMC hidrojenlerin ortalama bozunma (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği (T=30°C; pH=7,0).....	57
Şekil 4.14. %7 NaCMC hidrojenlerin ortalama bozunma (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği (T=30°C; pH=7,0).....	58
Şekil 4.15. %4 FeCl ₃ kullanılarak hazırlanan NaCMC hidrojeninin EDAX grafiği.....	64
Şekil 4.16. %6 FeCl ₃ kullanılarak hazırlanan NaCMC hidrojeninin EDAX grafiği.....	64
Şekil 4.17. %8 FeCl ₃ kullanılarak hazırlanan NaCMC hidrojeninin EDAX grafiği.....	65
Şekil 4.18. %10 FeCl ₃ kullanılarak hazırlanan NaCMC hidrojeninin EDAX grafiği.....	65
Şekil 4.19. κ-Karragenan hidrojeninin oluşum mekanizması.....	67
Şekil 4.20. κ-Karragenan polimerinin ve hidrojeninin FTIR spektrumları.....	69
Şekil 4.21. κ-Karragenan hidrojenlerin ortalama şişme (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği (T=30°C; pH=7,0).....	71
Şekil 4.22. κ-Karragenan hidrojenlerin ortalama şişme (%) değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiği (pH=7,0; 24 saat).....	72
Şekil 4.23. κ-Karragenan hidrojenlerin ortalama şişme (%) değerlerinin pH ile değişimi grafiği (T=30°C; 24 saat).....	73
Şekil 4.24. κ-Karragenan hidrojenlerin ortalama bozunma (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği (T=30°C; pH=7,0).....	74
Şekil 4.25. NaCMC hidrojenlerinden Cu ²⁺ iyonlarının in vitro salım grafiği.....	77
Şekil 4.26. NaCMC hidrojenlerinden Zn ²⁺ iyonlarının in vitro salım grafiği.....	77
Şekil 4.27. NaCMC hidrojenlerinden Mn ²⁺ iyonlarının in vitro salım grafiği.....	78
Şekil 4.28. NaCMC hidrojenlerinden Cu ²⁺ iyonlarının model salım grafiği.....	81
Şekil 4.29. NaCMC hidrojenlerinden Zn ²⁺ iyonlarının model salım grafiği	81

Şekil	Sayfa
Şekil 4.30. NaCMC hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının model salım grafiği	82
Şekil 4.31. NaCMC hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının topraktaki salım grafiği	83
Şekil 4.32. NaCMC hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının topraktaki salım grafiği.....	84
Şekil 4.33. NaCMC hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının topraktaki salım grafiği.....	84
Şekil 4.34. κ -Karragenan hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının in vitro salım grafiği.....	85
Şekil 4.35. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının in vitro salım grafiği.....	86
Şekil 4.36. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının in vitro salım grafiği.....	86
Şekil 4.37. κ -Karragenan hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının model salım grafiği.....	88
Şekil 4.38. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının model salım grafiği.....	89
Şekil 4.39. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının model salım grafiği.....	89
Şekil 4.40. κ -Karragenan hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının topraktaki salım grafiği....	90
Şekil 4.41. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının topraktaki salım grafiği....	91
Şekil 4.42. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının topraktaki salım grafiği....	91
Şekil 4.43. N-9 örneklerinde ortalama fide çıkış sayısının zamanla değişim grafiği.....	98
Şekil 4.44. N-9 örneklerinde ortalama fide boyunun zamanla değişim grafiği.....	98
Şekil 4.45. K-6 örneklerinde ortalama fide çıkış sayısının zamanla değişim grafiği.....	105
Şekil 4.46. K-6 örneklerinde ortalama fide boyunun zamanla değişim grafiği.....	105
Şekil 4.47. Farklı mikro besin elementi içeren N-9 örneklerinin ortalama fide çıkış sayısının zamanla değişim grafiği.....	111
Şekil 4.48. Farklı mikro besin elementi içeren N-9 örneklerinin ortalama fide boyunun zamanla değişimi.....	111

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Karragenan'ın kaynağı olan kırmızı deniz yosunu görüntüleri	26
Resim 4.1. NaCMC hidrojellerinin (a) kuru, (b) şişmiş hali.....	48
Resim 4.2. Kuru NaCMC-8 hidrojelinin SEM fotoğrafları x40000 büyütme (a) yüzey (b) kesit	58
Resim 4.3. NaCMC hidrojellerin SEM fotoğrafları x40000 büyütme (a) NaCMC-1 yüzey, (b) NaCMC-1 kesit, (c) NaCMC-4 yüzey, (d) NaCMC-4 kesit.....	59
Resim 4.4. NaCMC hidrojellerin SEM fotoğrafları x40000 büyütme (a) şişmiş NaCMC-5 yüzey, (b) şişmiş NaCMC-5 kesit, (c) şişmiş NaCMC-8 yüzey, (d) şişmiş NaCMC-8 kesit.....	60
Resim 4.5. NaCMC hidrojellerin SEM fotoğrafları x40000 büyütme (a) şişmiş NaCMC-9 yüzey, (b) şişmiş NaCMC-9 kesit, (c) şişmiş NaCMC-12 yüzey, (d) şişmiş NaCMC-12 kesit.....	61
Resim 4.6. NaCMC hidrojellerin SEM fotoğrafları x30000 büyütme (a) şişmiş NaCMC-5 kenar, (b) şişmiş NaCMC-8 kenar.....	62
Resim 4.7. κ -Karragenan hidrojellerin (a) kuru, (b) şişmiş hali.....	68
Resim 4.8. κ -Karragenan hidrojellerinin SEM fotoğrafları x5000 büyültme (a) kuru hidrojel (b) şişmiş K-1 hidrojel (c) şişmiş K-2 hidrojel (d) şişmiş K-3 hidrojel (e) şişmiş K-4 hidrojel, (f) şişmiş K-5 hidrojel (g) şişmiş K-6 hidrojel.....	75
Resim 4.9. N-9 örnekleri için 4. gün fide çıkışı görüntüleri.....	95
Resim 4.10. N-9 örnekleri için 7. gün fide çıkışı görüntüleri.....	96
Resim 4.11. N-9 örneklerinin kontrollerle karşılaştırmalı olarak 8. ve 9. gün fide boylarının görüntüleri.....	97
Resim 4.12. K-6 örnekleri için 4. gün fide çıkışı görüntüleri.....	102
Resim 4.13. K-6 örnekleri için 7. gün fide çıkışı görüntüleri.....	103
Resim 4.14. K-6 örneklerinin kontrollerle karşılaştırmalı olarak 8. ve 9. gün fide boylarının görüntüleri.....	104
Resim 4.15. Farklı mikro besin elementi içeren N-9 hidrojelleri için 4. gün fide çıkışı görüntüleri.....	108

Resim**Sayfa**

Resim 4.16. Farklı mikro besin elementi içeren N-9 hidrojelleri için 7. gün fide çıkışı görüntüleri.....	109
Resim 4.17. Farklı mikro besin elementi içeren N-9 örneklerinin 8. ve 9. gün fide boylarının görüntüleri.....	110



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

m_i	Ekstrakte edilmemiş hidrojel kütlesi
m_s	Ekstrakte edilmiş hidrojel kütlesi
w	Şişmiş hidrojel kütlesi
w_0	Kuru hidrojel kütlesi
m_m	Maksimum şişme değerindeki hidrojin kütlesi
m_t	Bozunmakta olan hidrojin t anındaki kütlesi
m_t	t zamandaki salım miktarı
m_∞	∞ zamandaki salım miktarı
k	Salım hız sabiti
t	Salım zamanı
n	Salım mekanizmasını karakterize eden üstel sayı
w_0	Örneğin kuru kütlesi
w_k	Kontrol-1'in kuru kütlesi
u_0	Örneğin boyu
u_k	Kontrol-1'in boyu

Kısaltmalar

Açıklamalar

AAS	Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
ATR-FTIR	Zayıflatılmış Toplam Yansıma- Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi
BRT	Britton-Robinson Tamponu
Ç/P	Çapraz bağlayıcı/Polimer oranı
EDAX	Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektroskopisi
GA	Glutaraldehit
İS	İn vitro Salım

Kısaltmalar**Açıklamalar****KGS**

Kontrollü Gübre Salım

K-KARRAGENAN

Kappa-Karragenan

MS

Model Salım

NACMC

Sodyum Karboksimetil Selüloz

SEM

Taramalı Elektron Mikroskobu

TS

Toprak Salım

TÜİK

Türkiye İstatistik Kurumu



1. GİRİŞ

Bitkisel ve hayvansal ürünlerin üretilmesi, kalite ve verimlerinin yükseltilmesi, bu ürünlerin uygun koşullarda korunması, işlenip değerlendirilmesi ve pazarlanması “tarım” olarak adlandırılır. Dünya nüfusunun artması ve ticaretin büyümesiyle birlikte kişi başına düşen tarım tüketimi artmaktadır. Bu nedenle tarım, tüm ülkelerin ekonomik hayatlarında önemli bir yere sahiptir. Dünya Bankası verilerine göre 2009 yılı dünya tarımsal üretim değeri 2,2 trilyon dolar civarındadır. Söz konusu yılda, Çin 515,7 milyar dolar ile dünya tarımsal hâsıla listesinde ilk sırada yer alırken, onu 229 milyar dolar ile Hindistan, 133,1 milyar dolar ile ABD ve 83,4 milyar dolar ile Brezilya izlemiştir. Türkiye; 2008 yılı tarımsal hâsılasına göre, Rusya'dan sonra sekizinci sırada bulunurken 2010 yılı verilerine göre 65 milyar dolar tutarındaki tarımsal üretimiyle dünyada yedinci sırada yer almaktadır [1-2].

Dünya nüfusunun sürekli artması, yeni yerleşim yerlerinin açılması ve yeni sanayi alanlarının kurulması gibi nedenlerle tarıma elverişli alanlar giderek azalırken, tarım ürünlerine olan talep sürekli artmaktadır. Bu durum, tarımsal üretimi artırıcı tekniklerin uygulamasını ve teknolojik gelişmelerle birim alandan daha fazla verim elde edilmesini zorunlu hale getirmektedir. Diğer yandan, bu amaçla kullanılan gübreler, hormonlar ve tarım ilaçları gibi çeşitli kimyasallar insan sağlığını ve çevre koşullarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sürecin sonunda, uzun dönemde insan sağlığı ve doğal kaynakların korunmasının yanı sıra, çevreye zarar vermeyen tarımsal teknolojilerin kullanıldığı “tarımda sürdürülebilirlik” anlayışı benimsenmiştir. Sürdürülebilir tarım kavramı, uzun vadeli, çevreyi ve doğal kaynakları koruyan, insan ve hayvan sağlığı bakımından daha güvenilir, üretken ve karlı tarım sistemlerinin oluşturulması olgularını kapsar.

Tarım sektörünün önemli girdilerinden bir tanesi kimyasal gübrelerdir. Kimyasal gübreler, tarımsal ürün maliyetlerinde, %20'ye yakın paya sahip olmakla birlikte, ürün verimliliğini %50 gibi yüksek bir oranda artırabilmektedir. Kimyasal gübre kullanımı konusunda verimliliği arttırmak, maliyetleri düşürmek ve çevre kirlenmesinin önüne geçerek sürdürülebilir tarım yapabilmek için gübreleme yöntemleri ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmaktadır [3]. Geleneksel yöntemlerle yapılan gübreleme ile gerek tarım arazileri gerek yeraltı suları ve gerekse bu ortamda yaşayan tüm canlı sistemleri, kullanılan aşırı kimyasallardan olumsuz bir şekilde etkilenmektedir. Diğer yandan verimsiz kimyasal gübre

kullanımı ürün maliyetlerini de artırmaktadır. Bu bağlamda son yıllarda yeni bir gübreleme yöntemi olarak, “kontrollü salım yapan gübre sistemleri” öne çıkmaktadır [4].

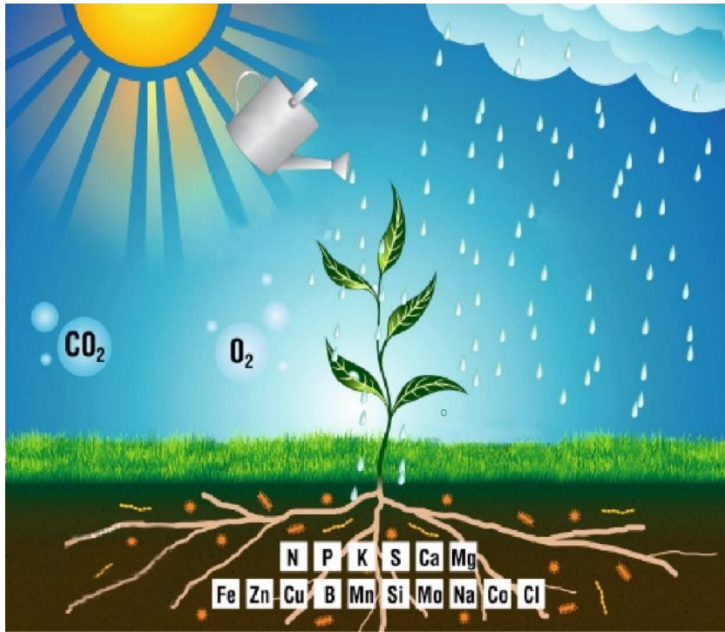
Bu tez çalışmasında, geleneksel gübreleme yöntemlerinde meydana gelen sorunları ortadan kaldırmak amacıyla kontrollü mikro besin elementi salan bir sistem geliştirilmesi hedeflendi. Taşıyıcı malzeme olarak doğal ve biyobozunur polimerlerden sodyum karboksimetil selüloz (NaCMC) ve kappa-karragenan (κ -Karragenan) seçildi. Bu polimerlerden bir seri hidrojel üretilmesi; üretilen bu hidrojellerin karakterizasyonunun yapılması, bu hidrojellere çinko, bakır ve mangan mikro bitki besin elementlerinin yüklenmesiyle hazırlanan bu hidrojel-mikro besin elementi sistemlerinin tarımsal uygulamalardaki etkinliklerinin incelenmesi amaçlandı.

2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde çalışma konumuzla ilgili genel bilgiler alt başlıklar halinde sunulmuştur.

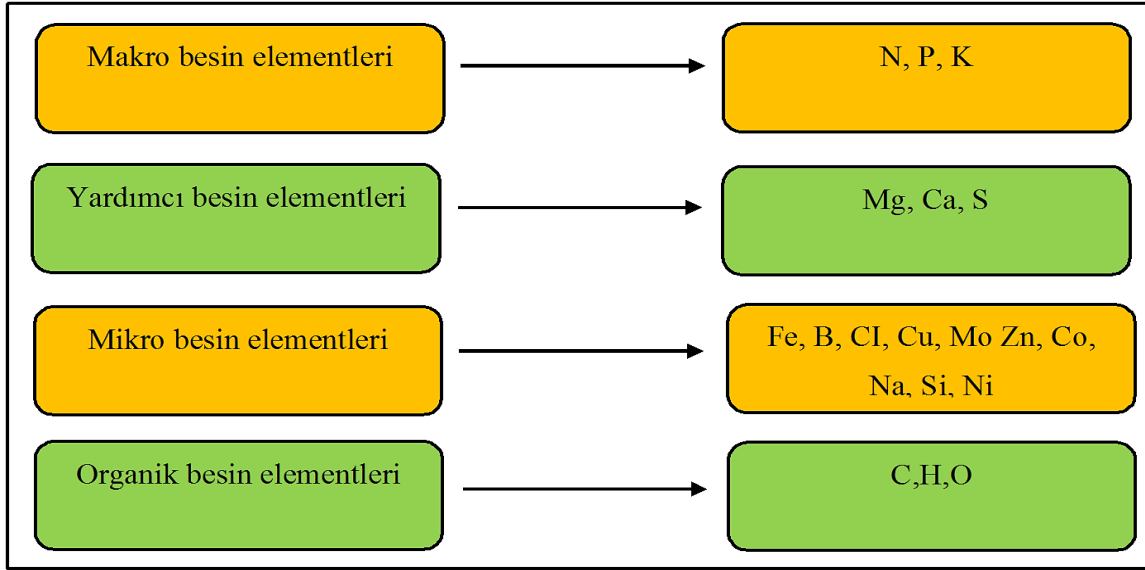
2.1. Bitki Besin Elementleri

Bitkilerin tohum ekiminden itibaren iyi gelişme gösterebilmesi için bitki besin elementlerine, su, hava ve güneş ışınlarına ihtiyaçları vardır. Bunlardan herhangi birinin yokluğu bitkinin gelişimini olumsuz etkiler. Bitki besin elementleri ile bitkinin gelişimini sağlaması için gerekli olan diğer etkenler Şekil 2.1’de şematize edilerek sunulmuştur.



Şekil 2.1. Bitki besin elementleri

Bitki besin elementleri bitki gelişimi için mutlaka gerekli olan elementlerdir ve her biri bitki büyümesinde ve gelişmesinde önemli işlevlere sahiptir. Bitkiler yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek, büyüüp gelişebilmek ve ürün verebilmeleri için gelişme ortamından birçok besin elementi alır [4-5]. Bitki besin elementlerinin sayısı yaklaşık 70 kadar olup içlerinden 20 kadarı bitkiler için mutlak gerekli olan bitki besin elementleridir [6]. Bitki besin elementlerinin genel bir sınıflandırılması Şekil 2.2’de sunulmuştur.



Şekil 2.2. Bitki besin elementlerinin sınıflandırılması

Makro besin elementleri: Bitki bünyesinde fazla miktarda bulunan ve bitki tarafından gereksinimi daha fazla olan elementleridir. Azot, fosfor ve potasyum gübreleme programında kullanılan üç makro besin elementidir. Tarımsal uygulamalarda çok miktarda kullanılırlar.

Yardımcı besin elementleri: Kalsiyum, magnezyum ve kükürt gübreleme programlarında yer alan azot, fosfor ve potasyumdan sonra bitkinin en fazla ihtiyaç duyduğu besinlerdir.

Mikro besin elementleri: Demir, bor, klor, bakır, molibden, çinko, kobalt, sodyum, silisyum, nikel gibi elementlerden oluşur. Bitkiler tarafından çok az miktarda kullanılırlar. Bu nedenle mikro, minor veya iz elementleri adı ile anılırlar. Bu elementlerin çok az miktarda kullanılmaları daha az önemli oldukları şeklinde yorumlanmamalıdır. Eksiklikleri halinde bitki gelişiminde ciddi sorunlarla karşılaşılır [7].

Organik besin elementleri: Karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan organik besin elementlerine bitkiler çok fazla ihtiyaç duyarlar. Genel olarak fotosentez, solunum ve sulama ile bünyelerine alırlar. Bitki besin elementleri yeterli miktarda alınmaz ise bitki gelişimi geriler, ürünün nitelik ve niceliği olumsuz şekilde etkilenir. Besin elementleri bitki tarafından genellikle çözülmüş iyonları şeklinde kullanılabilir. Bitki besin elementlerinin bitki tarafından hangi yapıda alınabileceği ve eksikliği durumunda neler gözlenebileceği Çizelge 2.1’de sunulmuştur [8,9].

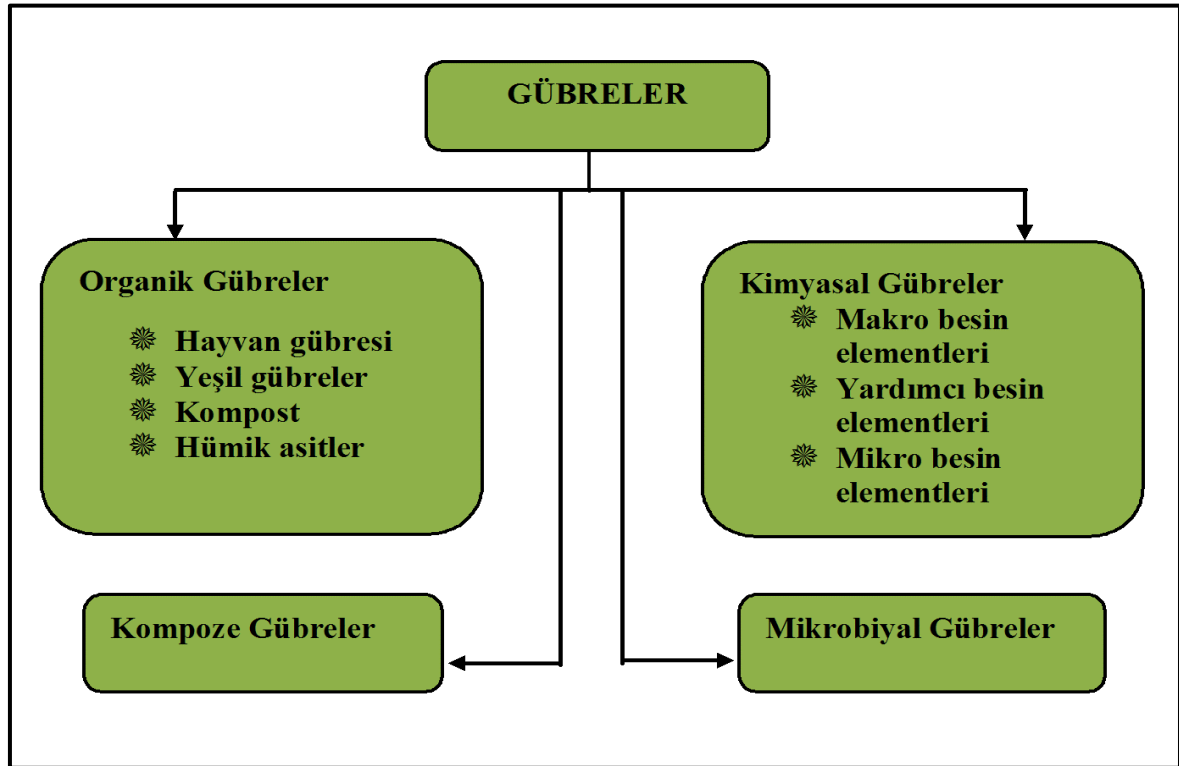
Çizelge 2.1. Bazı bitki besin elementleri ve etkileri

Bitki besin elementi	Bitkilerdeki ortalama miktarı (%)	Bitkinin alabileceği yapı	Eksikliğinin nelere yol açacağı
H	6	H ₂ O	Bitki yaşayamaz.
O	45	O ₂ , H ₂ O	Bitki yaşayamaz.
C	45	CO ₂	Bitkide var olmaz.
N	1,5	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	Bitki gelişimi engellenir, bitkinin rengi sararır.
K	1,0	K ⁺	Dokular gevşer, bitkinin meyve eti yumuşak, meyve kabuğu kalın olur.
P	0,2	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	Kök gelişmesi engellenir, saplar uzar ve bitkinin olgunlaşması gecikir.
Mg	0,2	Mg ²⁺	Klorofil miktarı düşer ve fotosentez geriler.
Ca	0,5	Ca ²⁺	Bitki köklerinin dayanıklılığı azalır.
S	0,2	SO ₄ ²⁻	Bitki yapraklarında tek düze klorotoik görünüm oluşur
Zn	5x10 ⁻³	Zn ²⁺	Bodur büyüme gözlemlenir. Tomurcuk teşekkülü azalır.
Fe	2x10 ⁻²	Fe ³⁺ , Fe ²⁺	Yapraklarda sararma ve yukarı doğru kıvrılma gözlemlenir.
Mn	5x10 ⁻³	Mn ²⁺	Bitki yapraklarında sararmalar görülür.
B	2x10 ⁻³	BO ₃ ³⁻ , B ₄ O ₇ ²⁻	Köklerde koyu lekeler, saplarda çatlamalar görülür.
Cu	6x10 ⁻⁴	Cu ²⁺	Bodur büyüme gözlemlenir, hastalıklara karşı direnç azalır.
Mo	1x10 ⁻⁵	MoO ₄ ²⁻	Azot eksikliği gibidir.

2.2. Gübreler

Besin elementleri, bitki gelişiminin önemli bir parçasıdır. Eksiklikleri, tarımsal uygulamalarda verimi ve kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle optimum verim için dengeli gübreleme yapmak ve besin eksikliğini gidermek şarttır. Gübre, içerisinde bir veya birkaç bitki besin maddesini bir arada bulunduran bileşiklerdir. Gübreleme ise; kaliteli ürün elde etmek, verimliliği arttırmak ve sürdürülebilmek için topraktaki eksik olan elementlerin toprağa verilmesidir.

Gübre kullanımı özellikle bitkinin mevcut besin eksikliğini gidererek, kök ve sürgün gelişimini hızlandırıp bitki büyümesinin artırılarak bitkinin düşük sıcaklık ve hastalıklara karşı daha dirençli olmasını sağlar. Tüm bu ihtiyaçların karşılanması için su kaynaklarının ve toprak verimliliğinin iyi kullanılması gereklidir. Yeterli bitki besini elde edilebilmesi için sürdürülebilir tarım çalışmaları da geliştirilmelidir. Bütün bu ihtiyaçların karşılanması için su kaynaklarının ve toprak verimliliğinin iyi kullanılması gereklidir. Gübrelerin sınıflandırılması Şekil 2.3’de verilmiş ve bu sınıflara ait genel özellikler alt başlıklar halinde sunulmuştur [10,11].



Şekil 2.3. Gübrelerin sınıflandırılması

Organik gübreler: Tarımda organik gübre kullanımı ile toprağa daha dengeli besin maddesi sağlanır ve böylece bitkinin sağlıklı şekilde büyümesi kolaylaşır. Bu gübreler kimyasal gübrelere göre toprak verimliliğini daha fazla artırarak, toprağı ve çevreyi daha az kirletir [12,13].

Hayvan gübresi: Ahır ve kümes hayvanlarının katı ve sıvı dışkıları ile yataklık malzemenin karışımından elde edilen materyallere denilmektedir. Ahır gübrelerinin en önemli özelliğı zengin mikroorganizma kaynağı olmalarıdır [14].

Yeşil gübreler: Herhangi bir bitkiden önce ekilerek yetiştirilen ve erken hasat edilerek toprağa karıştırılan bitkidir. Yeşil gübre kullanımındaki amaç, toprağın organik madde içeriğini zenginleştirerek fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirmektir [15].

Kompost: Bitki besin elementleri içeren su tutma kapasitesi ve organik madde miktarı yüksek materyallere kompost denir. Bitkisel ve hayvansal kaynaklı kısmen parçalanmış, tarımsal, endüstriyel ve şehir atıkları kompost olabilir [16].

Hümitik asitler: Topraktaki canlı, cansız ya da çürümüş olan tüm organik maddelerin parçalanması sonucu oluşan son ürünlerdir.

Kimyasal gübreler: Gübreler içerisinde en sıklıkla kullanılan türdür. Bunlara yapay veya ticari gübreler de denilmektedir. Kimyasal gübreler, bileşimlerinde bir veya birden fazla bitki besin maddesini bir arada bulundururlar. Organik gübrelerinden farklı olarak yüksek miktarda bitki besin elementi içerir ve suda kolayca çözünürler.

Kompoze gübreler: Kompoze gübreler birden fazla bitki besin maddesini içerir. Bu durum, gübre uygulamalarında kolaylık ve ekonomik kazanç sağlarlar. Ancak içinde bulunan bitki besin maddeleri oranının, ekilecek bitkinin isteğine her zaman uygun olmaması çözülmesi gereken bir sorundur [13,15].

Mikrobiyal gübreler: Tarımsal gübrelemede kullanılabilecek en önemli gübreler arasında mikrobiyal gübreler gelmektedir. Bu gübreler toprak ve bitki için gerekli olan mikroorganizmaları içermektedir. Mikroorganizmalar topraktaki minerallerin bitki besini haline gelmesini sağlamaktadır [17,18].

2.3. Mikro Besin Elementleri

Bitki bünyesinde çok az bulunmasına karşın önemli işlevlere sahip elementler, mikro besin elementi olarak adlandırılmaktadır. Bu grup elementlerinin bitkiler için mutlaka gerekli besin maddeleri olduklarının anlaşılması, makro besin elementlerine göre oldukça geç olmuştur [19-20]. Bunun birçok sebebi vardır. Özellikle makro besin elementlerini içeren kimyasal gübrelerin kullanılmadığı veya az kullanıldığı zamanlarda, düşük verimli bitkisel üretim için toprakta bulunan mikro besin elementlerinin miktarı yeterli gelmekteydi. Ancak tarımda kimyasal gübrelerin yoğun bir şekilde kullanılmasından sonra, mikro elementlerin noksanlıklarının yol açtığı sonuçlar görülmüş ve dolayısıyla bu elementlerinin bitkiler için mutlak gerekli olduğu anlaşılmıştır.

Mikro besinlerin bitkide çok az miktarda bulunması ve analiz tekniklerinin yeterli olmayışı nedeniyle bu elementlerin saptanması uzun yıllar doğru yapılamamıştır. Dolayısıyla mikro besinlerin bitkiler için ne kadar gerekli olduklarının anlaşılmasında geç kalınmıştır. Bu elementlerin önemi şöyle örneklenebilir: Mesela bitkiler için yeterli olabilecek çinko miktarı, azotun binde biri kadardır. Ancak çinko noksanlığı da ürün verimini azot noksanlığı kadar düşürebilmektedir. Oysa bitkinin çinko ihtiyacının karşılanması için verilecek çinkolu gübre miktarı oldukça azdır. Az olduğu için de pratikte bazen ihmal edilmekte ve büyük ürün kayıplarına yol açmaktadır. Birçok durumda bitkisel üretimdeki bir mikro element noksanlığı anlaşılamamakta; verim düşüklüğü başka bazı faktörlere bağlanmaktadır. Bu nedenle mikro besin elementi noksanlıklarının tanınması en az azot, fosfor ve potasyum noksanlıklarının tanınması kadar önemlidir. Çizelge 2.2’de mikro besin elementlerinin eksikliklerinin sonuçları görsel olarak sunulmuştur [21,22].

Çizelge 2.2. Mikro besin elementlerinin eksikliklerinin belirtileri

Element	Görünüm	Eksikliklerinin Belirtileri
Bor		Yapraklarda kıvrılma, kalınlaşma ve mavi-yeşil renk oluşumu.
Mangan		Yapraklarda damarlar arasında sararma
Bakır		Bodur büyüme, genç yapraklarda ve gövdede kıvrılıp bükülme, çürüme ve solma.
Molibden		Yaprak kenarlarında sararma ve düşük dereceli yanıklık.
Demir		Yapraklarda tamamen sararma veya yaprak damarları ile birlikte sarımsı-yeşil renk oluşumu.
Çinko		Yaprak damarları arasında açık yeşil, sarı veya beyaz renk oluşumu, yaprak kenarlarında ise yanıkların gözlenmesi.

Bu tez çalışmasında mikro besin elementlerinden bakır, çinko ve mangan üzerine çalışıldığı için bu elementlere ait genel bilgiler alt başlıklar halinde sunulmuştur [19,23].

2.3.1. Bakır

Bakır bitkide klorofil ve hücre duvarının oluşumunda görev alır. Fotosentezde etkili olup karbondioksit alımını düzenler. Polifenol oksidaz, monofenol oksidaz, laktaz ve askorbik asit oksidaz gibi birçok enzimin yapısında bulunur ve protein sentezi için önemlidir. Bitkiler bakırı, Cu^{2+} iyonu şeklinde bünyelerine alırlar. Bitkilerde 1-25 ppm aralığında bulunur, hem bitkilerin sağlığı hem de insan ve hayvanların beslenmesi açısından önemlidir. Bakırın bitkilerdeki miktarını bitki türü, bitkinin yaşı, mevsim ve toprak özellikleri etkilemektedir. Bakır noksanlığı genellikle yıkanmış ve aşırı kireçli topraklarda görülmektedir [23,24].

2.3.2. Çinko

Çinko, bitkinin mutlak ihtiyaç duyduğu önemli bir bitki besin elementidir. Bitkide birçok metabolik faaliyette rol oynar. Oksinlerin üretiminde görev alır, bitkilerdeki RNA polimeraz, alkalın fosfotaz, fosfolipaz ve karboksipeptidaz gibi birçok enzimin yapısında mevcuttur. Böylece birçok enzim sistemi, çinko tarafından aktif hale gelir. Ayrıca bitki büyümesini sağlayan enzim sisteminin de bir parçasıdır. Karbonhidrat metabolizmasında görev alır. Eksikliğinde, RNA sentezi azalır, protein üretimi yavaşlar ve bitkideki ürün kaybı artar. Bitkiler çinkoyu, Zn^{2+} iyonu şeklinde bünyelerine alırlar ve 2-200 ppm aralığında ihtiyaç duyarlar. Çinko orta dereceli asitli topraklarda çözünür. Organik madde bakımından fakir topraklarda noksanlığı yaygındır [24,25].

2.3.3. Mangan

Mangan bitkide klorofil oluşumuna yardım eder. Bitkide enzimatik ve fizyolojik olaylarda katalizör görevi üstlenir. Karbonhidratların suya ve karbondioksite parçalanmasında ve solunum olaylarında görev almaktadır. Bitkiler manganı, Mn^{2+} iyonu şeklinde bünyelerine alırlar. Bitkilerdeki mangan miktarı diğer elemanlardan daha fazla değişiklik gösterir. Yaprak dokularında 20-10000 ppm aralığında bulunur. Mangan alımını toprak pH sı, toprak mineralleri, asitlik, havalandırma ve organik madde miktarı etkiler. Düşük pH da mangan alımı çok kolay olmakta, yüksek pH'lı topraklarda ise mangan noksanlığı görülmektedir.

Mangan hareketliliği az olan bir elementtir, bundan dolayı noksanlık belirtileri ilk olarak genç yapraklarda gözlemlenir [19,23,25].

2.4. Geleneksel Gübreleme Yöntemleri

Gübrelerden en iyi şekilde yararlanabilmek için sadece kullanılacak gübre çeşidi ve miktarını bilmek yeterli olmaz. Elde edilmek istenen faydanın artırılması için toprağa uygulanması gereken zamanın ve yöntemin de doğru şekilde yapılması gerekir. Gübreler toprağa genellikle aşağıda anlatılan şekilde uygulanır [13,26].

Serpme: Gübrenin elle veya gübre dağıtıcı aletlerle toprak yüzeyine serpilerek uygulanmasıdır.

Banda verme: Gübreler ekimden önce tohum veya fidenin 3-5 cm altına elle ya da makinelerle uygulanır.

Üstten veya yandan verme: Bitki çimlendikten sonra bütün sahaya uygulanır.

Püskürtme: Bünyesinde bitkinin alabileceği formda bitki besin maddesi içeren sıvı haldeki gübre yapraklara püskürtülür. Genellikle mikro besin elementleri bu yolla uygulanır.

Fertigasyon: Bitkilerin gübre kullanım etkinliğinin artırılması amacı ile geliştirilen yöntemlerin başında gelmektedir. Bitki besinlerinin sulama suyuna katılarak toprağa uygulanması anlamına gelen fertigasyon, gübre etkinliğinin artırılmasında kullanılan önemli bir yöntemdir.

Geleneksel gübreleme yöntemlerinin dezavantajları şöyle sıralanabilir [13,27,28]:

- ✿ Geleneksel yöntemler uygulandığı zaman tarım kimyasalları genellikle süzülme, buharlaşma ve parçalanma etkilerine maruz kalmaktadır. Böylece önemli miktarda gübre kayıpları söz konusu olmaktadır.
- ✿ Toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bozulması nedeniyle erozyonla toprak kaybı olmakta ayrıca gübrelerin topraktaki ilerleme hızları artmaktadır.

- ✱ Aşırı gübre kullanımı bitki besinleri arasındaki dengenin bozulmasına, toprağın yoksullaşmasına, tuzlanmasına ve çoraklaşmasına neden olur.

Doğal kaynakların, çevrenin, toprak kalitesinin korunabilmesi aynı zamanda sürdürülebilir tarım için uygulanan gübrenin sürekli takip altında tutularak toprağın belirli dönemlerde analiz edilmesi gerekir, bunun yanında uygun sulama programlarının geliştirilmesi de yeraltı sularına geçebilecek gübre miktarını azaltabilir.

Geleneksel gübreleme yollarıyla verilen bitki besin elementlerinden bitkilerin yararlanabilme oranları genellikle çok düşüktür [29]. Toprağa doğrudan uygulanan besin elementlerinin önemli bir kısmı sulama ve yağmur ile çok yüksek bir hızda alt katmanlara doğru ilerlemekte ve kısa sürede bitki kök hizasını aşarak yeraltı sularına karışmaktadır. Bir yılda bazı bileşik ve iyonların toprakta ilerleme mesafeleri şöyle örneklenebilir [30,31]:

NH_4^+ ve üre: 12-15 cm;

H_2PO_4^- ve HPO_4^{2-} : 1-3 cm;

NO_3^- : 20-25 cm;

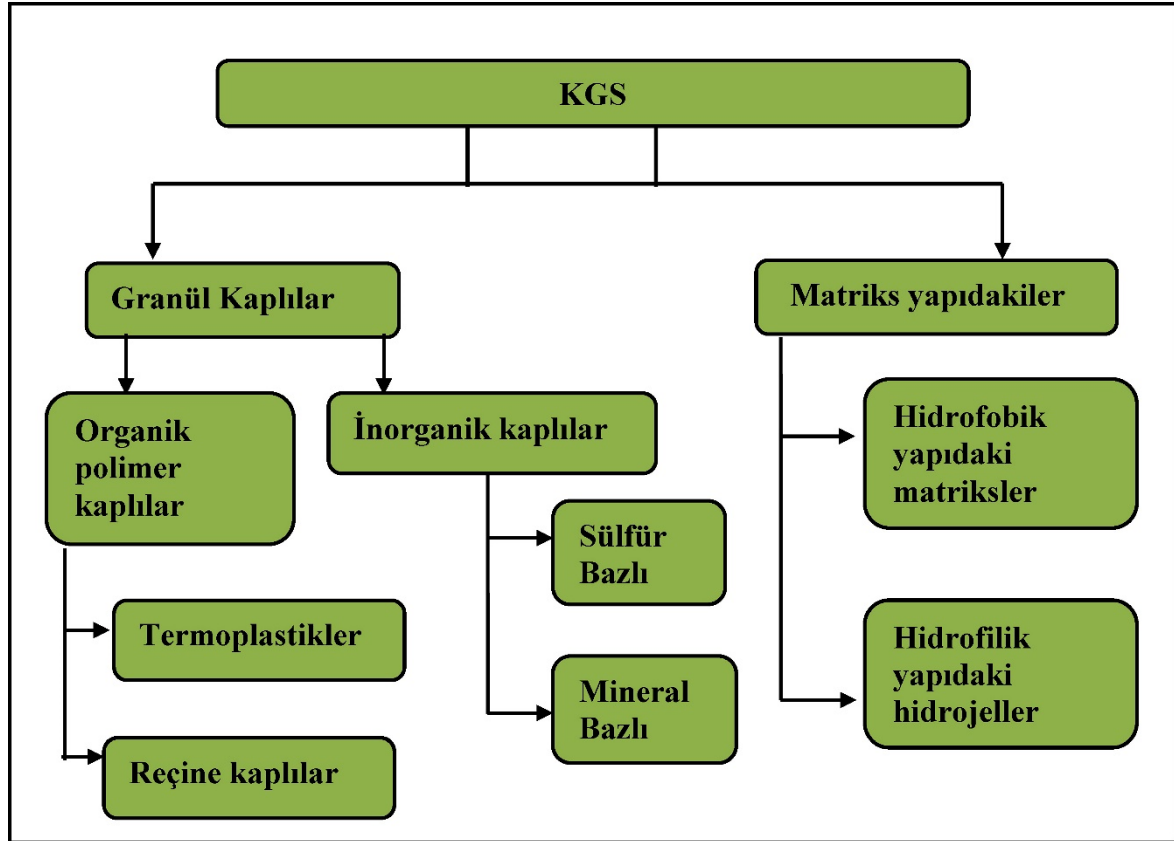
K^+ : 5-8 cm

Gerek çözünme sorunları ve gerekse toprakta ilerleme hızlarına dayanarak hesaplanan, bitkilerin bir yılda inorganik gübrelerden yararlanma yüzdeleri; azot temelli gübrelerde yaklaşık %50-60, fosfat temelli gübrelerde yaklaşık %10-25, potasyum temelli gübrelerde ise yaklaşık %50-60 olarak verilmektedir. Geleneksel gübreleme yöntemlerinde, karşılaşılan sorunları aşmak amacıyla kontrollü gübre salımı yapan sistemler geliştirilmiştir [13,26,30].

2.5. Kontrollü Salım Gübreleri

Kontrollü salım, etkin maddenin bir sistem içerisinde istenilen sürede, belirlenmiş bir hızla ve gereken miktarda salımın gerçekleştiği bir yöntemdir. Tıp, eczacılık, kimya, çevre, tarım ve veterinerlik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Salım hızının ve yolunun daha etkin bir şekilde kontrol edilebilme özelliğine sahip olan sistemlere, kontrollü gübre salım sistemleri (KGS) denilmektedir [32]. Bu sistem, bir kez uygulanmakta ve sezon boyu bitkinin neye ne kadar ihtiyacı varsa o kadar besin vererek daima sağlıklı kalmasına yardımcı olarak bitkinin dengeli büyümesini sağlamaktadır. KGS genel bir sınıflandırması Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. KGS sınıflandırılmasının şematik gösterimi

Gübrelerin aşırı kullanımları sonucu meydana getirdikleri olumsuzlukları azaltmak için besin maddelerinin tarımsal gübrelemede kontrol altında tutulması gerekir. Tarım kimyasalları matriks yapıların içerisine hapsedilerek veya polimerik malzemelerle kaplanarak KGS'ler hazırlanmaktadır. Böylelikle gübre salımı kontrol altına alınır, gübre kayıpları ve çevre kirliliği en aza indirgenebilir. KGS'de salım genellikle difüzyon kontrollüdür [32,33].

Granül kaplılar: Organik polimer kaplılar ile inorganik kaplılar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kaplama malzemesi, yüksek yağış ve sulama sonucu gübrenin yeraltı sularına geçmesini engeller. Ancak kullanılan kaplama malzemeleri çevre kirliliğine ve yüksek üretim

maliyetine sebep olmamalıdır. Kullanılacak kaplama malzemesi aynı zamanda doğada çabuk bozunur formda olmalıdır. Bitki besin maddeleri genellikle ucuz olan plastik, kil, poliestere gibi kaplama malzemelerine hapsedilir.

- ✱ Organik polimer kaplılar: Termoplastik ve reçine kaplılar olmak üzere ikiye ayrılır. Bu ürünlerde çözünebilir azot taşıyıcıları, toprak çözeltisine yavaş yavaş difüze oldukları termoplastikle veya reçineyle kaplıdır. En büyük avantajı sadece azota değil toprağın ihtiyacı olan birçok önemli besine sahip olmalarıdır.
- ✱ İnorganik kaplılar: Sülfür ve mineral kaplılar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Üre kaplama için kullanılan çok sayıda polimerik malzemeye nazaran, biyolojik olarak parçalanabilir. Ürenin kükürtle kaplanması ürenin çözünürlüğünü yavaşlatır. Ayrıca kükürt, topraktaki kükürt bakterileri tarafından sülfatlara dönüştürülerek bitkilerin kullanabileceği hale gelir. Bu gübreler, toprak sıcaklığına ve malzeme kalınlığına bağlı olarak 1-10 ay içerisinde besin maddelerini toprağa bırakırlar. Bu tip gübreler çok yağış alan kumsal topraklar için uygundur.

Matriks yapıdakiler: Hidrofobik ve hidrofilik yapıdakiler olmak üzere ikiye ayrılır. Hidrofobik yapıdakilerde polipropilen, polimetilmetakrilat gibi polimerler, hidrofilik yapıdaki hidrojellerde ise kitosan, jelatin, nişasta, selüloz, aljinat gibi bazı biyobozunur polimerler matriks malzemesi olarak seçilir. Bu polimerler biyomedikal, ilaç uygulamaları yanında tarım alanında da sıklıkla kullanılmaktadır. Bu malzemeler su tutma kapasiteleriyle daha kurak topraklarda yetişen bitkinin su ihtiyacını da karşılar. Hidrofilik gruplara sahip olan hidrojeller, hidrofobik yapıdaki matrikslere göre daha yüksek derecede şişerler. Hidrofobik gruplar, suyun bulunduğu ortamlarda kendi içlerine kapanarak su moleküllerinin yapıya nüfuz etmesine engel olur [32]. Matriks sistemlerde gübre polimer içinde dağıtılmıştır ve zaman içinde salım ortamında matriksten dışarı difüzyonlanır. Matriks sistemlerin hazırlanması kolay ve ucuzdur. Bu sistemlerde difüzyon hızı sabit olduğundan, derinlerdeki gübrenin matriksten çıkması çok daha uzun zaman alır, dolayısıyla salım hızı düşer. Sürdürülebilir tarım amacıyla geliştirilen KGS nin avantajları [32,34] :

- ✱ Büyüme dönemi boyunca kök bölgesine sürekli besin salımı yapar,
- ✱ Tek bir kolay uygulama ile en iyi beslenme elde edilir,

- ✱ Bitki gereksinimini tam anlamıyla karşılar,
- ✱ Uygulama miktarları azdır,
- ✱ Yıkılarak arınma kayıplarını en aza indirgenir,
- ✱ Yeraltı sularında kirlenme yapmaz,
- ✱ Sulama fazlalığına gerek yoktur.

2.6. Hidrojeller

Hidrojeller, su içerisinde çözünmeden şişebilme özelliğine sahip, çapraz bağlı, üç boyutlu ağ yapılı polimerlerdir. Su içeriği kendi kütlesinin %100 ünden fazla olan hidrojellere de süper absorbant denir. Yapılarında çok fazla miktarda su bulundurma, yumuşak ve esnek olma gibi birçok fiziksel özelliklerden dolayı hidrojeller, canlı dokularla karşılaştırıldıklarında büyük bir benzerlik gösterirler [35].

Hidrojeller, su sever olmalarından dolayı hidrofilik polimerler olarak da adlandırılırlar. Üç boyutta çapraz bağlanmalarla oluşan ağ yapısındaki bağlar fiziksel veya kimyasal olabilir. Bir polimerin hidrojel özelliği gösterebilmesi için ana zincirinde ya da yan dallarında hidroksil, karboksil, karbonil, amin ve amid gibi hidrojen bağı oluşturabilme yeteneğine sahip su sever grupların bulunması gerekir. Bu gruplardan dolayı bağlı duruma geçen su nedeniyle çapraz bağlı polimer hacim ve kütle artışıyla şişmeye başlar. Çapraz bağlı polimerdeki su sever grupların fazla sayıda olması daha fazla şişmeye sebep olur [36].

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.

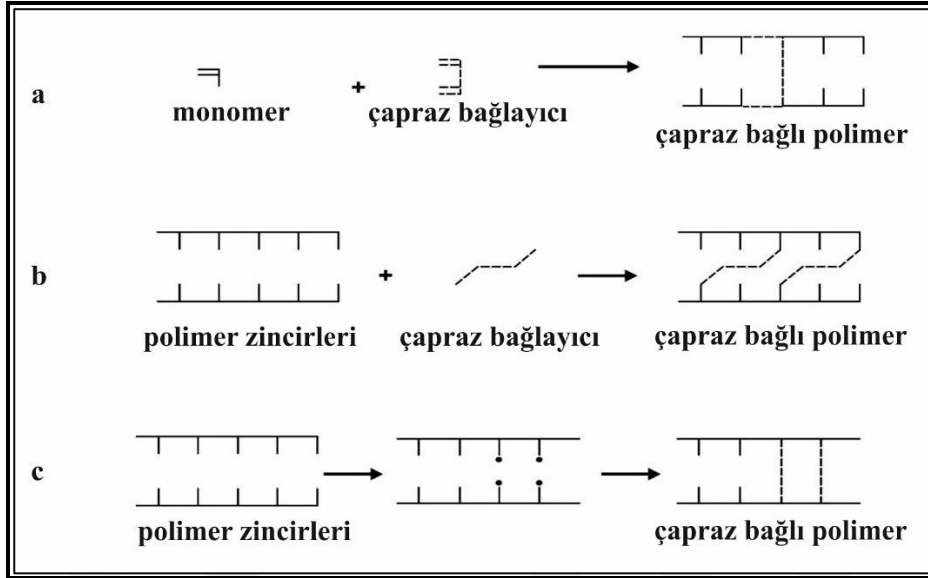
2.6.1. Hidrojellerin sınıflandırılması

Polimerik hidrojeller, hazırlama yöntemlerine, iyonik yüklerine, fiziksel yapılarına ve çapraz bağlanma durumlarına bağlı olarak sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırma Çizelge 2.3'te şematik olarak gösterilmiş ve önemli hidrojel türlerinden bazıları alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

Tek bir hidrofilik monomerden oluşturulan hidrojelere homopolimer hidrojeller denir. İki monomerin çapraz bağlanması ile hazırlanan ve monomerlerinden en az bir tanesi hidrofilik yapıda olan hidrojelere ise kopolimer hidrojeller denir. Çapraz bağlanma kovalent ya da iyonik olarak gerçekleşebilir [36,37].

Çizelge 2.3. Hidrojellerin sınıflandırılmaları

✕	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
—	Kasyonik (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 %) hidrojeller
❖	Süper-absorbant (>99,5 %) hidrojeller
✕	Kimyasal kararlılıklarına göre
❖	Biyobozunur hidrojeller
❖	Biyobozunmayan hidrojeller



Şekil 2.5. Kimyasal hidrojellerin oluşum tepkimeleri

Çapraz bağlanma durumlarına göre hidrojeller; kimyasal hidrojeller ve fiziksel hidrojeller olarak ikiye ayrılırlar [38,39].

Kimyasal hidrojeller: Zincirler arası kuvvetli kimyasal bağlarla çapraz bağlanmanın gerçekleştiği hidrojellerdir. Sıcaklık, pH ya da çözücü bileşiminin değişmesi ile zincirler birbirlerinden ayrılamaz.

Şekil 2.5'te kimyasal hidrojellerin oluşum tepkimeleri sunulmuştur. Tepkime, monomerdan polimer oluşumu sırasında çapraz bağlayıcının ana zincirde yer alması şeklinde olabileceği gibi (a), oluşmuş polimer zincirlerinin çapraz bağlayıcı ile kovalent bağlarla bağlanması şeklinde de (b) olabilmektedir. Ayrıca çapraz bağlayıcı kullanılmaksızın, iyonlaştırıcı ışınlar ile çapraz bağlanma (c) gerçekleştirilerek de kimyasal hidrojel elde edilebilmektedir. İyonlaştırıcı ışınlar, suda ve havada basit molekülleri iyonlaştıracak kadar enerji taşıyan elektromagnetik yayınımlardır. Şekil 2.5.a'da verilen tepkimede, çapraz bağlayıcı olarak N,N'-metilenbisakrilamid, etilen glikol dimetakrilat, 1,4 bütandiol dimetakrilat gibi iki fonksiyonlu veya trimetilol propantriakrilat, trimetilol propantrimetakrilat gibi üç fonksiyonlu çapraz bağlayıcılar kullanılabilir. Şekil 2.5.b'de verilen tepkime tiplerinde glutaraldehit, formaldehit, asetaldehit gibi çapraz bağlayıcılar kullanılmaktadır [40,41].

Fiziksel hidrojeller: Zincirler arası hidrojen bağları, iyonik bağlar, koordinasyon bağları, hidrofobik etkileşimler gibi çapraz bağlanmalar sonucu polimer zincirleri arasındaki fiziksel

etkileşimler ile oluşan hidrojellerdir. Bunlar sıcaklık, pH ya da çözücü bileşiminin değişmesi ile homojen bir çözelti oluştururlar.

İyonik etkileşimler sonucu hidrojel oluşumunda, zıt yüklü iki polimer arasında veya zıt yüklü bir çapraz bağlayıcı ile polimer arasında medyana gelen yük etkileşimleri sonucu hidrojel oluşumu gerçekleşir [37,39].

2.6.2. Hidrojellerde suyun konumu ve şişme davranışları

Hidrojellerdeki hidrofilik gruplar, su ile etkileşerek hidrojen bağlarını oluşturur. Bağlı duruma geçen su moleküllerinin varlığı ile hidrofilik fonksiyonel gruplar çevresinde kütsel bir büyüme olur ve çapraz bağlı polimer şişmeye başlar. Hidrofilik grupların fazlalığı ile şişmenin miktarı arasında bir ilişki vardır. Şişmiş bir hidrojelde üç tür su bulunmaktadır [42,43].

- ✱ *Bağlı su:* Polimerin polar grupları ile hidrojen bağları yapan sudur.
- ✱ *Ara yüzey suyu:* Polimerin hidrofobik grubu çevresinde toplanan ve sıkıca bağlı olmayan sudur.
- ✱ *Serbest ya da kütle suyu:* Polimerin gözeneklerini dolduran su, normal su gibi davranır ve polimerle etkileşmez.

Şişme, polimer yapısındaki belirli bir hacmin ani değişimidir. Şişme yalnızca küçük çözücü moleküllerinin polimerin gözeneklerine ve boşluklarına dolarak polimer fazına geçmesi olayı değildir.

Şişme sırasında çözücü molekülleri yapısal boşluklara girerken, polimerin süper moleküler yapılarının arasını zorla açar. Buna yapılar arası şişme denir. Eğer çözücü molekülleri, yapıların içine girerse, makromoleküller zorla açılır. Buna da yapı içi şişme denir. Çözücü içeri girerken, polimer yapısı yavaş yavaş birbirinden ayrılır ve çözeltide içinde çözücü bulunan oynak bir polimerik ağ yapı meydana gelir.

Şişme sınırlı veya sınırsız olabilir. Sınırsız şişme kendiliğinden çözeltiye dönüşen şişmedir. Böyle bir olaya çözünme denir. Sınırlı şişme ise küçük moleküllü sıvılar ile polimerlerin

etkileşmesidir. Sıvıların polimer tarafından tutulma aşaması sınırlandığı zaman, polimerin kendiliğinden çözünmesi mümkün olmaz yani polimer zincirleri tam olarak ayırlamaz [44,45].

2.7. Hidrojellerin KGS Sistemlerinde Kullanımları

Bu bölümde hidrojellerin KGS sistemlerinde kullanımı ile ilgili önemli bazı çalışmalar sunulmuştur.

KGS sistemleri ile ilgili ilk çalışmalardan birisi, Rindt, Getsinger ve Blouin tarafından yürütülmüştür. Bu çalışmada, sülfür kaplı üre elde edilmiş; kaplama miktarı ile şişme değerlerinin etkisi araştırılmıştır. Kaplama arttıkça, şişme değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir [46].

Liang, Liu ve Wu üre-formaldehit ve polifosfat potasyum gübreleri içeren poli(akrilik asit-co-akrilamid)/kaolin kompozitlerini üretmiştir. Kompozitlerin içerisinde bulunan N, P ve K miktarları, kompozitlerin toprakta su tutma kapasiteleri, şişme yüzdeleri ve salıma sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Ürüne NPK eklenmesiyle su tutma kapasitesinin arttığı, fazla şişme yüzdesine sahip kompozitin yavaş salım hızına ve yüksek su tutuculuğuna sahip olduğu tespit edilmiştir [47].

Wua ve Liu kitosan kaplı NPK karışımli gübrelerin kontrollü salımını gerçekleştirmiştir. Bunun için kitosan ve poli(akrilik asit-co-akrilamid) katmanlı NPK kaplı gübreler üretmiştir. NPK salımı, atomik absorpsiyon spektrofotometresi ve elementel analiz yöntemiyle takip edilmiştir. Oluşturulan yapının tarımsal uygulamalarda kullanılabileceğini önermiştir [48].

Chen ve arkadaşları aşı kopolimerizasyonu ile nişasta/poli(L-laktik) kopolimerini hazırlamış, bu taşıyıcı materyale üre gübresini yüklemişlerdir. Şişme ve salım sonuçlarına göre; hidrofobik poli(L-laktik)'in varlığının şişmeyi ve salım hızını azalttığı, salımın kontrollü gerçekleştiği; SEM görüntülerinden ürenin, yapı içerisine eşit oranda dağıldığı ve salımın difüzyon mekanizmasıyla gerçekleştiği saptanmıştır [49].

Wu Chin-San'ın polibütillen süksinat/nişasta kompozitini hazırladığı çalışmada, polibütillen süksinatın matriks yapının mekanik özelliğini geliştirdiğini saptamıştır. Ayrıca aşı

kopolimerizasyonu ile polibütülen süksinat-g-akrilik asit/nişasta kompoziti sentezlenmiştir. Daha sonra polibütülen süksinat ve polibütülen süksinat-g-akrilik asit/nişasta kompozitine gübre hapsedilmiştir. Nişasta miktarıyla, kompozitin biyobozunurluğunun ve gübre salımının arttığı saptanmıştır [50].

Zheng, Liang, Ye ve He ürettikleri poli(sodyum akrilat) hidrojellerinin kontrollü üre salım sistemi için taşıyıcı malzeme olarak kullanılmasını amaçlamıştır. Çapraz bağlanma miktarının, üre salımına etkisini araştırmış ve çapraz bağlanmanın artmasıyla salımın azaldığı saptanmıştır. Ayrıca hidrojin salım kinetik araştırılması da yapılmıştır [51].

Singh, Sharma, Kumar, ve Gupta nişasta-aljinat boncuklar hazırlayarak bu boncuklardan bakteri öldürücü olarak kullanılan thiramin salımını gerçekleştirmişlerdir. Absorban olarak farklı miktarlarda kaolin ve bentonit kullanılmışlar ve farklı bileşimlere sahip boncuklar hazırlamışlardır. Ürün karakterizasyonu FTIR, SEM ve EDAX ile yapılmıştır. Ayrıca şişme özellikleri araştırılmış ve bentonit bazlı boncuklardaki salım hızının kaolin bazlılara göre daha yavaş olduğu saptanmıştır [52].

Céspedes, García, Sánchez ve Pérez herbisitlerin toprakta yavaş salımını sağlamak amacıyla aljinat temelli kontrollü salım sistemlerini geliştirmiştir. Bu çalışmada, bentonit ve antrasit modifiye ajanlar olarak kullanılmıştır. Topraktaki salım araştırılmasında, antrastin, bentonite nazaran salım hızına olumlu etki sağladığı saptanmıştır [35].

Riyajan Sasithornsonti ve Phinyocheep hidrofilik yapıdaki doğal kauçuk ve modifiye edilmiş bitki nişastası kopolimeri (NR-g-ST) hazırlamışlardır. Çalışmada iyi bir kontrollü üre salım sistemi gerçekleştirmek amacıyla malzemenin mekanik özellikleri, termal özellikleri ve morfolojisi araştırılmıştır. Sonuçlara göre bitki nişastası miktarının artmasıyla şişme yüzdesinin azaldığı saptanmıştır. Hazırlanan bu materyalin toprakta kolay degradasyona uğradığı ve su tutma kapasitesinin iyi olduğu belirlenmiştir [53].

Wu Chin-San akrilik asit-g-polilaktik asit ve mısır nişasta (CS) içeren bir kompozit (PLA-g-AA/CS) hazırlayarak malzemenin biyobozunurluğunu, mekanik özelliklerini ve morfolojisini araştırmıştır. Hazırlanan bu materyale fosfat içeren mikrobiyal gübre (PSB) hapsedilmiştir. Salım sonuçlarına göre gübre, hücre salımından dolayı polilaktik asitte ve

polilaktik asit-g-akrilikasit/mısır nişastası kompozitinde tamamen degradasyona uğradığı ve kompozitin polilaktik asite göre toprakta daha hızlı parçalandığı saptamıştır [54].

Perez ve Francois kitosan-niştasta çözeltisini, sodyum trifosfat çözeltisine damlatarak hidrojel boncuklar hazırlamışlardır. Kitosan miktarı ve çapraz bağlanma süresi arttıkça, şişme değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Hidrojellere potasyum nitrat gübre yüklenmesi yapılarak salım çalışmaları yürütülmüştür. Hidrojellerin 14 günde sabit salım değerlerine geldiği ve salım değerlerinin % 70-93 arasında değiştiği belirlenmiştir [55].

Xiaodi ve arkadaşları azot ve fosfat gübresi yüklü, buğday samanı temelli semi-IPN hidrojellerini üretmişlerdir. Şişme ve salım değerlerinin tuz çözeltilerine (NaCl, KCl ve CaCl₂), iyonik şiddete ve pH'ya etkisi araştırılmıştır [56].

Azeem, KuShaari ve Man üre gübresini niştasta-polivinil alkol kompoziti ile kaplamıştır. Kaplama kalınlığının, salım hızına ve kinetiğine etkisini araştırmış, kaplama arttıkça salım hızının azaldığını tespit etmiştir [57].

2.8. Biyobozunur Polimerler

Biyobozunur polimerleri tam olarak anlayabilmek için öncelikli olarak bazı teknik terimlerin tanımını yapmak gereklidir [36,54].

Parçalanma: Malzemelerinin çeşitli fiziksel bozunma ile çok küçük parçalara ayrılmasıdır.

Bozunma (degradasyon): Malzemenin kimyasal yapısında geri dönüşümsüz olarak meydana gelen, genellikle bütünlük, yapı, molekül ağırlığı ve mekanik davranışı gibi özelliklerindeki gözlenen azalma ile tanımlanabilen belirgin değişikliktir. Bozunma çevresel koşullardan etkilenir ve belirli bir süreçte bir ya da daha fazla adımda gerçekleşir.

Bozunur malzeme: Belirli bir süre zarfında belirli test yöntemleri uygulanarak bozunma miktarı ölçülebilen malzemeye “bozunur malzeme” denir.

Biyobozunma: Bir malzemenin yaşayan organizmalar tarafından kimyasal olarak bozunması ve fiziksel özelliklerinin değişmesi olayıdır.

Biyobozunur polimerler: Mikroorganizmalar, bakteriler, mantar ve algler tarafından bozunmaya uğrayabilen polimerlerdir.

Biyolojik ortamda kullanılacak biyobozunur bir malzemenin sahip olması gereken başlıca özellikler aşağıdaki gibi özetlenebilir [58]:

- ✱ Malzeme biyolojik ortama uygulandıktan sonra toksik etki göstermemelidir.
- ✱ Malzeme kabul edilebilir bir kullanım süresine sahip olmalıdır.
- ✱ Malzemenin bozunma süresi, ihtiyaç süresi ile uyum sağlamalıdır.
- ✱ Malzemenin mekanik özellikleri uygulama alanı ile uyum sağlamalıdır.
- ✱ Bozunma ürünleri toksik olmamalı, metabolize edilebilmelidir.
- ✱ Malzeme uygulama alanına göre istenen şekli alabilmeli ve uygun geçirgenlikte olmalıdır.

Biyobozunur polimerler, suda çözünebilir formlara dönüşmeden önce biyolojik ortamda iki şekilde değişime uğramaktadırlar. Bunlardan birincisi; polimer, -OH, -COOH gibi hidrolize uğrayan yan zincir gruplarına sahip olmasından dolayı polimerin bozunarak suda çözünebilir hâle geçmesidir. İkinci bozunma yolunda; suda çözünebilen bazı polimerler, hidroliz olabilen bir çapraz bağlayıcı ile çapraz bağlanarak suda çözünmeyen forma dönüşür. Ancak biyolojik ortamda bu çapraz bağların hidroliz olmasıyla veya parçalanmasıyla biyobozunma gerçekleşir.

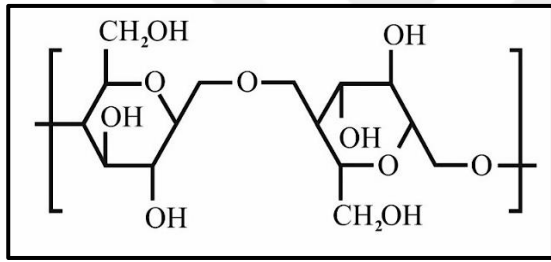
Polimerik biyomalzemelerin biyobozunması, polimer zincirindeki bağların hidrolitik ya da enzimatik olarak kırılması ile gerçekleşir. Bu nedenle de polimerik biyomalzemeleri bozunma kinetiğine göre hidrolitik olarak bozunan polimerler ve enzimatik olarak bozunan polimerler diye ikiye ayırabiliriz.

Biyobozunur polimerler, doğal veya sentetik olabilirler. Doğal polimerler klinik olarak kullanılan ilk biyobozunur polimerlerdir. Birçoğu enzimatik olarak bozunmaya uğrar. Aynı zamanda biyolojik olarak üretilirler ve benzersiz özelliklere sahiptirler. Proteinler (kollajen, jelâtin, elastin vb.), polisakkaritler (selüloz, nişasta, dekstran, kitin vb.) ve polinükleotidler (DNA ve RNA) başlıca doğal polimerlerdir. Enzimatik olarak bozunan doğal polimerlerin in vivo bozunmaları, uygulandıkları bölgeye ve maruz kaldıkları enzimin derişimine

bağlıdır. Bu tür polimerlerin kimyasal modifikasyonları, bozunma miktarını ve süresini etkiler. Doğal polimerler biyoaktivite ve modifiye edilebilme gibi bazı avantajlara sahiptirler. Ayrıca zehir etkisi göstermezler ve iltihaplanma gibi istenmeyen tepkimeler vermezler [36].

2.9. NaCMC

Bitki dünyasında en fazla bulunan ve en basit yapıya sahip olan önemli polisakkaritlerden birisi selülozdur. Selüloz bitki hücre duvarında yer alır. Selüloz molekülleri $(C_6H_{10}O_5)_n$ formülüne sahip anhidroglukoz birimlerinin uç uca eklenmesiyle oluşmuştur. Her bir birim birbirlerine β -1,4 bağları ile bağlanmıştır. Şekil 2.6'da selülozun kimyasal yapısı verilmiştir [59,60].



Şekil 2.6. Selülozun kimyasal yapısı

Selüloz molekülü doğrusal bir polimer olup, her bir monomer ünitesi üzerinde oksitlenmeye karşı hassas olan üç adet hidroksil grubu bulunur. Bu hidroksil gruplarının bir başka selüloz zincirinin hidroksil grubuyla hidrojen bağı yapma özelliği vardır. Yapısında çok fazla hidroksil grubu bulunmasına rağmen, molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağlarından dolayı selülozun çözünürlüğü zayıftır.

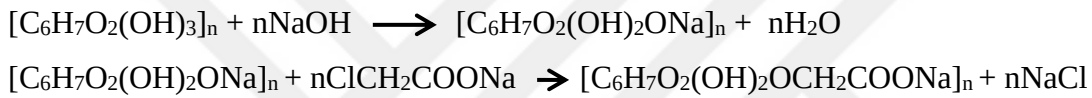
Selülozun kimyasal değişikliklere uğraması sonucu oluşturduğu ürünlere selüloz türevleri denir. Selüloz çeşitli inorganik ve organik asitlerle esterleri; bazı alkollerle eterleri; bazılar ile alkolatları ve asitlerle oksidasyon ürünlerini oluşturur. Ayrıca halojenürler, aminler ve bazı komplekslerle de tepkimeye girer [60,61].

Endüstriyel olarak selülozun en önemli türevleri selüloz esterleri ve eterleridir. Selüloz içerisindeki eter grupları selüloza soğuk suda dahi şişebilme ve çözünbilme özellikleri kazandırmaktadır. Selüloz eterleri ticari olarak, bazik ortamda uygun bir alkolün sülfat veya

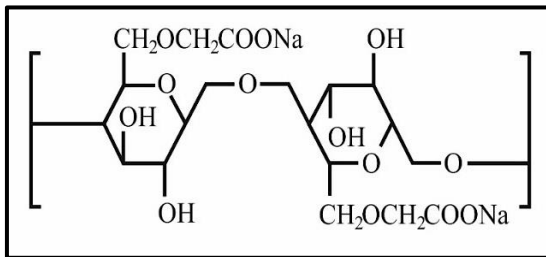
klor tuzlarıyla etkileşimi sonucu hazırlanır. Endüstriyel olarak öneme sahip selüloz eterlerine örnek olarak metilselüloz (MC), hidroksipropilmetilselüloz (HPMC), etilselüloz (EC), hidroksietilselüloz (HEC) ve sodyum karboksimetilselüloz (NaCMC) verilebilir [61].

Selüloz eterleri, kozmetik endüstrisinde emülsiyon sağlayıcı, dağıtıcı ve stabilizatör olarak; ilaç, gıda, kimya, plastik, kâğıt, tekstil, çimento ve beton endüstrilerinde yardımcı madde olarak; boya endüstrisinde inceltici olarak, yapıştırıcı olarak kullanılır.

NaCMC nin çok fazla kullanım alanına sahip olduğundan, diğer ticari selüloz eterlere göre daha fazla üretilmektedir. Selülozun NaOH ve monokloroasetikasitin eterleşme tepkimesi ile elde edilir. Literatürde bu duruma ait verilen bir olası tepkime aşağıda sunulmuştur [62].



NaCMC karboksil gruplarına sahip zayıf bir polielektrolittir. Polianyonik polisakkarit olarak bilinir. NaCMC renksiz, kokusuz, toksik olmayan ve suda çözünüp organik çözücülerde çözünmeyen bir polimerdir. Ucuz olması, kolay bulunabilmesi, toksik olmaması, biyoyumlu ve biyobozunur polimer olmasından dolayı kontrollü salım sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. NaCMC yüksek su tutma kapasitesinden özelliğinden dolayı kolay hidrojel oluşturur. Şekil 2.7’de NaCMC nin kimyasal yapısı verilmiştir.



Şekil 2.7. NaCMC nin kimyasal yapısı

NaCMC nin çok geniş kullanım alanları mevcuttur [63];

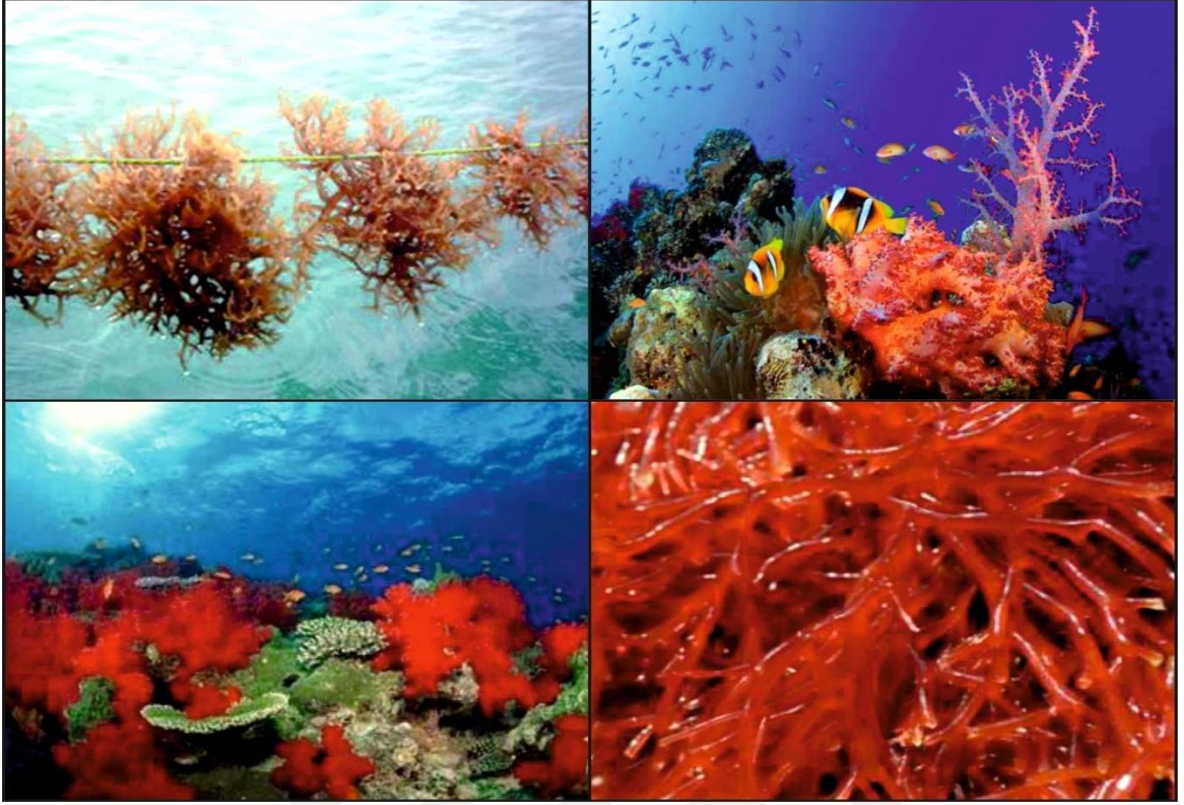
- ✱ Tatlı ve içecek endüstrisinde genellikle koyulaştırıcı, şeker kristallerinin oluşumunu kontrol edici, yapıyı geliştirici ve topaklanmayı engelleyici olarak kullanılır. Makarna üretiminde kırılganlığı indirmek, donmuş tatlılarda buz kristallerinin oluşumunu

kontrol etmek için tercih edilir. Hayvansal gıdalarda yağlayıcı madde, film oluşturucu, su tutucu, et suyunu koyulaştırıcı ve yapıyı koruyucu olarak kullanılır.

- ✱ Kozmetikte koyulaştırıcı, kıvam koruyucu, koku sabitleyici, su bağlayıcı, tabaka oluşturucu, jelleştirici ve köpük arttırıcı olarak kullanılır.
- ✱ Kremlerde, merhemlerde ve losyonlarda koyulaştırıcı, kolloit engelleyici ve film oluşturucu olarak kullanılır. Yüksek dayanıklılık özelliği ile tablet haplarda tercih edilir.
- ✱ Duvar kâğıdı ve lateks yapıştırıcılarında koyulaştırıcı ve su tutucu olarak kullanılır.
- ✱ Tekstil endüstrisinde kumaş boyalarının kıvamını ayarlar, akışkanlığını kontrol eder ve koloit oluşumunu engeller.
- ✱ Deterjanlarda, kiri çözerek çamaşırlardan uzaklaştırmak ve beyaz yapıyı korumak amacıyla tercih edilir.
- ✱ Baskıcılıkta su koruyucu film oluşturmak, su bazlı mürekkeplerin kıvamını ve akışkanlığı ayarlamak için kullanılır.
- ✱ Kâğıt endüstrisinde, hamura eklenerek, kâğıdın sertliğini arttırmak için kullanılır. Renkli kâğıt üretiminde kullanılan boyaların su içeriğini korumada, kıvamını ve akışkanlığını kontrol etmede yardımcı olur.
- ✱ Tütün endüstrisinde, sigara ve puro tütününün kâğıda yapışmasını sağlar.

2.10. Karragenan

Karragenan kırmızı deniz yosunlarından genel olarak ekstraksiyonla elde edilen lineer bir polisakkarittir. İsmi, İrlanda'nın bir köyü olan Carragheen'in sahilleri boyunca bu deniz yosunlarının yoğunlukta olmasından dolayı, bu köyden almıştır. Ayrıca İrlanda yosunu (Irish moss) olarak da adlandırılır. Karragenanın kaynağı olan kırmızı deniz yosunu görüntüleri Resim 2.1'de verilmiştir [64].



Resim 2.1. Karragenan'ın kaynağı olan kırmızı deniz yosunu görüntüleri

Karagenan en çok Kanada, Filipinler, Şili, Endonezya, Fransa, İrlanda, Portekiz ve ABD'de üretilmektedir. Karragenanı en fazla üreten ülke, %80'lik payla Filipinlerdir. 2011 yılında yapılan araştırmalara göre, karragenanın toplam satış miktarının ekonomik büyüklüğü yaklaşık 640 milyon dolardır [65,66].

Karragenan, deniz yosunundan rafine ve yarı-rafine olmak üzere iki ayrı yöntemle elde edilir [67,68]. Her iki yöntemde de önce yosunlar su seviyesinin hemen altındaki kayalar üzerinden toplanır, temizlenir ve kurutulur.

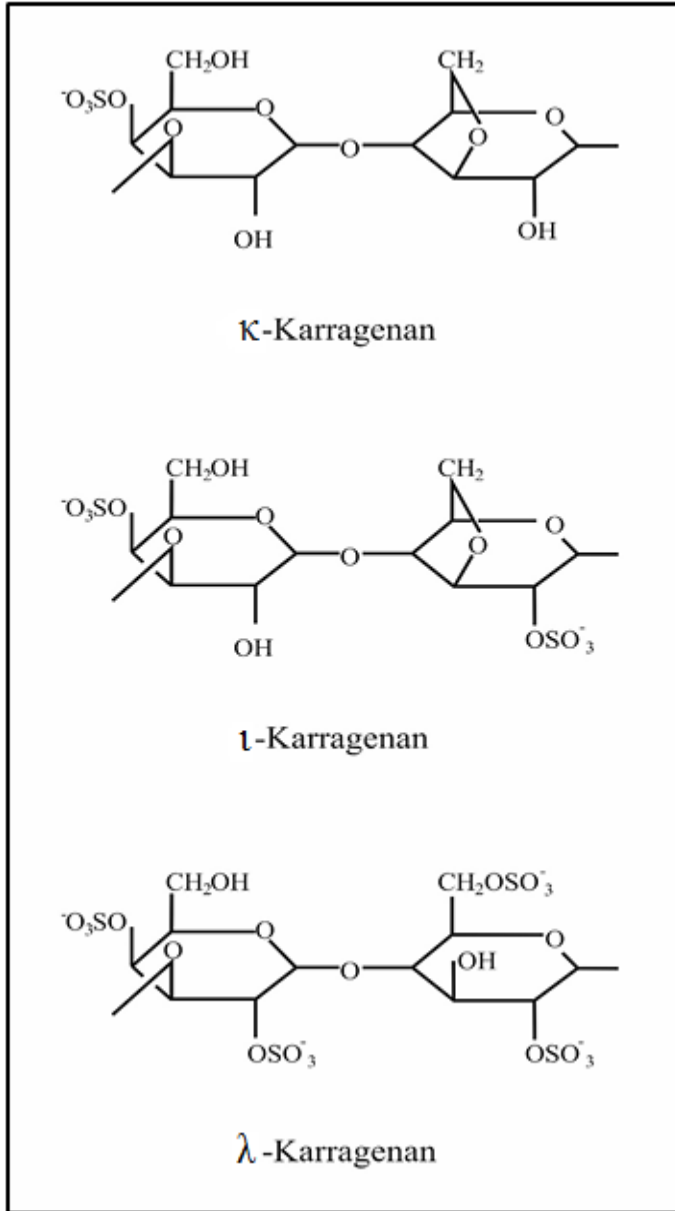
Rafine yönteminde, kurutulma işleminden sonra, deniz yosunu alkali ortamda tamamen çözünür. Yüksek devirde karıştırma ile yapısındaki selüloz parçalanır ve sonrasında filtrasyon işlemi yapılır. Alkol veya potasyum klorür ile muamele edildikten sonra (ekstraksiyon) elde edilen karragenan kurutulur ve istenen tanecik büyüklüğüne öğütülür.

Yarı-rafine ile karragenan üretiminde, benzer şekilde deniz yosunu alkali uygulamaya tabii tutulur. Ancak rafine yönteminde olduğu gibi hızlı devirde karıştırma işlemi uygulanmaz. Böylece yapıdaki selüloz, alkali uygulamadan çıkarken yosunun bünyesinde kalır. Ekstraksiyon işleminden yapıldıktan sonra elde edilen karragenan kurutulur ve istenen

tanecik büyüklüğüne öğütülür. Her iki uygulamanın son basamağında, ürün paketlenerek yüklemeye hazır hale getirilir [69].

Karragenan molekülü, birbirini takip eden 3- β -D-galaktopiranoz ve 4- α -D galaktopiranoz birimlerinden oluşur. Yüksek elastikiyete sahip helozonik yapıdadır. Molekül ağırlığı 100.000-800.000 arasında değişir. Türlerinin %47'si soğuk suda, %75'i sıcak suda çözünür.. Karagenanın en önemli avantajlarından biri, tiksotropik (basınca duyarlı akışkan) olmalarıdır. Viskoziteleri basınç ile azalır ve bu basınç kalktığında tekrar eski değerine ulaşırlar. Karagenanın bazı türleri, termal olarak geri dönüşümlü jel oluşturabilir. Jel sağlamlığı ve jelleşme sıcaklığı potasyum ve amonyum gibi bazı katyonlara bağlıdır. Karragenan AB tarafından gıda katkı maddesi olarak kabul edilmiş, E407 kodu ile tanımlanmıştır. Vejetaryanlar tarafından bitkisel kaynaklı olduğu için jelatinden daha çok tercih edilen bir gıda katkı maddesidir [66-69].

Karragenanın birbirinden farklı kappa (κ), lambda (λ), iota (ι), alfa (α), beta (β), delta (δ), gama (γ), mü (μ), nü (ν) ve teta (θ) şeklinde adlandırılan on türü bulunmaktadır. Yapılarındaki 1 galaktoz molekülü başına düşen sülfat gruplarının sayısı ve konumları, her bir türde farklılık gösterir. En önemlileri κ , ι ve λ karragenanlardır. Şekil 2.8'de bu üç türün kimyasal yapısı verilmiştir [65,68].



Şekil 2.8. κ , ι ve λ Karragenanların kimyasal yapısı

κ -Karragenan: Karragenan türlerinin en yaygın kullanılan tipi κ -Karragenandır. *Kappaphycus cottonii* türünden üretilir. Sıcak suda çözünür, organik çözücülerde çözünmez. K^+ iyonunun eklenmesi ile jelleşme artar, erime sıcaklığı yükselir ancak kırılkan bir jel meydana gelir. Oluşan jel, tekrar ısıtıldığında yapı bozunur, yani jel yapısı ısıya karşı dirençli değildir. Kimyasal formülü (1,3)- β -D-galaktopiranoz-4-sülfat-(1,4)-3,6-anhidro- α -D-galaktopiranoz birimlerinin tekrarlanması ile oluşur [70,71].

ι -Karragenan: *Eucheuma spinosum* türünden üretilir. Hem sıcak hem soğuk suda çözünür. Birçok organik çözücüde çözünmez. Ca^{2+} iyonunun eklenmesi ile jelleşme artar, erime

sıcaklığı yükselir ve elastik bir jel meydana gelir. Asidik ortamda kararlı olmayıp kolaylıkla hidroliz olur, jel formunda pH 4,0'ün üstünde kararlıdır. Kimyasal formülü (1,3)- β -D-galaktopiranoz-4-sülfat-(1,4)-3,6-anhidro- α -D-galaktopiranoz-2-sülfat birimlerinin tekrarlanması ile oluşur [70,71].

λ -Karragenan: *Gigartina* türünden üretilir. Soğuk suda kısmen, sıcak suda ise tamamen çözünür. Organik çözücülerde çözünmez. Herhangi bir jel oluşturmadıklarından, ortama polimer zincirleri olarak dağılır ve viskoziteyi artırır. λ -Karragenan, asidik ortamda hidrolize olur. Nötr ve alkali ortamda ise ancak düşük sıcaklıklarda hidrolize dayanıklıdır. Kimyasal formülü (1,3)- β -D-galaktopiranoz-4-sülfat-(1,4)-3,6-anhidro- α -D-galaktopiranoz-2,6-disülfat birimlerinin tekrarlanması ile oluşur [70,71].

Karragenanların çok geniş kullanım alanları mevcuttur [64,70,72]:

- ✱ Gıda alanında en çok jelleştirici, stabilizatör ve koyulaştırıcı olarak kullanılırlar. Stabilizatörler, gıda maddelerinin üretiminde istenen yapıyı oluşturmak, belirli bir yapıyı korumak amacıyla kullanılan maddelerdir. Bu işlevlerini, besinde bulunan farklı fazların arasına homojen bir şekilde girerek ve ortama kararlı bir yapı kazandırarak yerine getirirler. Koyulaştırıcılar, su ile yüksek viskoz bir ortam oluştururken, jelleştiriciler su ile dayanıklı, akıcı, jölemsi bir ortam meydana gelir.
- ✱ Karragenanlar, süt endüstrisinde jelleştirici, stabilize edici ve aroma geliştirici özelliklerinden dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ürünün içerisindeki toplam miktarı %0,025-0,5 arasında değişmektedir. Kristalleşmeyi önlemek ve renk kalıcılığını sağlamak amacıyla dondurma üretiminde, jelleştirici ajan olarak sütlü pudinglerde kullanılır. Çikolatalı süt üretiminde, kakao paraçacıklarının çökmesini engeller. Krem peyniri, krem şanti, krema, yoğurt ve milk shake gibi ürünlerde viskoziteyi arttırmak için kullanılır [62-68].
- ✱ Jelleştirici özelliğinden dolayı et endüstrisinde yaygın bir kullanıma sahiptirler. Kullanım dozu %0,2-0,5 arasında değişir. Sosis ve jambon üretiminde kullanılmasıyla, ürünün su tutma kapasitesini ve hacmini artırır. Salam benzeri işlenmiş et ürünlerinin yumuşak olmasını ve daha iyi dilimlenmesini sağlar. Balık yumurtasında koyulaştırıcı olarak kullanılmaktadır.

- ✱ Alkollü içeceklerde kristalleşme problemini önlemek ve berraklaşmayı sağlamak amacıyla kullanılırlar. Bira üretiminde bulanıklık yapan proteinleri durultmak için κ -Karragenan tercih edilir [62-68].
- ✱ Unlu mamullerde kullanım oranı %0.1-10 arasında değişmektedir. Jelleşmeyi sağlamak, besin değerini ve aromayı arttırmak amacıyla, bu ürünlerde kullanılırlar.
- ✱ Diş macunundaki hammaddeleri birbirine bağlayıcı ve stabilizör olarak,
- ✱ Şampuan ve kozmetik ürünlerinde; koyulaştırıcı olarak,
- ✱ Haplarda ve tabletlerde; dolgu maddesi olarak,
- ✱ Yangın söndürücülerde köpüğün yapışkan hale gelmesi için koyulaştırıcı olarak,
- ✱ Boyacılık, tekstil ve deri endüstrisinde emülsiyon stabilizatörü olarak kullanılırlar [62-68].

2.11. Buğday Çimi

Buğday, tahıl bitkileri arasında dünyada ekilişi ve üretimi bakımından ilk sırada yer alır. Bunun sebebi kolay bir adaptasyon yeteneğine sahip olmasıdır. Ayrıca uygun beslenme değeri, saklamasındaki ve işlenmesindeki kolaylıklar nedeniyle yaklaşık olarak 50 ülkenin temel besini durumundadır. Buğday başta unlu mamuller olmak üzere birçok gıda ve sanayi sektöründe kullanılır. Ülkemizde yaklaşık 9.300.000 ha alanda buğday üretimi yapılmaktadır. TÜİK verilerine göre; ülkemizde 2015 yılında 18,0 milyon ton buğday, 6,5 milyon ton arpa ve 5,8 milyon ton mısır üretimi gerçekleşmiştir [73].

Buğdayın öğütülmesi ile başlayan süreç, tahılın daha faydalı gıda maddelerine dönüştürülmesi ile devam etmiş ve içerdiği etken maddeler nedeniyle sağlık alanında ilaç firmaları tarafından yeni kullanım şekilleri geliştirilmeye başlanmıştır. Buğdayın çimlendirilmesi sonucu elde edilen buğday çimi, antik çağlardan bu yana tedavi edici değeri için kullanılmaktadır. Buğday çimi, Dr Ann Wigmore'un (1906) yaptığı çalışmalar sonucunda dünyada tanınmaya başlamıştır. Bu çalışmada; buğday çim suyunun içerdiğinde yüksek miktarda klorofil, Mg ve Fe olması nedeniyle kansızlık ve kanser gibi birçok hastalığa faydalı olabileceği tespit edilmiştir [74]. 1930 yıllarda Charles F. Schnabel'in çalışmaları ile beraber, buğday çiminin dünyada tüketimi başlamıştır [75]. Özellikle son yıllarda Asya, ABD ve bazı Avrupa ülkelerinde büyük ilgi görüp, gıda takviyesi olarak kapsül ve tablet şeklinde tüketilmekte hatta marketlerde dondurulmuş çim suyu olarak

satılmaktadır [76,77]. Buğday çimlerinin besleyici değeri, brokoli ve ıspanak gibi yeşil renkli sebzelerden yüksektir [78].

Hatta 15 birim buğday çiminin içerdiği besin değerinin 350 birim yeşil sebzelere eşit olduğu bildirilmiştir [77]. Ayrıca buğday çiminde yüksek miktarda klorofil, vitaminler, mineraller, aminoasit ve enzimler bulunur [76]. Olası alerjik reaksiyonlar dışında herhangi bir zararlı madde içermeyen buğday çimi, doğrudan tüketilebileceği gibi, suyu çıkarılarak da tüketilebilir [78].

Bar-Sela, Tsalic, Fried ve Goldberg meme kanseri hastalarında yaptıkları bir çalışmada, buğday çim suyunun kemoterapi tedavisi sırasında düzenli bir şekilde kullanıldığında kemoterapinin olumsuz etkilerini azaltabileceğini ve bu konuda daha fazla çalışma yapılması gerektiğini belirtmişlerdir [79].

Sunguroğlu ve ark. yaptıkları bir çalışmada Manisa'da hasat edilmiş buğday tohumlarını kullanarak elde ettikleri buğday çimi ekstraktının, antioksidan aktiviteye sahip olup, kanserli hücreler üzerine öldürücü etkilerinin olduğunu tespit etmişlerdir [80].

Çeşitli araştırmalarda buğday çimi veya çim suyu sindirim problemleri, astım, hipertansiyon, talasemi, diyabet, parkinson, ülser, bronşit, egzama ve kanser gibi çeşitli hastalıklarda destek tedavisi olarak tavsiye edilmektedir [75,77,81]. Özellikle bağışıklık sistemini güçlendirdiği ve kanser hücrelerinin yayılmasını baskılayarak kanser hastalarının yaşam süresini uzattığı belirtilmiştir. Yapılan başka çalışma ile, buğday çimi ekstraktının antioksidatif etkiye sahip olduğunu ve lösemi hücrelerini inhibe edebildiğini görüşü desteklenmiştir [82].

Rana, Kamboj ve Gandhi buğday çiminin vücuttan toksinlerin uzaklaştırılmasında, kan şekerinin dengelenmesinde, diş çürümelerinin önlenmesinde, sağlıklı saç bakımında ve yüksek kan basıncı seviyelerinin azaltılmasında etkili olduğunu bildirmişlerdir [78]. Birçok faydası belirtilen buğday çiminin suyunun çıkarılarak tüketilmesi ile daha iyi sonuçların alınabileceği bildirilmiştir.

Kontrollü mikro besin elementleri salımı üzerine yürüttüğümüz bu çalışmada, sonuç ürünün tarımsal uygulamalardaki kullanılabilirliğini belirlemek üzere *Triticum Aestivum* türü buğday çim tohumu kullanılmasına karar verilmiştir.



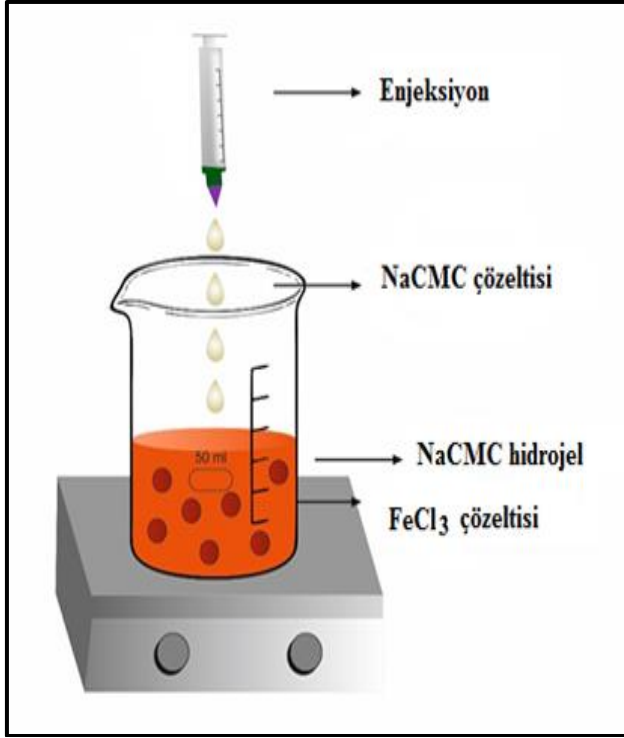
3.DENEYSEL KISIM

3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Cihazlar

- ✱ NaCMC (Sigma Aldrich)
- ✱ FeCl₃(Sigma Aldrich)
- ✱ κ-Karragenan (Sigma Aldrich)
- ✱ GA (%25, Sigma Aldrich)
- ✱ Borik asit (Merck)
- ✱ H₃PO₄ (Merck)
- ✱ NaOH (Merck)
- ✱ Fosfat tampon tablet (Sigma Aldrich)
- ✱ Asetik asit (Merck)
- ✱ Bakır nitrat (Sigma-Aldrich)
- ✱ Mangan nitrat (Sigma-Aldrich)
- ✱ Çinko nitrat (Sigma-Aldrich)
- ✱ Su banyosu (Memmert)
- ✱ Etüv (Ultralab U-120)
- ✱ Terazî (Presica)
- ✱ Manyetik karıştırıcı (Şimşek Labortechnik)
- ✱ pH metre (Cyberscan 500)
- ✱ Vorteks (Fisher Scienfitic)
- ✱ ATR-FTIR (Bruker Vertex 70 ATR)
- ✱ Liyofilizatör (Christ Alpha 1-2 LD Plus)
- ✱ SEM (JEOL JSM-6060 LV)
- ✱ SEM/EDAX (FEI QUANTA FEG 250)
- ✱ AAS (Perkin Elmer AAnalyst 400)

3.2. NaCMC Hidrojellerin Hazırlanması

NaCMC hidrojelleri, iyonik çapraz bağlama yöntemiyle elde edildi. Çizelge 3.1’de verilen miktarlarda oda sıcaklığında hazırlanan NaCMC çözeltileri, belli yüzdelerdeki 20 mL’lik FeCl_3 çözeltilerine enjeksiyon iğnesi kullanılarak damlatıldı. Çözelti manyetik karıştırıcı yardımıyla 3 saat boyunca karıştırıldı. Bekleme süresinin ardından elde edilen hidrojeller bol saf su içinde defalarca yıkanarak yapıya girmeyen bileşenlerin uzaklaşması sağlandı ve bu numuneler sabit tartıma gelinceye kadar önce havada, daha sonra 30°C’de etüvde kurutuldu. Hidrojellerin elde edililişinin şematik gösterimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir [65,67].



Şekil 3.1. NaCMC hidrojellerin elde edililişinin şematik gösterimi

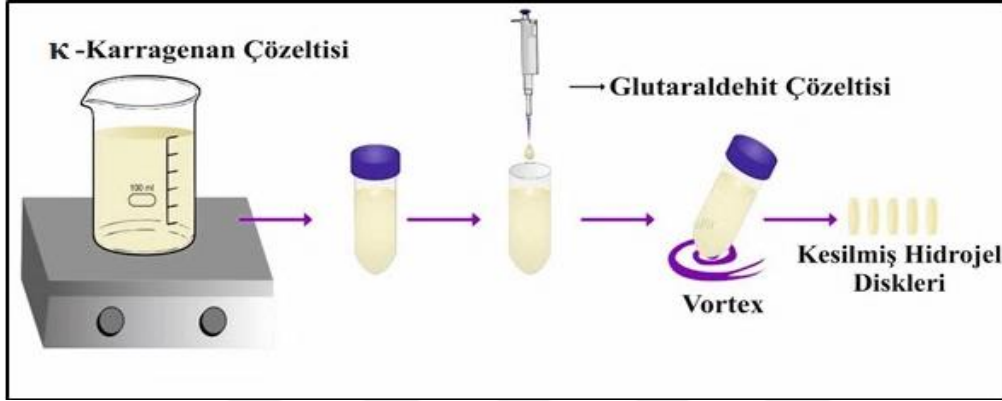
Çizelge 3.1. NaCMC hidrojellerinin hazırlanmasında kullanılan polimer ve çapraz bağlayıcı miktarlarının hidrojel oluşumuna etkisi

Bileşen Hidrojel	NaCMC (%)	FeCl ₃ (%)	Yorum
NaCMC-1	3	4	Kırılgan
NaCMC-2	3	6	Kırılgan
NaCMC-3	3	8	Kırılgan
NaCMC-4	3	10	Kırılgan
NaCMC-5	5	4	Kırılgan
NaCMC-6	5	6	Kırılgan
NaCMC-7	5	8	Sağlam
NaCMC-8	5	10	Sağlam
NaCMC-9	7	4	Kırılgan
NaCMC-10	7	6	Sağlam
NaCMC-11	7	8	Sağlam
NaCMC-12	7	10	Sağlam

3.3. κ -Karragenan Hidrojellerin Hazırlanması

κ -Karragenan hidrojelleri, kimyasal çapraz bağlama yöntemiyle elde edildi. Hidrojel türlerinin hazırlanmasında kullanılan maddelerin miktarları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çeşitli yüzdelerdeki κ -Karragenan çözeltileri, 70°C’de 30 dakika magnetik karıştırıcıda karıştırılarak hazırlandı. 1 cm çapındaki cam tüpler içerisine aktarılan çözeltilerin üzerine, Çizelge 3.2’de verilen miktarlarda %25’lik Glutaraldehit (GA) çözeltisi ilave edildi. İyice çalkalandıktan sonra 24 saat oda şartlarında bekletildi. Çapraz bağlanma tepkimesi sonunda

silindirik bloklar şeklinde elde edilen hidrojel, cam tüpler kırılarak dışarı çıkarıldı. 0,5 cm kalınlığında diskler halinde kesildi. Diskler, yapıya girmeyen molekülleri uzaklaştırmak için birkaç defa saf suyla yıkandı. Sabit tartıma gelene kadar hidrojel, ilk önce oda koşullarında sonra 30°C etüvde bekletildi. Hidrojellerin elde edilmesinin şematik gösterimi Şekil 3.2’de sunulmuştur [67,68].



Şekil 3.2. κ-Karragenan hidrojellerin elde edilmesinin şematik gösterimi

3.4. Hidrojellerin Hidrojel Oluşum Verimlerinin Gravimetrik Olarak İncelenmesi

Bölüm 3.2 ve Bölüm 3.3’de belirtilen şekilde hazırlanan NaCMC ve κ-Karragenan hidrojelleri, yıkama işleminden önce 30°C etüvde sabit tartıma getirildi ve kuru kütleleri ölçüldü (m_i). Daha sonra 48 saat boyunca sürekli tazelenen 30 mL saf suda oda sıcaklığında bekletilerek yıkanan örnekler 30°C etüvde sabit tartıma getirildi ve tartıldı (m_s). Bu şekilde hidrojel yapıya katılmayan maddelerin suya ekstraksiyonu sağlandı. Aşağıda verilen Eş.3.1 kullanılarak her bir hidrojelin oluşum verimi (%) hesaplandı [83,84].

$$\text{Hidrojel Oluşum Verimi (\%)} = \frac{m_s}{m_i} \times 100 \quad (3.1)$$

NaCMC hidrojellerinde iyonik bağlanmanın ne kadar gerçekleştiğinin tespiti, başlangıçta çözeltideki Fe^{3+} miktarı ile iyonik çapraz bağlanma reaksiyonu sonunda çözeltide kalan Fe^{3+} miktarının atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) ile belirlenmesiyle yapıldı.

Çizelge 3.2. κ -Karragenan hidrojellerinin hazırlanmasında kullanılan polimer ve çapraz bağlayıcı miktarlarının hidrojel oluşumuna etkisi

Bileşen Hidrojel	κ -Karragenan (%)	%25'lik GA çözeltisi (mL)	Yorum
K-1	2,0	0,25	Sağlam
K-2	2,0	0,50	Sağlam
K-3	2,0	0,75	Sağlam
K-4	2,0	1,00	Sağlam
K-5	2,0	1,25	Sağlam
K-6	2,0	1,50	Sağlam
K-7	2,0	1,75	Hızlı tepkime- Heterojen yapı
K-9	1,0	0,25	Hidrojel oluşmadı
K-10	1,0	0,50	Hidrojel oluşmadı
K-11	1,0	0,75	Hidrojel oluşmadı
K-12	1,0	1,00	Hidrojel oluşmadı
K-13	1,0	1,25	Hidrojel oluşmadı
K-14	1,0	1,50	Hidrojel oluşmadı
K-15	1,0	1,75	Hidrojel oluşmadı
K-16	1,0	2,00	Hidrojel oluşmadı
K-17	1,0	2,25	Hidrojel oluşmadı
K-18	1,0	2,50	Hidrojel oluşmadı
K-19	1,0	2,75	Hidrojel oluşmadı
K-20	1,0	3,00	Hidrojel oluşmadı

3.5. ATR-FTIR Analizi

Hazırlanan NaCMC ve κ -Karragenan hidrojellerinin kimyasal yapısını aydınlatmak için gerekli spektroskopik incelemeler ATR-FTIR spektrofotometresi ile yapıldı. ATR-FTIR analizi, ZnSe kristali kullanılarak kristal ve örnek arasındaki ışın yansımaları sonucunda, ışının örnek içinde ilerlerken verdiği absorpsiyon bantlarındaki azalmanın izlenmesi temeline dayanır. ATR-FTIR spektrumları $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ aralığında ve 4 cm^{-1} çözünürlükte 25 tarama sayısı ile gerçekleştirildi [85].

3.6. Hidrojellerin Şişme Davranışlarının İncelenmesi

Bu bölümde hidrojellerin zaman, sıcaklık ve pH değişimlerine karşı şişme davranışlarının incelenmesi anlatıldı. Bu deneylerde, BR tamponu ile çalışılması hedeflendi. NaCMC hidrojellerinin şişme deneyleri BR tamponu ile yapıldı. Ancak κ -Karragenan hidrojellerinin, BR tamponundaki iyonik ortamdan fazlaca etkilenmesinden dolayı yapıda dağılmalar meydana geldi. Bu yüzden, κ -Karragenan hidrojellerinin şişme deneyleri fosfat tamponu ile yürütüldü. BR tamponu hazırlanma yöntemi EK-1’de anlatılmıştır [86,87].

3.6.1. Hidrojellerin zamana göre şişme davranışlarının incelenmesi

Hidrojellerin şişme değerlerinin zamanla değişimi $\text{pH}=7,0$ ve 30°C ’de incelendi. Sabit tartıma getirilen hidrojellerin kuru kütleleri (W_0) belirlendikten sonra, $\text{pH}=7,0$ olan 30 mL’lik kapaklı şişelerde bulunan tampon çözeltisi içerisine atıldı ve 30°C etüvde bekletildi. Belirli zaman aralıklarında tampondan çıkarılan hidrojeller kâğıt mendille hafifçe kurulandıktan sonra tartıldı (W) ve aynı şişme ortamına tekrar atıldı. Bu işleme, hidrojellerin denge şişme değerine ulaşmaya kadar devam edildi ve hidrojel kütlelerindeki değişimler kaydedildi. Her bir hidrojin şişme değeri (%) Eş. 3.2 kullanılarak hesaplandı.

$$\text{Şişme (\%)} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100 \quad (3.2)$$

3.6.2. Hidrojellerin sıcaklık değişimine göre şişme davranışlarının incelenmesi

Hidrojellerin şişme değerlerinin sıcaklığa göre değişimi denge şişme değerinin elde edildiği sürede pH=7,0'de 30 mL tampon çözelti içerisinde incelendi. Yıkayıp sabit tartıma gelen hidrojellerin kuru kütleleri (W_0) belirlendikten sonra ağzı kapaklı şişelerde bulunan tampon içine atıldı. 10; 20; 30; 40; 50 ve 60°C sıcaklıktaki inkübatörde denge şişme değerine ulaşılan süreye kadar bekletilen hidrojeller bu süre sonunda tampon çözeltiden çıkarıldı ve kâğıt mendille hafifçe kurulandıktan sonra her bir hidrojelin kütlesi (W) belirlendi. Hidrojellerin sıcaklık ile değişen şişme değerleri (%) Eş. 3.2 kullanılarak hesaplandı.

3.6.3. Hidrojellerin pH değişimine göre şişme davranışlarının incelenmesi

Hidrojellerin pH değişimine göre şişme davranışları, denge şişme değerinin elde edildiği sürede 30°C etüvde incelendi. Yıkılarak sabit tartıma gelen hidrojellerin kuru kütleleri (W_0) belirlendikten sonra pH=2,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 10,0 ve 12,0 olan tampon çözelti içerisine bırakıldı. Denge şişme değerinin elde edildiği sürenin sonunda çözelti ortamından alınan hidrojeller, kâğıt mendille hafifçe kurulandı ve kütleleri belirlendi (W). Hidrojellerin şişme değerleri (%) Eş. 3.2 kullanılarak hesaplandı.

3.7. Hidrojellerin Bozunma Davranışlarının İncelenmesi

Hidrojellerin bozunma davranışları 30°C ve pH=7,0'de 30 mL tampon içerisinde incelendi. Maksimum şişme değerine ulaşan hidrojellerin kütleleri (m_m) belirlendikten sonra maksimum şişme değerden sonraki her saat başı hidrojeller ortamdan alındı ve kâğıt mendille hafifçe kurulandıktan sonra kütleleri belirlendi (m_t). Bu işleme hidrojeller tamamen bozunana kadar devam edildi. Böylece hidrojellerin kayıp kütle miktarları takip edilerek bozunma değerleri (%) Eş.3.3 kullanılarak hesaplandı [88].

$$\text{Bozunma (\%)} = \frac{m_m - m_t}{m_m} \times 100 \quad (3.3)$$

3.8. Hidrojellerin SEM İncelemesi

NaCMC hidrojellerinin SEM incelemesi, çapraz bağlayıcı ve polimer miktarının hidrojellerin morfolojik özelliklerine etkisini araştırmak amacıyla yapıldı. Bu nedenle NaCMC-1, NaCMC-4, NaCMC-5, NaCMC-8, NaCMC-9, ve NaCMC-12 hidrojelleri seçildi. κ -Karragenan hidrojellerinin SEM incelemesi, çapraz bağlayıcı miktarının hidrojellerin morfolojik özelliklerine etkisini araştırmak amacıyla yapıldı.

Kuru ve şişmiş haldeki farklılıkları saptayabilmek için, kuru hidrojeller önce suda denge şişme süresine kadar bekletildi. 24 saat süreyle -80°C 'de derin dondurucuya konuldu. Daha sonra liyafilizatörde bir hafta tutuldu. Tüm örnek yüzeylerinin iletken hale getirilmesi için 200A° kalınlığında altın-platin karışımı ile örnekler kaplandı ve SEM ile morfolojik incelemeleri yapıldı [89].

3.9. NaCMC Hidrojellerinin EDAX İncelemesi

Çapraz bağlanmanın gerçekleşip gerçekleşmediğini ispat etmek amacıyla NaCMC hidrojellerinin EDAX incelemeleri yapıldı. Bu amaçla, polimer miktarı sabit (%5 NaCMC) fakat FeCl_3 miktarı farklı olan NaCMC-5, NaCMC-6, NaCMC-7 ve NaCMC-8 hidrojelleri seçildi. Seçilen örnekler 200A° kalınlığında altın-platin karışımı ile kaplandı ve örneklerin SEM/EDAX ile kalitatif element analizi gerçekleştirildi [89].

3.10. Mikro Besin Elementi Yüklü Hidrojellerin Hazırlanması

Mikro besin elementlerinin kontrollü salımını takip etmek için, hidrojel oluşum verimlerine ve şişme-bozunma davranışlarına bağlı olarak NaCMC-5, NaCMC-8, NaCMC-9, NaCMC-12, K-4, K-5 ve K-6 hidrojelleri seçildi.

Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilen hazırlama koşulları ve özelliklere sahip hidrojellere mikro besin elementlerini yükleme işlemi emdirme yöntemiyle yapıldı. Mikro besin elementleri olarak bakır nitrat, çinko nitrat ve mangan nitrat seçildi. Bir adet hidrojin, 0,5 mL tampon içerisinde maksimum şişme değerine ulaştığı saptandı. Her bir hidrojel 0,5 mL 1000 ppm lik bakır nitrat, çinko nitrat ve mangan nitrat stok çözeltilerinde bekletilerek 500 μg mikro besin elementi yüklü örnekler hazırlanmış oldu [90,91].

3.11. NaCMC ve κ -Karragenan Hidrojellerinden Mikro Besin Elementlerinin İn Vitro Salımı

Mikro besin elementlerinin in vitro salım çalışmaları Çizelge 3.3’de verilen koşullarda AAS ile yürütüldü. Öncelikle her bir element için kalibrasyon doğruları oluşturuldu.

Çizelge 3.3. AAS’de çalışma koşulları

Element \ AAS özellikleri	Dalga boyu (nm)	Lamba akımı (mA)	Slit aralığı (nm)	Asetilen (L/dak)	Hava (L/dak)
Cu	324,8	30	0,7	2,0	17,0
Mn	279,5	30	0,2	2,0	17,0
Zn	213,9	30	0,7	2,0	17,0

Mikro besin elementi yüklü hidrojeller kapaklı cam şişelerde bulunan 100’er mL saf su içerisine konuldu. Deney oda sıcaklığındaki çalkalamalı su banyosunda yürütüldü. Bu ortamdan belirli zaman aralıklarında numuneler çekildi ve AAS ile salım değerleri ölçüldü. Alınan örnek miktarları çok az olduğundan çalışma süresince sink koşulların daha az olması sağlandığı kabul edildi. Bu işlem sabit salım değerine ulaşınca kadar işleme devam edildi.

3.12. Model Salım Çalışması

Mikro besin elementleri yüklü NaCMC-5, NaCMC-8, NaCMC-9, NaCMC-12, K-4, K-5 ve K-6 hidrojelleri kapaklı cam şişelerde bulunan 100 mL’lik saf suya konuldu. Oda sıcaklığında 15 dakika süre ile salım ortamında bekletilen hidrojeller bu ortamdan çıkarıldı ve rutubetini kaybetmeyecek şekilde diğer bir kapaklı cam şişeye konuldu. Salım ortamından örnek çekilerek AAS ile salınan mikro besin elementi miktarı ölçüldü. 24 saat süre sonunda kapaklı cam şişede bekletilen hidrojeller tekrar salım ortamına bırakıldı. 15 dakika bekleme süresi geçince işlem tekrarlandı. Deneyler NaCMC hidrojelleri için 14 gün, κ -Karragenan hidrojelleri için 10 gün aralığında sürdü [92].

3.13. Toprakta Salım Çalışması

Mikro besin elementleri yüklü 16 şar adet NaCMC-5, NaCMC-8, NaCMC-9, NaCMC-12, K-4, K-5 ve K-6 hidrojellerinin her biri şifon paketler içine yerleştirildi. Şifon paket, örneklere toprak bulaşmasını engellemek için kullanıldı. Bu paketlerin her biri, özellikleri Çizelge 3.4'te verilen 5'er L'lik torf içeren saksılara yerleştirildi. Bütün saksılar 24 saatte bir eşit miktarda (yaklaşık 150 mL) sulandı. Birinci gün ilk saksıdaki hidrojel paketi çıkarıldı ve içinden alınan hidrojel, kapaklı cam şişelerde bulunan 100 mL'lik saf suya konuldu. Denge salım süresine kadar bekletildikten sonra ortamdan örnek çekilerek AAS ile salınan mikro besin elementi miktarı ölçüldü. Böylece torfa geçmemiş miktar belirlenmiş oldu. Her gün yeni bir saksıdaki örnek alınarak bu işlemler tekrarlandı. Deneyler, salım miktarları sabit değere ulaşınca kadar sürdürüldü [92].

Çizelge 3.4. Torfun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Miktar
Organik Madde (%)	50-70
pH	4,5-6,5
Elektriksel iletkenlik (ds/m)	0,2-0,4
Organik karbon (%)	20-30
Su tutma kapasitesi (% hacimsel)	85-95
Hava tutma kapasitesi (% hacimsel)	15-25
NO ₃ – N , (ppm)	50-150
NH ₄ – N , (ppm)	40-140
K , (ppm)	0-20
P, (ppm)	0,2-0,7

3.14. Mikro Besin Elementi Yüklü Hidrojellerin Buğday Çimi Gelişimine Etkisinin İncelenmesi

Çalışmanın bu aşamasında hazırlanan hidrojellerin içerisine hapsedilen mikro besin elementlerinin tarımsal alanlarda kullanımının araştırılması amaçlandı. Hidrojel oluşum (%) sonuçlarına, şişme-bozunma davranışlarına ve salım sonuçlarına bağlı olarak NaCMC-9 ve

K-6 hidrojel­leri seçildi. Deney­sel ayrıntı Çizelge 3.5’te verildi. Tarımsal uygulama için üç farklı grup çalışması yürütüldü:

Birinci grup çalışmada, 10 L toprak içeren saksılara, Zn^{2+} mikro besin elementi yüklü NaCMC-9 hidrojellerinden sırasıyla 5, 10 ve 15 adet konuldu. Boncukların toprak yüzeyinden 2 cm derinde olmasına dikkat edildi. Daha sonra saksı başına 10 g buğday çimi tohumu ekimi yapıldı. Kontrol-1 ve Kontrol-2 olmak üzere iki ayrı kontrol grubu hazırlandı. Kontrol-1 grubuna sadece tohum konulurken, Kontrol-2 grubuna mikro besin elementi içermeyen boş hidrojeller ile tohum yerleştirildi. Tüm saksılar 24 saatte bir 300 mL saf su ile sulandı.

İkinci grup çalışmada, Zn^{2+} yüklü K-6 hidrojelleri kullanılarak, birinci grup çalışma aynen tekrarlandı.

Üçüncü grup çalışma, farklı mikro besin elementi içeriğinin buğday çimi gelişimine etkisini araştırmak amacıyla, Zn^{2+} , Cu^{2+} ve Mn^{2+} yüklü NaCMC-9 hidrojelleri ile yürütüldü. Hidrojel sayısı 15 olarak sabit tutuldu. Böylece bu üç mikro besin elementinin, buğday çimi gelişimine etkisi değerlendirilmiş oldu.

Bütün grup çalışmalarında, bitki gelişimi düzenli fotoğraf çekimiyle takip edildi. Fide çıkış sayıları ve fide boyları belirlendi. Örnekler 12. gün sonunda biçildi. Biçilen ürün sabit tartıma gelinceye kadar kurutuldu ve kuru kütle değerleri belirlendi. Eş. 3.4 ve Eş. 3.5 kullanılarak örneklerin gelişme ve uzama verimleri (%) hesaplandı. Ardından Kontrol-1 grubu dışında her bir saksıya başta ilave edildiği kadar hidrojel eklenerek ikinci gübreleme işlemi gerçekleştirildi. Örnekler 18. gün sonunda tekrar biçilerek örneklerin uzama ve gelişme verimleri (%) tekrar hesaplandı.

$$\text{Gelişme verimi (\%)} = \frac{W_{\delta} - W_k}{W_k} \times 100 \quad (3.4)$$

W_{δ} : Örneğin kuru kütlesi (g)

W_k : Kontrol-1’in kuru kütlesi (g)

$$\text{Uzama verimi (\%)} = \frac{U_{\text{ö}} - U_{\text{k}}}{U_{\text{k}}} \times 100 \quad (3.5)$$

$U_{\text{ö}}$: Örneğin boyu (cm)

U_{k} : Kontrol-1'in boyu (cm)

Çizelge 3.5. KGS örneklerin grup çalışmaları ve deney koşulları

Örnekler	<u>Birinci Grup Çalışma</u> <u>(N-9)-5:</u> 5 adet Zn^{2+} yüklü-NaCMC-9 hidrojel i içeren örnek <u>(N-9)-10:</u> 10 adet Zn^{2+} yüklü-NaCMC-9 hidrojel i içeren örnek <u>(N-9)-15:</u> 15 adet Zn^{2+} yüklü-NaCMC -9 hidrojel i içeren örnek Kontrol-1, Kontrol-2
	<u>İkinci Grup Çalışma</u> <u>(K-6)-5:</u> 5 adet Zn^{2+} yüklü-K-6 hidrojel i içeren örnek <u>(K-6)-10:</u> 10 adet Zn^{2+} yüklü- K-6 hidrojel i içeren örnek <u>(K-6)-15:</u> 15 adet Zn^{2+} yüklü- K-6 hidrojel i içeren örnek Kontrol-1, Kontrol-2
	<u>Üçüncü Grup Çalışma</u> <u>(N-9)-Zn:</u> 15 adet Zn^{2+} yüklü-NaCMC-9 hidrojel i içeren örnek <u>(N-9)-Mn:</u> 15 adet Mn^{2+} yüklü-NaCMC-9 hidrojel i içeren örnek <u>(N-9)-Cu:</u> 15 adet Cu^{2+} yüklü-NaCMC-9 hidrojel i içeren örnek Kontrol-1, Kontrol-2
Toprak hacmi	10 L
Toprak türü	Torf
Tohum türü	<i>Triticum Aestivum</i> türü buğday çim tohumu
Tohum miktarı	Saksı başına 10 g
Işık durumu	Sera ortamı
Dikim derinliği	Yüzeyden 2 cm derinde
Gübre derinliği	Yüzeyden 0,5 cm derinde
Gübreleme	1. Gübreleme 1. Gün 2. Gübreleme 12. Gün
Sulama hacmi	300 ml
Sulama sıklığı	24 saatte bir
Biçim zamanı	2. Gübreleme öncesi (12. Gün) ve deney bitişi (18. Gün)

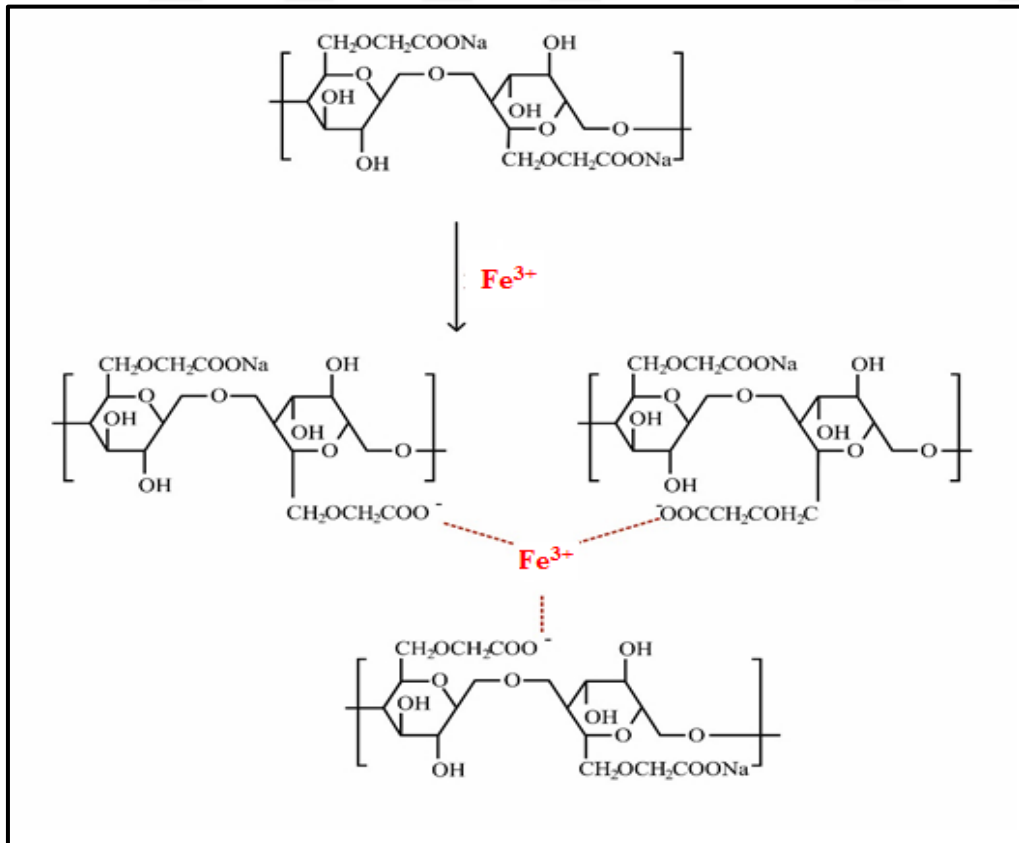
4. DENEYSEL BULGULAR VE YORUM

4.1. NaCMC Hidrojellerinin Üretimi ve Karakterizasyonu

Bu bölümde NaCMC hidrojellerinin üretim koşulları, oluşum mekanizması ve karakterizasyonları alt başlıklar halinde değerlendirilmiştir.

4.1.1. NaCMC hidrojel oluşum mekanizması ve verimleri

Hidrojel oluşumunda çapraz bağlayıcı ve polimer miktarının etkisini incelemek üzere Çizelge 3.1’de verilen değerlerde bileşenler kullanılarak 12 farklı hidrojel üretilmiştir. Literatürde, iyonik çapraz bağlı hidrojel sentezinde, NaCMC zincirlerinde bulunan COO^- gruplarıyla Ca^{2+} iyonları arasında elektrostatik etkileşim sonunca iyonik bağ oluşumunun gerçekleştiği önerilmektedir. Bu bağlanma türüne dayanarak, NaCMC ile Fe^{3+} arasındaki iyonik etkileşim sonucu ortaya çıkan çapraz bağlanmaya ait olası reaksiyon mekanizması Şekil 4.1’de sunulmuştur [93].



Şekil 4.1. NaCMC hidrojelinin oluşum mekanizması

Çizelge 4.1. NaCMC hidrojellerin üretim koşulları ve bazı karakteristik özellikleri
(Ç/P: Çapraz bağlayıcı/Polimer oranı)

Veriler Hidrojel	NaCMC (%)	FeCl ₃ (%)	Ç/P	Hidrojel oluşum verimi (%)	Denge şişme değeri (%)
NaCMC-1	3	4	1,33	74	490
NaCMC-2	3	6	2,00	78	386
NaCMC-3	3	8	2,66	80	267
NaCMC-4	3	10	3,33	85	175
NaCMC-5	5	4	0,80	90	397
NaCMC-6	5	6	1,20	91	303
NaCMC-7	5	8	1,60	92	200
NaCMC-8	5	10	2,00	94	151
NaCMC-9	7	4	0,57	95	292
NaCMC-10	7	6	0,85	94	213
NaCMC-11	7	8	1,14	95	135
NaCMC-12	7	10	1,42	96	102

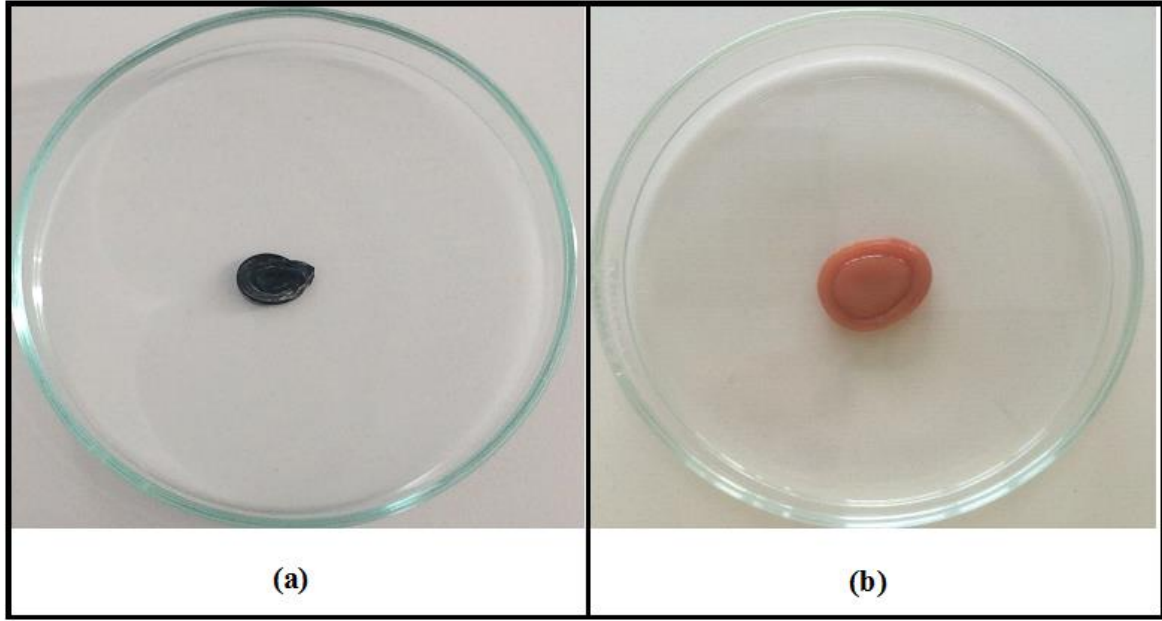
Hidrojellerin oluşum verimleri (%) Bölüm 3.4’de anlatıldığı şekilde incelenmiş ve sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu Çizelge incelendiğinde, en düşük hidrojel oluşum verimleri %3’lük NaCMC örneklerinde tespit edilmiştir. Bu grup hidrojellerde Ç/P oranı çok yüksek olsa bile, kullanılan NaCMC miktarı diğerlerine göre az olduğundan hidrojel oluşum verimi (%) göreceli olarak daha düşüktür. %5 ve %7’lik NaCMC hidrojellerinin oluşum verimlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Her grupta, Ç/P oranı arttıkça,

hidrojel oluşum verimi de artmıştır ve en yüksek değer polimer ve çapraz bağlayıcı miktarı en fazla olan NaCMC-12 hidrojeli için elde edilmiştir. Bu durum, polimer ve çapraz bağlayıcı miktarının artmasıyla polimer zincirlerinin birbirlerine daha fazla noktadan bağlanması ve böylece yapının daha da sıkılaşıp esnekliğinin azalması şeklinde açıklanabilir [94,95].

Çizelge 4.2’de NaCMC (%5) hidrojellerin hazırlanmasında kullanılan ve yapıya giren Fe^{3+} miktarları verilmiştir. Çizelgede verilen değerler incelendiğinde, iyonik çapraz bağlanma için kullanılan FeCl_3 miktarı arttırıldıkça, hidrojel yapıya daha fazla Fe^{3+} ün girdiği saptanmıştır. Kullanılan miktar 2,5 kat artarken, yapıya giren miktar yaklaşık 10 kat artmıştır. Elde edilen bu sonuçları desteklemek amacıyla bu hidrojellerin daha sonra EDAX incelemeleri yapılmıştır. Resim 4.1’de kuru ve şişmiş NaCMC hidrojellerinin görüntüleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. NaCMC (%5) hidrojellerin hazırlanmasında kullanılan ve yapıya giren Fe^{3+} miktarları

Veriler Hidrojel	NaCMC (%)	FeCl_3 (%)	Başlangıçtaki Fe^{3+} miktarı (g)	İyonik çapraz bağlanma ile yapıya giren Fe^{3+} miktarı (g)
NaCMC-5	5	4	0,80	0,15
NaCMC-6	5	6	1,20	0,57
NaCMC-7	5	8	1,60	1,09
NaCMC-8	5	10	2,00	1,58

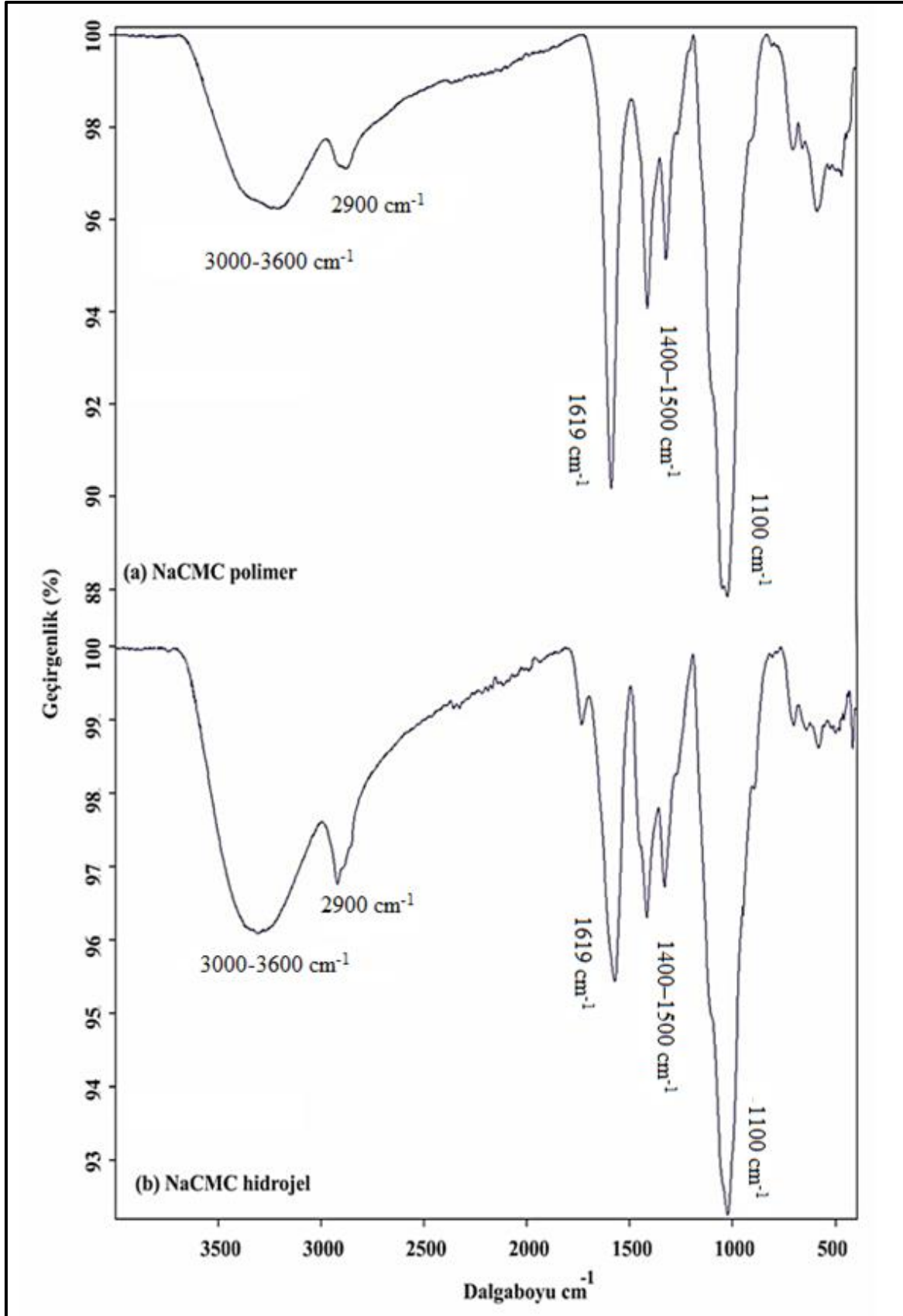


Resim 4.1. NaCMC hidrojjellerinin (a) kuru, (b) şişmiş hali

4.1.2. NaCMC hidrojjelinin ATR-FTIR analizi

Üretilen NaCMC hidrojjelinin ve polimerinin ATR-FTIR analizleri, Bölüm 3.5’de anlatıldığı şekilde yapılmıştır NaCMC polimerinin ve hazırlanan hidrojjelin ATR-FTIR spektrumları Şekil 4.2’de sunulmuştur.

Şekil 4.2’de sunulan NaCMC polimeri ve FeCl_3 ile çapraz bağlı NaCMC hidrojjeline ait ATR-FTIR spektrumları incelendiğinde, her ikisinin de benzer pikler verdiği görülmüştür. $3000\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ arasında görülen geniş band -OH gerilmesinden, 2900 cm^{-1} civarında görülen pik ise alifatik C-H gerilmelerinden kaynaklanır. 1619 ve 1420 cm^{-1} deki güçlü bantlar asimetrik ve simetrik --COO^- grubuna aittir. 1100 cm^{-1} deki pik -C-O titreşimine bağlıdır. $1400\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ arası bantlar --CH_2 gerilme titreşimlerine aittir. NaCMC hidrojjelindeki 1751 cm^{-1} civarında ortaya çıkan yeni pikin, polimerin --COO^- grubu ile Fe^{3+} iyonları arasındaki elektrostatik etkileşimden kaynaklandığı düşünülmektedir [96,97].

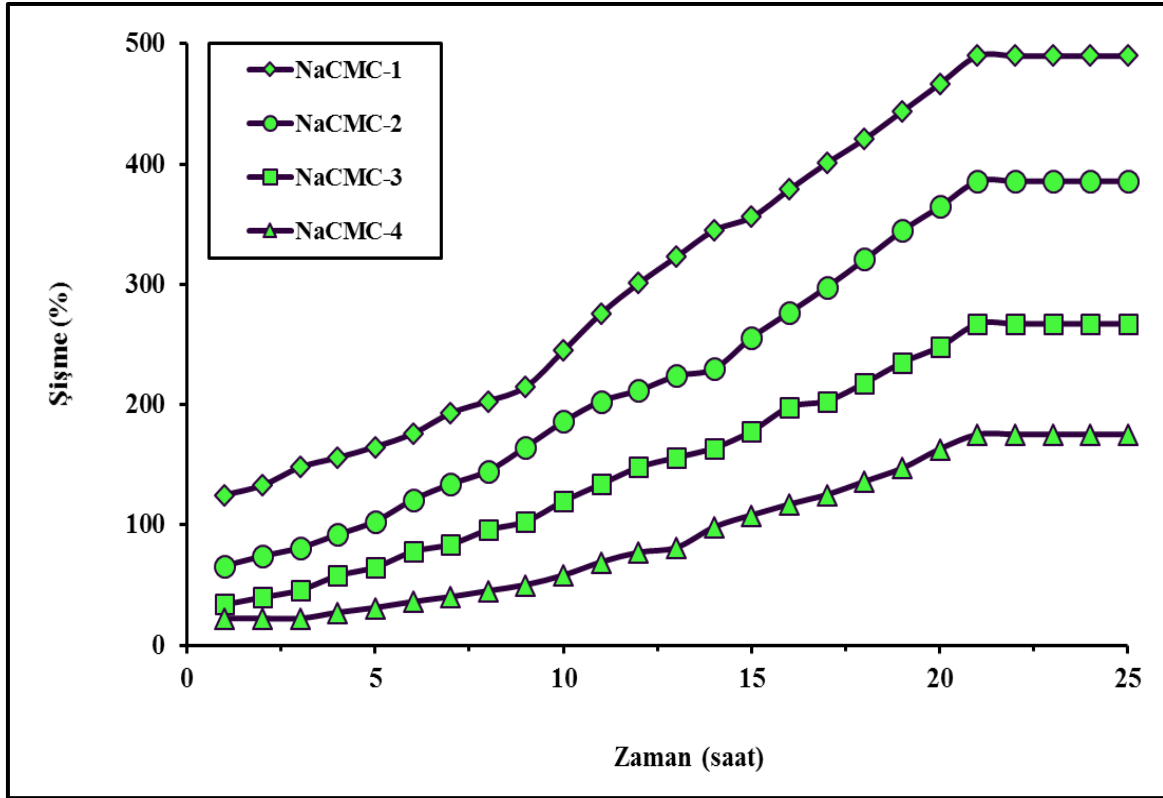


Şekil 4.2. NaCMC (a) polimerinin ve (b) hidrojelinin FTIR spektrumları

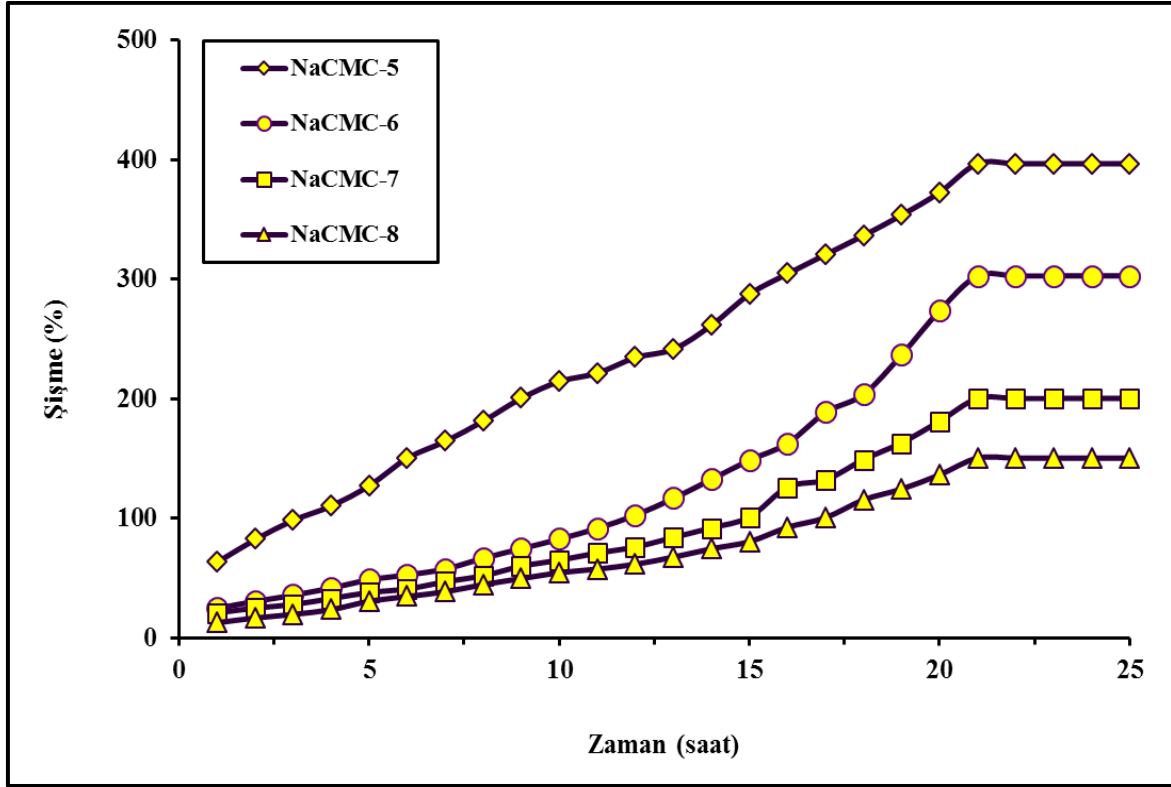
4.1.3. NaCMC hidrojenlerin şişme deneylerinin sonuçları

Üretilen hidrojenlerin şişme deneyleri Bölüm 3.6’da anlatıldığı şekilde yürütülmüş ve sonuçlar alt başlıklar halinde sunulmuştur.

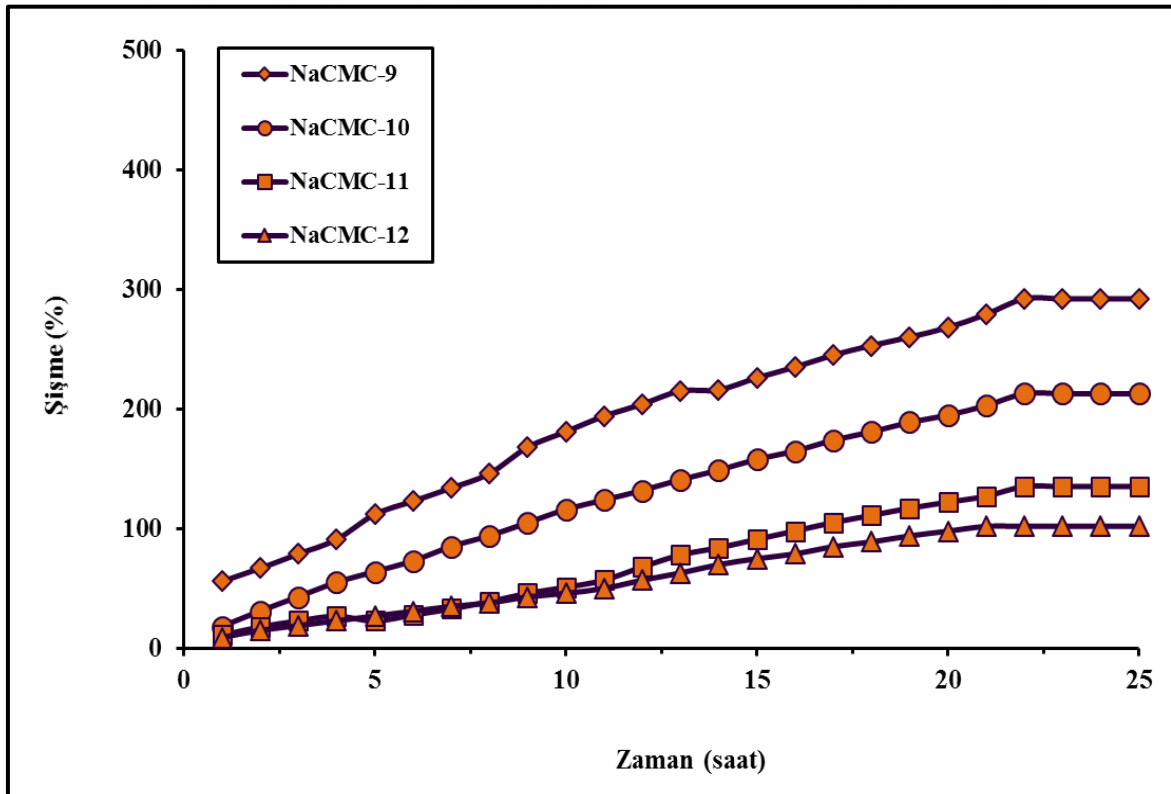
NaCMC hidrojenlerin şişme değerlerinin zamanla değişimi: NaCMC hidrojenlerin 30°C ve pH=7,0’de zamana karşı şişme davranışları Bölüm 3.6.1’de anlatıldığı şekilde incelenmiş, şişme değerleri EK-2’de verilmiş ve sonuçlar Şekil 4.3 - Şekil 4.5’teki grafiklerde sunulmuştur.



Şekil 4.3. %3 NaCMC hidrojenlerin ortalama şişme (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği (T=30°C; pH=7,0)



Şekil 4.4. %5 NaCMC hidrojenlerin ortalama şişme (%) değeriinin zamanla değışimi grafiğı (T=30°C; pH=7,0)

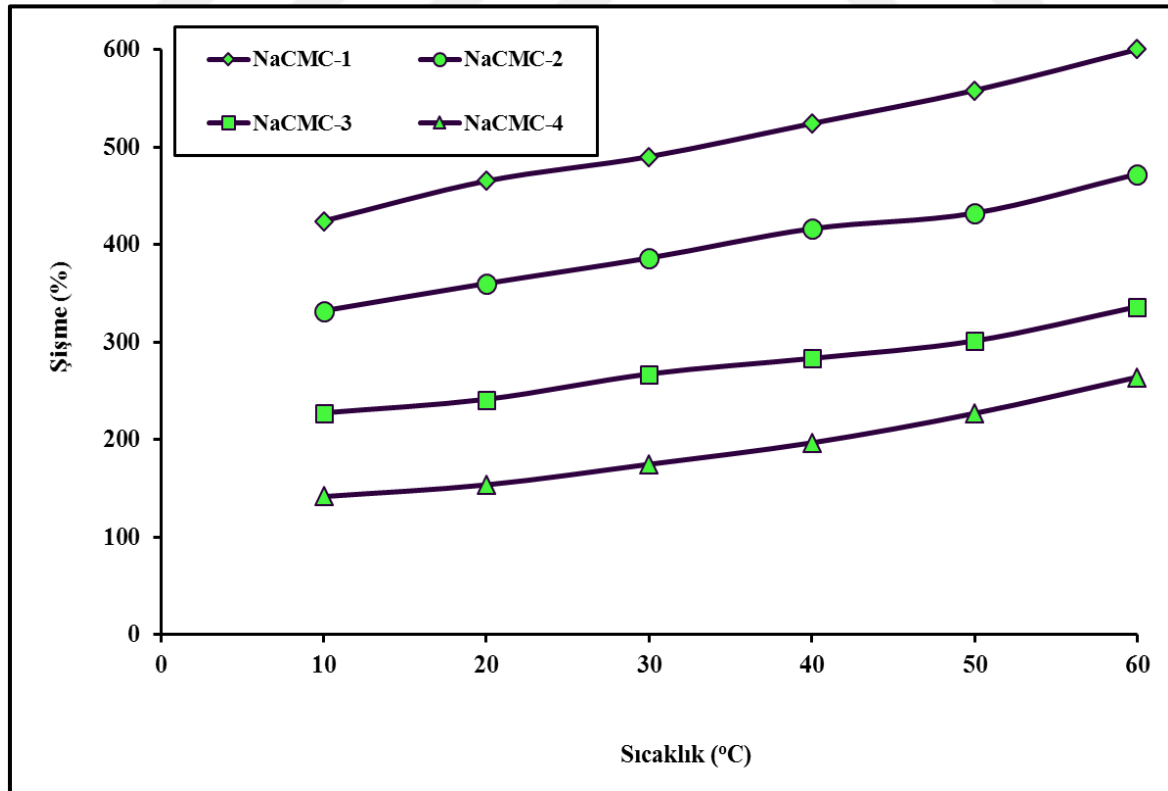


Şekil 4.5. %7 NaCMC hidrojenlerin ortalama şişme (%) değeriinin zamanla değışimi grafiğı (T=30°C; pH=7,0)

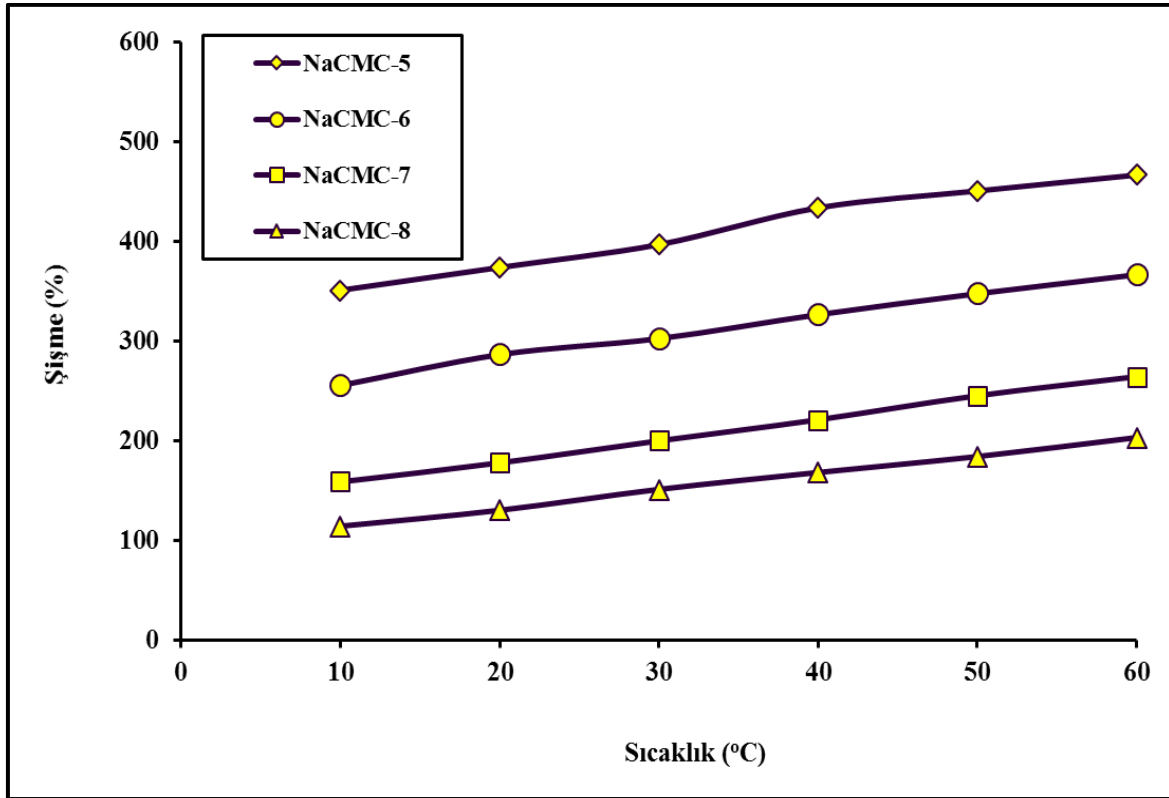
Bu grafiklerde görüldüğü gibi, tüm hidrojellerin şişme değerleri zamanla artmış ve yaklaşık 24 saatte dengeye ulaşmıştır. Şişme değerinin sabit kaldığı bu süre, daha sonra yapılan deneylerde denge şişme süresi olarak kullanılmıştır. Çizelge 4.1’de verilen sonuçlara göre; en yüksek şişme değerinin NaCMC-1 hidrojelinde, en düşük şişme değerinin ise NaCMC-12 hidrojelinde olduğu belirlenmiştir. Yani az polimer içeren gruplar daha çok şişmiştir. Bu durum, NaCMC nin miktarının artmasıyla, boncuk içerisinde daha fazla polimer zincirinin olması ve yapının esnekliğinin azalması şeklinde açıklanabilir.

Şişme değerlerinin hidrojel oluşum verimleri (%) ile uyumlu olduğu görülmektedir. Polimer ve çapraz bağlanma miktarının artmasıyla polimerik yapının daha da sıkılaştığı söylenebilir. Yapıdaki bu sıklık arttıkça su moleküllerinin hidrojel içine girmesi ve polimer zincirlerinin birbirinden uzaklaşması zorlaşır, bu sebepten dolayı şişme değerleri daha da azalır [98,99].

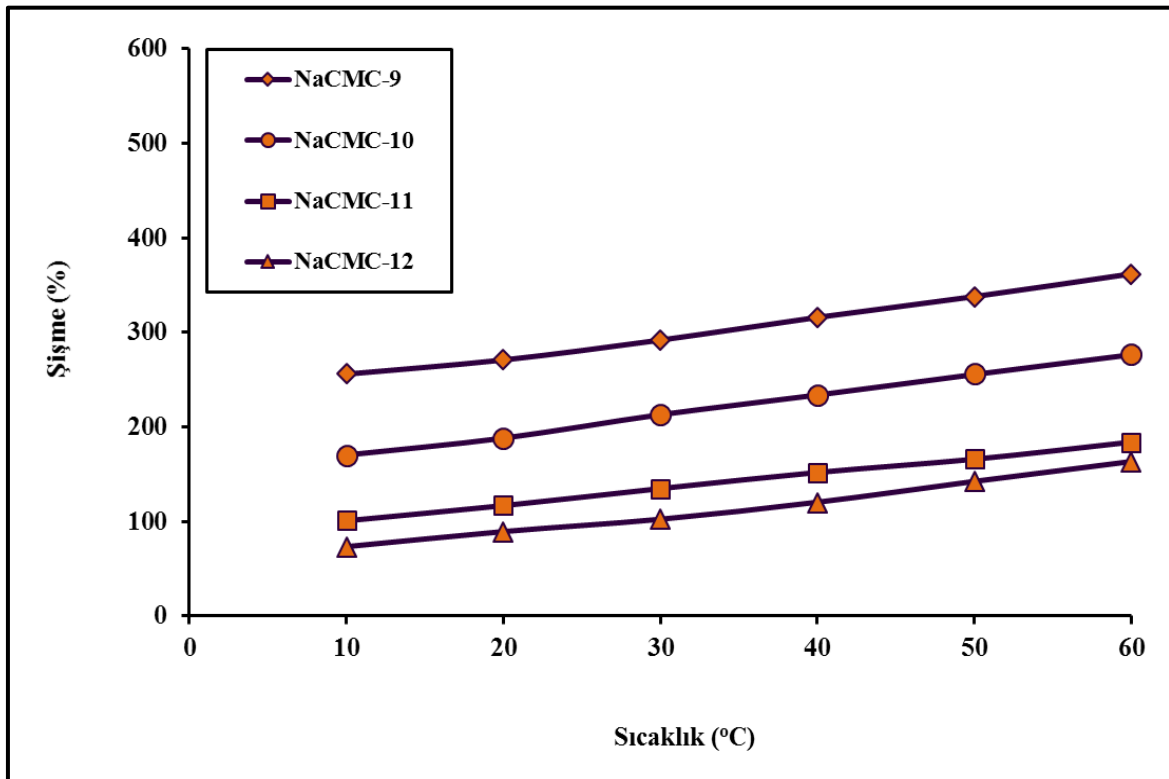
NaCMC hidrojellerin şişme değerlerinin sıcaklıkla değişimi: Hidrojellerin ortalama şişme değerlerinin sıcaklıkla değişimi Bölüm 3.6.2’de anlatıldığı şekilde incelenmiş, değerler EK-3’te verilmiş, sonuçlar grafiğe alınarak Şekil 4.6 - Şekil 4.8’de sunulmuştur.



Şekil 4.6. %3 NaCMC hidrojellerin ortalama şişme (%) değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiği (pH=7,0; 24 saat)



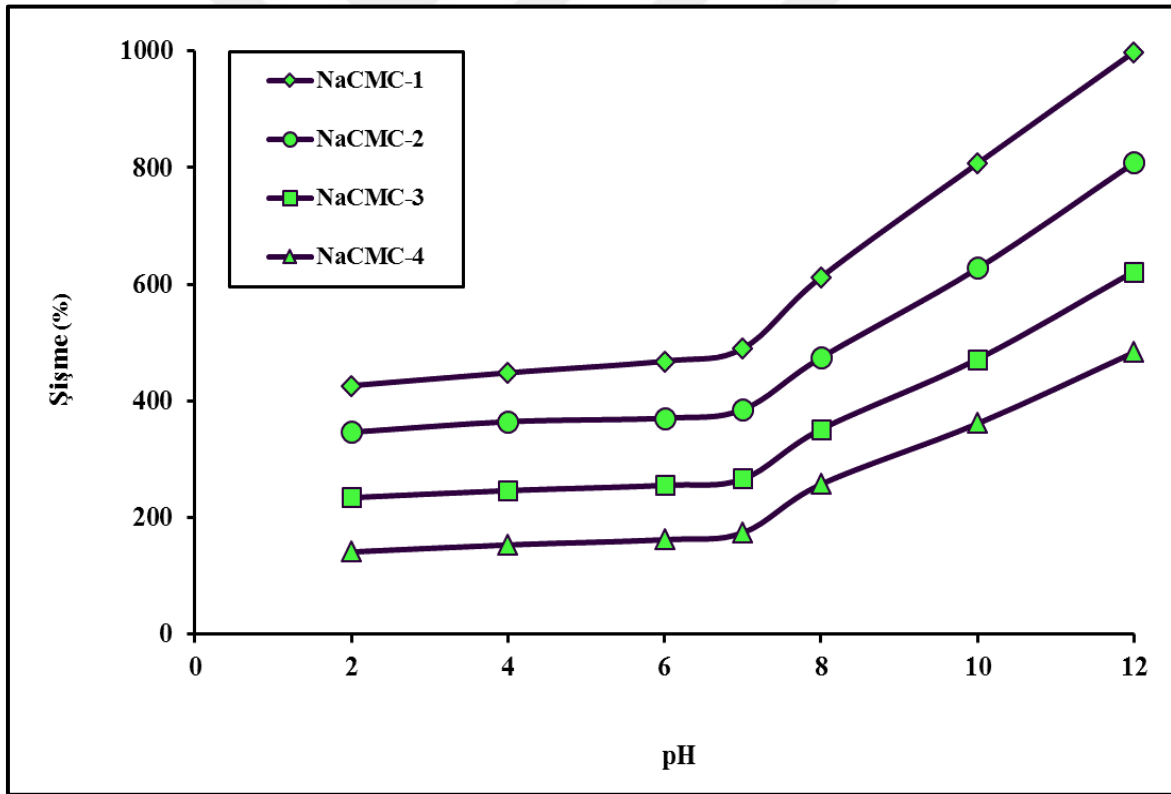
Şekil 4.7. %5 NaCMC hidrojenlerin ortalama şişme (%) değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiği (pH=7,0; 24 saat)



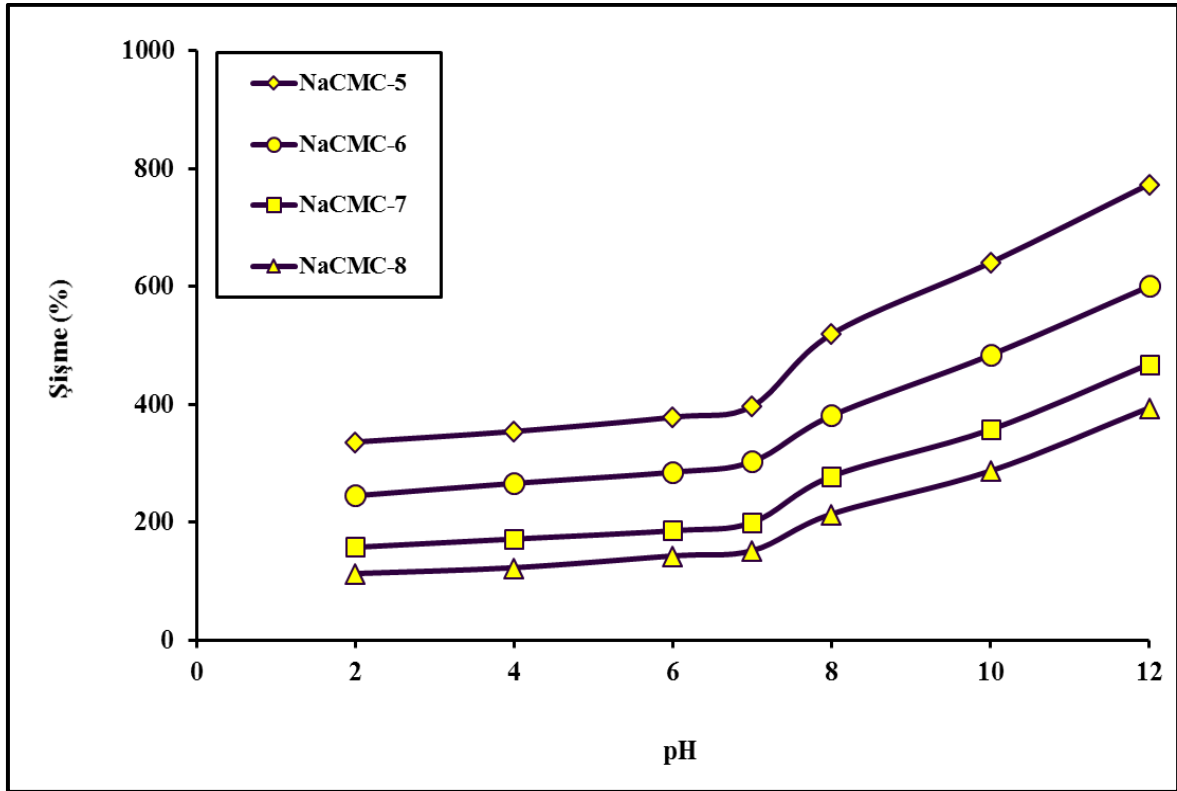
Şekil 4.8. %7 NaCMC hidrojenlerin ortalama şişme (%) değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiği (pH=7,0; 24 saat)

Grafiklerde görüldüğü gibi tüm hidrojellerin şişme değerleri sıcaklık arttıkça az da olsa artmış ancak değerler 10°C ile 60°C arasında çok fazla değişim göstermemiştir. Hidrojel yapılarının 60°C’de bile bozunmamıştır. Bu durumda, üretilen boncukların geniş bir sıcaklık aralığında kullanıma uygun olduğu söylenebilir. Şişme değerlerinin sıcaklıkla yükselmesi, polimer moleküllerinin termal hareketliliklerinin artışından dolayı olabilir. Sıcaklık yükseldikçe, yapının gevşemesi ile şişme değerlerinin arttığı söylenebilir. Hidrojellerin zaman-şişme eğrilerinin sıralaması, sıcaklık-şişme eğrilerinin sıralamasıyla uyumludur. Elde edilen bu sonuçlar literatüre uygundur [98,99].

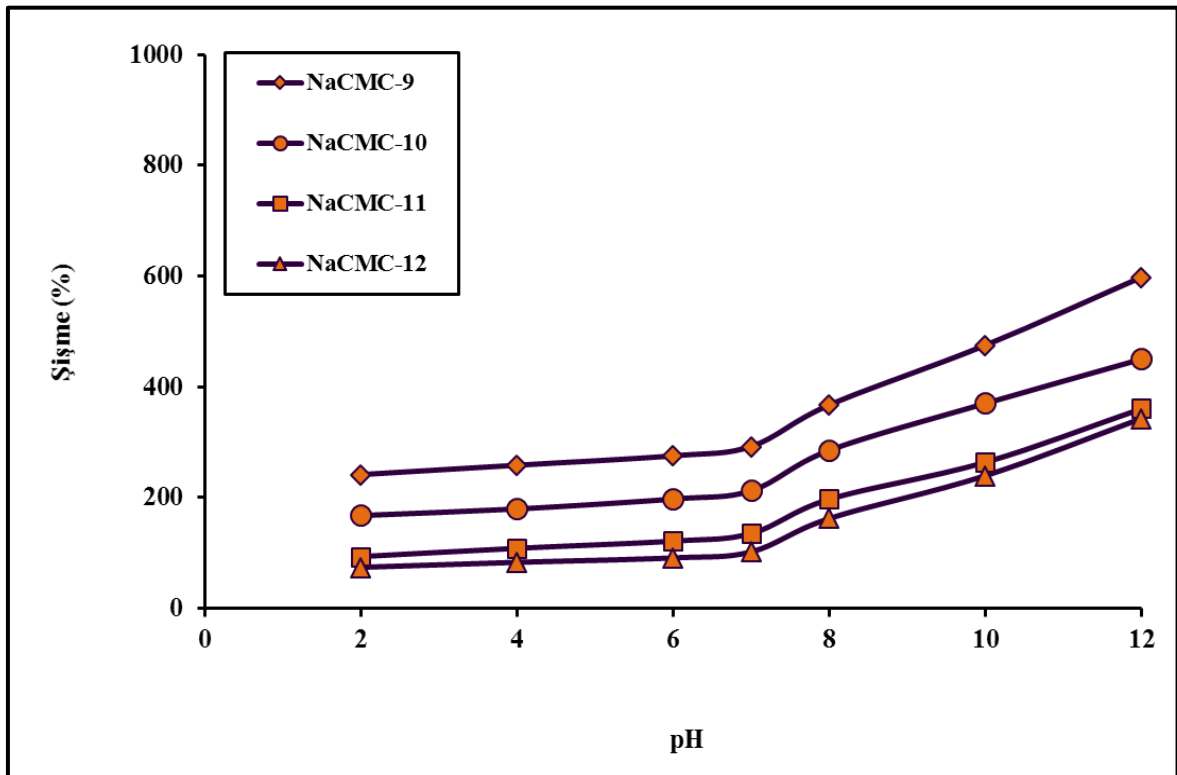
NaCMC hidrojellerin şişme değerlerinin pH ile değişimi: Hidrojellerin ortalama şişme değerlerinin pH ile değişimi Bölüm 3.6.3’de anlatıldığı şekilde incelenmiş, değerler EK-4’te verilmiş, sonuçlar grafiğe alınarak Şekil 4.9 – Şekil 4.11’de sunulmuştur.



Şekil 4.9. %3 NaCMC hidrojellerin ortalama şişme (%) değerlerinin pH ile değişimi grafiği (T=30°C; 24 saat)



Şekil 4.10. %5 NaCMC hidrojenlerin ortalama şişme (%) değerlerinin pH ile değişimi grafiği (T=30°C; 24 saat)

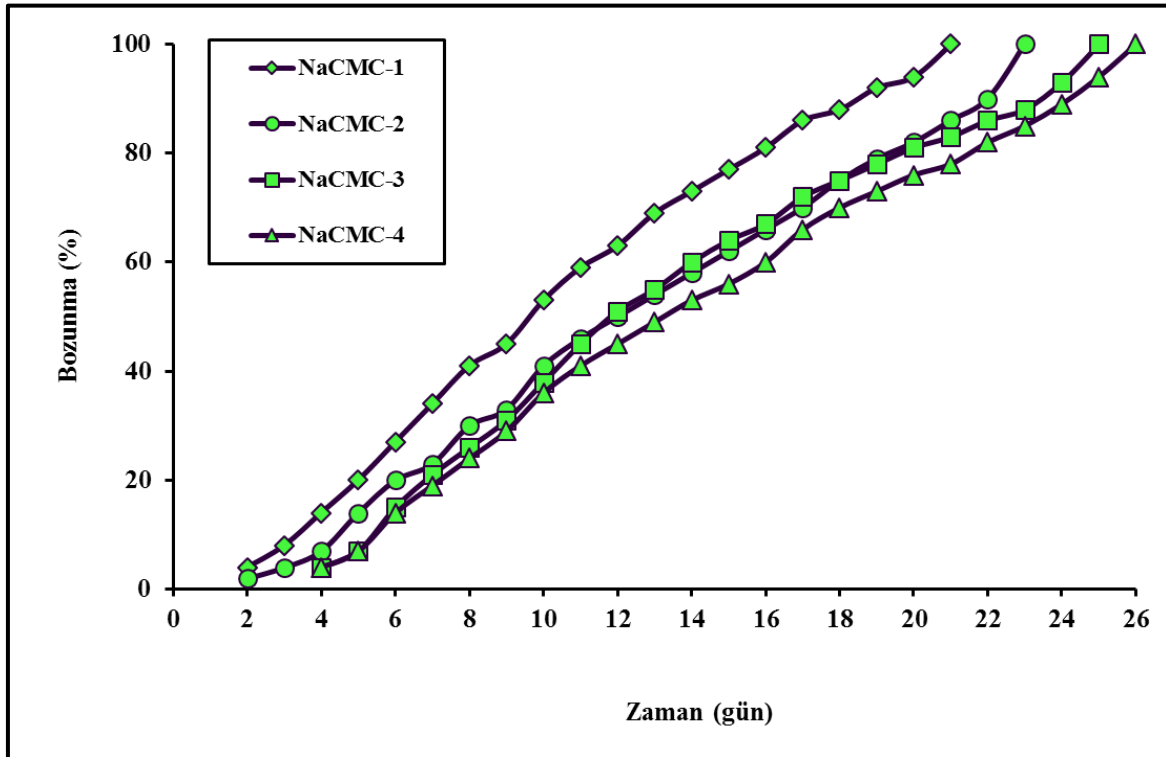


Şekil 4.11. %7 NaCMC hidrojenlerin ortalama şişme (%) değerlerinin pH ile değişimi grafiği (T=30°C; 24 saat)

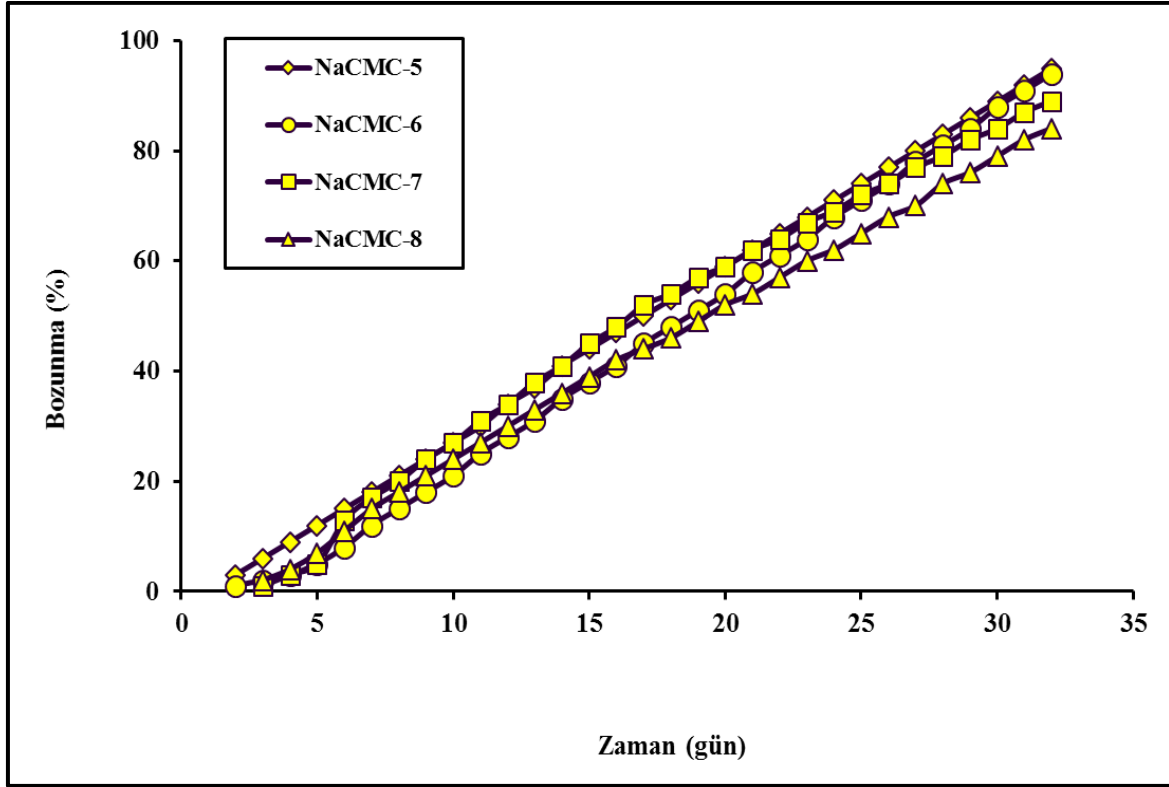
Sonuçlardan da görüldüğü gibi tüm hidrojellerde pH arttıkça şişme değerleri artmıştır. Asidik ortamlarda düşük, bazik ortamlarda ise yüksek şişme değeri gözlenmiştir. Bu durumda, üretilen bu NaCMC hidrojellerin pH duyarlı olduğu söylenebilir. Düşük pH'larda karboksilat grubu ($-\text{COO}^-\text{Na}^+$) asidik forma ($-\text{COOH}$) dönüşür. Asidik ortamda ayrışma olmadığında jel yapı nispeten yüksüz olur, böylece şişme değeri de azalır. Ayrıca hidrojen bağlarının artmasıyla, yapının esnekliği azalır ve bu da şişmeyi olumsuz etkiler. Bazik ortamlarda şişme kapasitesinin artması, ayrışma derecesine bağlı olarak elektrostatik itme ile ilişkilendirilebilir. pH artmasıyla, karboksil grupları iyonize olur ($-\text{COO}^-$), polimer zincirleri arasındaki elektrostatik itme sonucu iyonik bağlar ayrılır ve molekül zincirlerinin genişlemesiyle hidrojellerin denge şişme değeri artar. Elde edilen bu sonucun literatüre uygun olduğu söylenebilir [100].

4.1.4. NaCMC hidrojellerinin bozunma davranışları

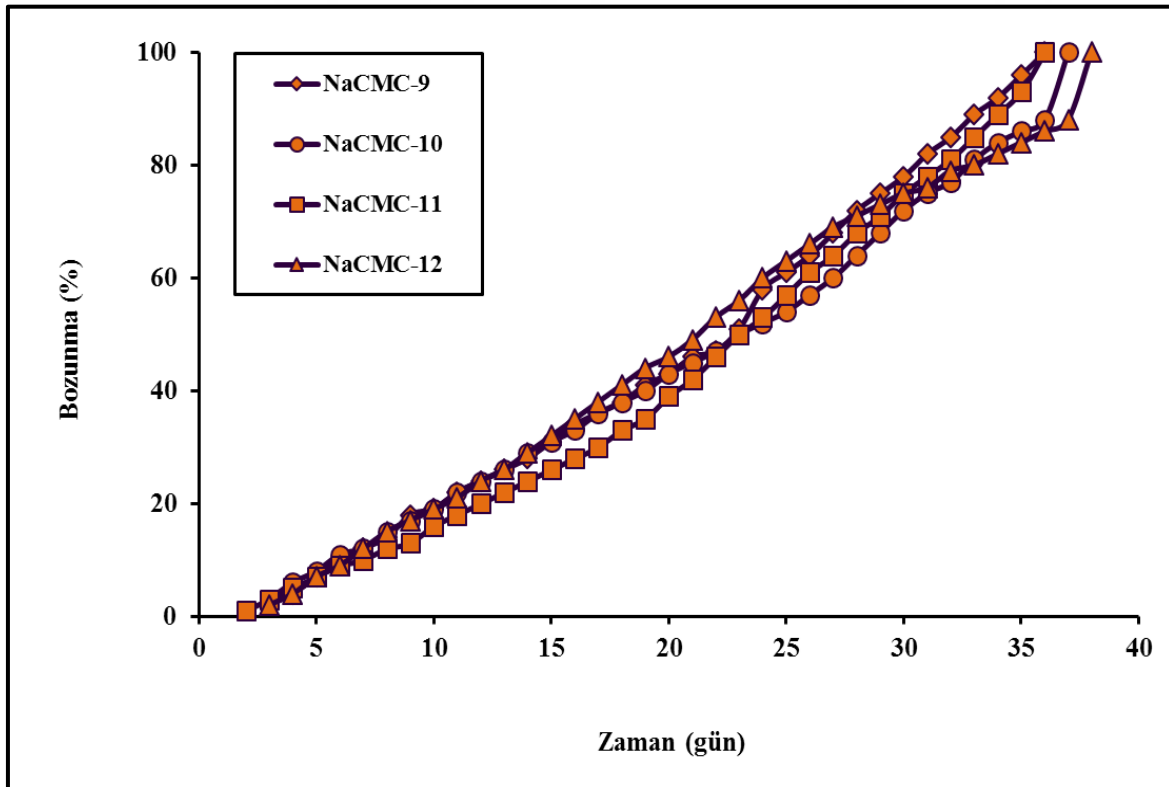
Tüm hidrojellerin bozunma davranışları 30°C ve $\text{pH}=7$ 'de, Bölüm 3.7'de anlatıldığı şekilde incelenmiş, değerler EK-5'te verilmiş, sonuçlar grafiğe alınarak Şekil 4.12 – Şekil 4.14'te sunulmuştur.



Şekil 4.12. %3 NaCMC hidrojellerinin ortalama bozunma (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği ($T=30^\circ\text{C}$; $\text{pH}=7,0$)



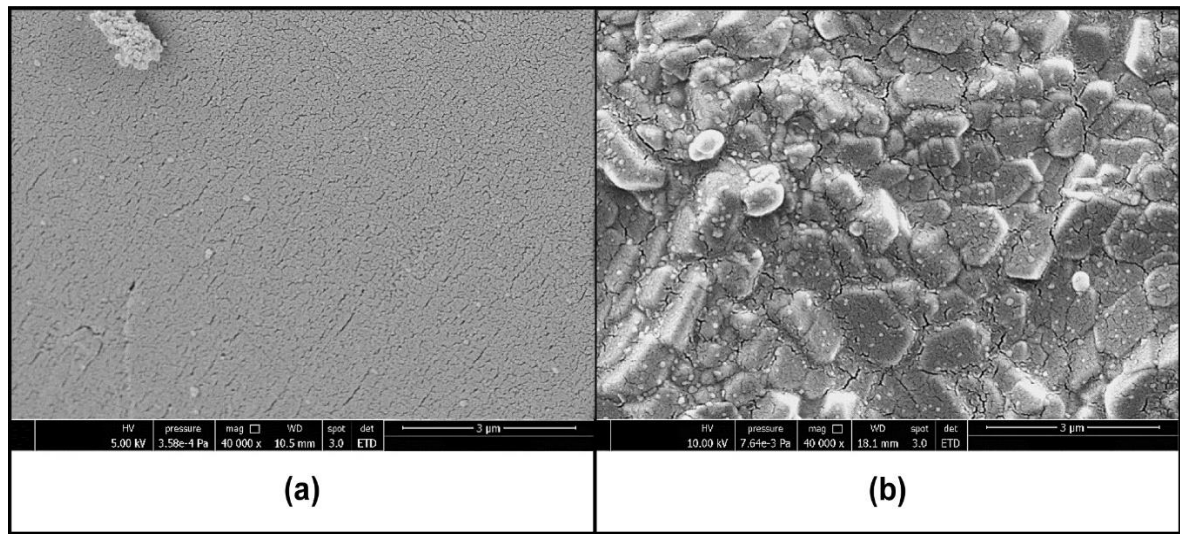
Şekil 4.13. %5 NaCMC hidrojenlerin ortalama bozunma (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği (T=30°C; pH=7,0)



Şekil 4.14. %7 NaCMC hidrojenlerin ortalama bozunma (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği (T=30°C; pH=7,0)

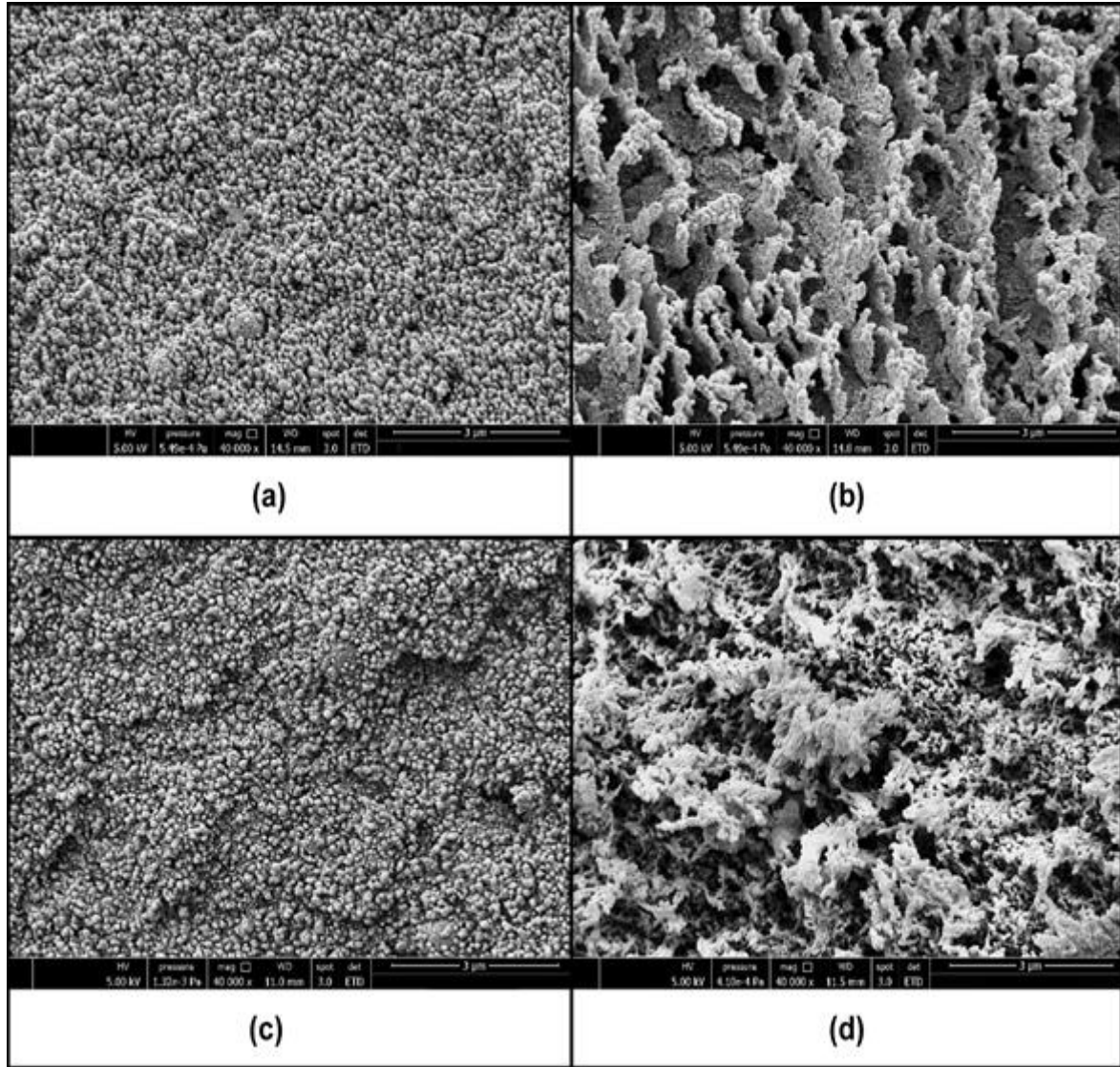
Sonuçlardan da görüleceği gibi, üretilen hidrojellerin bozunma süreleri 21 ile 38 gün aralığında değişmektedir. Polimer yüzdesi az olan hidrojeller, diğer hidrojellere göre daha hızlı bozunma göstermiştir. %5 ve %7'lik NaCMC hidrojellerinin bozunma sürelerinin birbirlerine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Polimer-çapraz bağlayıcı miktarı en fazla ve hidrojel oluşum verimi (%) en yüksek olan NaCMC-12 hidrojelinin bozunmasının en uzun sürdüğü (yaklaşık 38 gün) belirlenmiştir [101,102].

4.1.5. NaCMC hidrojellerinin SEM analizi



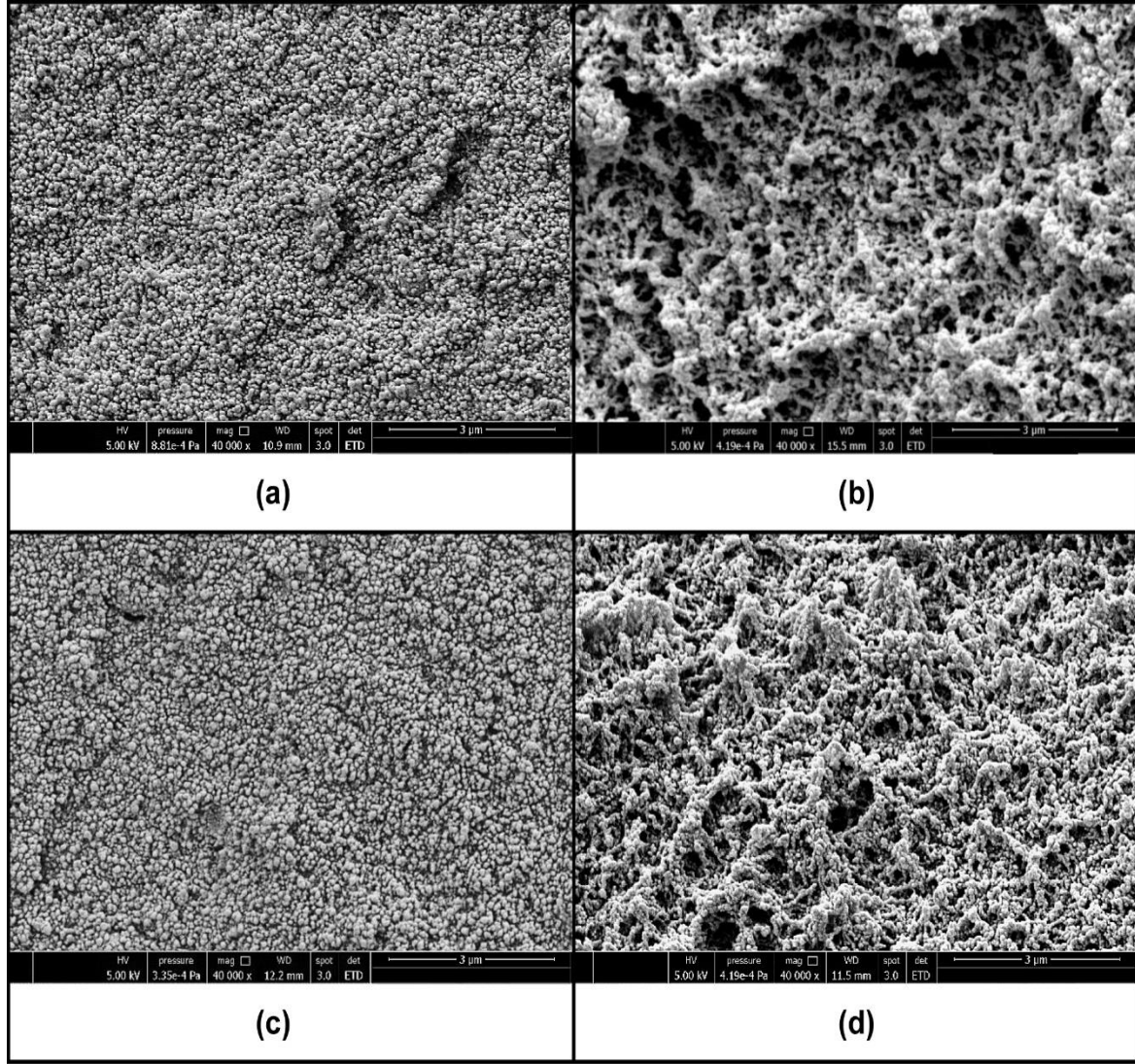
Resim 4.2. Kuru NaCMC hidrojelinin SEM fotoğrafları x40000 büyütme (a) yüzey (b) kesit

Hidrojellerin SEM İncelemesi Bölüm 3.8’de anlatıldığı gibi incelenmiştir. Resim 4.2’de kuru NaCMC hidrojelinin SEM görüntüleri verilmiştir. SEM fotoğrafları incelendiğinde, kuru haldeki hidrojellerin yüzey ve kesit görüntülerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir. Kuru hidrojel yüzeyi pürüzsüz ve gözeneksiz bir yapıya sahip iken, kesiti pürüzlü ve gözeneksiz bir yapıya sahip olduğu görülmüştür [103].



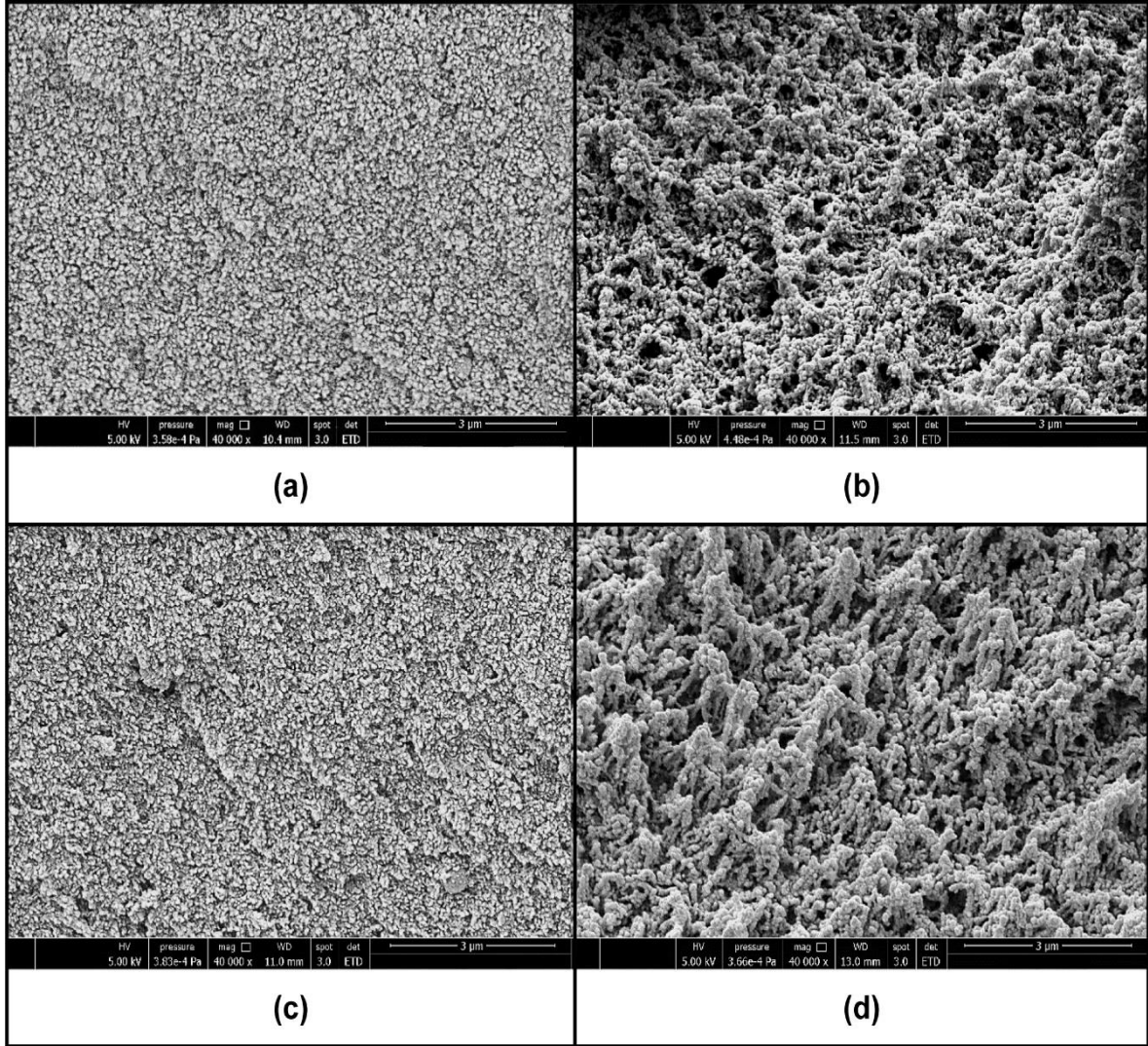
Resim 4.3. NaCMC hidrojenlerin SEM fotoğrafları x40000 büyütme (a) NaCMC-1 yüzey, (b) NaCMC-1 kesit, (c) NaCMC-4 yüzey, (d) NaCMC-4 kesit

Resim 4.3'te şişmiş NaCMC-1 ve NaCMC-4 örneklerinin yüzey ve kesit görüntüleri verilmiştir. Şişmiş haldeki hidrojenlerin yüzey ve kesit görüntülerinin birbirinden çok farklı olduğu açık bir şekilde görülmüştür. Hidrojenlerin yüzeyleri tanecikli-gözenekli yapıya sahipken, kesitleri süngerimsi-gözenekli yapıdadır. Tanecikli yapı, demirin yüzeyden çapraz bağlanması ile açıklanabilir [104].



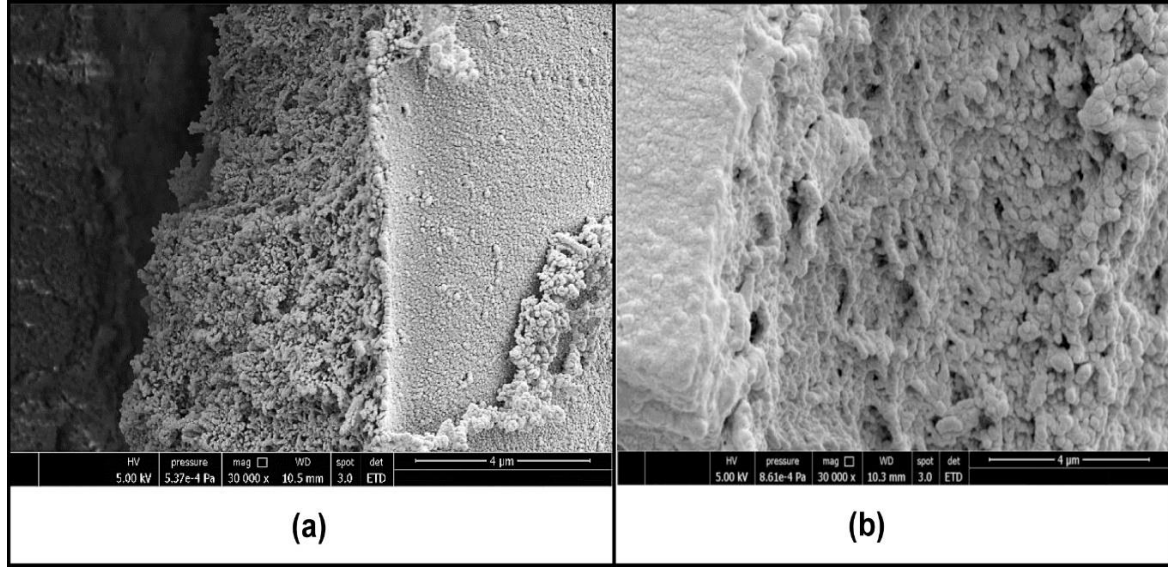
Resim 4.4. NaCMC hidrojenlerin SEM fotoğrafları x40000 büyütme (a) şişmiş NaCMC-5 yüzey, (b) şişmiş NaCMC-5 kesit, (c) şişmiş NaCMC-8 yüzey, (d) şişmiş NaCMC-8 kesit.

Resim 4.4'te şişmiş NaCMC-5 ve NaCMC-8 örneklerinin yüzey ve kesit görüntüleri verilmiştir. Resim 4.4.(b) ve Resim4.4.(d) görüntüleri kıyaslanırsa, NaCMC-8 örneğinde gözeneklerin biraz daha küçük olduğu söylenebilir. Ayrıca Resim 4.3 ve Resim 4.4'teki görüntüler birbiri ile kıyaslandığında da, polimer miktarı arttıkça hidrojenlerin tanecik ve gözenek boyutlarının küçüldüğü saptanmıştır. Bu durum, polimer miktarının artmasıyla, çapraz bağlanmanın arttığı ve yapının daha da sıkılaşarak gözenek ve tanecik boyutlarının azalması şeklinde açıklanabilir [88].



Resim 4.5. NaCMC hidrojellerin SEM fotoğrafları x40000 büyültme (a) şişmiş NaCMC-9 yüzey, (b) şişmiş NaCMC-9 kesit, (c) şişmiş NaCMC-12 yüzey, (d) şişmiş NaCMC-12 kesit.

Resim 4.5'te şişmiş NaCMC-9 ve NaCMC-12 örneklerinin yüzey ve kesit görüntüleri verilmiştir. İki örneğin SEM görüntüleri incelendiğinde, çapraz bağlayıcı miktarı arttıkça tanecik ve gözenek boyutlarının pek fazla değişmediği gözlenmiştir. Resim 4.5'teki SEM görüntüleri, Resim 4.4'te verilen görüntülerle kıyaslanırsa, hidrojellerin sadece tanecik boyutlarının küçüldüğü belirlenmiştir. Bu durum polimer yüzdesinin artmasıyla, yüzeyde daha fazla demirin bağlanması şeklinde açıklanabilir [97,98].



Resim 4.6. NaCMC hidrojenlerin SEM fotoğrafları x30000 büyütme (a) şişmiş NaCMC-5 kenar, (b) şişmiş NaCMC-8 kenar

Resim 4.6’da NaCMC-5 ve NaCMC-8 hidrojenlerinin kenar görüntüleri sunulmuştur. Bu görüntülerden de yüzey ve kesit morfolojilerindeki farklılıklar net bir şekilde görülmektedir. Genel olarak tüm görüntüler birbiri ile karşılaştırıldığında, şişme değeri en fazla olan NaCMC-1 hidrojeninin en büyük taneciklere ve gözeneklere, şişme değeri en az olan NaCMC-12 hidrojeninin ise en küçük taneciklere ve gözeneklere sahiptir. Ayrıca, hidrojenlerin yüzeylerindeki tanecikliliğin, polimer ve çapraz bağlayıcı miktarları arttıkça arttığı gözlenmiştir. Bu yargıyı test etmek üzere SEM görüntülerinden morfolojik bir analiz yapılmıştır. Bunun için yüzey fotoğraflarından ortalama tanecik yoğunluğu (tanecik sayısı/cm²), ortalama tanecik boyutu (nm); kesit fotoğraflarından ise ortalama gözenek boyutu (nm) ve ortalama gözenek yoğunluğu (gözenek sayısı/cm²) hesaplanarak Çizelge 4.3’teki rakamsal veriler oluşturulmuştur.

Çizelge 4.3’te verilen sonuçlara incelendiğinde, öncelikle hidrojel tanecikliliğin ve gözenekliliğinin çoğunlukla nano boyutta olduğu görülmektedir. NaCMC-1 ve NaCMC-4 hidrojenlerinin yüzeylerindeki tanecik boyut değerlerinin birbirine yakın, gözenek boyut değerlerinin ise birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir. En çok şişen NaCMC-1 hidrojeni, NaCMC-4 hidrojenine göre daha büyük gözeneklere sahiptir. Ayrıca NaCMC-1 hidrojeninin yüzeyindeki tanecik ve gözenek yoğunluğu, NaCMC-4 hidrojenine göre daha azdır; bu durum hidrojel yüzeyindeki çapraz bağlayıcı miktarının artmasıyla ilişkilendirilebilir.

Çizelge 4.3. NaCMC hidrojenlerin morfolojik özellikleri

Hidrojenler	Ortalama Tanecik Yoğunluğu (tanecik sayısı/cm ²)	Ortalama Tanecik Boyutu (nm)	Ortalama Gözenek Boyutu (nm)	Ortalama Gözenek Yoğunluğu (gözenek sayısı/cm ²)
NaCMC-1	$9,1 \times 10^{11} \pm 0,2$	$66,7 \pm 0,9$	$237,8 \pm 15,4$	$1,4 \times 10^9 \pm 0,4$
NaCMC-4	$9,4 \times 10^{11} \pm 0,2$	$62,1 \pm 0,9$	$189,8 \pm 12,2$	$2,3 \times 10^9 \pm 0,4$
NaCMC-5	$9,2 \times 10^{11} \pm 0,4$	$45,7 \pm 0,8$	$183,6 \pm 9,2$	$8,8 \times 10^9 \pm 0,5$
NaCMC-8	$10,5 \times 10^{11} \pm 0,4$	$25,8 \pm 0,5$	$125,2 \pm 7,2$	$18,8 \times 10^9 \pm 0,5$
NaCMC-9	$19,1 \times 10^{11} \pm 0,5$	$12,5 \pm 0,2$	$129,6 \pm 5,7$	$19,4 \times 10^9 \pm 0,6$
NaCMC-12	$21,2 \times 10^{11} \pm 0,5$	$13,1 \pm 0,3$	$82,1 \pm 3,2$	$20,2 \times 10^9 \pm 0,6$

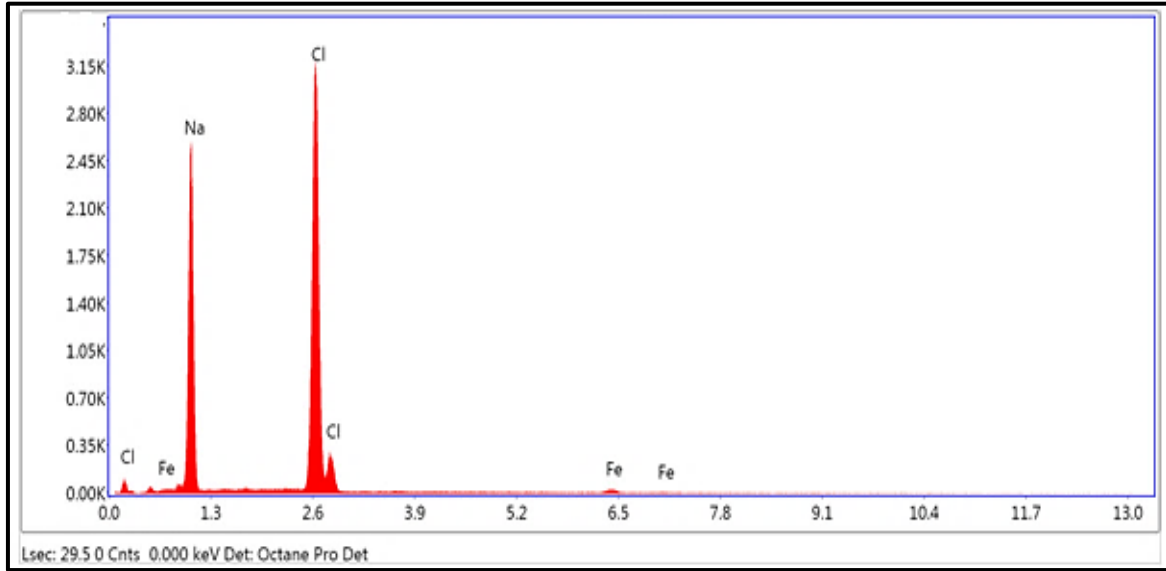
NaCMC-5 hidrojeninin gözenek ve tanecik yoğunluğu, NaCMC-8 hidrojenine göre daha az olmasına rağmen gözenek ve tanecik boyutlarının daha büyük olduğu belirlenmiştir. Aynı sonuçlar, NaCMC-9 ve NaCMC-12 hidrojenleri için de elde edilmiştir.

Sonuç olarak SEM fotoğrafları ve Çizelge 4.3'te verilen sonuçlar birlikte incelendiğinde, çapraz bağlayıcı miktarı ve polimer miktarı arttıkça hidrojenlerin tanecik ve gözenek boyutlarının küçüldüğü buna karşılık tanecik ve gözenek yoğunluğunun arttığı değerlendirilmesi yapılmıştır.

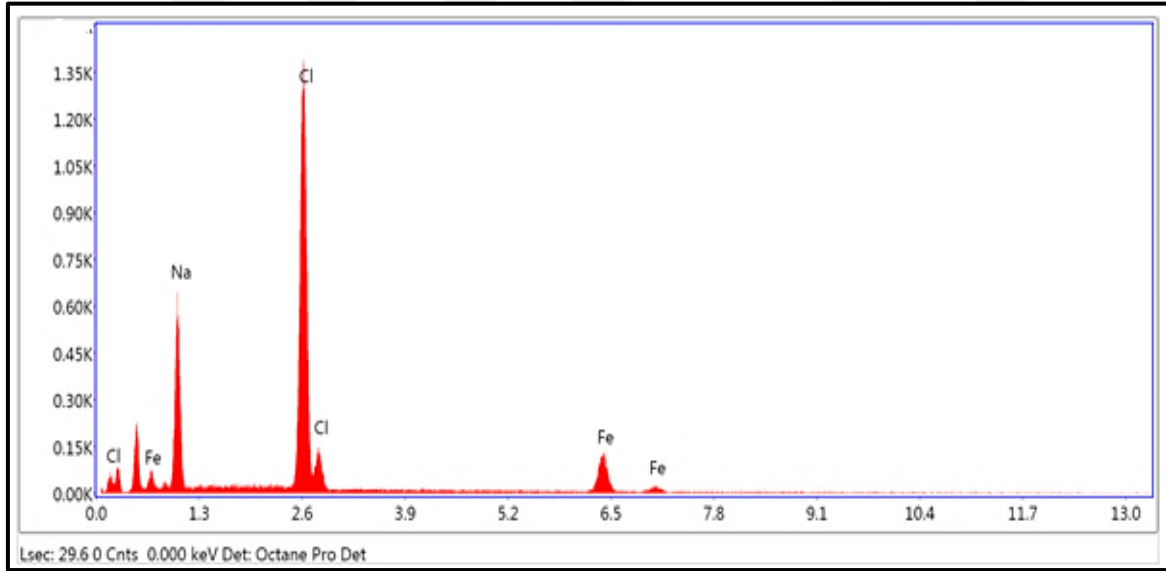
4.1.6. NaCMC hidrojenlerinin EDAX incelemesi

NaCMC hidrojenlerinin EDAX incelemesi Bölüm 3.9'da anlatıldığı gibi yürütülmüş ve elde edilen grafikler Şekil 4.15 – Şekil 4.18'de sunulmuştur. Ayrıca EDAX incelemesi sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.4'te verilmiştir.

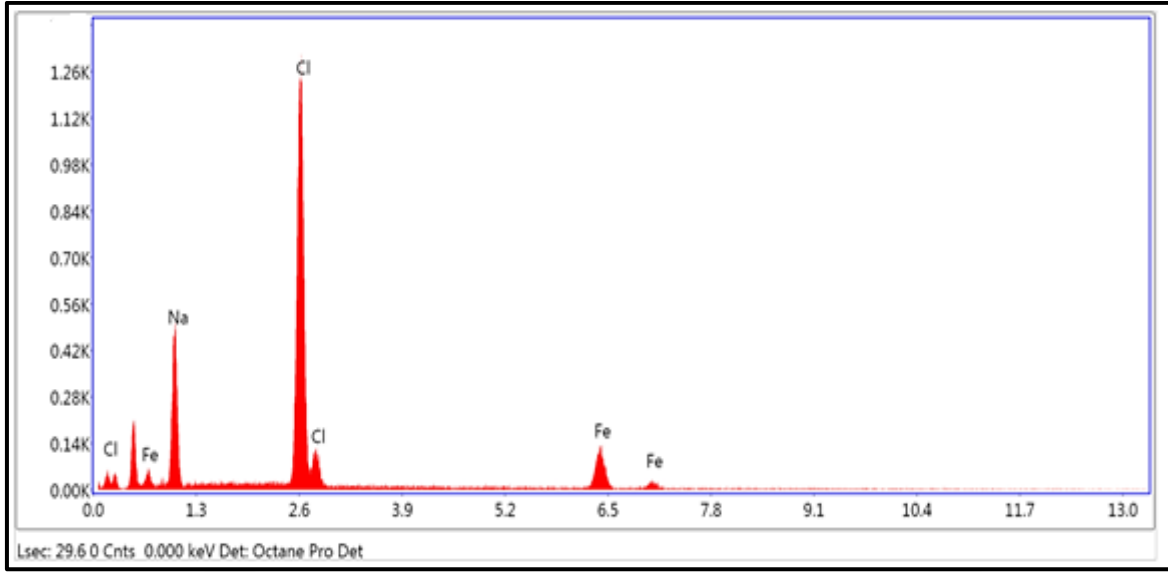
Sonuçlar incelendiğinde, tüm örneklerde Na, Fe ve Cl elementleri tespit edilmiştir. FeCl_3 miktarının artmasıyla, spektrumlarda Na elementinin pik şiddetinin azaldığı ve Fe elementinin pik şiddetinin ise gittikçe arttığı belirlenmiştir [105,106].



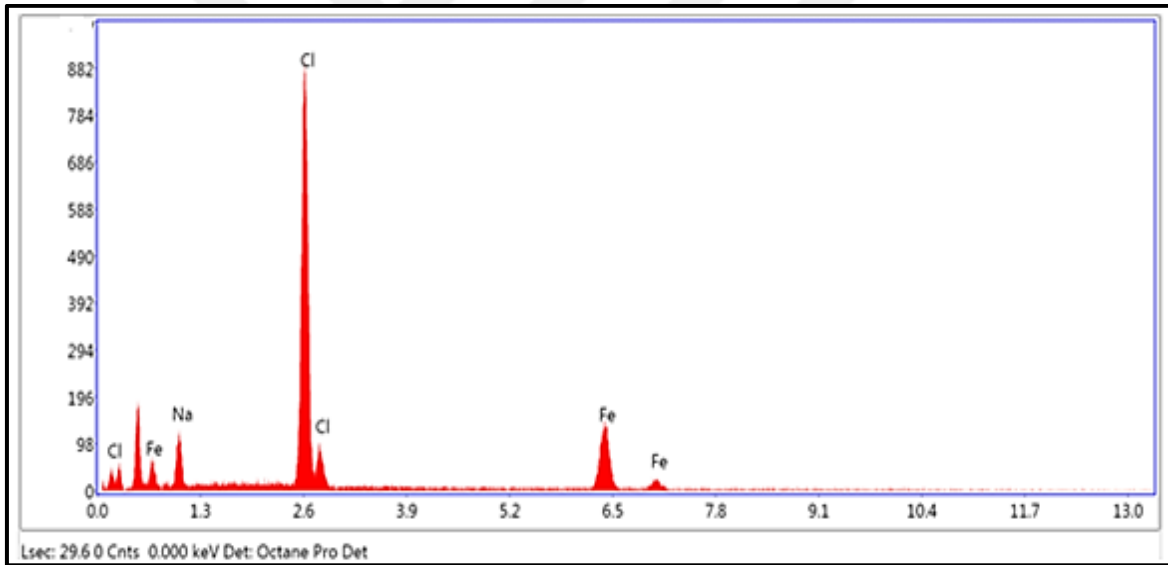
Şekil 4.15. %4 FeCl_3 kullanılarak hazırlanan NaCMC hidrojelinin EDAX spektrumu



Şekil 4.16. %6 FeCl_3 kullanılarak hazırlanan NaCMC hidrojelinin EDAX spektrumu



Şekil 4.17. %8 FeCl_3 kullanılarak hazırlanan NaCMC hidrojelinin EDAX spektrumu



Şekil 4.18. %10 FeCl_3 kullanılarak hazırlanan NaCMC hidrojelinin EDAX spektrumu

Çizelge 4.4'te verilen sonuçlara göre, %4 FeCl_3 ile hazırlanan hidrojelde Fe içeriği %5,72 ve Na içeriği %44,21 olarak elde edilmişken, %10 FeCl_3 ile hazırlanan hidrojelde Fe içeriği %21,96 ve Na içeriği %14,96 olarak bulunmuştur. Bu durum polimer ile Fe^{3+} iyonları arasındaki etkileşim arttıkça, polimerdeki Na içeriğinin azalması şeklinde açıklanabilir. Bu sonuçlara göre, çapraz bağlanmanın başarı ile gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.4. NaCMC hidrojellerinin EDAX sonuçları

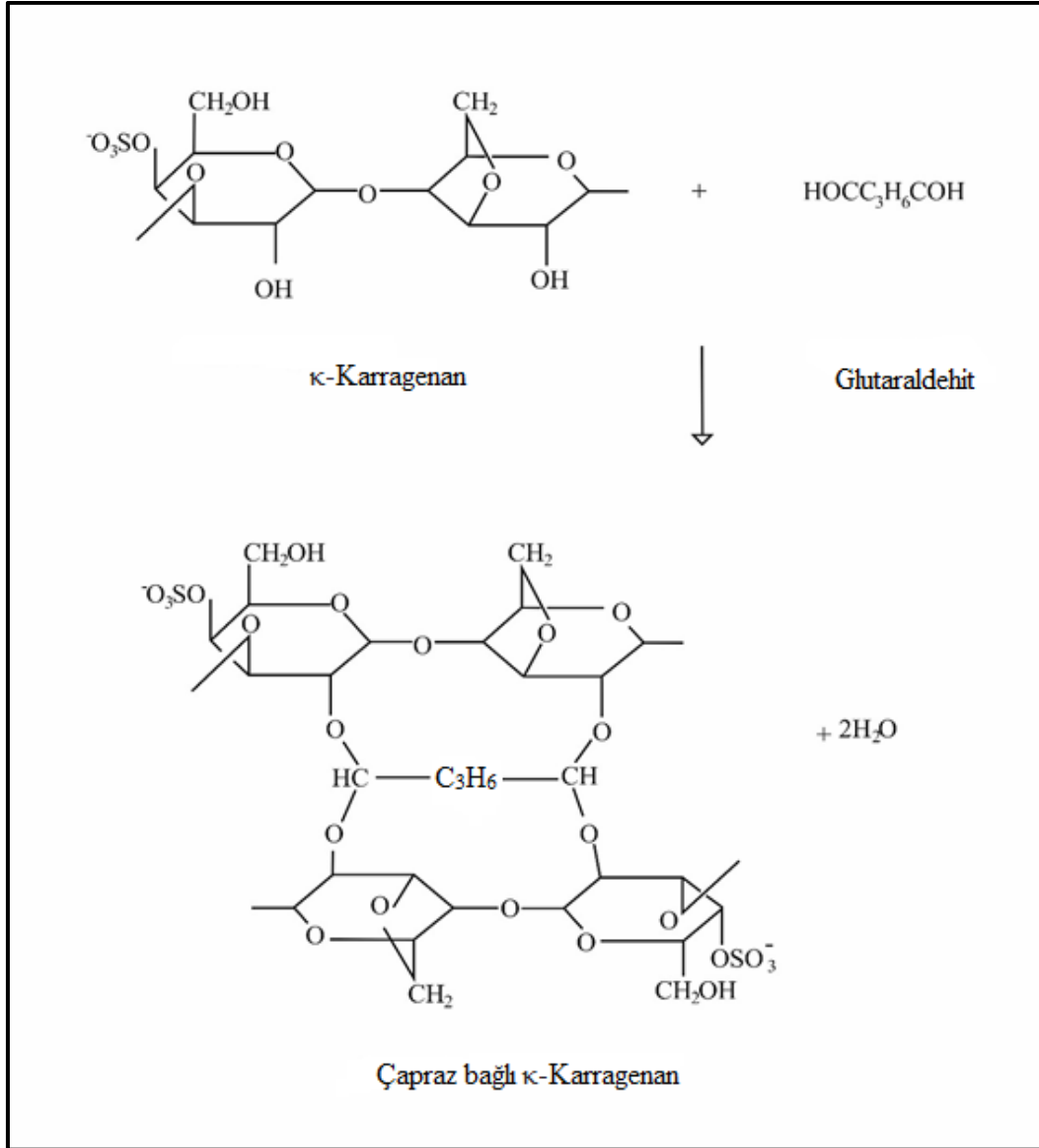
Element miktarları FeCl ₃ içeriği	FeK (%)	ClK (%)	NaK (%)
% 4	5,72	53,93	44,21
% 6	12,53	50,78	32,69
% 8	18,27	50,89	30,84
%10	21,96	52,07	14,96

4.2. κ -Karragenan Hidrojellerinin Üretimi ve Karakterizasyonu

Bu bölümde κ -Karragenan hidrojellerinin üretim koşulları, oluşum mekanizmaları ve karakterizasyon test sonuçları alt başlıklar halinde değerlendirilmiştir.

4.2.1. κ -Karragenan hidrojel oluşum mekanizması ve verimleri

κ -Karragenan hidrojelleri, Bölüm 3.3'te anlatıldığı şekilde GA ile çapraz bağlanarak hazırlanmıştır. GA'nın yapısındaki aldehit gruplarıyla, polimer zincirlerinde bulunan hidroksil gruplarının bağlanmasıyla gerçekleşir. Polimer ile GA arasındaki kimyasal çapraz bağlanma tepkimesinin olası mekanizması Şekil 4.19'da sunulmuştur.

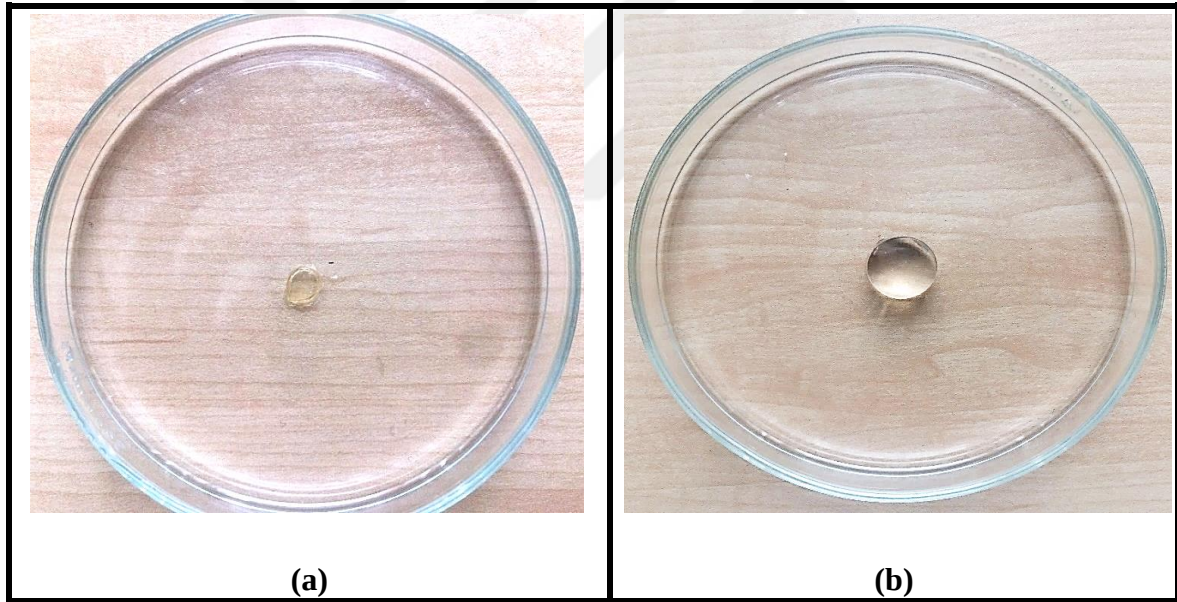


Şekil 4.19. κ -Karragenan hidrojelinin oluşum mekanizması

Hidrojellerin oluşum yüzdeleri Bölüm 3.4'te anlatıldığı şekilde incelenmiş ve sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir. En yüksek hidrojel oluşum verimi %93 ile K-6 hidrojelinde, en düşük hidrojel oluşum verimi %72 ile K-1 hidrojeli için bulunmuştur. NaCMC hidrojellerinde gözlendiği gibi, κ -Karragenan hidrojelinde de çapraz bağlayıcı miktarı dolayısıyla Ç/P oranı arttıkça hidrojel oluşum verimide artmıştır [107,108]. Hidrojellerin kuru ve şişmiş halleri Resim 4.7'de gösterilmiştir.

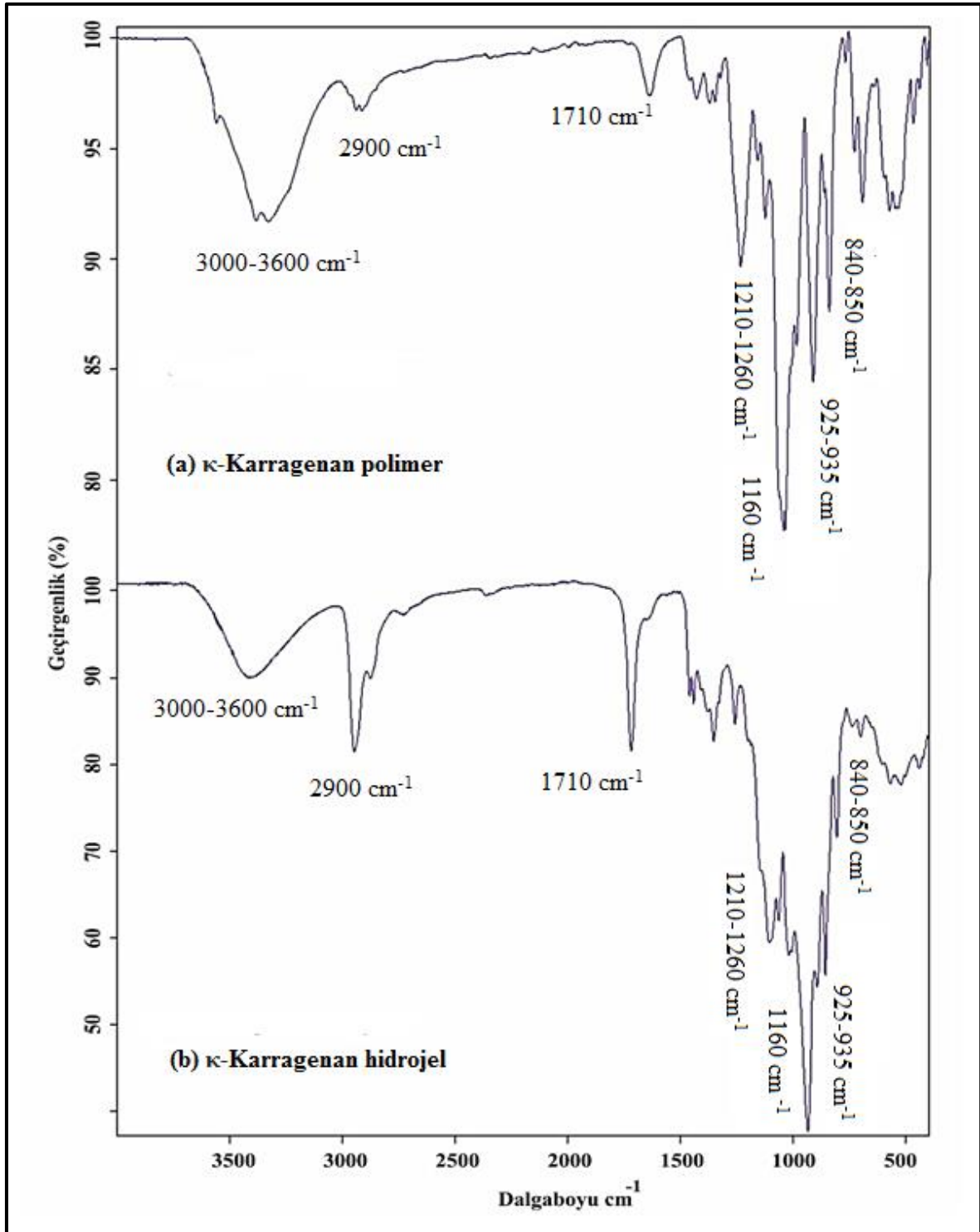
Çizelge 4.5. κ -Karragenan hidrojenlerin üretim koşulları ve bazı karakteristik özellikleri

Veriler Hidrojel	κ -Karragenan (%)	GA (mL)	Ç/P	Hidrojel Oluşum Verimi (%)	Denge şişme değeri (%)
K-1	2,0	0,25	0,12	72	970
K-2	2,0	0,50	0,25	80	771
K-3	2,0	0,75	0,37	85	721
K-4	2,0	1,00	0,50	87	635
K-5	2,0	1,25	0,62	90	421
K-6	2,0	1,50	0,75	93	258

Resim 4.7. κ -Karragenan hidrojenlerin (a) kuru, (b) şişmiş hali

4.2.2. κ -Karragenan hidrojeninin ATR-FTIR analizi

Üretilen κ -Karragenan hidrojeninin ve polimerinin ATR-FTIR analizleri, Bölüm 3.5'te anlatıldığı şekilde yürütülmüş, polimerinin ve hidrojenin ATR-FTIR spektrumları Şekil 4.20'de sunulmuştur.



Şekil 4.20. κ -Karragenan polimerinin ve hidrojelinin FTIR spektrumları

Şekil 4.20’de sunulan κ -Karragenan polimeri ve GA ile çapraz bağlı κ -Karragenan hidrojeline ait ATR-FTIR spektrumları incelendiğinde, her ikisinin de benzer pikler verdiği görülmüştür. 3000-3600 cm^{-1} arasında görülen geniş band -OH gerilmesinden, 2900 cm^{-1} civarında görülen pik ise alifatik C-H gerilmelerinden kaynaklanır. 1210-1260 cm^{-1}

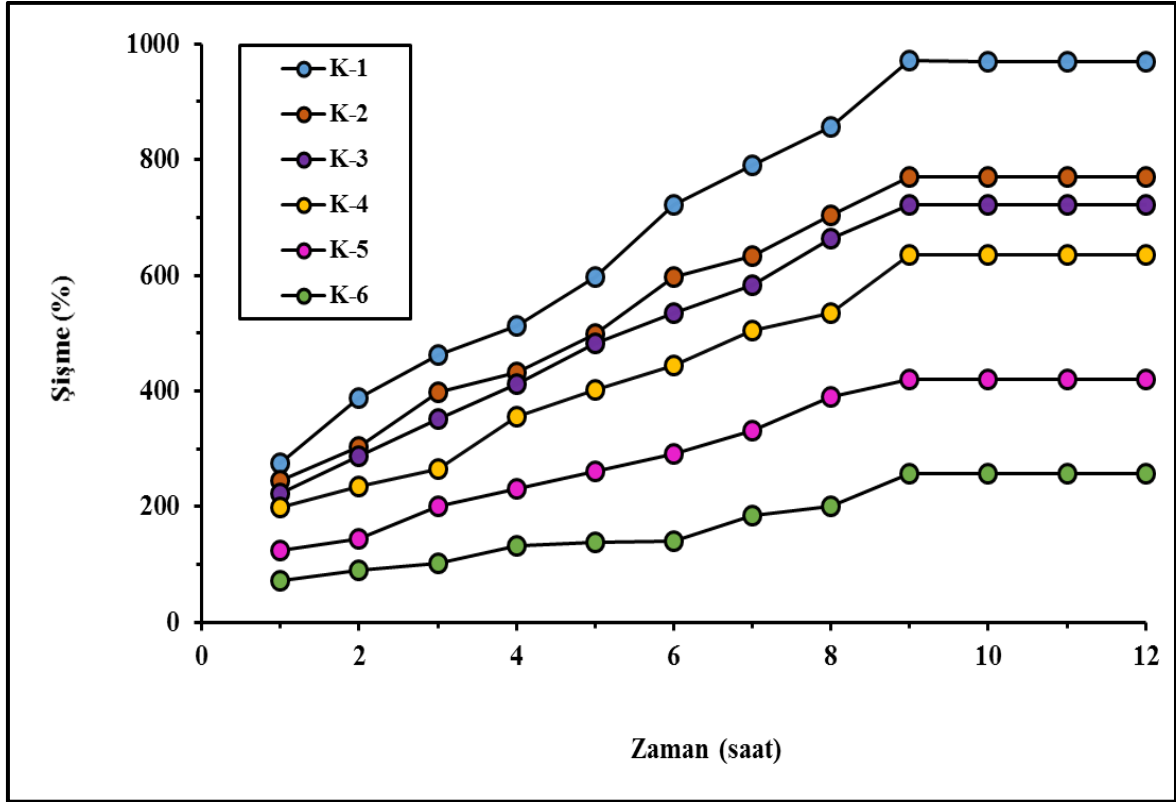
arasındaki kuvvetli absorpsiyon bandının polimerin sülfat esterlerinin S=O grubuna, 925-935 cm^{-1} civarındaki bandının polimerin 3,-6-anhidro-D-galaktoz grubuna ve 840-850 cm^{-1} civarındaki bandının polimerin D-galaktoz-4-sulfat grubuna ait olduğu gözlenmiştir. Ayrıca 1160 cm^{-1} civarı C-O-C köprüsü asimetric gerilme bantları mevcuttur. Hidrojel ile polimere ait spektrumlarda çok farklı pikler saptanmamıştır. Ancak 1710 cm^{-1} civarındaki pik şiddetin hafif arttığı tespit edilmiştir. Bu pikin, GA'nın aldehit grubu ile polimerin hidroksil grubunun etkileşime girmesi sonucunda oluşan asetal köprüsünden kaynaklandığı düşünülmektedir. Böylece, GA ile polimer arasındaki çapraz bağlanmanın gerçekleştiği söylenebilir [109,110].

4.2.3. κ -Karragenan hidrojellerin şişme deneylerinin sonuçları

Üretilen hidrojellerin şişme deneyleri Bölüm 3.6'da anlatıldığı şekilde yürütülmüş ve sonuçlar alt başlıklar halinde sunulmuştur.

κ -Karragenan hidrojellerin şişme değerlerinin zamanla değişimi: κ -Karragenan hidrojellerin 30°C ve pH=7,0'de zamana karşı şişme davranışları Bölüm 3.6.1'de anlatıldığı şekilde incelenmiş, şişme değerleri EK-6'da verilmiş ve sonuçlar Şekil 4.21'deki grafikte sunulmuştur.

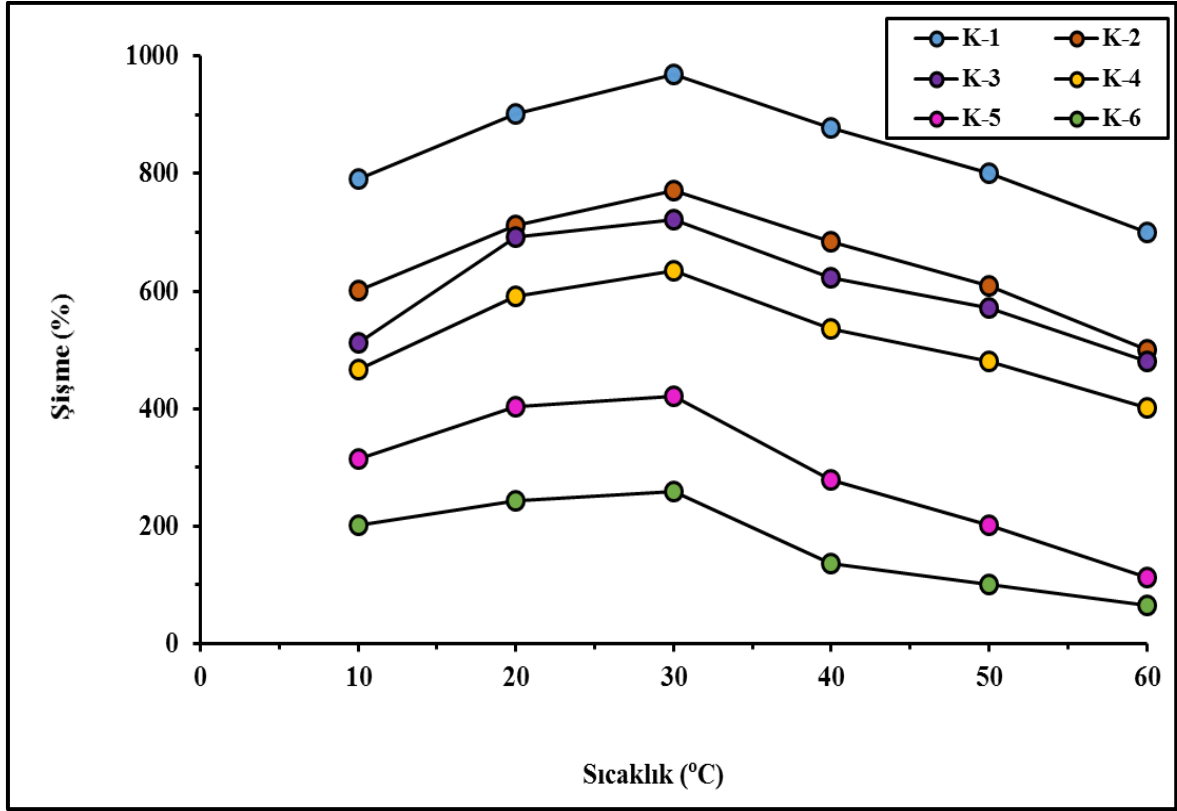
Bu grafikte görüldüğü gibi, tüm hidrojellerin şişme değerleri zamanla artmış ve yaklaşık 9 saatte dengeye ulaşmıştır. Hidrojellerin denge şişme değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, çapraz bağlanma miktarı arttıkça şişme değerleri de azalmıştır. En yüksek şişme değeri K-1 hidrojel için %970, en düşük şişme değeri ise K-6 hidrojel için %258 olarak elde edilmiştir. Şişme değerlerinin, hidrojel oluşum verimi (%) ile uyumludur. En yüksek oluşum verimine sahip hidrojelde, düşük şişme değeri gözlenmiştir [111,112].



Şekil 4.21. κ -Karragenan hidrojenlerin ortalama şişme (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği (T=30°C; pH=7,0)

κ -Karragenan hidrojenlerin şişme değerlerinin sıcaklıkla değişimi: Hidrojenlerin ortalama şişme değerlerinin sıcaklıkla değişimi Bölüm 3.6.2’de anlatıldığı şekilde incelenmiş, değerler EK-7’de verilmiş ve sonuçlar grafiğe alınarak Şekil 4.22’de sunulmuştur.

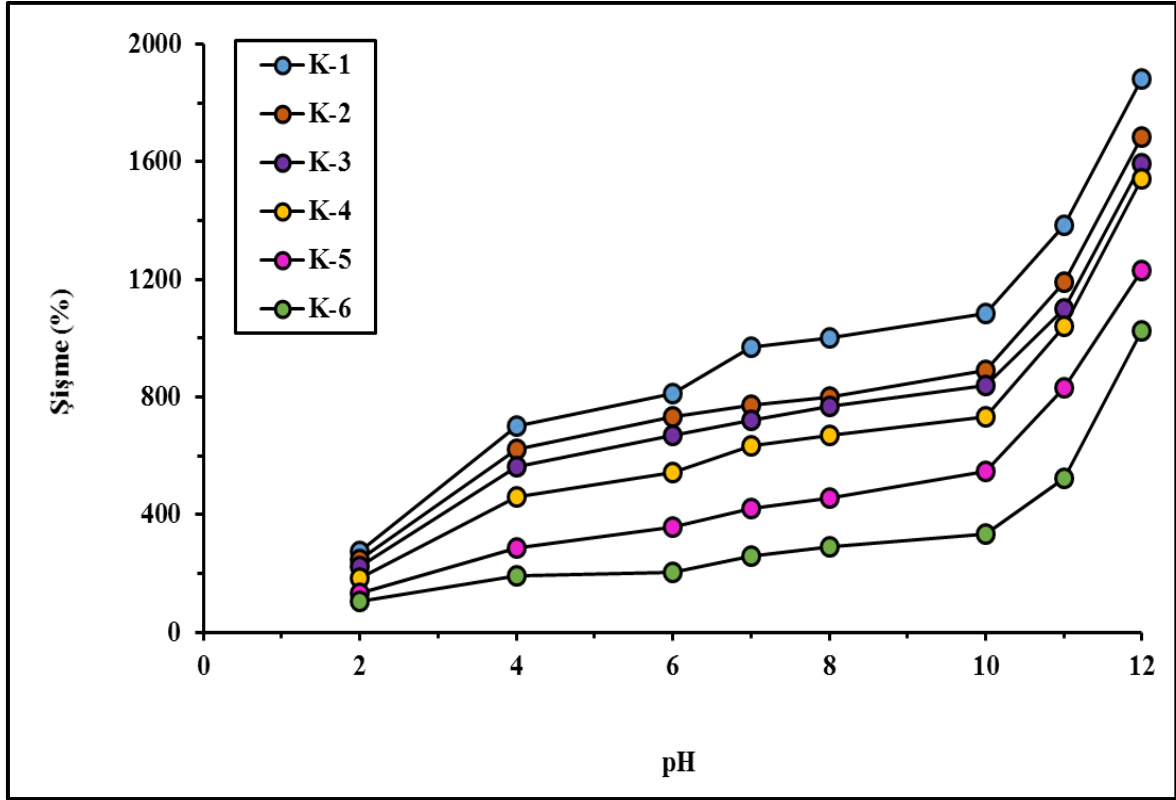
Grafikte görüldüğü gibi, tüm hidrojenlerin sıcaklık artışıyla şişme değerleri artmış ve 30°C civarında en yüksek değerine ulaşmıştır. Şişme değerlerinin sıcaklıkla yükselmesi, polimer moleküllerinin termal hareketliliklerinin artışından dolayı olabilir. 30°C’den sonra, şişme değerleri azalmaya başlamış ve en düşük şişme değerleri 60°C’de gözlenmiştir. Bu durum 30°C’den sonra hidrojel yapıda belli bir miktar büzüşmenin gerçekleşmesi ve buna bağlı olarak şişme değerlerinde azalma olması ile açıklanabilir. [98,99].



Şekil 4.22. κ -Karragenan hidrojellerin ortalama şişme (%) değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiği (pH=7,0; 12 saat)

κ -Karragenan hidrojellerin şişme değerlerinin pH ile değişimi: Hidrojellerin ortalama şişme değerlerinin pH ile değişimi Bölüm 3.6.3'te anlatıldığı şekilde incelenmiş, değerler EK-8'de verilmiş ve sonuçlar grafiğe alınarak Şekil 4.23'te sunulmuştur.

Grafikte görüldüğü gibi, tüm hidrojellerin asidik ortamda düşük şişme değerlerine sahip olduğu, pH arttıkça şişme değerlerinin arttığı ve en yüksek şişme değerlerinin pH=12'de gözlendiği belirlenmiştir. Bu pH'da en yüksek şişme değeri K-1 hidrojel için yaklaşık olarak %1883, en düşük şişme değeri ise K-6 hidrojel için yaklaşık olarak %1024 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, κ -Karragenan hidrojelleri pH değişimlerine duyarlıdır denilebilir. Bu durum, κ -Karragenan iyonik bir polimer olması ve ortamın pH değerlerine bağlı olarak şişme değerlerinin değişiklik göstermesi ile açıklanabilir. Yapısındaki anyonik gruplardan dolayı asidik ortamlarda, iyonik yapısında bir azalma ortaya çıkabilir bu nedenle şişme değerleri düşebilir. Bazı ortamlarda, iyonlaşma ile yük yoğunluğunun artmasıyla iyonlaşmış grupların birbirlerini itmesi ve yapının gevşemesi gerçekleşebilir. Bu sebepten, hidrojin şişme kapasitesi artabilir [113,114].

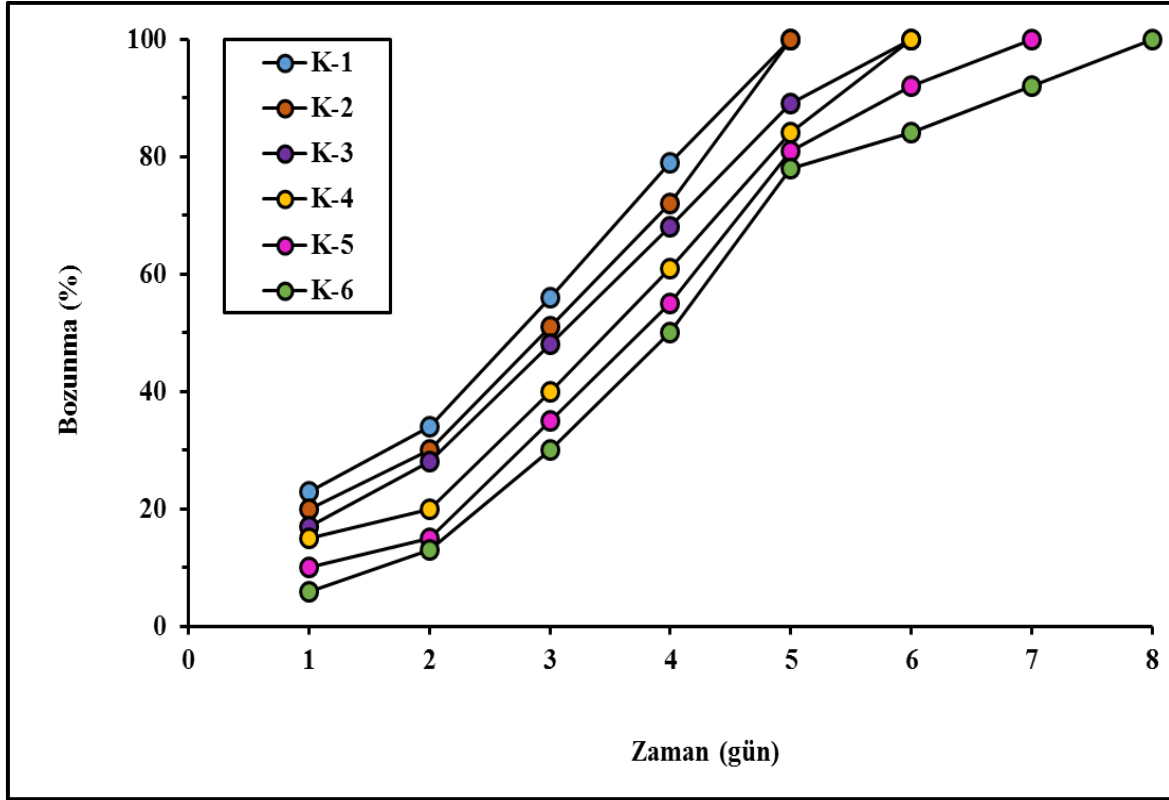


Şekil 4.23. κ -Karragenan hidrojellerin ortalama şişme (%) değerlerinin pH ile değişimi grafiği ($T=30^{\circ}\text{C}$; 12 saat)

4.2.4. κ -Karragenan hidrojellerinin bozunma davranışları

Tüm hidrojellerin bozunma davranışları Bölüm 3.7’de anlatıldığı şekilde incelenmiş, değerler EK-9’da verilmiş ve sonuçlar grafiğe alınarak Şekil 4.24’te sunulmuştur.

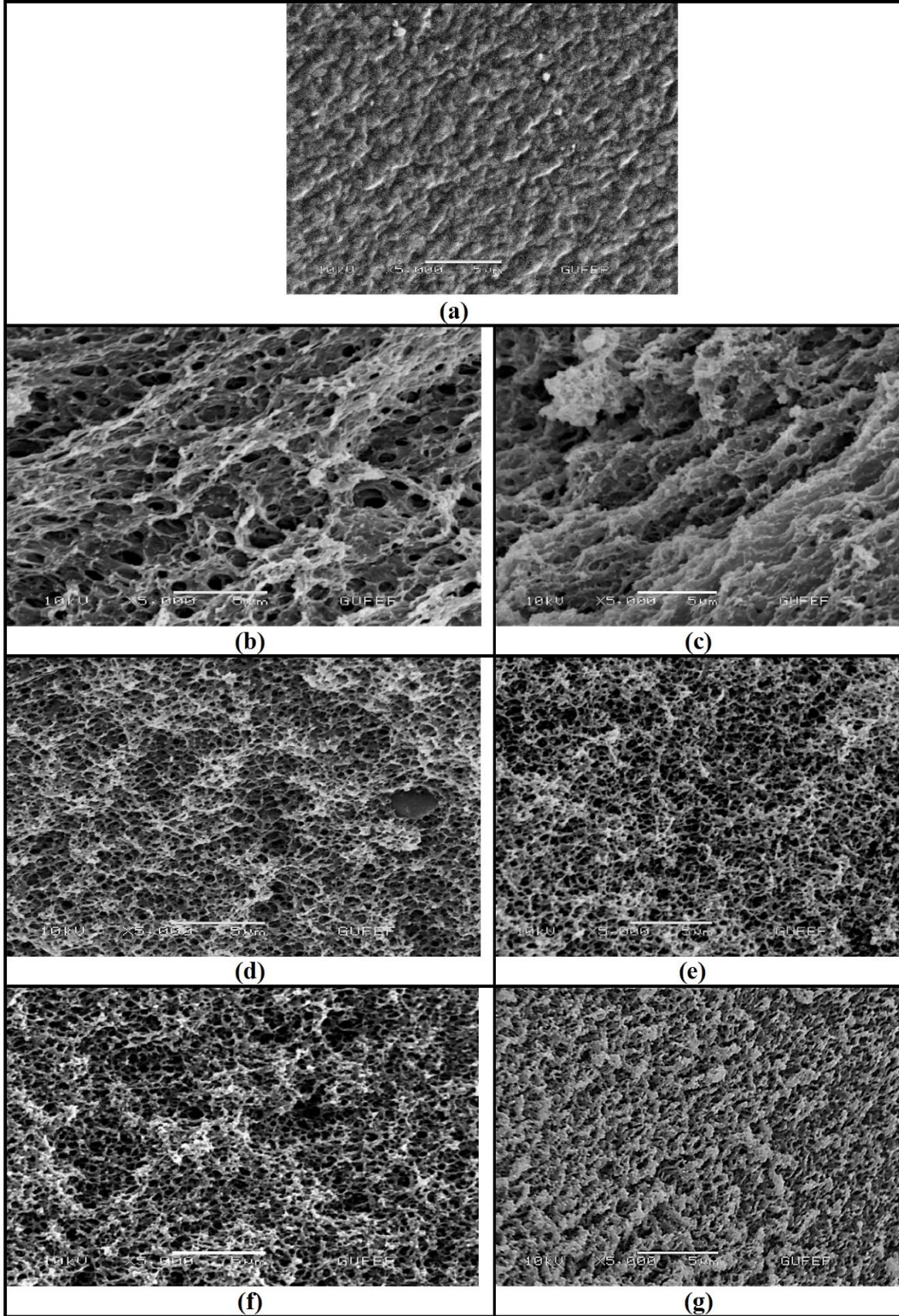
Sonuçlardan da görüleceği gibi, κ -Karragenan hidrojellerinin bozunma sürelerinin birbirlerine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Çapraz bağlayıcı miktarı az olan K-1 ve K-2 hidrojellerinin, diğer hidrojellere göre daha hızlı bozunduğu saptanmıştır. Bozunma süreçleri Çizelge 4.4’te verilen hidrojel oluşum değerleri ile uyumludur. Çapraz bağlayıcı miktarının en fazla ve hidrojel oluşum değeri en yüksek olan K-6 hidrojelinin, en geç bozunan hidrojel olduğu (yaklaşık 8 gün) tespit edilmiştir [115].



Şekil 4.24. κ -Karragenan hidrojellerin ortalama bozunma (%) değerlerinin zamanla değişimi grafiği ($T=30^{\circ}\text{C}$; $\text{pH}=7,0$)

4.2.5. κ -Karragenan hidrojellerinin SEM analizi

Resim 4.8’de verilen SEM fotoğrafları incelendiğinde, kuru hidrojel ile şişmiş hidrojeller arasındaki morfolojik farklılıklar açıkça gözlenir. Kuru hidrojelin yüzeyi gözeneksiz ve pürüzlü iken şişmiş hidrojellerin yüzeyleri gözeneklidir. Şişmiş K-1 hidrojelinin, diğer hidrojellere göre daha iri gözenekli olduğu görülmektedir. En küçük gözenek boyutu çapraz bağlayıcı miktarı en az olan Şişmiş K-6 hidrojelinde tespit edilmiştir.



Resim 4.8. κ -Karragenan hidrojellerinin SEM fotoğrafları x5000 büyültme (a) kuru hidrojel (b) şişmiş K-1 hidrojel (c) şişmiş K-2 hidrojel (d) şişmiş K-3 hidrojel (e) şişmiş K-4 hidrojel (f) şişmiş K-5 hidrojel (g) şişmiş K-6 hidrojel

Çizelge 4.6’da hidrojenlerin ortalama gözenek boyutu (μm) ve ortalama gözenek yoğunluğu (gözenek sayısı/ cm^2) verilmiştir. Sonuçlara göre; hidrojenlerin gözenekliliği mikron boyutundadır. En küçük gözenek boyutu ile en fazla gözenek yoğunluğu K-6 hidrojeninde gözlenirken, en yüksek gözenek boyutu ile en az gözenek yoğunluğu K-1 hidrojeninde tespit edilmiştir. Sonuçlara göre çapraz bağlayıcı miktarı arttıkça hidrojenlerde gözenek sayısının arttığı ancak gözenek büyüklüğünün azaldığı söylenebilir [116].

Çizelge 4.6. κ -Karragenan hidrojenlerinin morfolojik özellikleri

Özellikler Hidrojenler	Ortalama Gözenek Boyutu (μm)	Ortalama Gözenek Yoğunluğu (gözenek sayısı/ cm^2)
K-1	$1,11\pm0,03$	$0,6\times10^8\pm0,02$
K-2	$0,83\pm0,04$	$1,3\times10^8\pm0,02$
K-3	$0,69\pm0,06$	$3,2\times10^8\pm0,04$
K-4	$0,62\pm0,08$	$4,0\times10^8\pm0,07$
K-5	$0,59\pm0,09$	$4,2\times10^8\pm0,08$
K-6	$0,47\pm0,10$	$4,8\times10^8\pm0,09$

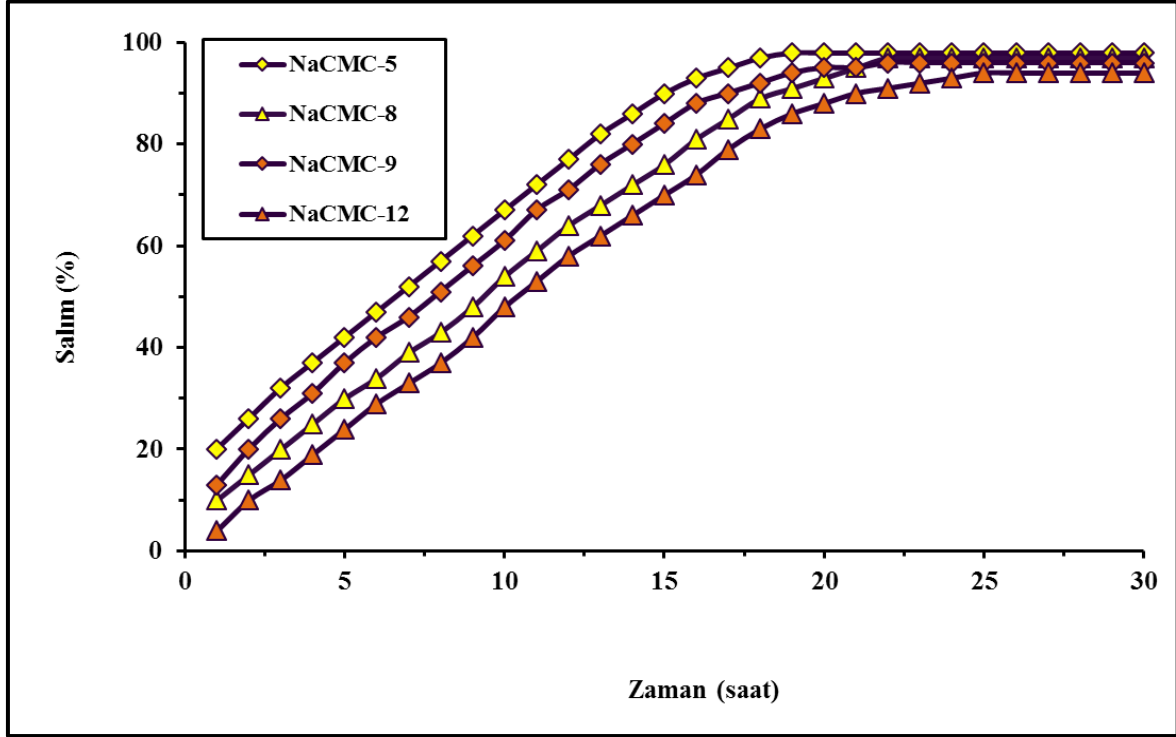
4.3. Hidrojenlerden Mikro Besin Elementlerinin Salımı

Bu bölümde hazırlanan NaCMC ve κ -Karragenan hidrojenlerinden mikro besin elementlerinin in vitro salım sonuçları alt başlıklar halinde değerlendirilmiştir.

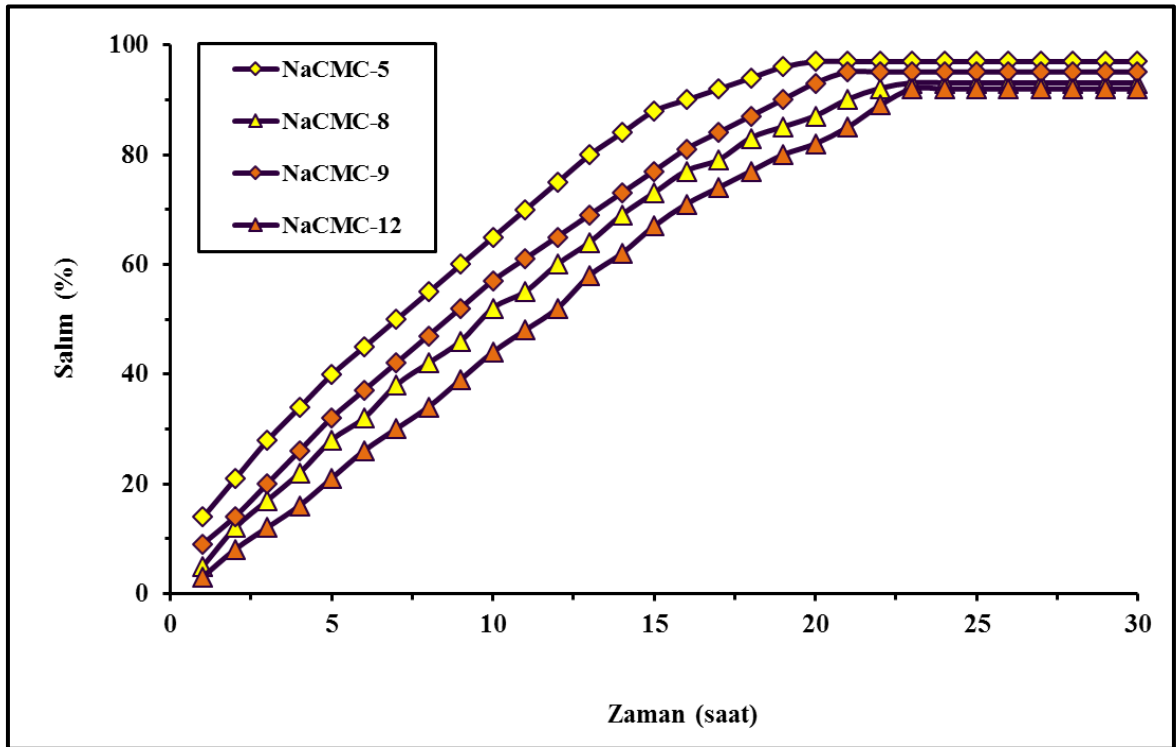
4.3.1. NaCMC hidrojenlerinden mikro besin elementlerinin in vitro salımı

Seçilen NaCMC-5, NaCMC-8, NaCMC-9 ve NaCMC-12 hidrojenlerinden mikro besin elementlerinin in vitro salım çalışmaları Bölüm 3.11’de anlatıldığı şekilde takip edilmiştir. Salım ortamından çeşitli sürelerde alınan örneklerden elde edilen derişim değerleri yüzde

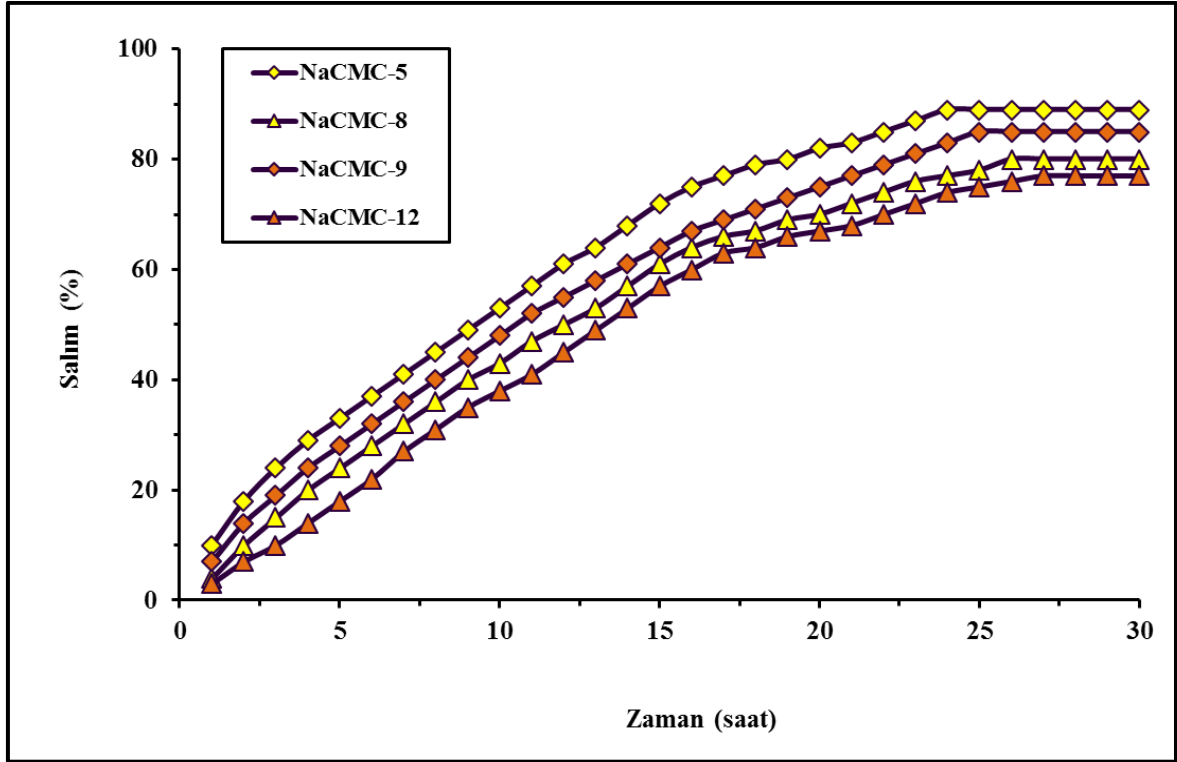
salıma dönüştürülmüş ve salım değerleri EK-10, EK-11 ve EK-12’de verilmiş ve sonuçlar grafiğe alınarak Şekil 4.25 – Şekil 4.27’de sunulmuştur.



Şekil 4.25. NaCMC hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının in vitro salım grafiği



Şekil 4.26. NaCMC hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının in vitro salım grafiği



Şekil 4.27. NaCMC hidrojellerinden Mn²⁺ iyonlarının in vitro salım grafiği

Şekil 4.25 – Şekil 4.27 deki grafiklerde görüldüğü gibi, in vitro salım çalışmasında, Cu²⁺, Zn²⁺ ve Mn²⁺ iyon salımlarının, 19 ila 27 saat aralığında sabit değere ulaştığı tespit edildi. Cu²⁺ iyonları salım değeri incelendiğinde en hızlı salımın NaCMC-5 hidrojelinde, en yavaş salımın NaCMC-12 hidrojelinde olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar hidrojellerin çapraz bağlanma ve şişme değerleri ile uyumludur. Benzer sonuçlar Zn²⁺ ve Mn²⁺ iyonlarının salımın da da görülmektedir.

Cu²⁺ ve Zn²⁺ iyonlarının salımının hızlı, Mn²⁺ iyonlarının salımının ise daha yavaş gerçekleşmesi iyon çaplarının büyüklükleri ile açıklanabilir. Mn²⁺ nin iyon çapı, Zn²⁺ ve Cu²⁺ den daha büyüktür (Mn²⁺= 84 pm, Zn²⁺= 75 pm, Cu²⁺= 73 pm). Bu nedenle hidrojel yapısından dışarı çıkması daha fazla zaman almış olabilir [117-119].

4.3.2. NaCMC hidrojellerinden mikro besin elementleri salım kinetiğinin değerlendirilmesi

Hidrojellerden mikro besin elementleri salım kinetiği Fick yaklaşımına göre değerlendirilmiştir. Buna göre yarı-amfirik bir denklem şöyle verilmektedir:

$$F = \frac{M_t}{M_\infty} = k t^n \quad (4.1)$$

F, etkin madde fraksiyonu; M_t , t anındaki salım miktarı (mg); M_∞ , toplam salım miktarı (mg); k, salım hız sabiti; t, salım zamanı; n etken madde salım mekanizmasını karakterize eden üstel sayıyı gösterir. Yukarıdaki eşitlik lineer şekilde aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir:

$$\ln F = \ln k + n \ln t \quad (4.2)$$

Bu eşitlik kullanılarak, $\ln F$ ve $\ln t$ değerleri arasında çizilen grafikten elde edilen doğrunun eğimi (n) ve kesim noktasından ($\ln k$) kinetik parametreler bulunmuştur. Çizelge 4.7’de difüzyon mekanizması ile n değeri arasındaki ilişki verilmiştir.

Çizelge 4.7. Difüzyon mekanizması ile n değeri arasındaki ilişki

n değeri	Difüzyon mekanizması
$n \leq 0,5$	Fick tipi difüzyon
$0,5 < n < 1$	Fick olmayan tipte difüzyon
$n \geq 1$	Süper durum difüzyonu

Difüzyon mekanizması, n değerine bağlı olarak üç sınıfa ayrılır. (1) Fick tipi difüzyon olarak adlandırılır, $n \leq 0,5$ tir. Bu durumda difüzyon hızı, polimer zincirlerinin gevşeme hızından yavaştır. Salım hızını, difüzyon hızı belirler. (2) Süper durum mekanizması olarak adlandırılır, $n \geq 1$ dir. Difüzyon hızı, polimer zincirlerinin gevşeme hızından çok daha büyüktür. n değeri 1 e yaklaştıkça difüzyon hızı 0. dereceden kinetiğe uyar. (3) Fick olmayan difüzyon olarak adlandırılır, $0,5 < n < 1$ aralığındadır. Difüzyon hızı polimer zincirlerinin gevşeme hızı birbirleri ile dengededir. Bu durum 1. tip ile 2. tip arasında bir geçiş durumudur.

Eş. 4.2’den yararlanılarak çizilen $\ln(M_t/M_\infty) - \ln t$ grafiklerinden elde edilen n ve k değerleri Çizelge 4.8’de sunulmuş ve grafikler EK-13, EK-14 ve EK-15’te verilmiştir.

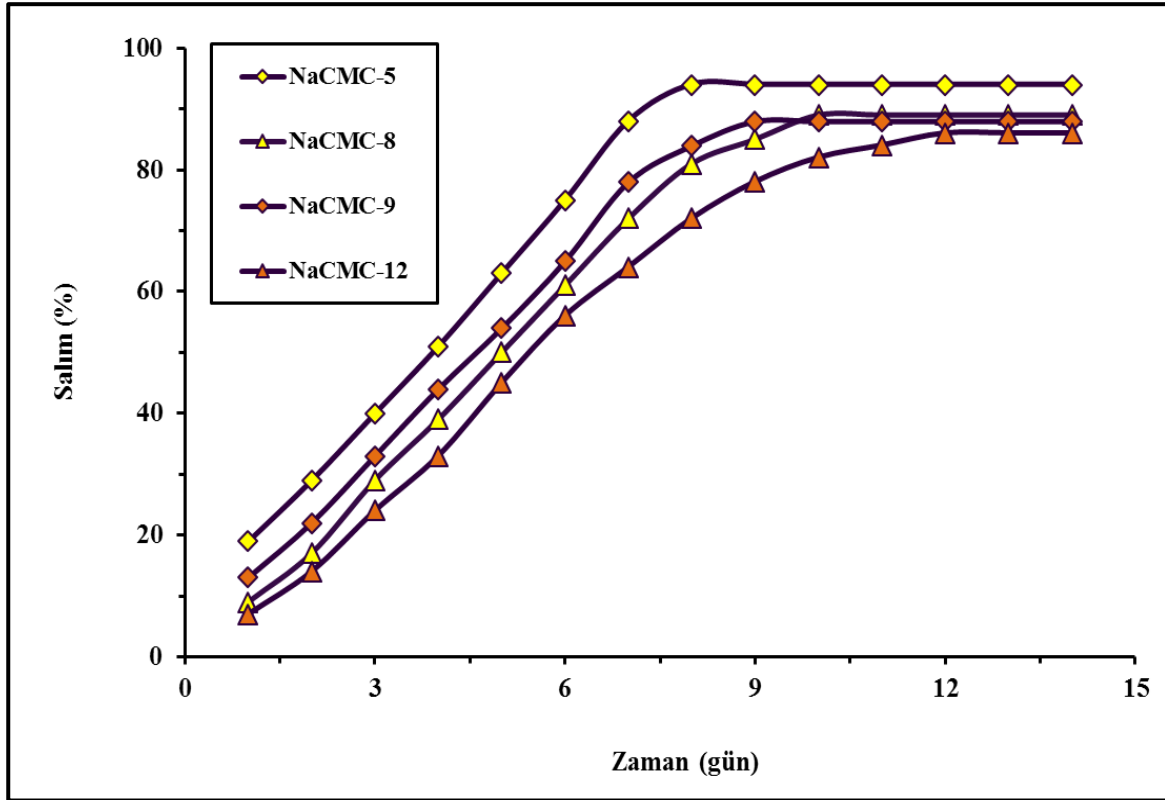
Çizelge 4.8. NaCMC hidrojellerine ait salım kinetiği parametreleri

Hidrojeller	Cu ²⁺		Zn ²⁺		Mn ²⁺	
	n	k	n	k	n	k
NaCMC-5	0,63	0,12 x 10 ⁻³	0,71	7,12 x 10 ⁻³	0,69	6,96 x 10 ⁻³
NaCMC-8	0,82	2,92 x 10 ⁻³	0,90	1,77 x 10 ⁻³	0,87	1,86 x 10 ⁻³
NaCMC-9	0,72	6,25 x 10 ⁻³	0,84	2,71 x 10 ⁻³	0,77	3,90 x 10 ⁻³
NaCMC-12	0,98	93,5 x 10 ⁻³	1,05	56,3 x 10 ⁻³	1,05	52,1 x 10 ⁻³

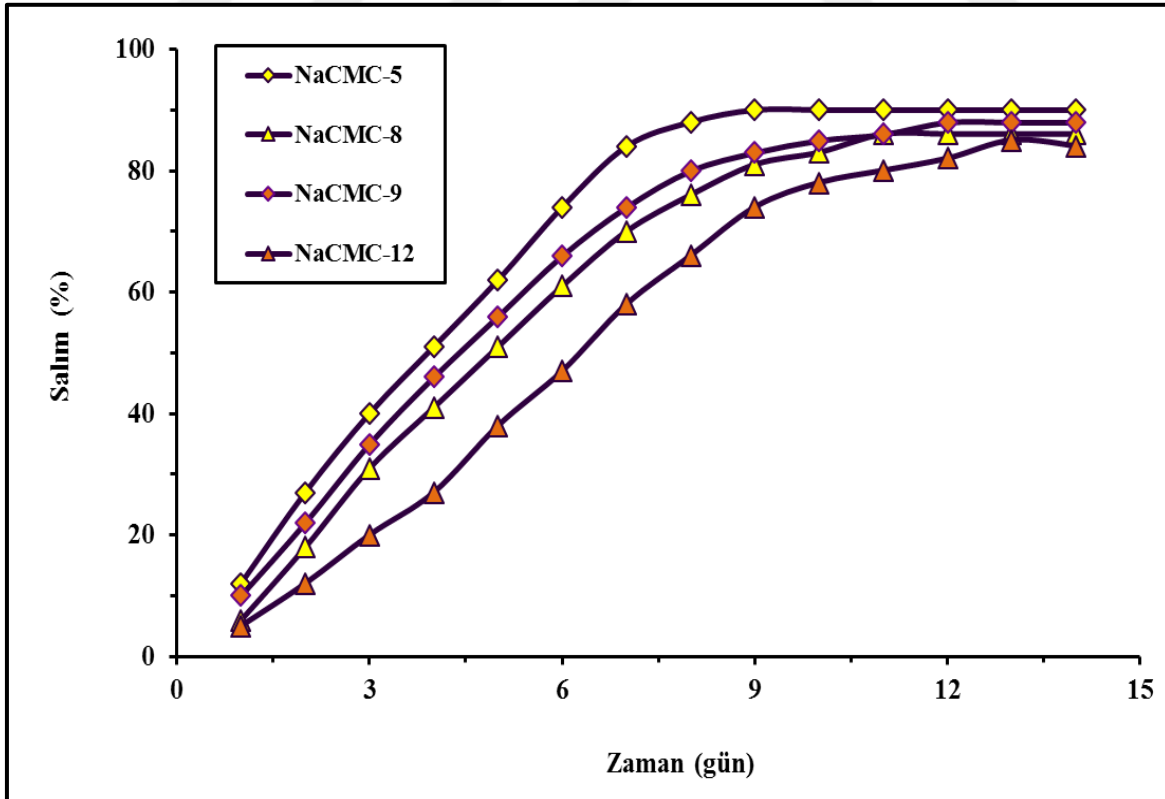
Çizelge 4.7’deki sonuçlar incelendiğinde NaCMC-5, NaCMC-8 ve NaCMC -9 hidrojelleri için salım fick olmayan tiptedir. NaCMC-12 hidrojelinin n değeri 1’e çok yakın olduğu için salım kinetiği 0. dereceden kinetiğe uymaktadır [97,120,121].

4.3.2. NaCMC hidrojellerinden mikro besin elementlerinin model salımı

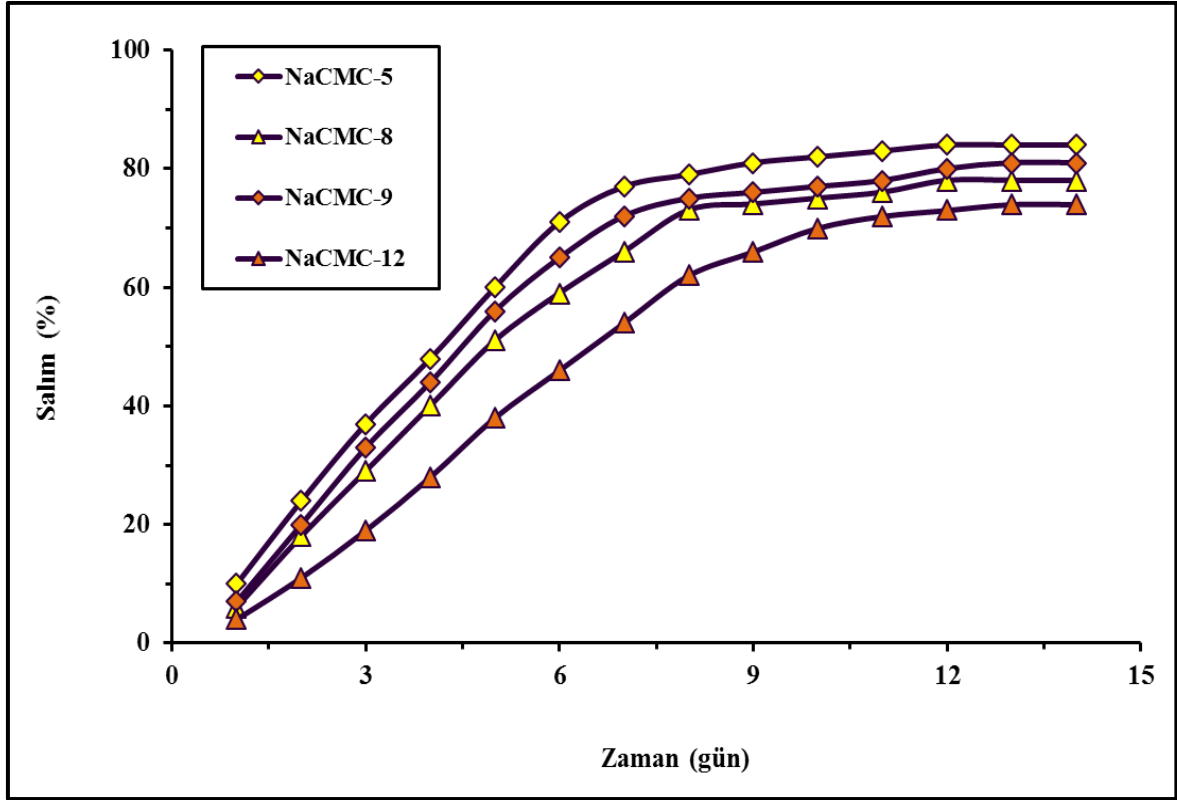
Tarımsal uygulamalarda sulama işleminin belirli aralıklarda olması nedeniyle, salım davranışlarının bu duruma uygun olacağı bir deney modeli geliştirilmiştir. Model salım çalışmaları Bölüm 3.12’de anlatıldığı şekilde takip edilmiş, model salım değerleri EK-16, EK-17 ve EK-18’de verilmiş ve sonuçlar grafiklere alınarak Şekil 4.28 – Şekil 4.30’da sunulmuştur.



Şekil 4.28. NaCMC hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının model salım grafiği



Şekil 4.29. NaCMC hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının model salım grafiği



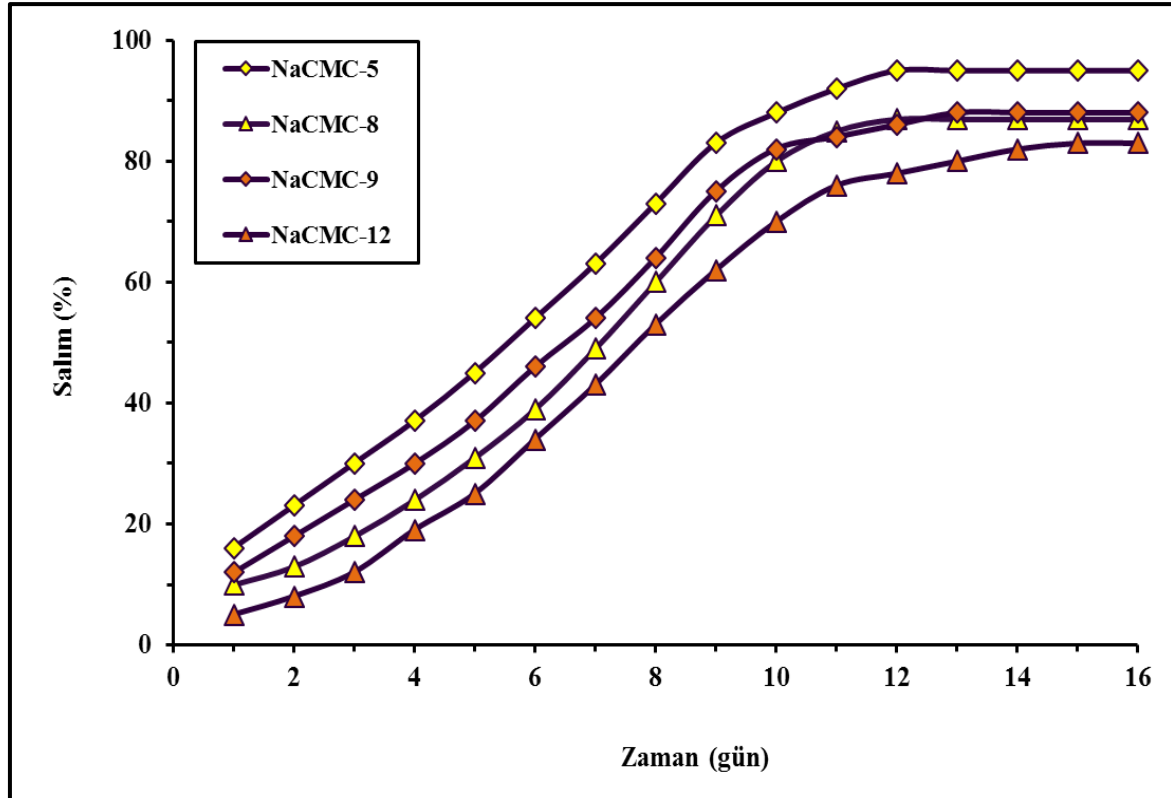
Şekil 4.30. NaCMC hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının model salım grafiği

NaCMC hidrojellerinin model salım grafikleri incelendiğinde, tüm mikro besin elementler için model salımın yaklaşık 14 günde sabit değere eriştiği belirlenmiştir. Hidrojellerin salım değerleri %83-94 arasında değişmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, model salım sonuçları ile şişme değerleri uyumlu olduğu söylenebilir. En az şişen NaCMC-12 hidrojelinin model salım süresi en uzun, en fazla şişen NaCMC-5 hidrojelinin model salım süresi en kısa sürmüştür.

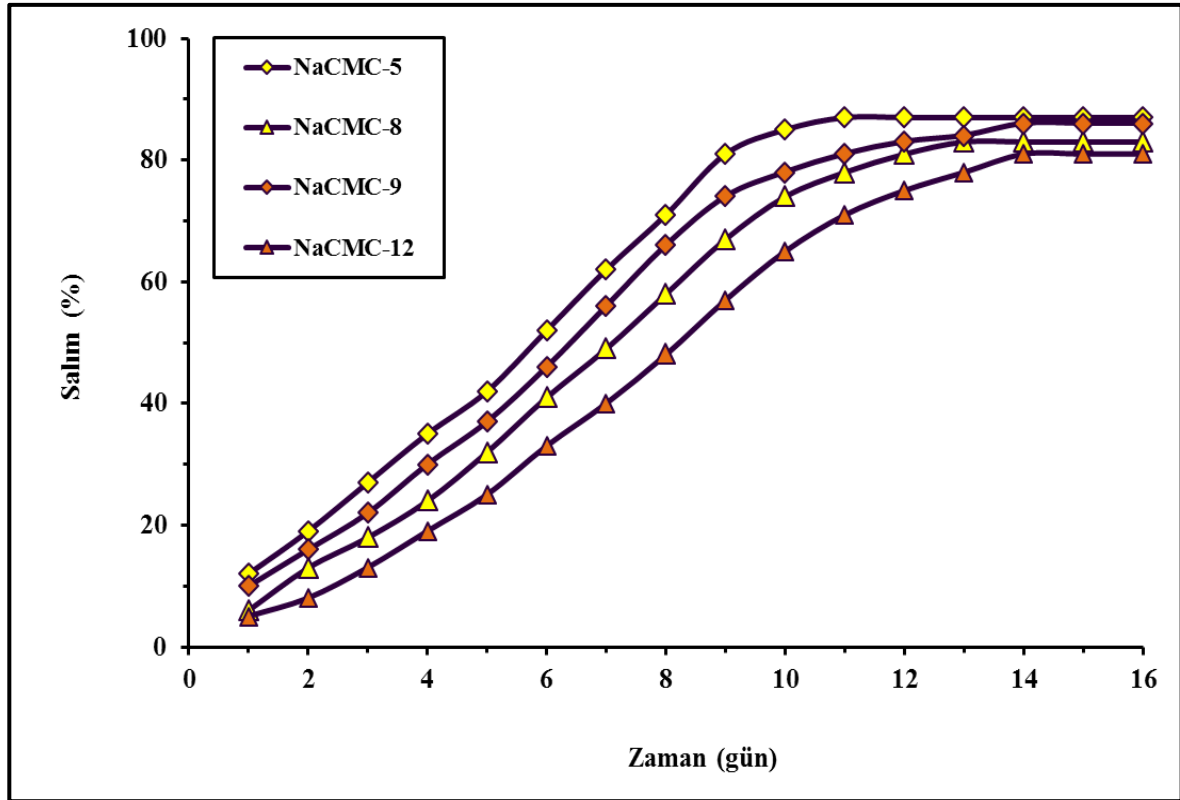
NaCMC hidrojellerinin in vitro salım sürelerinin 19 ila 27 saat aralığında olması hızlı bir salım olarak değerlendirilebilir. Ancak üretilen mikro besin elementi yüklü hidrojellerin tarımsal uygulamalarda her zaman su ortamında bulunması söz konusu değildir. Sulama ancak belirli aralıklarda gerçekleşecektir. Bu nedenle tarımsal uygulamalarda salım değeri çok daha yavaş olacak, böylece hidrojeller uzun süre tarım ortamında kalabilecek ve su aldıkça salım yapacaktır. Bu nedenle üretilen bu hidrojellerin amaca uygun olduğu söylenebilir. Bu durum tüm salım değerleri ile uyumludur [122,123].

4.3.3. NaCMC hidrojenlerinden mikro besin elementlerinin topraktaki salımı

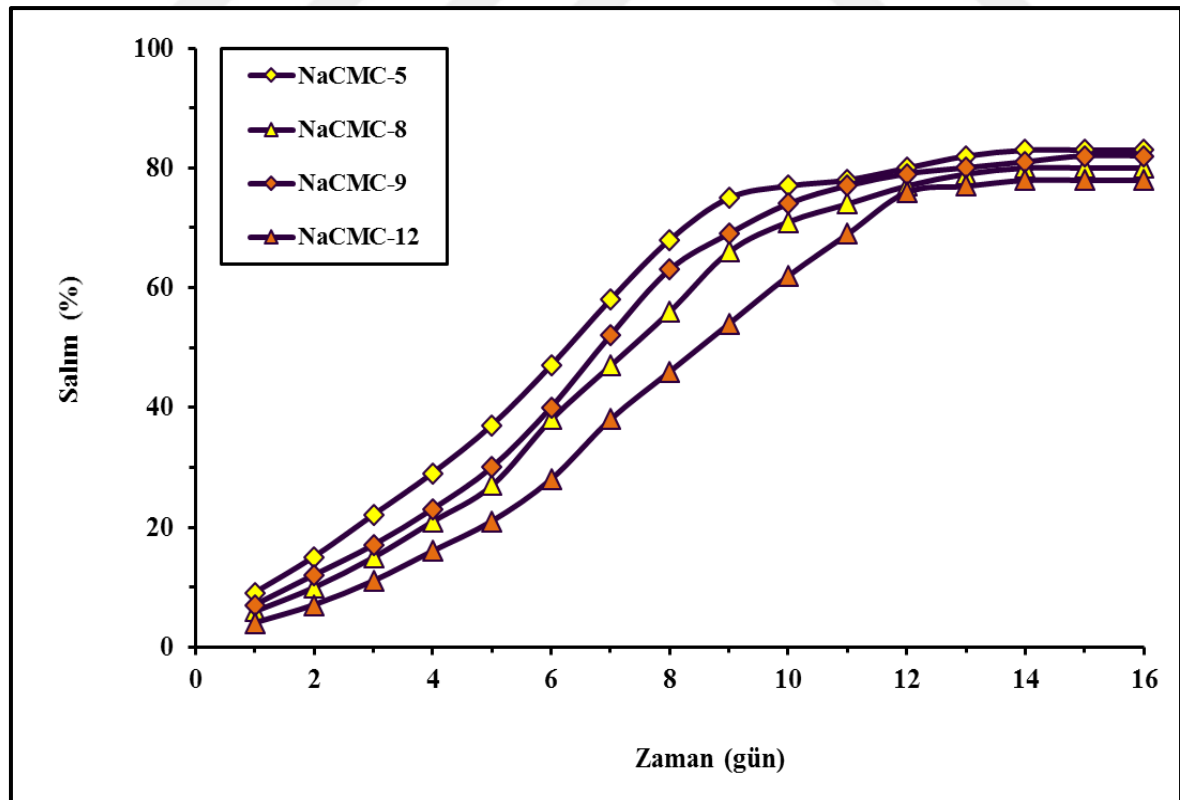
Toprakta salım çalışmaları Bölüm 3.13'te anlatıldığı şekilde takip edilmiş, değerler EK-19, EK-20 ve EK-21'de verilmiş ve sonuçlar grafiğe alınarak Şekil 4.31 – Şekil 4.33'te sunulmuştur.



Şekil 4.31. NaCMC hidrojenlerinden Cu^{2+} iyonlarının topraktaki salım grafiği



Şekil 4.32. NaCMC hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının topraktaki salım grafiği

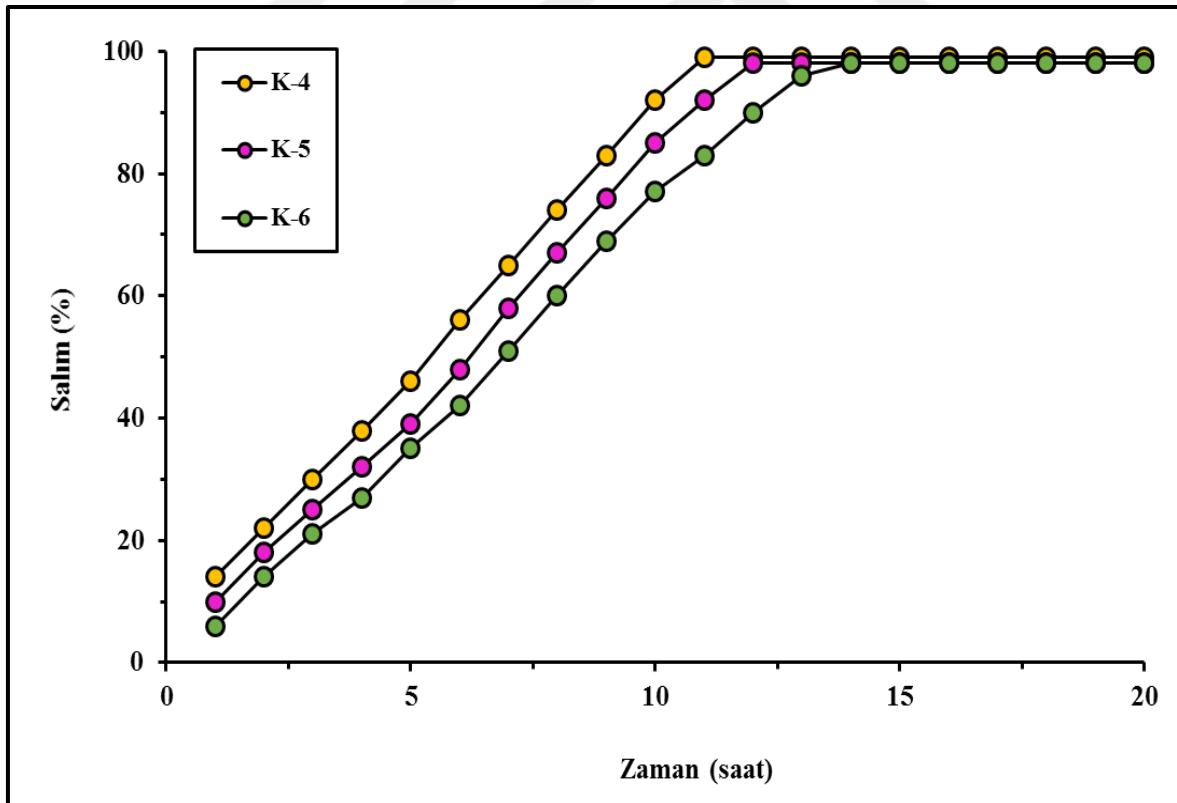


Şekil 4.33. NaCMC hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının topraktaki salım grafiği

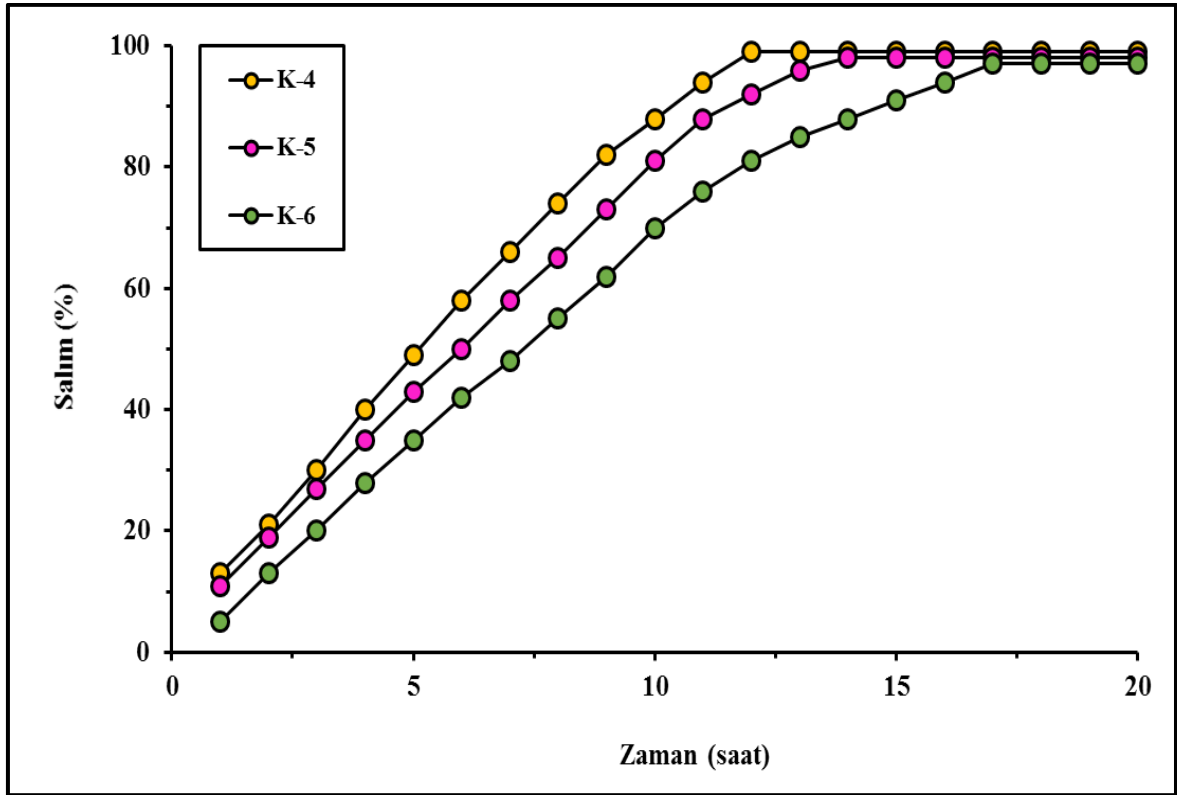
NaCMC hidrojenlerinin topraktaki salım grafikleri incelendiğinde, tüm mikro besin elementler için salımın yaklaşık 16 günde sabit değere ulaştığı belirlenmiştir. Hidrojellerin topraktaki salım değerleri %81-95 arasında değişmektedir. Tüm iyonların salım sonuçlarının, hidrojenlerin şişme değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. En az şişen NaCMC-12 hidrojeninin topraktaki salım süresi en uzun, en fazla şişen NaCMC-5 hidrojeninin topraktaki salım süresi en kısa sürmüştür [124,125].

4.3.4. κ -Karragenan hidrojenlerinden mikro besin elementlerinin in vitro salımı

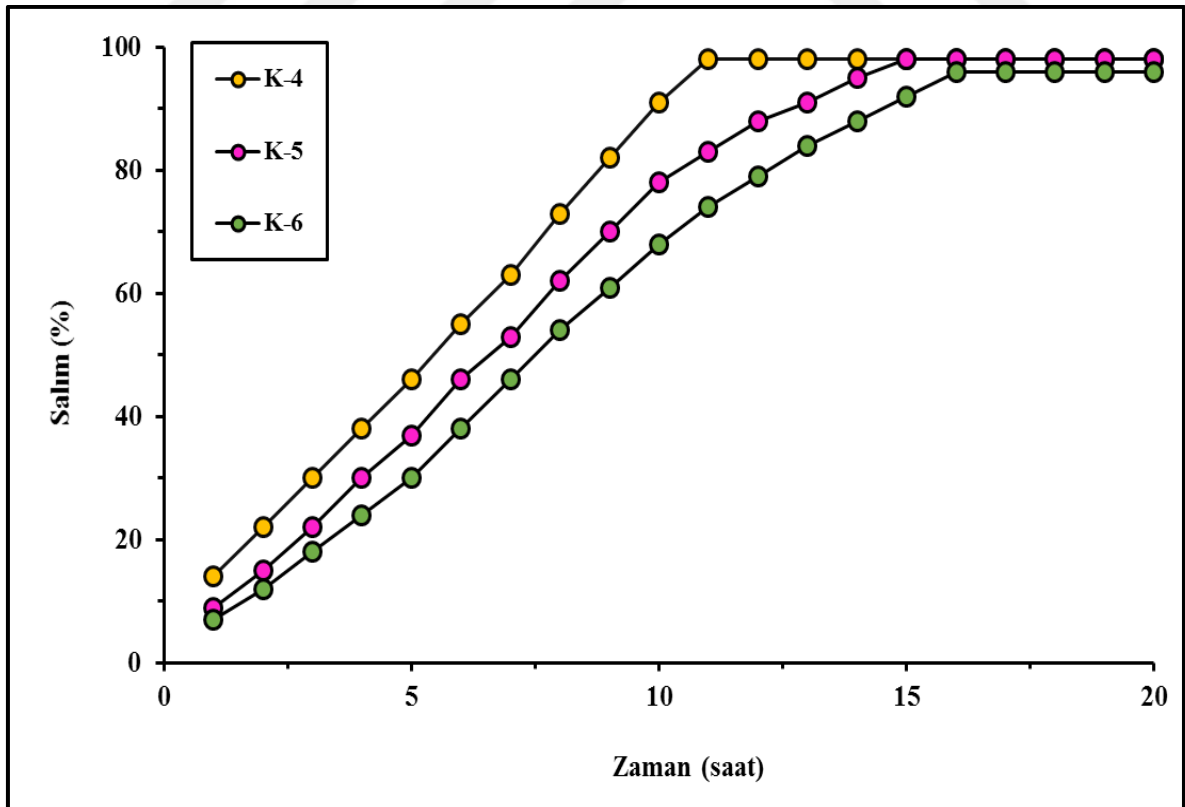
Seçilen K-4, K-5 ve K-6 hidrojenlerinden mikro besin elementlerinin in vitro salım çalışmaları Bölüm 3.11’de anlatıldığı şekilde takip edilmiştir. Salım ortamından çeşitli sürelerde alınan örneklerden elde edilen derişim değerleri % salıma dönüştürülmüş ve in vitro salım değerleri EK-22, EK-23 ve EK-24’te verilmiş ve sonuçlar grafiğe alınarak Şekil 4.34 – Şekil 4.36’da sunulmuştur.



Şekil 4.34. κ -Karragenan hidrojenlerinden Cu^{2+} iyonlarının in vitro salım grafiği



Şekil 4.35. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının in vitro salım grafiği



Şekil 4.36. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının in vitro salım grafiği

Şekil 4.34 – Şekil 4.36'deki grafikler incelendiğinde, mikro besin elementi yüklü κ -Karragenan hidrojenlerinin in vitro salım çalışmasında, Cu^{2+} , Zn^{2+} ve Mn^{2+} iyon salımlarının, 10 ila 17 saat aralığında sabit değere ulaştığı belirlendi. Salım süresi, en çok şişen K-4 hidrojeneli için en kısa, en az şişen K-6 hidrojeneli için ise en uzun olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, denge şişme değerleri ile uyumludur. Bütün hidrojenlerinin in vitro salım grafikleri incelendiğinde, NaCMC hidrojenlerinden farklı olarak, κ -Karragenan hidrojenlerinin mikro besin elementlerini tamamına yakın miktarını saldırdığı gözlenmiştir. Bu durum, κ -Karragenan hidrojenlerinin şişme değerlerinin, NaCMC hidrojenlerinin şişme değerlerine göre daha fazla olması ile açıklanabilir [126,127].

4.3.5. κ -Karragenan hidrojenlerinden mikro besin elementleri salım kinetiğinin değerlendirilmesi

Hidrojenlerden mikro besin elementleri salım kinetiği Fick yaklaşımına göre değerlendirilmiştir. Eş. 4.2'den yararlanılarak çizilen $\ln(M_t/M_\infty)$ - $\ln t$ grafiklerinden elde edilen n ve k değerleri Çizelge 4.9'da sunulmuş ve grafikler EK-25, EK-26 ve EK-27'de verilmiştir.

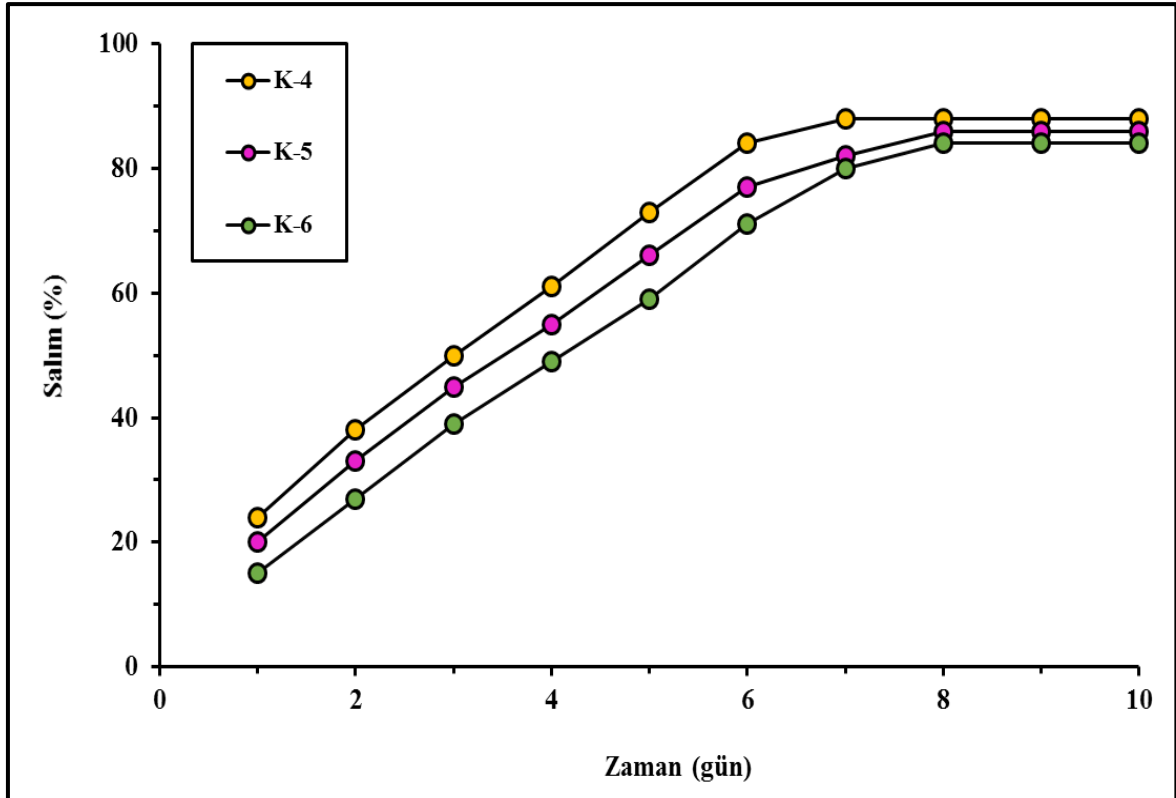
Çizelge 4.9. κ -Karragenan hidrojenlerine ait salım kinetiği parametreleri

Hidrojenler	Cu^{2+}		Zn^{2+}		Mn^{2+}	
	n	k	n	k	n	k
K-4	0,90	$3,10 \times 10^{-3}$	0,91	$2,77 \times 10^{-3}$	0,91	$3,33 \times 10^{-3}$
K-5	0,97	$1,60 \times 10^{-3}$	0,91	$2,58 \times 10^{-3}$	1,02	$1,12 \times 10^{-3}$
K-6	1,06	$82,4 \times 10^{-3}$	1,03	$1,03 \times 10^{-3}$	1,09	$65,1 \times 10^{-3}$

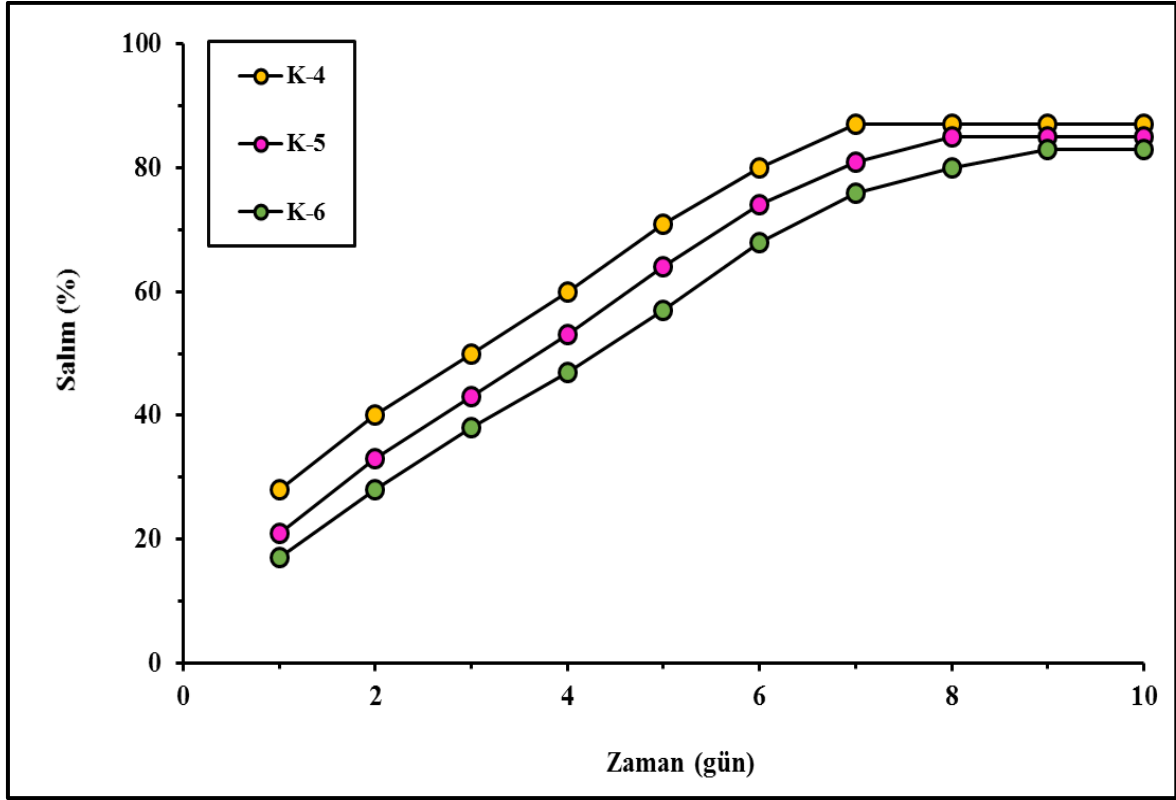
Sonuçlardan görüldüğü gibi, κ -Karragenan hidrojenlerinden mikro besin elementi salımlarına ait bulunan n değerleri 0,90-1,06 arasında değişmektedir. Bu değerler 1'e oldukça yakın olduklarından, salımın 0. dereceden kinetiğe uygun olarak yürüdüğünü söylemek mümkündür. Bu kinetik sonucuna göre; salım hızı, salım süresince fazla değişmemiştir [120,121].

4.3.6. κ -Karragenan hidrojenlerinden mikro besin elementlerinin model salımı

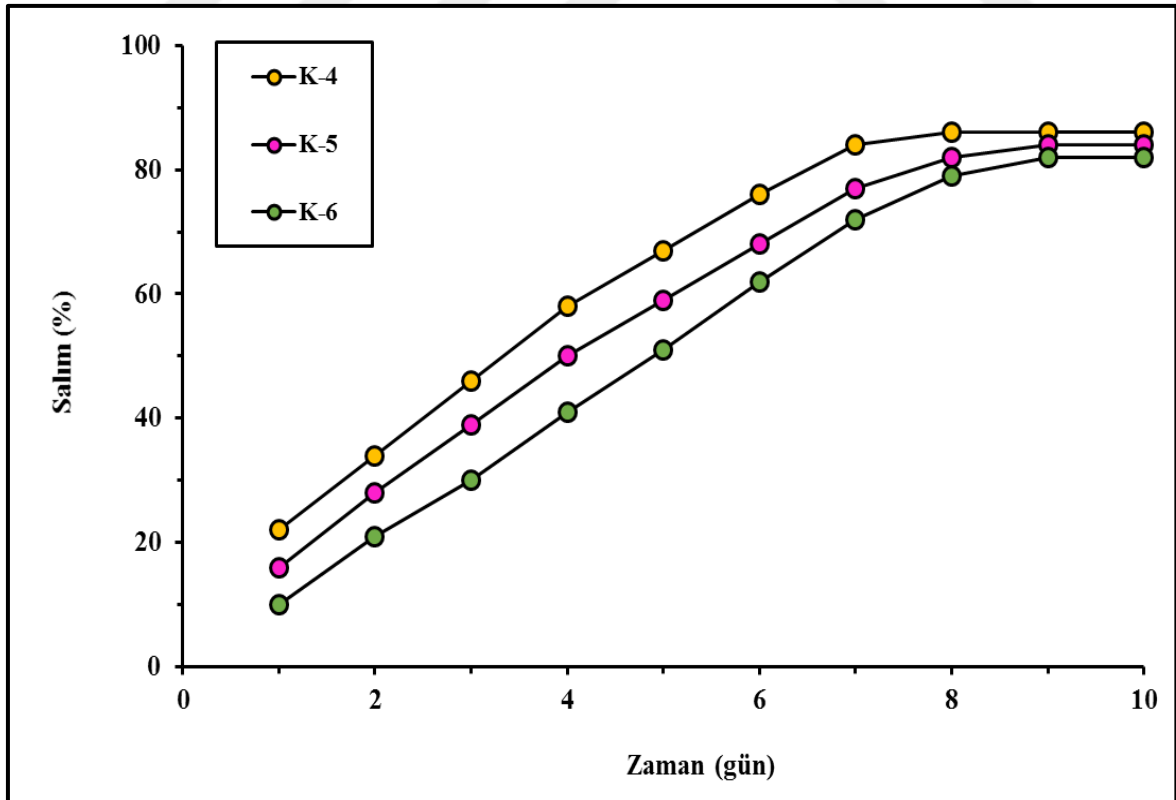
κ -Karragenan hidrojenlerinden mikro besin elementlerinin model salım çalışmaları Bölüm 3.12’de anlatıldığı şekilde takip edilmiş, salım değerleri EK-28, EK-29 ve EK-30’da verilmiş ve sonuçlar grafiğe alınarak Şekil 4.37 – Şekil 4.39’da sunulmuştur.



Şekil 4.37. κ -Karragenan hidrojenlerinden Cu^{2+} iyonlarının model salım grafiği



Şekil 4.38. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının model salım grafiği

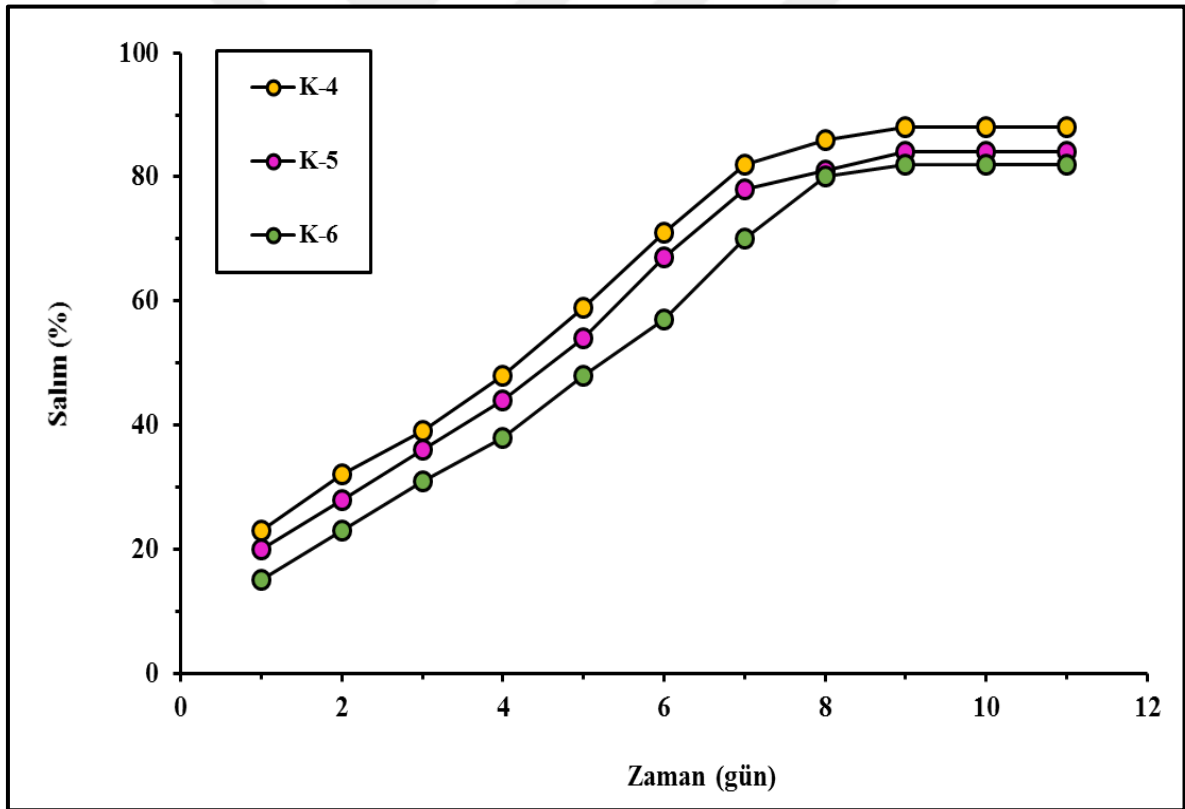


Şekil 4.39. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının model salım grafiği

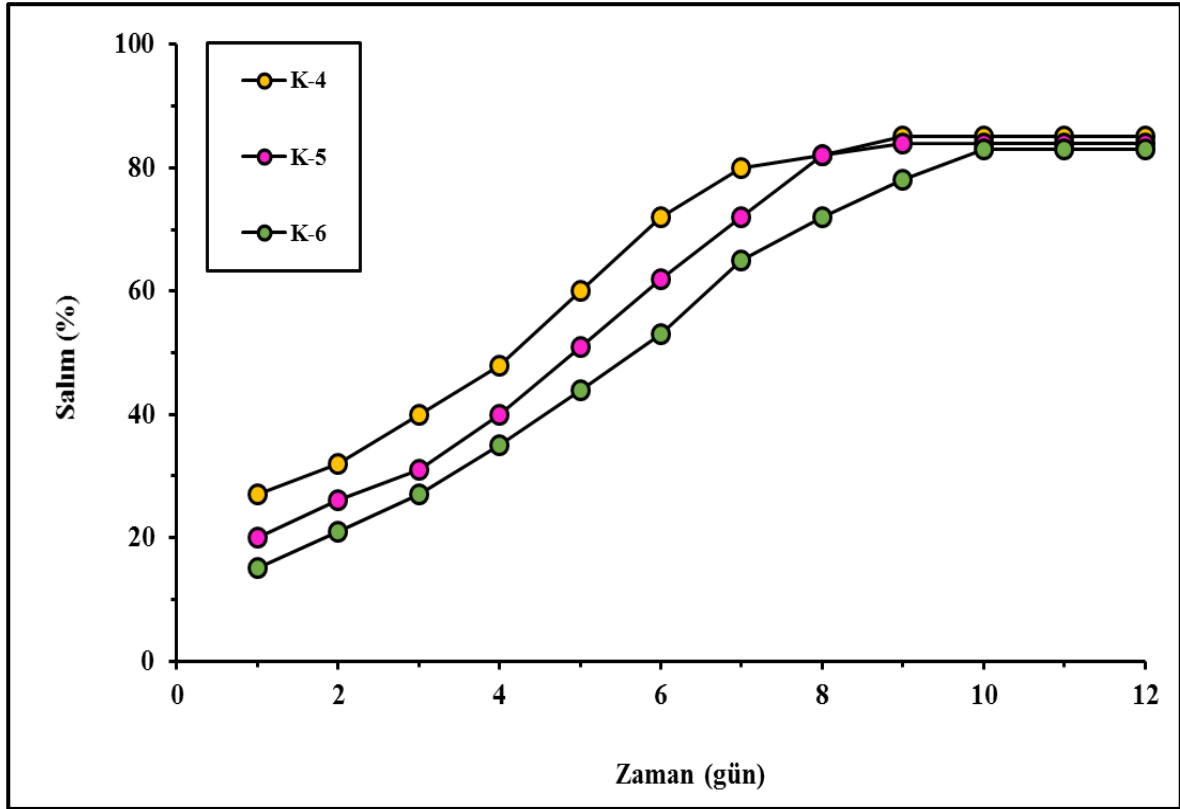
κ -Karragenan hidrojenlerinin model salım grafikleri incelendiğinde, tüm mikro besin elementler için model salımın yaklaşık 10 günde sabit değere ulaştığı belirlenmiştir. Hidrojellerin salım değerleri %82-87 arasında değişmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, model salım sonuçları ile şişme değerlerinin uyumlu olduğu söylenebilir. En az şişen K-6 hidrojelinin model salım süresi en uzun, en fazla şişen K-4 hidrojelinin model salımı süresi en kısa sürmüştür [128,129].

4.3.7. κ -Karragenan hidrojenlerinden mikro besin elementlerinin topraktaki salımı

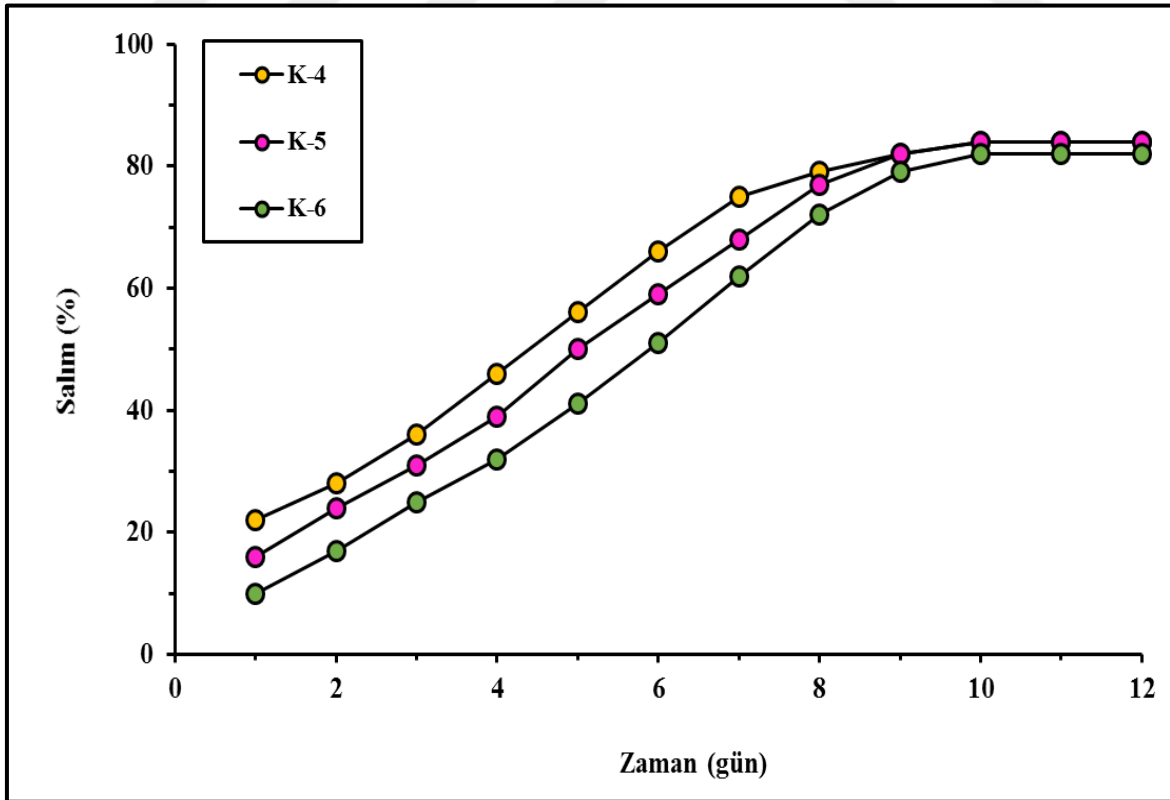
Topraktaki salım çalışmaları Bölüm 3.13’de anlatıldığı şekilde takip edilmiş, değerler EK-31, EK-32 ve EK-33’de verilmiş ve sonuçlar grafiğe alınarak Şekil 4.40 – Şekil 4.42’de sunulmuştur.



Şekil 4.40. κ -Karragenan hidrojenlerinden Cu^{2+} iyonlarının topraktaki salım grafiği



Şekil 4.41. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının topraktaki salım grafiği



Şekil 4.42. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının topraktaki salım grafiği

κ -Karragenan hidrojellerinin topraktaki salım grafikleri incelendiğinde, tüm mikro besin elementler için salımın yaklaşık 12 günde sabit değere eriştiği belirlenmiştir. Hidrojellerin toprakta salım değerleri %79-89 arasında değişmektedir. Topraktaki salım sonuçları ile hidrojellerin şişme değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. En az şişen K-6 hidrojelinin topraktaki salım süresi en uzun, en fazla şişen K-4 hidrojelinin topraktaki salım süresi en kısa sürmüştür [57,110].

4.4. Tüm Salım Sonuçlarının Toplu Değerlendirilmesi

Uygulanan tüm salım çalışmasından elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.10 – Çizelge 4.12’de sunulmuştur.

Çizelge 4.10. Cu^{2+} iyonlarının hidrojellerden in vitro (İS), model (MS) ve topraktaki salımının (TS) karşılaştırmalı sonuçları

Hidrojel \ Salım	İS Süresi (saat)	İS Salım (%)	MS Süresi (saat)	MS (%)	TS süresi (saat)	TS (%)
NaCMC-5	19	98	192	94	288	95
NaCMC-8	22	97	240	89	288	87
NaCMC-9	22	96	216	88	312	88
NaCMC-12	27	94	288	86	360	83
K-4	11	99	175	88	216	88
K-5	12	98	192	86	216	84
K-6	14	98	192	84	216	82

Çizelge 4.11. Zn^{2+} iyonlarının hidrojellerden in vitro (İS), model (MS) ve topraktaki salımının (TS) karşılaştırmalı sonuçları

Hidrojel \ Salım	İS Süresi (saat)	İS Salım (%)	MS Süresi (saat)	MS (%)	TS süresi (saat)	TS (%)
NaCMC-5	20	97	216	90	264	87
NaCMC-8	23	93	264	86	312	83
NaCMC-9	21	95	288	88	336	86
NaCMC-12	23	92	312	84	336	81
K-4	12	99	168	87	216	85
K-5	14	98	192	85	216	84
K-6	17	97	216	83	240	83

Çizelge 4.12. Mn^{2+} iyonlarının hidrojellerden in vitro (İS), model (MS) ve topraktaki salımının (TS) karşılaştırmalı sonuçları

Hidrojel \ Salım	İS Süresi (saat)	İS Salım (%)	MS Süresi (saat)	MS (%)	TS süresi (saat)	TS (%)
NaCMC-5	24	89	288	84	336	83
NaCMC-8	26	80	288	78	336	80
NaCMC-9	25	85	312	81	336	82
NaCMC-12	27	77	312	74	336	78
K-4	11	98	192	86	360	84
K-5	15	98	216	84	240	84
K-6	16	96	216	82	240	79

Çizelge 4.10 – Çizelge 4.12’de verilen sonuçlar incelendiğinde, model salım sürelerinin normal salım sürelerinden yaklaşık 10 kat fazla olduğu tespit edilmiştir. Salım değerleri ise bir miktar düşmüş olmakla beraber oldukça tatminkârdır. Bu durumda kullandığımız model salım modelinin gerçek tarımsal uygulamayı yansıttığını söyleyebiliriz. Topraktaki salım sonuçları incelendiğinde ise değerlerin model salım sonuçları ile neredeyse birebir örtüştüğü

görülebilmektedir. Salım yüzdeleri ve süreleri karşılaştırıldığında her iki yöntemin birbirleri ile çok uyumlu olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak ürettiğimiz tüm mikro besin elementi-hidrojel sistemlerin yeterince uzun süre etkili olabileceği söylenebilir.

4.5. Mikro Besin Elementi Yüklü Hidrojellerin Buğday Çimi Gelişimine Etkisinin İncelenmesi

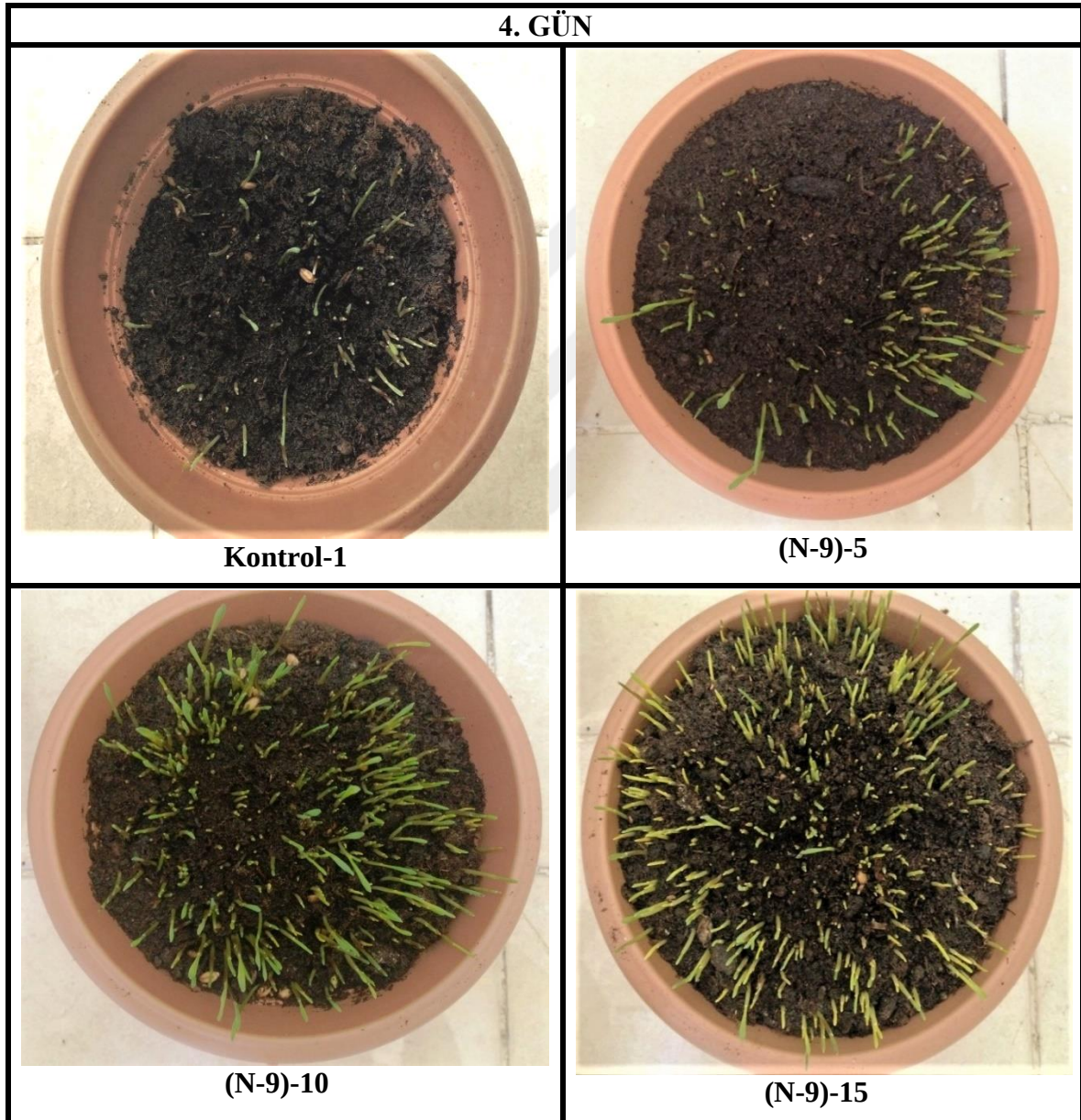
Üretilen hidrojel-mikro besin elementi sistemlerinin tarımsal uygulamaları Bölüm 3.14'te anlatıldığı şekilde yürütülmüş ve sonuçlar alt başlıklar halinde sunulmuştur.

4.5.1. Zn^{2+} yüklü NaCMC-9 hidrojellerinin buğday çimi gelişimine etkisi

Zn^{2+} yüklü NaCMC-9 (N-9) hidrojellerin buğday çimi gelişmesine etkisi, fide çıkış sayısı, fide boyları, gelişme ve uzama verimleri incelenerek değerlendirilmiştir. Resim 4.9 ve Resim 4.10'da, örneklerin farklı günlerdeki fide çıkışlarının görüntüleri sunulmuştur. En az fide çıkışı Kontrol-1'de, en fazla fide çıkışı 15 adet N-9 hidrojelinin kullanıldığı örnekte gözlenmiştir. Zn^{2+} yüklü N-9 hidrojellerinin kullanım sayısı arttıkça, fide çıkışının da arttığı belirlenmiştir. Bu durum, 2. Bölüm'de anlatıldığı gibi, çinkonun bitkide birçok metabolik faaliyetlerde rol alması ve bitki büyümesini sağlayan enzim sisteminin de bir parçası olması ile açıklanabilir [24,25]. Resim 4.11'de örneklerin 8. ve 9. günkü fide boylarının görüntüleri verilmiştir. Örneklerde Zn^{2+} yüklü N-9 hidrojellerinin sayısı arttıkça, ürün verimi de artmıştır. Fotoğraflar incelendiğinde, en düşük ürün verimin Kontrol-1'de, en fazla verimin 15 adet N-9 hidrojelinin kullanıldığı örnekte elde edildiği belirlenmiştir.

Kontrol-2'de de ürün gelişiminin Kontrol-1'e göre oldukça iyi olması, NaCMC hidrojellerinin, bitki gelişimini olumlu etkilediğini gösterir. Bu durum, hidrojin içeriğinde demir ve selüloz bulunmasından kaynaklanıyor olabilir. Bilindiği üzere, selülozun yapısında yaklaşık %44 C, %7 H ve %49 O bulunmaktadır [8,9]. Bitkiler de bu organik besin elementlerine çok fazla ihtiyaç duyarlar ve bu elementleri fotosentez, solunum ve sulama ile bünyelerine alırlar [7]. Bu çalışmada, selülozik ve biyobozunur yapıdaki hidrojellerin kullanılması ile bitkilerin organik besin elementi ihtiyaçları fazlası ile karşılanmış, bu da bitki gelişimini olumlu etkilemiştir denilebilir. Öte yandan N-9 hidrojelinin içeriğinde Fe^{3+} iyonlarının olması da, bitki gelişimini arttırmış olabilir. Bitkiler demiri bünyelerine ancak

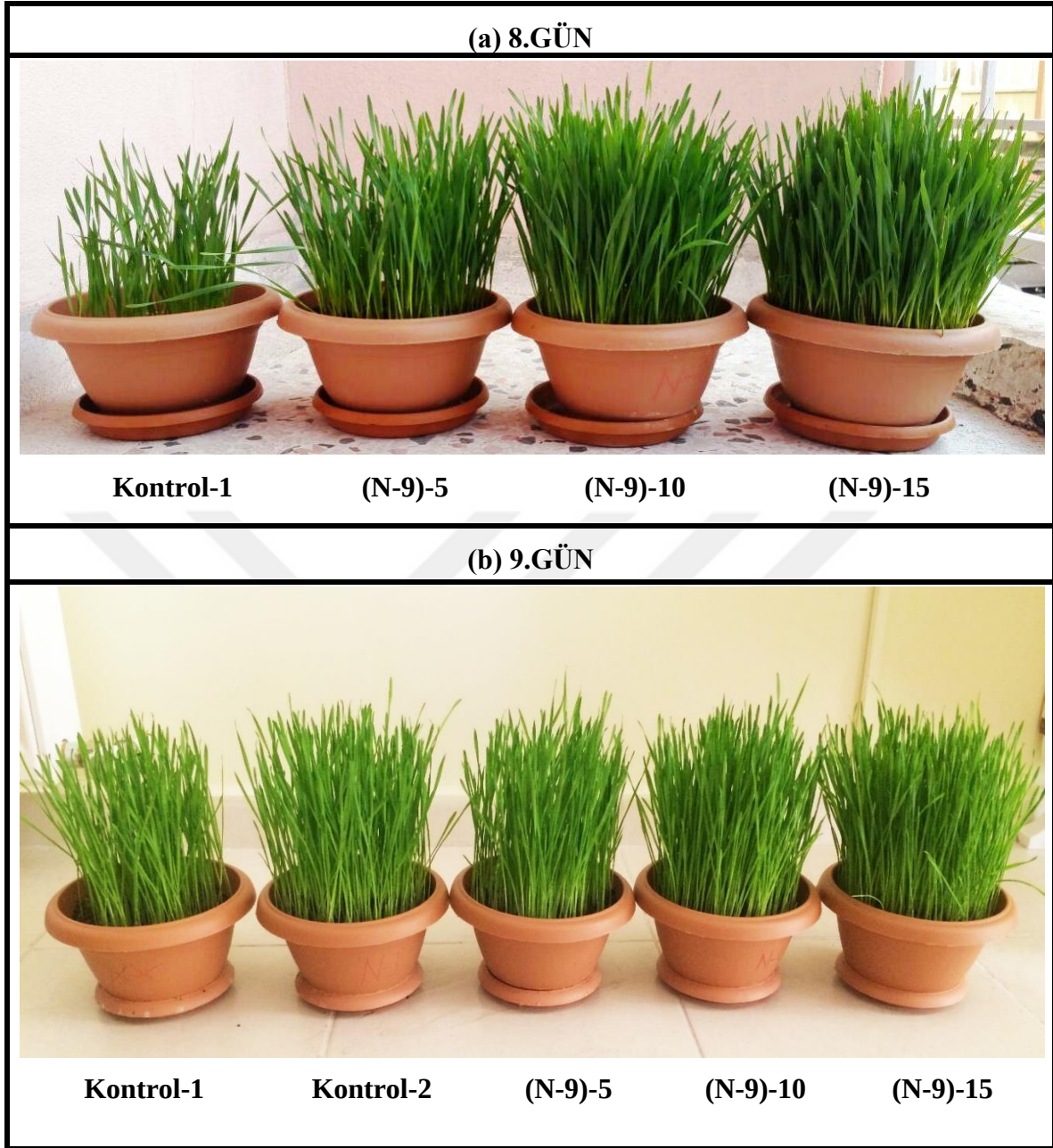
Fe^{3+} ve Fe^{2+} iyonu olarak alabilirler. Fe^{3+} iyonu bazik ortamlarda demir tuzları halinde çökerken, asidik ortamlarda çözünerek bitki bünyesine girer. Fe^{3+} ün kullanılabilmesi için Fe^{2+} e indirgenmesi gerekir. Bu işlem, topraktaki bakterilerle veya bitki bünyesindeki çeşitli indirgenme mekanizmalarıyla gerçekleşir [130,131]. Dolayısıyla kullandığımız çapraz bağlayıcıdaki Fe^{3+} iyonunun bitki bünyesine geçmesi ve bitki gelişmesine katkı sağlamış olması beklenebilir bir durumdur.



Resim 4.9. N-9 örnekleri için 4. gün fide çıkışı görüntüleri

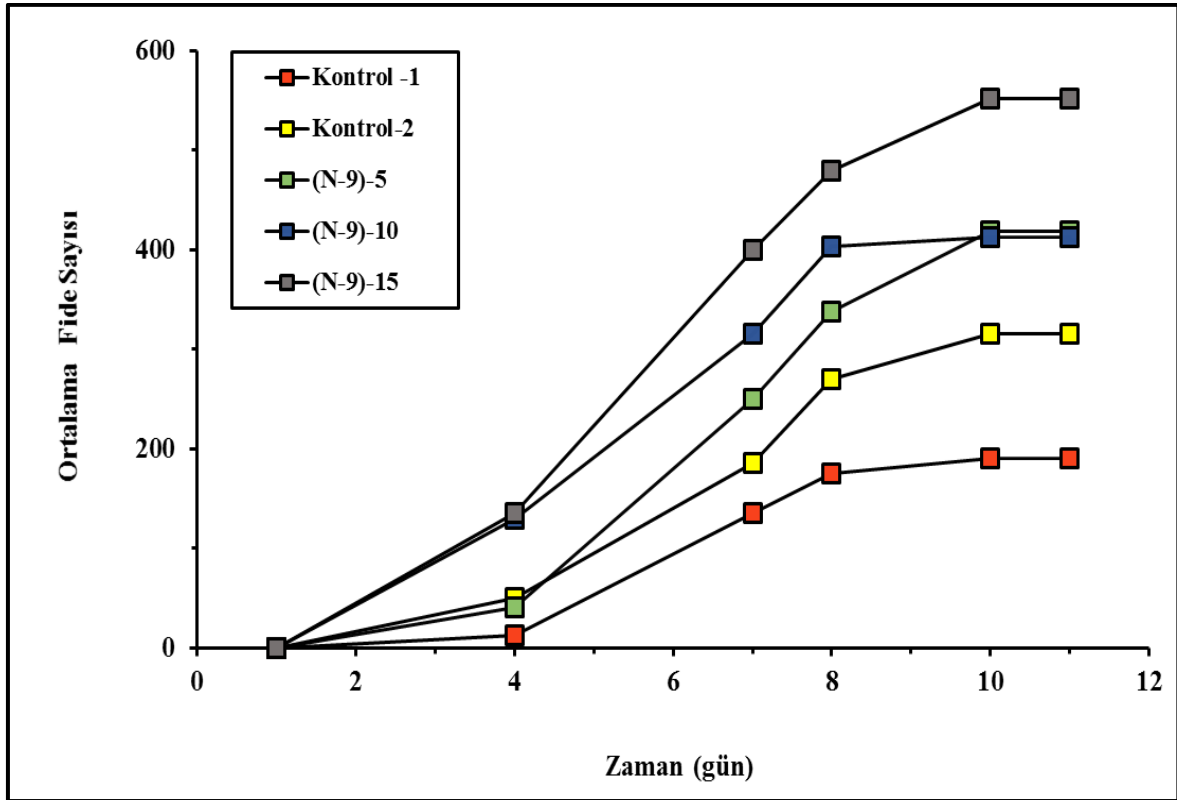


Resim 4.10. N-9 örnekleri için 7. gün fide çıkışı görüntüleri

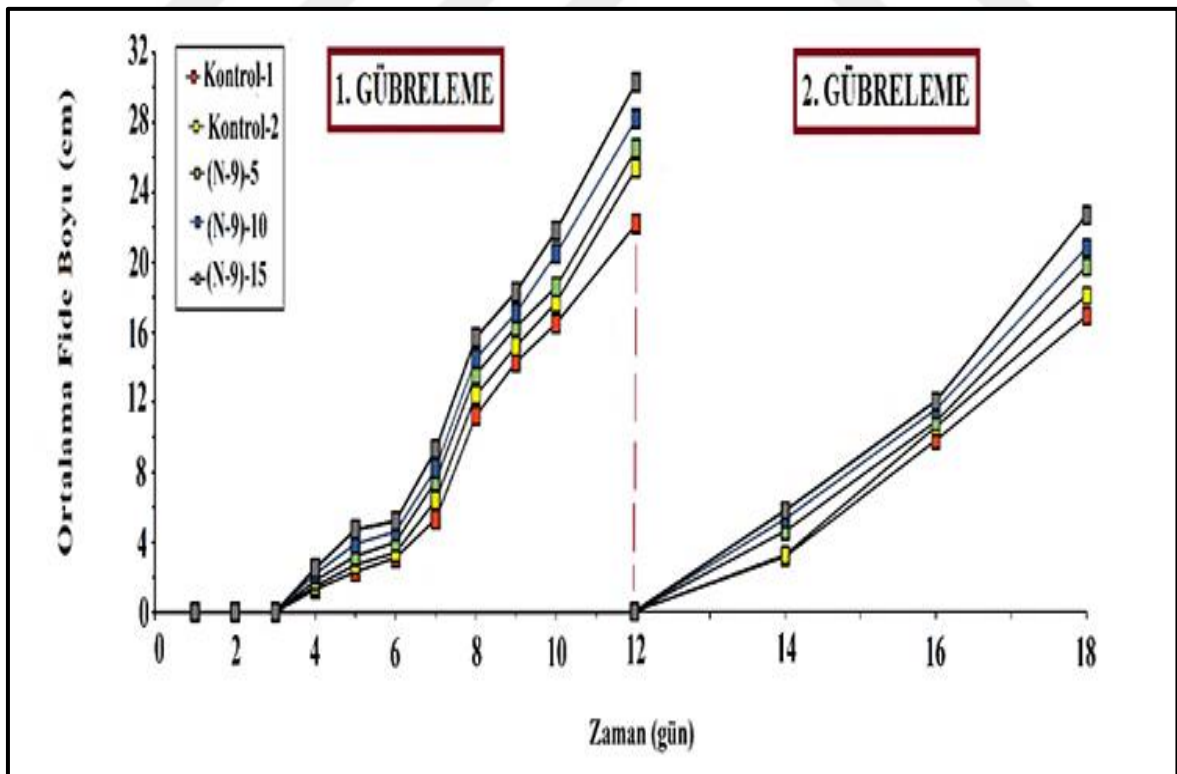


Resim 4.11. N-9 örneklerinin kontrollerle karşılaştırmalı olarak 8. ve 9. gün fide boylarının görüntüleri

Ortalama fide çıkış sayılarının ve ortalama fide boylarının zamanla değişim grafikleri Şekil 4.43 ve Şekil 4.44’de sunulmuş, değerler EK-34 ve EK-35’de verilmiştir.



Şekil 4.43. N-9 örneklerinde ortalama fide çıkış sayısının zamanla değişim grafiği



Şekil 4.44. N-9 örneklerinde ortalama fide boyunun zamanla değişim grafiği

Şekil 4.43’de verilen grafiğe göre; Kontrol-1’de ortalama fide çıkış sayısı 190 iken 15 adet N-9 hidrojelinin kullanıldığı örnekte ortalama fide çıkış sayısı 552 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre uygulamada N-9 hidrojellerinin kullanılmasıyla fide çıkış sayısının yaklaşık üç kat arttığı belirlenmiştir.

Şekil 4.44’te verilen ortalama fide boylarının zamanla değişim grafiğinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu grafiğe göre; 1. gübreleme sonunda Kontrol-1’in ortalama fide boyu 22,2 cm iken 15 adet N-9 hidrojelinin kullanıldığı örnekte ortalama fide boyu 30,3 cm olarak tespit edilmiştir.

Örneklerin gelişme ve uzama verimleri Kontrol-1 grubuna göre Eş. 3.4 ve Eş. 3.5 kullanılarak hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 4.13’te sunulmuştur.

Çizelge 4.13’te verilen sonuçlara göre, en yüksek gelişme ve uzama verimi değerleri 15 adet N-9 hidrojelinin kullanıldığı örnekte, en düşük gelişme ve uzama verimi değerleri ise Kontrol-2 örneğinde saptanmıştır. Örneklerdeki Zn^{2+} içeren hidrojel kullanım sayısı 5’ten 15’e arttıkça, gelişme ve uzama verim değerleri de yükselmiştir. İkinci gübrelemeden sonra da verim değerlerinin olumlu etkilendiği, ancak birinci gübreleme kadar yüksek bir artışın olmadığı tespit edilmiştir. İkinci gübrelemeden sonra verimlerdeki düşüşün sebebinin, uygulamada bitkiye sadece mikro besin elementinin verilmesi ve bu süreçte hiçbir makro besin elementi desteğinin yapılmamış olması diye düşünülmektedir [131,132]. Bu sonuçlara göre, makro besin elementleri verilmemesine rağmen, buğday çim gelişiminde Zn^{2+} yüklü N-9 hidrojellerin kullanımı ile örneklerin hem fide çıkış sayısının hem de gelişme ve uzama verimlerinin net bir şekilde arttığı saptanmıştır.

Çizelge 4.13. N-9 hidrojel örnekleri kullanılarak elde edilen büyüme ve gelişme değerleri

Örnek		Kontrol-1	Kontrol-2	(N-9)-5	(N-9)-10	(N-9)-15
Kuru kütle (g)	1.Gübreleme sonu	4,4	5,8	6,9	7,7	8,6
	2.Gübreleme sonu	2,8	3,1	3,9	4,4	5,2
	Toplam	7,2	8,9	9,8	12,1	13,8
Gelişme Verimi (%)	1.Gübreleme sonu	-	31,8	56,8	75,0	95,4
	2.Gübreleme sonu	-	10,7	39,3	57,1	85,7
	Toplam	-	42,5	96,0	132,1	181,1
Ortalama Fide Boyu (cm)	1.Gübreleme sonu	22,2±0,5	25,4±0,4	26,5±0,3	28,2±0,3	30,3±0,2
	2.Gübreleme sonu	17,3±0,3	18,5±0,5	20,2±0,3	21,3±0,2	23,2±0,2
	Toplam	39,5±0,5	43,9±0,9	46,7±0,5	49,5±0,5	53,5±0,4
Uzama Verimi (%)	1.Gübreleme sonu	-	14,4	19,4	27,0	36,4
	2.Gübreleme sonu	-	12,5	16,7	23,1	34,1
	Toplam	-	26,9	36,1	50,1	71,5

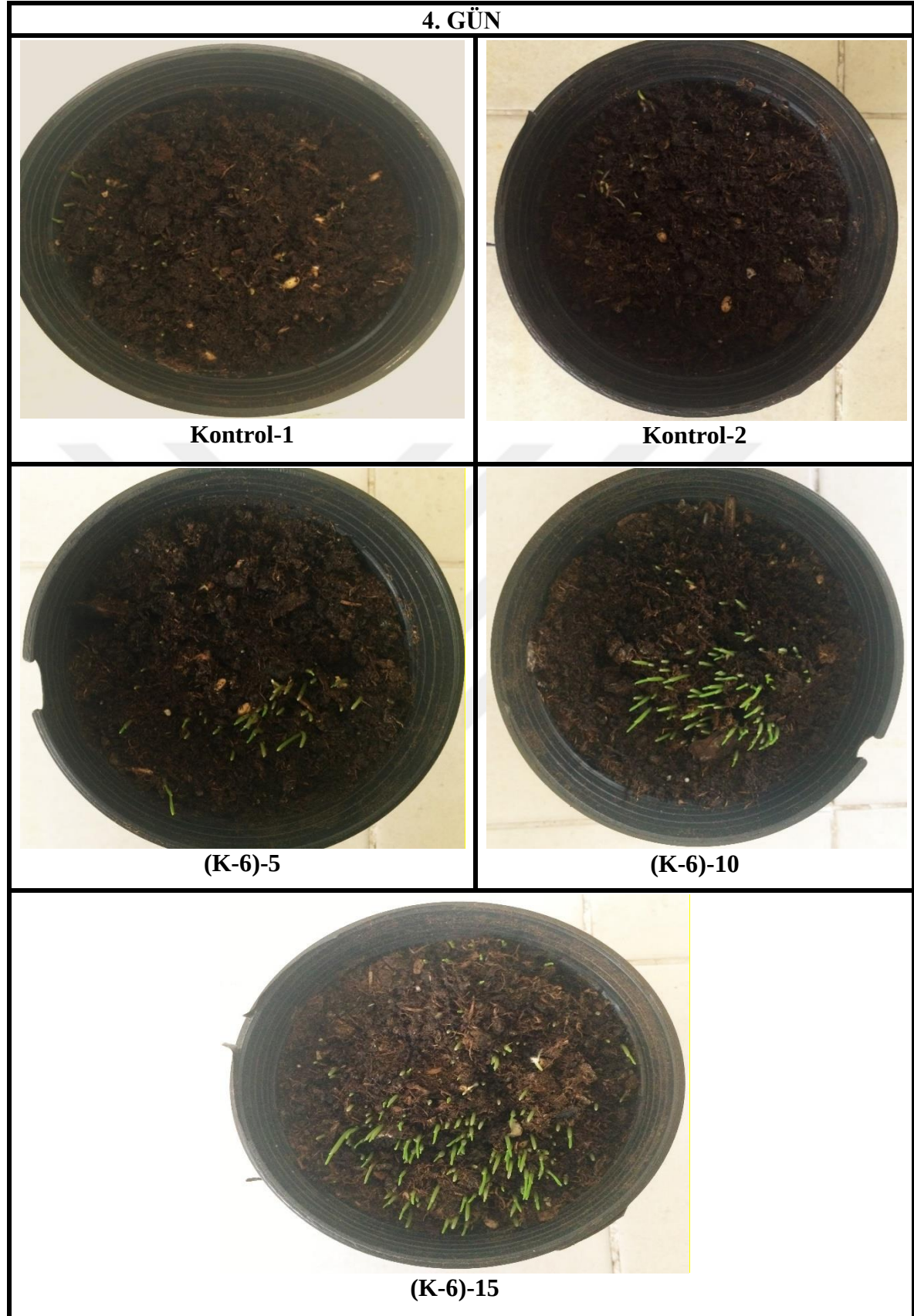
4.5.2. Zn^{2+} yüklü K-6 hidrojellerinin buğday çimi gelişimine etkisi

Zn^{2+} yüklü K-6 hidrojellerin buğday çimi gelişmesine etkisi, fide çıkış sayısı, fide boyları, gelişme ve uzama verimleri takip edilerek incelenmiştir. Resim 4.12 ve Resim 4.13'te örneklerin farklı günlerdeki fide çıkışlarının görüntüleri sunulmuştur.

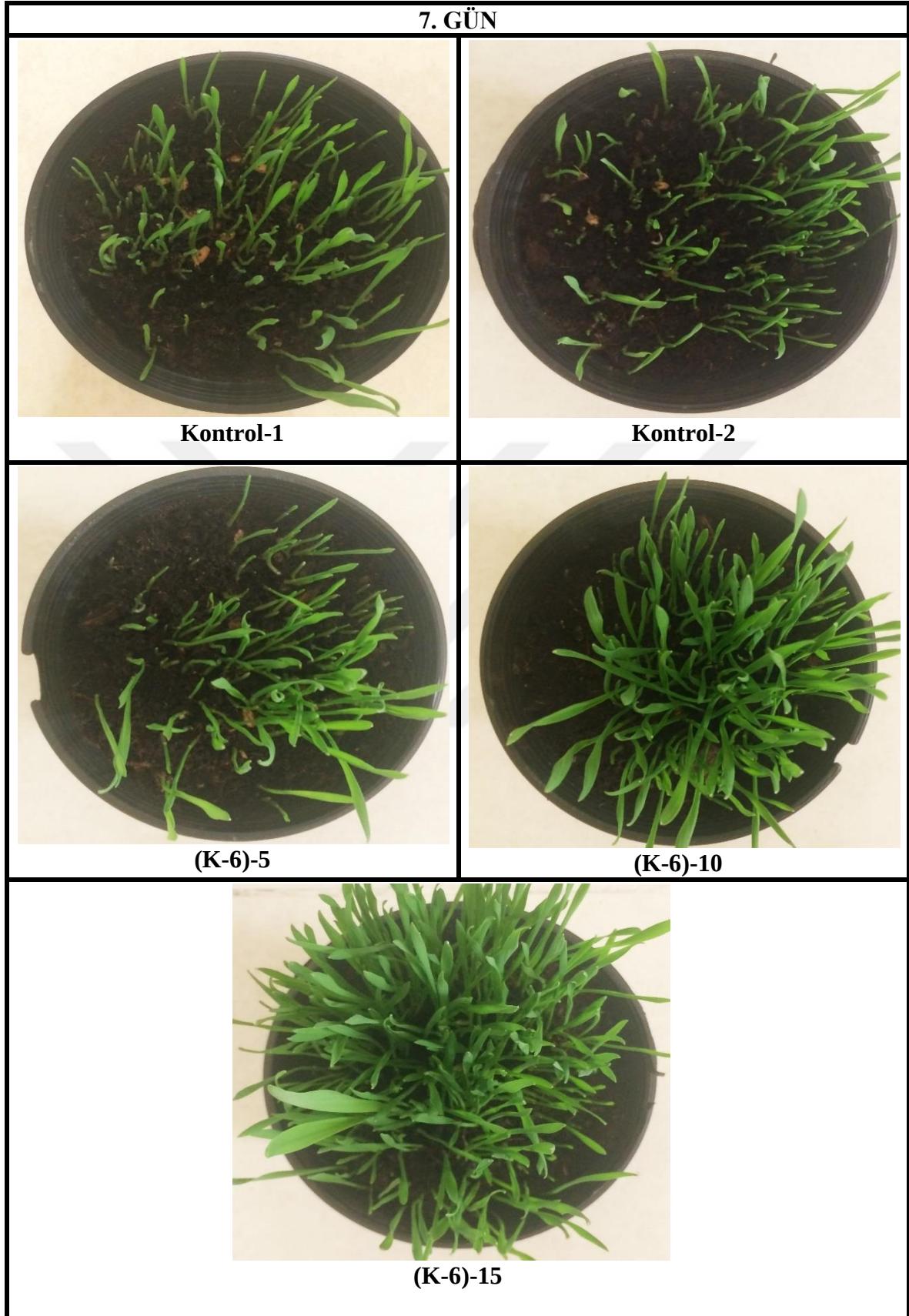
Resim 4.12'deki fotoğraflar incelendiğinde, 4. gün Kontrol-1 ve Kontrol-2 örneklerinde fide çıkışının gerçekleşmediği, en fazla fide çıkışının ise 15 adet K-6 hidrojelinin kullanıldığı örnekte olduğu gözlenmiştir.

Resim 4.13'te görüldüğü gibi, 7. güne gelindiğinde, 10 ve 15 adet K-6 hidrojelinin kullanıldığı örneklerde yüksek verim değerlerine ulaşılmıştır. Bu aşamadaki sonuçlara göre, hidrojel sayısı dolayısıyla Zn^{2+} miktarı arttıkça fide çıkışı da artmıştır.

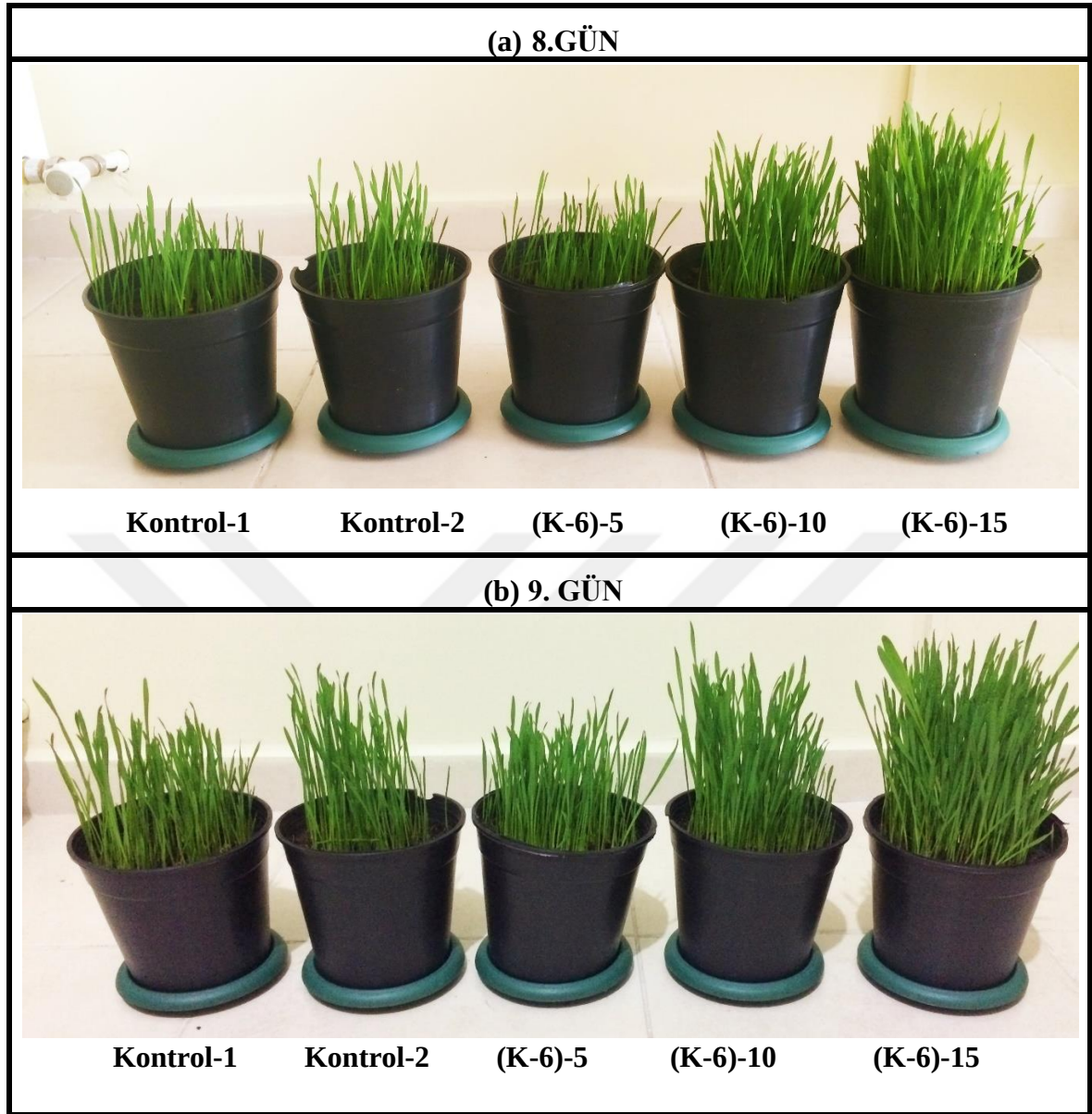
Resim 4.14'te örneklerin 8. ve 9. günkü fide boylarının görüntüleri verilmiştir. Fotoğraflar incelendiğinde, Kontrol-1, Kontrol-2 ve 5 adet K-6 hidrojelinin kullanıldığı örnekte ürün verimlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En yüksek verim, 15 adet K-6 hidrojelinin kullanıldığı örnekte gözlenmiştir. Bu fotoğraflara göre Zn^{2+} yüklü K-6 hidrojellerinin sayısı arttıkça, ürün verimi de artmıştır.



Resim 4.12. K-6 örnekleri için 4. gün fide çıkışı görüntüleri

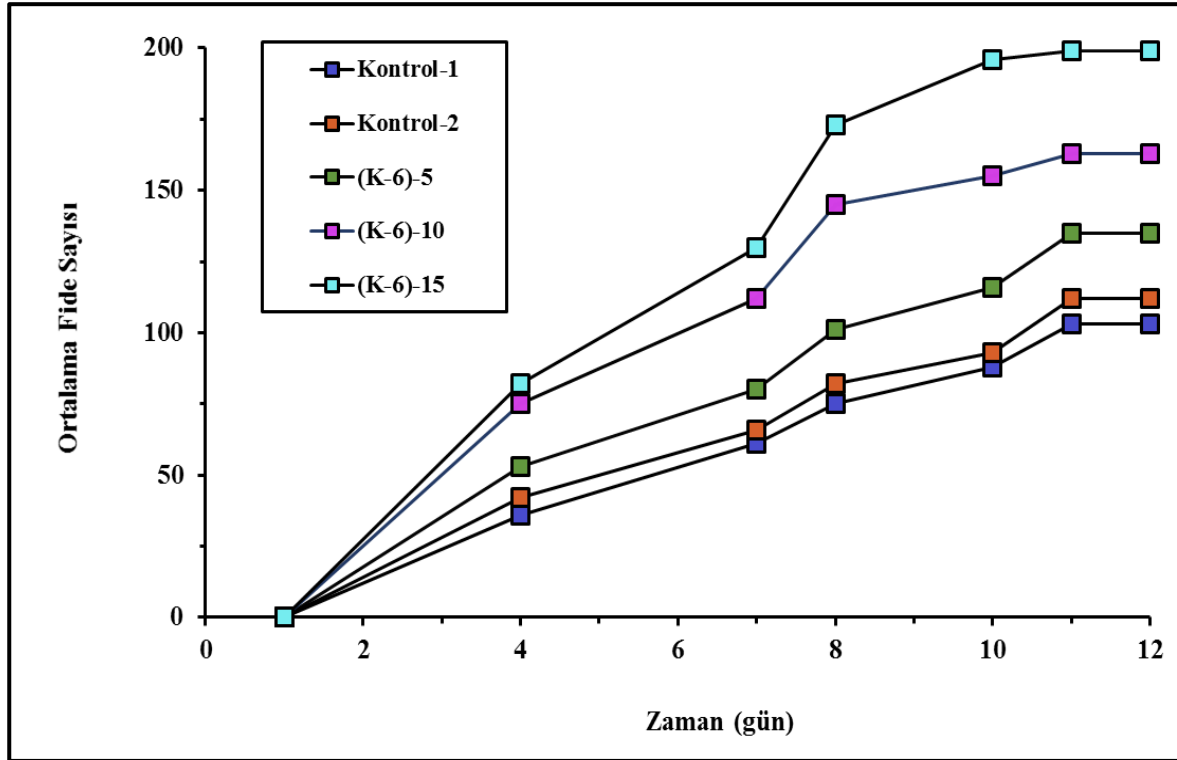


Resim 4.13. K-6 örnekleri için 7. gün fide çıkışı görüntüleri

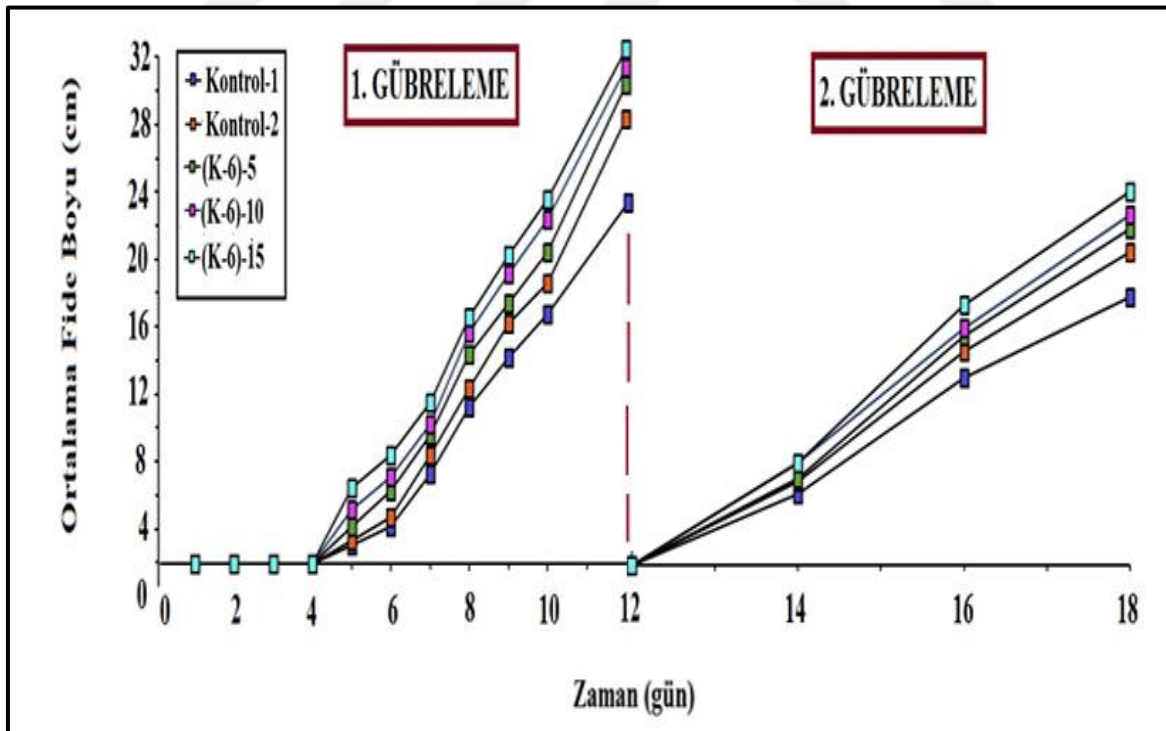


Resim 4.14. K-6 örneklerinin kontrollerle karşılaştırmalı olarak 8. ve 9. gün fide boylarının görüntüleri

Ortalama fide çıkış sayılarının ve ortalama fide boylarının zamanla değişim grafikleri Şekil 4.45 ve Şekil 4.46’da sunulmuş, değerler EK-36 ve EK-37’de verilmiştir.



Şekil 4.45. K-6 örneklerinde ortalama fide çıkış sayısının zamanla değişim grafiği



Şekil 4.46. K-6 örneklerinde ortalama fide boyunun zamanla değişim grafiği

Şekil 4.45'te verilen grafiğe göre; Kontrol-1'in ortalama fide çıkış sayısı 103 iken 15 adet K-6 hidrojelinin kullanıldığı örneğinin ortalama fide çıkış sayısı 199 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre uygulamada K-6 hidrojellerinin 5, 10, 15 adet kullanılması ile fide çıkış sayılarının yaklaşık iki kat arttığı saptanmıştır. Öte yandan, birinci grup çalışmasında olduğu gibi, Kontrol-2'in ortalama fide çıkış sayısının 112 olarak belirlenmesi ve az da olsa bu değerın Kontrol-1'e göre fazla çıkması, κ -Karragenan hidrojelinde C, H ve O organik besin elementlerinin bulunması ile açıklanabilir [108,134,135]. Şekil 4.46'da verilen ortalama fide boylarının zamanla değişim grafiğinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu grafiğe göre; birinci gübreleme sonunda Kontrol-1'in ortalama fide boyu 21,3 cm iken 15 adet K-6 hidrojelinin kullanıldığı örneğin ortalama fide boyu 30,6 cm olarak tespit edilmiştir.

Örneklerin gelişme ve uzama verimleri Kontrol-1 grubuna göre Eş. 3.4 ve Eş. 3.5 kullanılarak hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 4.14'te sunulmuştur.

Çizelge 4.14'te verilen sonuçlara göre, en yüksek gelişme ve uzama verimi değerleri 15 adet K-6 hidrojeli kullanılan örnekte, en düşük gelişme ve uzama verimi değerleri ise Kontrol-2 örneğinde saptanmıştır. Birinci grup çalışmasında olduğu gibi, örneklerdeki mikro besin elementi içeren hidrojel sayısı 5'ten 15'e arttıkça, gelişme ve uzama verim değerleri artmış ancak ikinci gübrelemeden sonra verim değerleri azalmıştır. Verimlerdeki düşüşün sebebi, uygulama sırasında bitkiye hiçbir makro besin elementi desteğinin yapılmaması olabilir [71,72]. Bu sonuçlara göre, makro besin elementleri verilmemesine rağmen, buğday çim gelişiminde Zn^{2+} yüklü K-6 hidrojellerin kullanımı ile örneklerin hem fide çıkış sayısı hem de gelişme ve uzama verim değerleri etkilenmiştir.

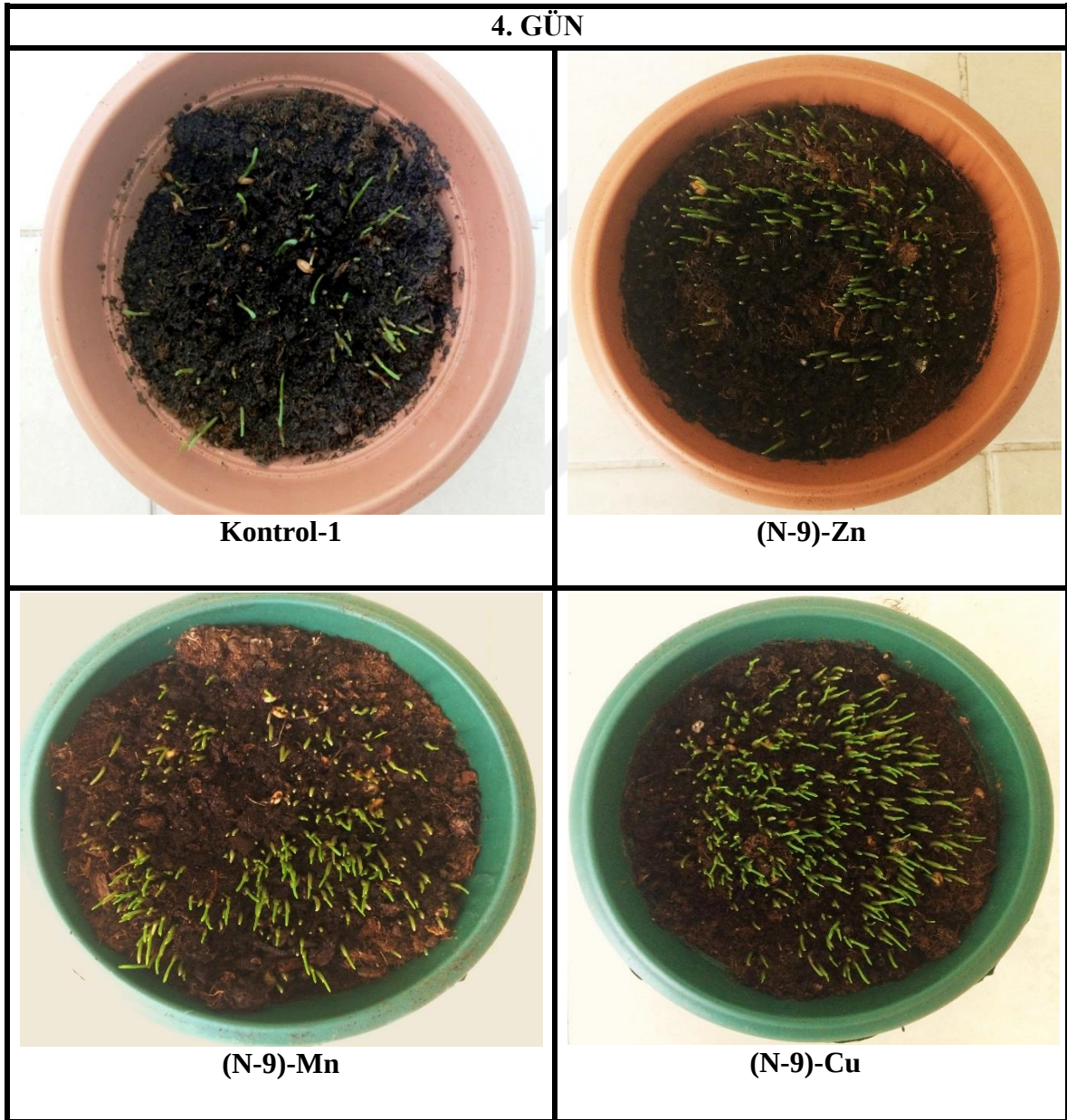
N-9 ve K-6 örneklerinin buğday çim uygulamaları kıyaslandığında, en fazla toplam gelişme ve uzama verimleri N-9 örneklerinde gözlenmiştir. Bu sonuca göre, N-9 örneklerinin içeriğinde bulunan demir ve selülozun buğday çim gelişimine olumlu etki ettiği görüşü güçlenmiştir [139,140].

Çizelge 4.14. K-6 hidrojel örnekleri kullanılarak elde edilen büyüme ve gelişme değerleri

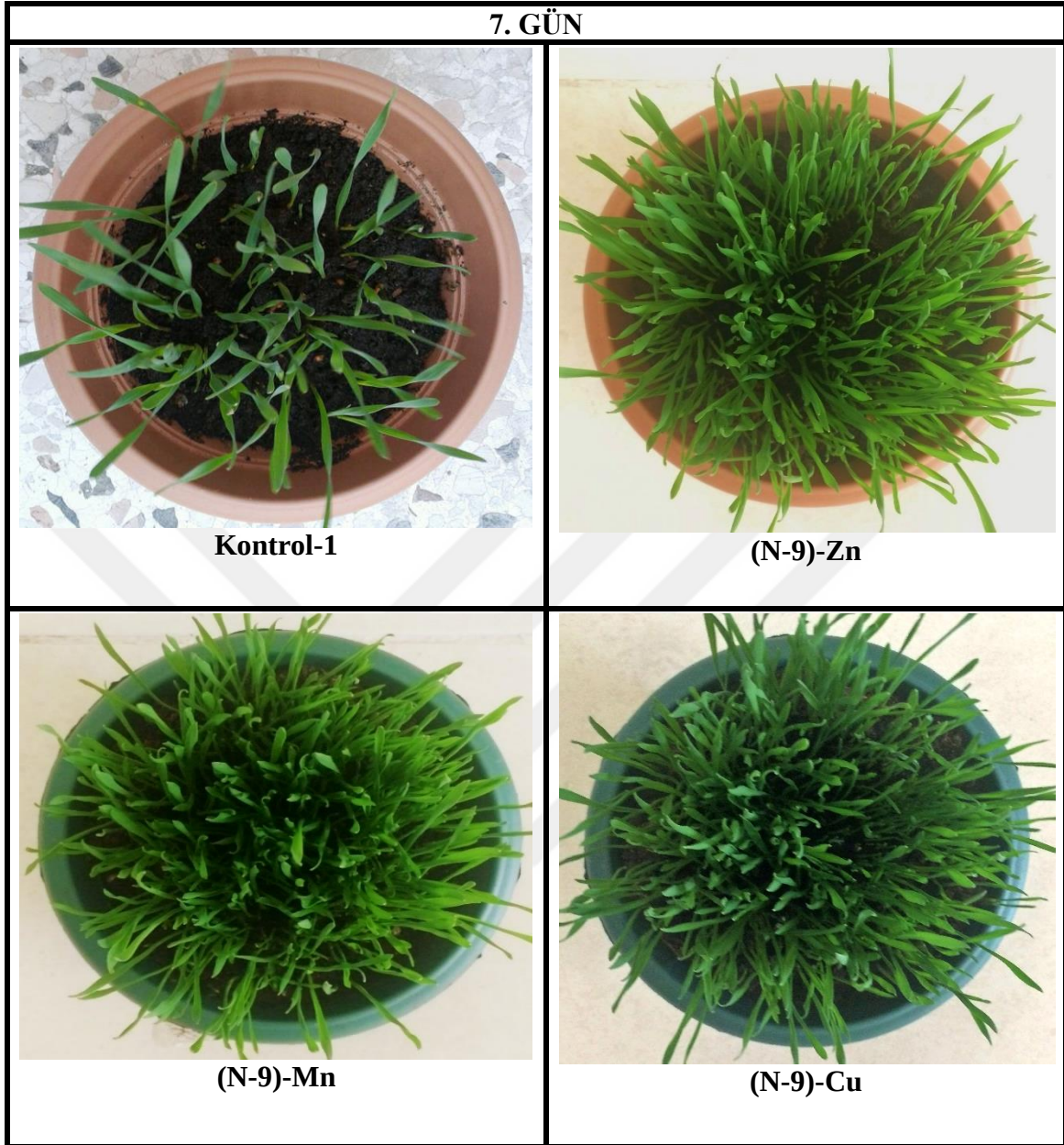
Örnek		Kontrol-1	Kontrol-2	(K-6)-5	(K-6)-10	(K-6)-15
Kuru kütle (g)	1.Gübreleme sonu	3,9	4,2	4,4	4,9	6,0
	2.Gübreleme sonu	2,8	2,9	3,0	3,4	4,1
	Toplam	6,7	7,1	7,4	8,3	10,1
Gelişme Verimi (%)	1.Gübreleme sonu	-	8,3	12,8	25,6	53,8
	2.Gübreleme sonu	-	3,5	7,1	21,4	46,4
	Toplam	-	13,0	36,5	74,5	144,5
Ortalama Fide Boyu (cm)	1.Gübreleme sonu	21,3±0,2	26,4±0,2	28,4±0,4	29,5±0,3	30,6±0,6
	2.Gübreleme sonu	15,6±0,2	18,2±0,2	19,6±0,3	20,4±0,2	21,7±0,4
	Toplam	36,9±0,4	44,6±0,4	48,0±0,7	49,9±0,5	52,3±0,9
Uzama Verimi (%)	1.Gübreleme sonu	-	23,9	33,3	38,5	43,6
	2.Gübreleme sonu	-	16,6	25,6	30,8	39,1
	Toplam	-	40,5	58,9	69,3	82,7

4.5.3. Farklı mikro besin elementi içeren NaCMC hidrojjellerinin buğday çimi gelişimine etkisi

Zn^{2+} , Mn^{2+} ve Cu^{2+} yüklü 15'er adet N-9 hidrojjellerinin buğday çimi gelişmesine etkisi, fide çıkış sayısı, fide boyları, gelişme ve uzama verimleri incelenerek değerlendirilmiştir. Resim 4.15 ve Resim 4.16'da örneklerin farklı günlerdeki fide çıkışlarının görüntüleri sunulmuştur.



Resim 4.15. Farklı mikro besin elementi içeren N-9 hidrojjelleri için 4. gün fide çıkışı görüntüleri

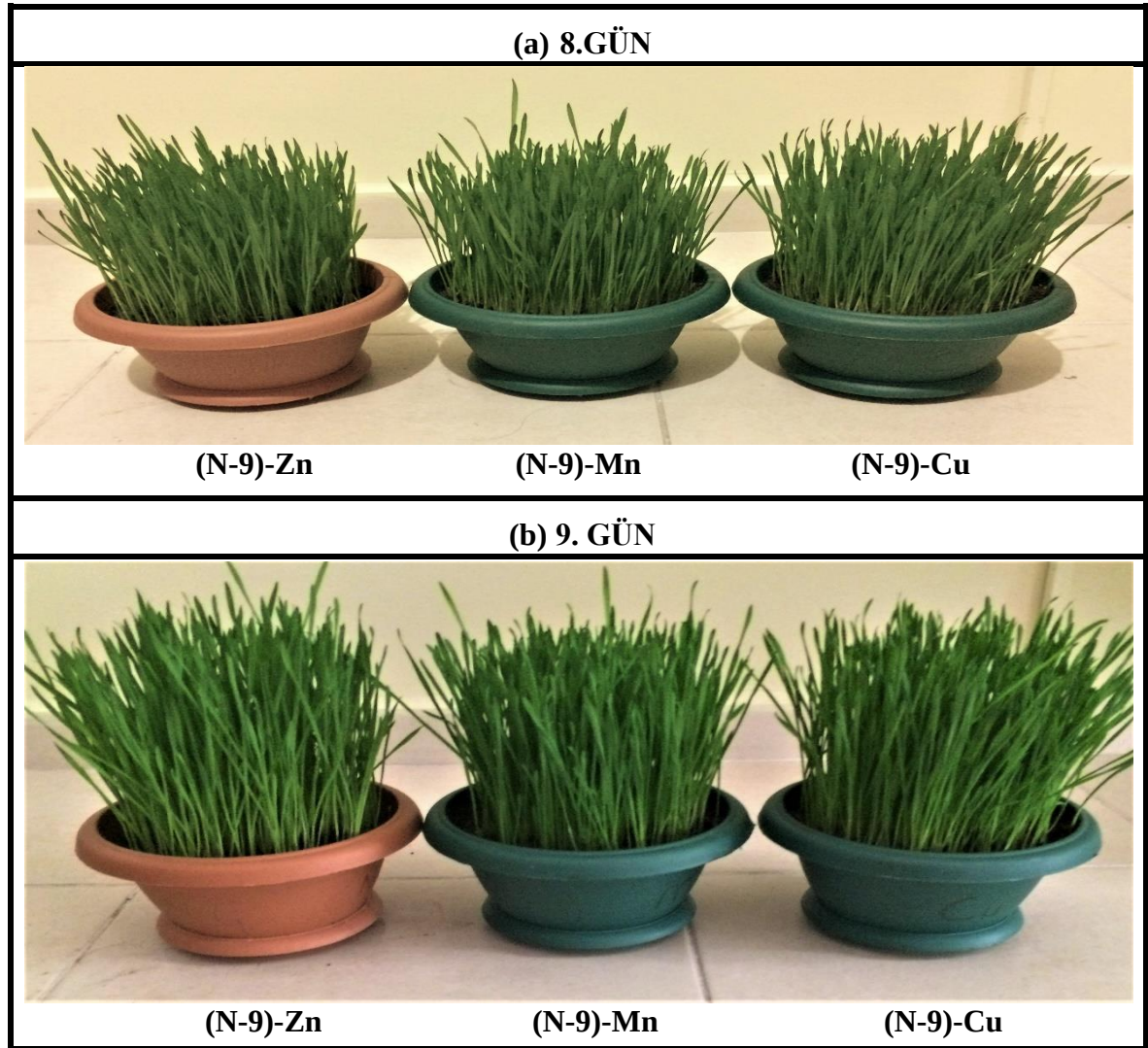


Resim 4.16. Farklı mikro besin elementi içeren N-9 hidrojelleri için 7. gün fide çıkışı görüntüleri

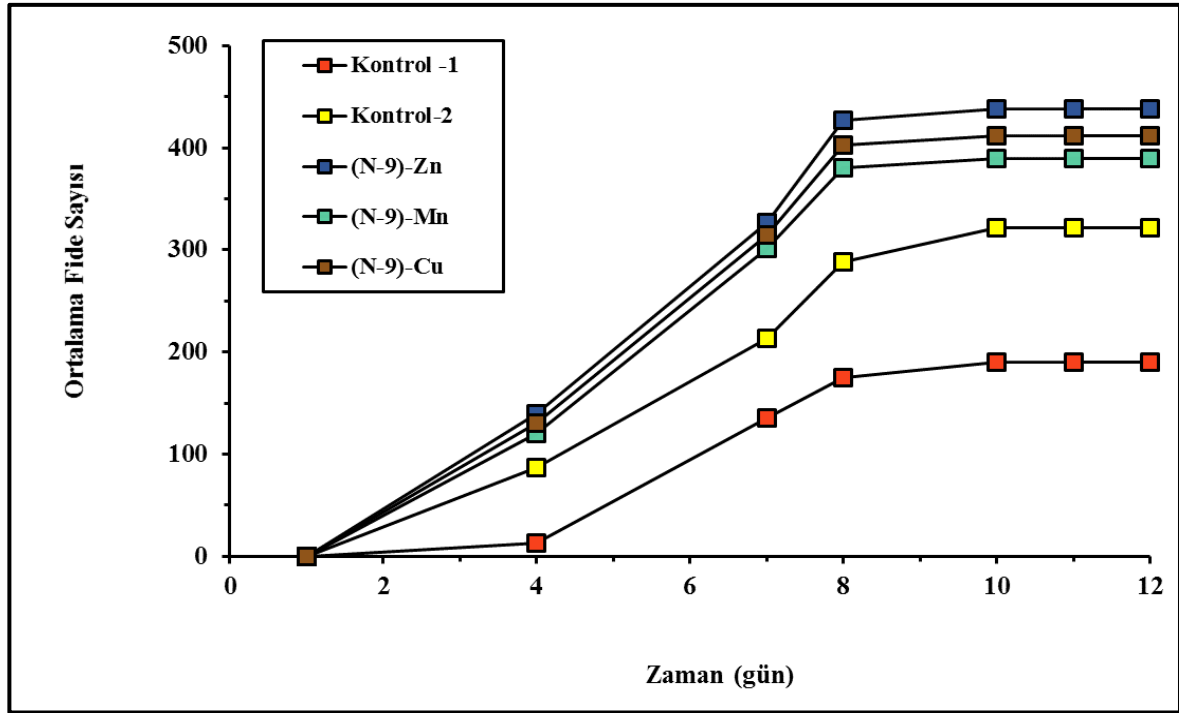
Resim 4.15'teki fotoğraflar incelendiğinde, 4. gün en az fide çıkışı Kontrol-1 de gözlenmişken, en fazla fide çıkışı (N-9)-Cu örneğinde gerçekleşmiştir. Resim 4.16'daki 7. günkü fide çıkış fotoğraflarından, (N-9)-Zn, (N-9)-Mn ve (N-9)-Cu örneklerinin fide çıkışlarının birbirine yaklaştığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar topraktaki salım değerleri ile uyumludur. Toprak salımında 4. gün N-9 hidrojellerinden Zn^{2+} , Mn^{2+} ve Cu^{2+} iyonlarının salım değerleri sırasıyla %27, %23 ve %30 olarak bulunmuşken, 7. gün salım değerleri sırasıyla %56, %52 ve %54'e ulaşmıştır. Bu sonuca göre; başlangıçta N-9 hidrojellerinden Cu^{2+} salımı diğerlerine göre daha hızlı gerçekleşirken, zamanla Zn^{2+} , Mn^{2+}

ve Cu^{2+} iyonlarının salım değerleri birbirine yaklaşmıştır. Kontrol-1’de ise fide çıkışı hepsine göre düşük kalmaya devam etmiştir.

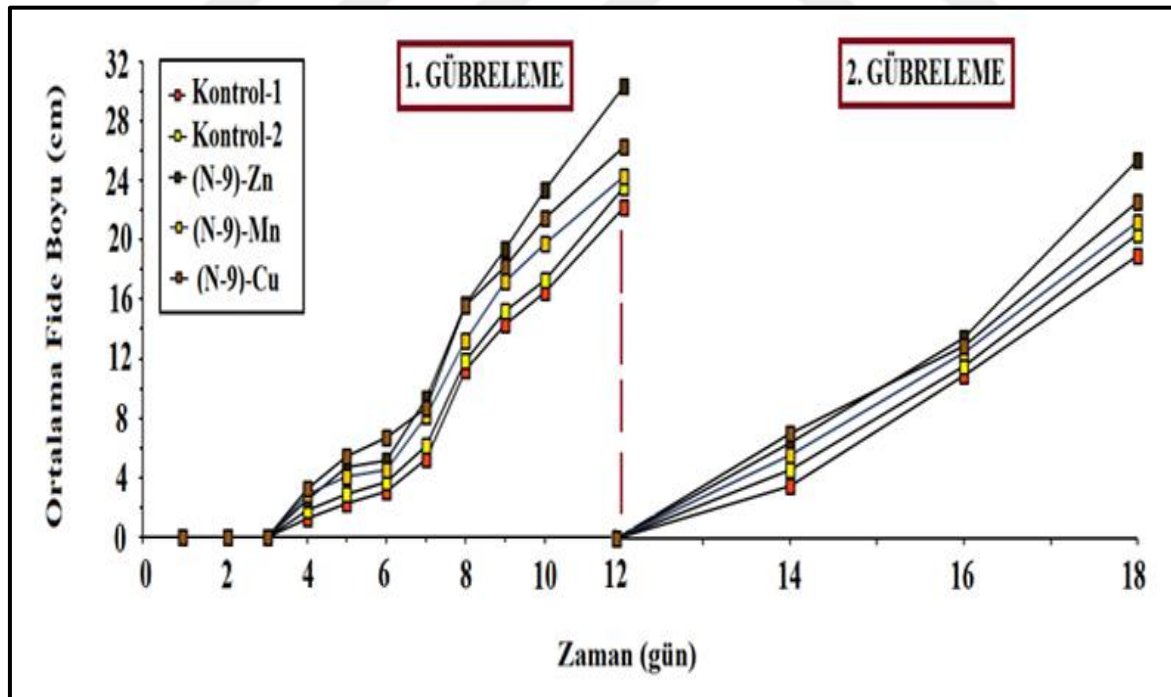
Resim 4.17’de farklı mikro besin elementi içeren N-9 rneklerinin 8. ve 9. günkü fide boylarının görüntüleri verilmiştir. Fotoğraflardan, örneklerin fide boylarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ortalama fide çıkış sayılarının ve ortalama fide boylarının zamanla değişim grafikleri şekil 4.47 ve şekil 4.48’de sunulmuş, değerler EK-38 ve EK-39’da verilmiştir.



Resim 4.17. Farklı mikro besin elementi içeren N-9 rneklerinin 8. ve 9. gün fide boylarının görüntüleri



Şekil 4.47. Farklı mikro besin elementi içeren N-9 örneklerinin ortalama fide çıkış sayısının zamanla değişim grafiği



Şekil 4.48. Farklı mikro besin elementi içeren N-9 örneklerinin ortalama fide boyunun zamanla değişimi

Şekil 4.47’de verilen grafiğe göre; Kontrol-1’de ortalama fide çıkış sayısı 304 iken (N-9)-Zn, (N-9)-Mn ve (N-9)-Cu örneklerinin fide çıkış sayıları sırasıyla 412, 389, 438 olarak

bulunmuştur. Değerler kontrol örneklerine göre belirgin şekilde yüksektir. Şekil 4.48 de verilen ortalama fide boylarının zamanla değişim grafiğinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu grafiğe göre; Kontrol-1 de ortalama fide boyu 22,2 cm iken (N-9)-Zn, (N-9)-Mn ve (N-9)-Cu örneklerinin fide çıkış sayıları sırasıyla 30,3; 24,3 ve 26,3 cm olarak bulunmuştur.

Örneklerin gelişme ve uzama verimleri Kontrol-1 grubuna göre Eş. 3.4 ve Eş. 3.5 kullanılarak hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 4.15'te sunulmuştur.

Çizelge 4.15'te verilen sonuçlar incelendiğinde, en yüksek gelişme ve uzama verim değerleri (N-9)-Zn örneğinde, en düşük gelişme ve uzama verimi değerleri ise (N-9)-Mn örneğinde gözlenmiştir. Birinci ve ikinci grup çalışmasında olduğu gibi, ikinci gübrelemeden sonra örneklerin gelişme ve uzama verimlerinde bir miktar azalma gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre, makro besin elementleri verilmemesine rağmen, buğday çim gelişiminde Zn^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} yüklü N-9 hidrojjellerin kullanımı ile örneklerin hem ortalama fide çıkış sayısında hem ortalama fide boylarında, hem de gelişme ve uzama verimlerinde artış saptanmıştır [142,143].

Sonuçlar toprak salım deneylerinde elde edilen denge salım değerleri ile de yorumlanabilir. N-9 hidrojjellerinden Zn^{2+} , Mn^{2+} ve Cu^{2+} iyonlarının topraktaki denge salım değerleri %86, %82 ve %88 olarak tespit edilmiştir. Dolayısı ile tüm elementlerin yeterince fazla miktarda toprağa geçtiği saptanmıştır. Bu değerler birbirine çok yakın olduğundan, bitki gelişim değerleri de her üç element için birbirine oldukça yakındır. Her üç elementin bitki gelişimine yaptıkları etkinin farklı olması, etki mekanizmaları ile açıklanabilir. Bilindiği gibi, manganın bitki gelişimine en önemli katkısı, klorofil üretim mekanizmaları içinde yer alması ve fotosentez yolu ile besin oluşturulmasıdır. Yaprak uzaması etkisinin diğer elementlere göre nispeten düşük kalmasının sebebi bu duruma bağlı olabilir. Bakırın bitki gelişimindeki en önemli katkısı kök gelişimi üzerinedir. Çinko ise, diğer olumlu etkilerinin yanı sıra, bitki büyümesini sağlayan enzim sisteminin bir parçasıdır [24,25]. Bu nedenle, çalışmamızda yaprak gelişimine en çok etki eden element olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.15. 15 adet N-9 hidrojel örnekleri kullanılarak elde edilen büyüme ve gelişme değerleri

Örnek		Kontrol-1	Kontrol-2	(N-9)-Zn	(N-9)-Mn	(N-9)-Cu
Kuru kütle (g/saksı)	1.Gübreleme sonu	4,4	5,5	8,6	6,0	6,8
	2.Gübreleme sonu	2,8	3,0	5,2	3,3	3,5
	Toplam	7,2	8,5	13,8	9,3	10,3
Gelişme Verimi (%)	1.Gübreleme sonu	-	25,0	95,4	36,3	45,4
	2.Gübreleme sonu	-	7,1	85,7	17,8	25,0
	Toplam	-	32,1	181,1	54,16	70,4
Ortalama Fide Boyu (cm)	1.Gübreleme sonu	22,2±0,3	23,5±0,5	30,3±0,3	24,3±0,5	26,3±0,1
	2.Gübreleme sonu	17,3±0,3	18,6±0,6	23,2±0,2	19,4±0,5	20,6±0,3
	Toplam	39,5±0,6	42,1±1,1	53,5±0,5	43,7±1,0	46,9±0,4
Uzama Verimi (%)	1.Gübreleme sonu	-	5,8	41,1	11,7	17,6
	2.Gübreleme sonu	-	4,3	30,4	8,6	13,0
	Toplam	-	10,1	71,5	20,3	30,6



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- ✱ Sunulan çalışmada, çeşitli mikro besin elementleri içeren biyobozunur hidrojel sistemlerin hazırlanması ve tarımsal etkinliklerinin incelenmesi amacıyla bir seri NaCMC ve κ -Karragenan hidrojelleri sentezlendi.
- ✱ FeCl_3 çapraz bağlayıcısı eşliğinde, polimer ve çapraz bağlayıcı miktarları değiştirilerek 12 farklı NaCMC hidrojeli hazırlandı. NaCMC hidrojellerin oluşum yüzdeleri gravimetrik yöntem ile belirlendi. Genel olarak, polimer ve çapraz bağlayıcı miktarlarının artmasıyla, hidrojel oluşum yüzdelерinin de arttığı tespit edildi. En düşük değer %77 ile NaCMC-1 hidrojelinde, en yüksek değer %96 olarak NaCMC-12 hidrojelinde gözlemlendi.
- ✱ NaCMC hidrojellerin FTIR analizinde, elde edilen hidrojel spektrumunda 1751 cm^{-1} civarında NaCMC'in karboksil grubu ile çapraz bağlayıcının Fe^{3+} iyonları arasındaki iyonik çapraz bağlanmadan kaynaklandığı düşünülen yeni bir pik gözlemlendi.
- ✱ NaCMC hidrojellerinin şişme davranışlarının zamanla değişimi incelendi ve tüm hidrojellerde şişme değerlerinin yaklaşık 24 saat civarında dengeye ulaştıkları belirlendi. En yüksek şişme değeri NaCMC-1 hidrojeli için %490, en düşük şişme değeri ise NaCMC-12 için %102 olarak elde edildi.
- ✱ NaCMC hidrojellerinin şişme davranışlarının sıcaklıkla değişimi incelendi ve tüm hidrojellerin şişme değerlerinin sıcaklıkla az miktar arttığı gözlemlendi. En yüksek şişme değeri NaCMC-1 hidrojeli için, en düşük şişme değeri ise NaCMC-12 hidrojeli için tespit edildi.
- ✱ NaCMC hidrojellerinin şişme davranışlarının pH ile değişimi incelendi. Tüm hidrojellerde pH arttıkça şişme değerlerinin arttığı belirlendi. Asidik ortamda düşük, bazik ortamda ise yüksek şişme değerleri tespit edildi. Bu sonuçlardan, sentezlenen NaCMC hidrojellerinin, pH'ya duyarlı olduğu kanaatine varıldı.

- ✱ Hidrojellerin bozunma deney sonuçlarından, polimer ve çapraz bağlayıcı miktarının artmasıyla, bozunma süresinin de arttığı belirlendi. Bozunma sürelerinin 21-38 gün arasında değiştiği ve en fazla polimer ve çapraz bağlayıcı miktarına sahip NaCMC-12 hidrojelinin yaklaşık 38 günde tamamen bozunduğu saptandı.
- ✱ SEM fotoğrafları incelendiğinde, şişmiş haldeki tüm NaCMC hidrojellerinin, yüzeylerinin tanecikli-gözenekli yapıya sahipken, kesitlerinin süngerimsi-gözenekli yapıya sahip olduğu gözlemlendi. NaCMC-1 hidrojelinin en büyük taneciklere ve gözeneklere, NaCMC-12 hidrojelinin ise en küçük taneciklere ve gözeneklere sahip olduğu belirlendi. Hidrojellerin tanecik ve gözenek boyutlarının çoğunlukla nano boyutta olduğu saptandı.
- ✱ Farklı miktarlarda FeCl_3 içeren NaCMC-5, NaCMC-6, NaCMC-7 ve NaCMC-8 hidrojellerinin EDAX incelemeleri yapıldı. Tüm örneklerde Na, Fe ve Cl elementleri tespit edildi. Hidrojellerdeki FeCl_3 miktarı arttıkça, spektrumlarda Fe elementinin pik şiddetinin de giderek arttığı belirlendi. Bu sebeple, çapraz bağlanmanın başarıyla gerçekleştiği kanaatine varıldı.
- ✱ Mikro besin elementlerinin in vitro salım çalışması için şişme/bozunma davranışları değerlendirilerek NaCMC-5, NaCMC-8, NaCMC-9, NaCMC-12 hidrojelleri seçildi. Hidrojellere bakır, çinko ve mangan mikro besin elementleri yükleme işlemi eşit miktarlarda ve emdirme yöntemiyle gerçekleştirildi. İn vitro salım çalışması AAS cihazı kullanılarak takip edildi.
- ✱ Mikro besin elementi yüklü NaCMC hidrojellerinin in vitro salım çalışmasında, Cu^{2+} , Zn^{2+} ve Mn^{2+} iyonlarının salım değerlerinin, 19 ila 27 saat aralığında sabit değere ulaştığı belirlendi. En çok şişen NaCMC-5 hidrojeli için salımın en kısa, en az şişen NaCMC-12 hidrojeli için salımın en uzun sürdüğü saptandı.
- ✱ İn vitro salım çalışmasında kullanılan hidrojellerin k ve n kinetik parametreleri bulunarak, salım kinetiği Fick yaklaşımına göre değerlendirildi. NaCMC-5, NaCMC-8 ve NaCMC-9 hidrojellerinde Fick olmayan tipte salım olduğu ve NaCMC-12 hidrojeli için ise salım kinetiğinin 0. dereceden kinetiğe uyduğu belirlendi.

- ✱ Mikro besin elementi yüklü NaCMC hidrojjellerinin model salım çalışmasında, tüm hidrojjelerde model salımın yaklaşık 14 günde sabit değere ulaştığı ve salım değerlerinin %83-94 arasında değiştiği saptandı.
- ✱ Mikro besin elementi yüklü NaCMC hidrojjellerinin topraktaki salım çalışmasında, tüm hidrojjelerde salımının yaklaşık 16 günde sabit değere ulaştığı ve değerlerin %81-95 arasında değiştiği belirlendi. Model salım değerlerinin topraktaki salım değerlerine yakın çıkması nedeniyle, tasarlanan model salım deneyinin gerçek tarımsal ortamı oldukça başarı ile yansıttığı görüşüne varıldı.
- ✱ Mikro besin elementleri yüklü NaCMC-9 hidrojjellerinin buğday çimi gelişimine etkisi çalışmaları yürütüldü. Zn^{2+} mikro besin elementi miktarının artmasıyla, örneklerin ortalama fide çıkış sayısının, ortalama fide boylarının, gelişme ve uzama verimlerinin arttığı belirlendi.
- ✱ Zn^{2+} , Cu^{2+} ve Mn^{2+} yüklü hidrojjellerle yürütölen çalışmalardan, en yüksek gelişme ve uzama verim değeri Zn^{2+} içeren örnekte, en düşük gelişme ve uzama verim değeri ise Mn^{2+} içeren örnekte olduğu tespit edildi.
- ✱ Buğday çimi uygulamalarında 12. gün çimler biçildi. Ardından örneklere ikinci gübreleme işlemi gerçekleştirildi. İkinci gübrelemeden sonra, gelişme ve uzama verim değerlerinin azaldığı tespit edildi. Farklı miktarlarda GA çapraz bağlayıcısı kullanılarak 6 farklı κ -Karragenan hidrojjeli sentezlendi. Hidrojjellerin oluşum yüzdeleri hesaplandı. Değerlerin % 72 -93 arasında değiştiği ve GA miktarının artmasıyla değerlerin arttığı belirlendi.
- ✱ Şişme-zaman testlerinden, tüm κ -Karragenan hidrojjellerin şişme değerlerinin zamanla arttığı ve yaklaşık 9 saat civarında sabit değere ulaştığı saptandı. Hidrojel içindeki GA miktarının artmasıyla şişme değerlerinin azaldığı gözlemlendi. En yüksek şişme değeri K-1 hidrojjeli için %970, en düşük şişme değeri ise K-6 hidrojjeli için %258 olarak elde edildi.

- ✱ Şişme-sıcaklık testlerinden, κ -Karragenan hidrojellerin şişme değerlerinin 30°C ye kadar arttığı, sıcaklık arttıkça şişme değerlerinin azaldığı belirlendi.
- ✱ Şişme-pH testlerinden, pH arttıkça tüm κ -Karragenan hidrojellerinin şişme değerlerinin arttığı belirlendi. pH=12’de en yüksek şişme değerleri K-1 hidrojel için %1883, en düşük şişme değeri ise K-6 hidrojel için %1024 olarak bulundu.
- ✱ κ -Karragenan hidrojellerin bozunma deneyleri sonuçlarından, bozunma sürelerinin birbirlerine çok yakın olduğu ve tüm hidrojellerin yaklaşık 8 günde bozunduğu belirlendi.
- ✱ FTIR analizinde, elde edilen κ -Karragenan hidrojelinin spektrumunda 1710 cm^{-1} civarında κ -Karragenan’ın hidroksil grubu ile GA’nın aldehit grubu arasındaki çapraz bağlanmadan kaynaklandığı düşünülen yeni bir pik gözlemlendi.
- ✱ κ -Karragenan’ın SEM analizinde, fotoğraflar incelendiğinde şişmiş haldeki tüm hidrojellerin gözenekli olduğu, en çok şişen K-1 hidrojelinin ise, diğerlerine göre daha iri gözeneklere sahip olduğu belirlendi.
- ✱ Mikro besin elementlerinin in vitro salım çalışması için üç tür κ -Karragenan hidrojelleri seçildi. Hidrojellere bakır, çinko ve mangan mikro besin elementleri yükleme işlemi eşit miktarlarda ve emdirme yöntemiyle gerçekleştirildi. İn vitro salım çalışması AAS cihazı kullanılarak takip edildi.
- ✱ Mikro besin elementi yüklü κ -Karragenan hidrojellerinin in vitro salım çalışmasında, Cu^{2+} , Zn^{2+} ve Mn^{2+} iyonlarının salım değerlerinin, 10 ila 17 saat aralığında sabit değere ulaştığı belirlendi. İyonların tamamına yakın miktarını saldıgı tespit edildi. En çok şişen K-4 hidrojel için salımın en kısa, en az şişen K-6 hidrojel için salımın en uzun sürdüğü saptandı.
- ✱ Salım çalışmasında kullanılan κ -Karragenan hidrojellerinin k ve n kinetik parametreleri bulundu. n değerlerinin 0,90-1,06 arasında değiştiği ve değerlerin 1’e oldukça yakın olmasından dolayı salımın 0. derece kinetiğe uyduğu belirlendi.

- ✱ Mikro besin elementi yüklü κ -Karragenan hidrojenlerinden model salım deneylerinde, salımın yaklaşık 10 günde sabit değere ulaştığı ve değerlerin %82-88 arasında değiştiği saptandı. Yüksek şişme oranlarının hızlı salıma neden olduğu tespit edildi.
- ✱ Mikro besin elementi yüklü κ -Karragenan hidrojenlerin toprakta salım çalışmasında, salımın yaklaşık 12 günde sabit değere eriştiği ve değerlerin %82-88 arasında değiştiği belirlendi.
- ✱ Zn^{2+} yüklü K-6 hidrojenlerinin buğday çimi gelişimine etkisi araştırıldı. Hidrojenin Zn^{2+} mikro besin elementi içeriği arttıkça, ortalama fide çıkış sayıları, ortalama fide boyları, gelişme ve uzama verim değerlerinin önemli miktarda arttığı tespit edildi.

Geleneksel gübreleme yöntemlerinin uygulanmasında yaşanan sorunları gidermek amacıyla, son yıllarda kontrollü gübreleme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla yapılan araştırmalar çoğunlukla makro besin elementleri ile yürütüldüğü için, sunulan tez kapsamında tarımsal uygulamalara anlamlı bir katkısı olabilir düşüncesiyle mikro besin elementleri ile çalışmak hedeflenmiştir. Bakır, çinko ve mangan mikro besin elementi yüklü biyobozunur hidrojenlerin, hem salım çalışmaları hem de tarımsal uygulamaları olumlu sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar, üç mikro besin elementini de içeren hidrojenlerin, kontrollü salım sistemlerinde verimli bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Üretilen hidrojenlerin biyobozunur olması, hem bitkilerin makro besin elementi ihtiyacını karşılanmış hem de tarımsal alanlarda atık sorununa bir çözüm getirmiştir.

Bu tez kapsamında elde edilen sonuçlar, benzer bir seri üretim için umut vermektedir. Mikro besin elementi yüklü hidrojenlerin farklı bitki türlerine uygulanmasıyla veya bunların bitkinin farklı bölgelerinin gelişimine etkisine yönelik olarak çalışmalar yapılmasıyla çalışmanın çeşitlendirilmesi söz konusu olabilir.



KAYNAKLAR

1. İnternet: Agriculture and Food. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.invest.gov.tr%2Fen-US%2Fsectors%2FPages%2FAgriculture.aspx&date=2017-03-11>. Son Erişim Tarihi: 11.03.2017.
2. Senear, O., Geçit, H., Çiftçi, C.Y., Ünver, S., Kaya, M. (1997). *Tarla bitkileri tohumculuğu*, Türkiye II. Tarla Bitkileri Kongresi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Samsun, 90-95.
3. İnternet: Türkiye’de gübre sektörü-Bir sektörde sona doğru. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.petrol-is.org.tr%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fbirsektordesonadogru-gubre-mayis_2006.pdf&date=2017-03-11. Son Erişim Tarihi: 11.03.2017
4. Ge, J., Wu, R., Shi, Hao Yu, X., Wang, M., Li, W. (2002). Biodegradable polyurethane materials from bark and starch. II. coating material for controlled-release fertilizer, *Journal of Applied Polymer Science*, 86(12), 2948–2952.
5. Davidson, D. (2012). Controlled release of agrichemicals using a functionalized carboxymethyl cellulose hydrogel matrix, *Canadian Agri-food Policy Institute’s*, 60, 870-876.
6. Bernstein, N., Ioffe, M., Luria, G., Bruner, M., Nishri, Y., Philosoph-Hadas, S. Salim, S. Dori, I. and Matan, E. (2011). Effects of K and N Nutrition on Function and Production of *Ranunculus asiaticus*, *Pedosphere*, 21(3), 288–301.
7. Johannes, M., Hubertus, L. (1986). Granular fertilizer composition having controlled release and process for the preparation there of, European Patent 0184869 A1, 18 June.
8. Yağmur, B. (2012). Bitki besin elementleri gübre ve gübreleme yöntemleri. *Tarım Türk*, 25-30.
9. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., Nelson, W.L. (2005). *Soil Fertility and Fertilizers, An Introduction to Nutrient Management* (Sekizinci Baskı). ABD: Pearson Yayınevi, 1-515.
10. Kacar, B. (1992). Yapraktan Bardağa Çay, *T.C. Ziraat Bankası Kültür Yayınları*, 23, 32- 37.
11. Zhong, K., Lin, Z., Zheng, X., Jiang, G., Fang, Y., Mao, X., Liao, Z. (2013). Starch derivative-based superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers, *Carbohydrate Polymers*, 92, 1367– 1376.
12. Er, C., Başalma, D. (2008). *Organik tarımdaki gelişmeler* (İkinci Baskı). Türkiye: Nobel Akademik Yayıncılık, 200-250.

13. Sarathchandra, S.U., Ghani, A. Yeates, G.W., Burch, G., Cox, N.R. (2001). Effect of nitrogen and phosphate fertilisers on microbial and nematode diversity in pasture soils, *Soil Biology & Biochemistry*, 33, 953-964.
14. Ülgen N, Yurtsever N (1995). *Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi*. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları No 209, 230-240.
15. Adkeniz, A., Brahi, A. (1991). *Gübreler ve gübreleme*. Cumhuriyet Üniversitesi Tokat Ziraat Fakültesi Yayınları Yayın No 7, 16–18.
16. Arslanargun, B., Yürekli, A. (2002). *Bitkilerde mineral beslenme fizyolojisi*, Eskişehir: T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları No 672, 1432, 119-129.
17. Çakmakçı, R. (2005). Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakterilerin Tarımda Kullanımı, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36 (1), 97-107.
18. Küçük, Ç., Güler, İ. (2009). Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bazı Biyokontrol Mikroorganizmalar, *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 7 (1), 30-42.
19. Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M., and Welch, P.M. (1991). *Micronutrients in Agriculture* (İkinci Baskı). ABD: Soil Science Society of America, 297-371.
20. Kabata-Pendias ve Pendias, H., (2001). *Trace elements in soils and plants* (Dördüncü Baskı). ABD: Taylor & Francis Group, 135-145.
21. Fageria, N.K., Baligar, V.C., Clark, R.B. (2002). Micronutrients in crop production, *Advances in Agronomy*, 77, 185-268.
22. He, Z.L., Yang, X.E., Stoffella, P.J. (2005). Trace elements in agroecosystems and impact on the environment, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 19, 125-140.
23. Shuman, L. M. (1979). Zinc, manganese, and copper in soil fractions, *Soil Science*, 127, 10-17.
24. Shumann, L.M. (1991). *Chemical forms of micronutrients in soils* (İkinci Baskı). ABD: Micronutrients in agriculture, 113-150.
25. Ure, M.A. (1991). Trace-element speciation in soils, soil extracts and solutions, *Microchimica Acta*, 2, 49-57.
26. Han, X., Chen, S., Hu, X. (2009). Controlled-release fertilizer encapsulated by starch/polyvinyl alcohol coating, *Desalination*, 240, 21-26.
27. Ülgen, N., Yurtsever, N. (1984). *Toprak ve bitki besin maddeleri, gübrelerin uygulanma şekli ve zamanı*, Ankara: T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Yayın No 47, 182-190.

28. Diez, J.A., Roman, R., Caballero, R., Caballero A. (1997). Nitrate leaching from soils under a maize-wheat-maize sequence, two irrigation schedules and three types of fertilisers, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 65, 189-199.
29. Chandini, M., Thirukkumaran, D. P. (2000). Microbial respiration, biomass, metabolic quotient and litterdecomposition in a lodgepole pine forest floor amended with nitrogen and phosphorous fertilizers, *Soil Biology & Biochemistry*, 32, 59-66.
30. Agbenin, J.O., Goladi J.T. (1997). Carbon, nitrogen and phosphorus dynamics under continuous cultivation as influenced by farmyard manure and inorganic fertilizers in the savanna of northern Nigeria, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 63, 17-24.
31. Vadas, P.A., Owens, L.B., Sharpley, A.N. (2008). An empirical model for dissolved phosphorus in runoff from surface-applied fertilizers, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127, 59–65.
32. Azeem, B., KuShaari, K., Man, Z., Basit, A., Thanh, T.H. (2014). Review on materials and methods to produce control release coated urea fertilizer, *Journal of Controlled Release*, 181 (10), 11–21.
33. Akelah A. (1996). Novel utilizations of conventional agrochemicals by controlled release formulations, *Materials Science and Engineering*, 4, 83-98.
34. Al-Zahrani, S.M. (1999). Controlled-release of fertilizers: modelling and simulation, *International Journal of Engineering Science*, 37, 1299-1307.
35. Céspedes, F., García, S., Sánchez M., Pérez, M. (2013). Bentonite and anthracite in alginate-based controlled release formulations to reduce leaching of chloridazon and metribuzin in a calcareous soil, *Chemosphere*, 92 (8), 918–924.
36. Chen, J., Park, H., Park, K. (1999). Synthesis of superporous hydrogels: hydrogels with fast swelling and superabsorbent properties, *Journal of Biomedical Materials Research*, 44, 53–62.
37. Swami, S.N. (2004). *Radiation synthesis of polymeric hydrogels for swelling – controlled drug release studies*, Doctoral dissertation, Western Sydney University of School of Science, Australia.
38. Ferreira, L., Vidal, M.M., Gil, M.H. (2000). Evaluation of poly(2-hydroxyethyl methacrylate) gels as drug delivery systems at different pH values, *International Journal of Pharmaceutics*, 194, 169-180.
39. Rodriguez, E., Katime, I. (2003). Behavior of acrylic acid-itaconic acid hydrogels in swelling, shrinking and uptake of some metal ions from aqueous solution, *Journal of Applied Polymer Science*, 90, 530-536.

40. Bag, D.S., Alam, S., Mathur, G.N. (2004). Terpolymer smart gels: synthesis and characterizations, *Smart Materials and Structures*, 13, 1258-1262.
41. Kayaman, N., Hamurcu, E.E.G., Uyanık, N., Baysal, B.M. (1999). Interpenetrating hydrogel networks based on polyacrylamide and poly(itaconic acid): synthesis and characterization, *Macromolecular Chemistry and Physics*, 200, 231-238.
42. Ostroha, J., Pong, M., Lowman, A., Dan, N. (2004). Controlling the collapse / swelling transition in charged hydrogels, *Biomaterials*, 25, 4345-4353.
43. Dorkoosh, F.A., Brusse, J., Verhoef, J.C., Borchard, G., Rafieetehrani, M., Junginger, H.E. (2000). Preparation and NMR characterization of superporous hydrogels (SPH) and SPH composites, *Polymer*, 41, 8213-8220.
44. Kim, S.J., Park, S.J., Kim, S.I. (2004). Properties of smart hydrogels composed of poly(acrylic acid)/poly(vinyl sulfonic acid) responsive to external stimuli, *Smart Materials and Structures*, 13, 317-322.
45. Bajpai, A.K., Giri, A. (2002). Swelling dynamics of a macromolecular hydrophilic network and evaluation of its potential for controlled release of agrochemicals , *Reactive and Functional Polymers*, 53, 125-141.
46. Rindt, D.W., Blouin, G.M., Getsinger, J.G. (1968). Sulfur coating on nitrogen fertilizer to reduce dissolution rate, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 16 (5), 773-778.
47. Liang, R., Liu, M., Wu, L. (2007). Controlled release NPK compound fertilizer with the function of water retention, *Reactive and Functional Polymers*, 67 (9), 769-779.
48. Wua, L., Liu, M. (2008). Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention, *Carbohydrate Polymers*, 72 (2), 240-247.
49. Chena, L., Xiea, Z., Zhuanga, X., Chena, X., Jinga, X. (2008). Controlled release of urea encapsulated by starch-g-poly(L-lactide), *Carbohydrate Polymers*, 72 (2), 342-348.
50. Wu, C. (2008). Controlled release evaluation of bacterial fertilizer using polymer composites as matrix, *Journal of Controlled Release*, 132 (1), 42-48.
51. Zheng, T., Liang, Y., Ye, S., He, Z. (2009). Superabsorbent hydrogels as carriers for the controlled release of urea: Experiments and a mathematical model describing the release rate, *Biosystems Engineering*, 102 (9), 44-50.
52. Singh, B., Sharma, D.K., Kumar, R., Gupta, A. (2009). Controlled release of the fungicide thiram from starch-alginate-clay based formulation, *Applied Clay Science*, 45 (1), 76-82.

53. Riyajan, S., Sasithornsonti, Y., Phinyocheep, P. (2012). Green natural rubber-g-modified starch for controlling urea release, *Carbohydrate Polymers*, 89 (1), 251–258.
54. Wu, C. (2012). Polylactide-based renewable composites from natural products residues by encapsulated film bag: Characterization and biodegradability, *Carbohydrate Polymers*, 90 (1), 583–591.
55. Perez, J.J., Francois, N.J. (2016). Chitosan-starch beads prepared by ionotropic gelation as potential matrices for controlled release of fertilizers, *Carbohydrate Polymers*, 148, 134-42.
56. Xiaodi, L., Qian, L., Xing, X., Yuan, S., Qinyan, Y., Baoyu G. (2016). Characterization, swelling and slow-release properties of a new controlled release fertilizer based on wheat straw cellulose hydrogel, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60, 564–572.
57. Azeem, B., KuShaari, K., Man, Z. (2016). Effect of Coating Thickness on Release Characteristics of Controlled Release Urea Produced in Fluidized Bed Using Waterborne Starch Biopolymer as Coating Material, *Procedia Engineering*, 148, 282–289.
58. Ranade, V., Hollinger, M. (1996). *Drug delivery systems* (İkinci Baskı). ABD: CRC Press, 79-90.
59. Bajpai, S.K., Singh, S. (2006). Analysis of Swelling Behavior of poly(methacrylamide-co-methacrylic acid) Hydrogels and Effect of Synthesis Conditions on Water Uptake, *Reactive & Functional Polymers*, 66, 431-440.
60. Bae, Y.H. (1997). *Stimuli-sensitive drug delivery, controlled drug delivery challenges and strategies* (İkinci Baskı). ABD: American Chemical Society, 147-162.
61. Contrerasa, L., Melgozab, L.M., Villalobosc, R., Caraballoa, I. (2010). Study of the critical points of experimental HPMC–NaCMC hydrophilic matrices, *International Journal of Pharmaceutics*, 386, 52–60.
62. Sannino, A., Demitri, C., Madaghiele, M. (2009). Biodegradable cellulose-based hydrogels: design and applications, *Materials*, 2, 353-373.
63. Adel, A. M., Abou-Youssef , H., El-Gendy, A., Nada, A.M. (2010). Carboxymethylated cellulose hydrogel; sorption behavior and characterization, *Nature and Science*, 8 (8), 1-13.
64. Trius, A., Sebranek, J.G. (1996). Carrageenans in meat products, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36, 69-85.

65. Mohamadnia, Z., Zohuriaan-Mehr, M.J., Kabiri, K., Jamshidi, A., Mobedi, H. (2008). Ionically cross-linked carrageenan-alginate hydrogel beads, *Journal of Biomaterials Science Polymer Edition*, 19(1), 47-59.
66. Abd El-Mohdy, H. L., Abd El-Rehim, H. A. (2009). Radiation synthesis of kappa-carrageenan/acrylamide graft copolymers as superabsorbents and their possible applications, *Journal of Polymer Research*, 16(1), 63-72.
67. Meena, R., Prasad, K., Siddhanta, A.K. (2007). Effect of genipin, a naturally occurring crosslinker on the properties of kappa-carrageenan, *International Journal of Biological Macromolecules*, 41(1), 94-101.
68. Hezaveh, H., Muhamad, I., (2013). Modification and swelling kinetic study of kappa-carrageenan-based hydrogel for controlled release study, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44(2), 182-191.
69. Thakur, A., Wanchoo, R. K., Singh P. (2011). Structural parameters and swelling behavior of pH sensitive poly(acrylamide-co-acrylic acid) hydrogels, *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 25 (2), 181–194.
70. Pourjavadi, A., Harzandi A.M., Hosseinzadeh, H. (2004). Modified carrageenan 3. Synthesis of a novel polysaccharide-based superabsorbent hydrogel via graft copolymerization of acrylic acid onto kappa-carrageenan in air, *European Polymer Journal*, 40, 1363.
71. Pourjavadi, A., Ghasemzadeh, H., Hosseinzadeh, H. (2004). Preparation and swelling behaviour of a novel anti-salt superabsorbent hydrogel based on kappa-carrageenan and sodium alginate grafted with polyacrylamide, *e-Polymers*, 4 (1), 275–287.
72. Hosseinzadeh H, Pourjavadi A, Zohouriaan-Mehr MJ. (2004). Modified carrageenan. 2. Hydrolyzed crosslinked K-carrageenan-g-PAAm as a novel smart superabsorbent hydrogel with low salt sensitivity, *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 15(12), 1499-511.
73. İnternet: Hububat Bülteni. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tmo.gov.tr%2FUpload%2FDocument%2Fbultenler%2F2015%2Fhunbultenturkce.pdf&date=2017-03-11>. Son Erişim Tarihi: 11.03.2017.
74. Wigmore A. (1986). *The wheatgrass book* (Üçüncü Baskı). ABD: Avery Publishing Grup, 51-61.
75. Durairaj, V., Hoda, M., Shakya, G., Babu, S.P., Rajagopalan, R. (2014). Phytochemical screening and analysis of antioxidant properties of aqueous extract of wheatgrass, *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 7(1), 398-404.

76. Kulkarni, S.D., Tilak J.C., Acharya, R., Rajurkar, N.S. (2006). Evaluation of the antioxidant activity of wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) as a function of growth under different conditions, *Phytotherapy Research*, 20, 218–227.
77. Ashish, S., Shilpa, K., Singh, R.R., Sanjay, K., Rajendran, N. (2012). Wheatgrass: An alternative household nutritional food security, *International Research Journal of Pharmacy*, 3(7), 246-250.
78. Rana, S., Kamboj, J.K., Gandhi, V. (2011). Living life the natural way – wheatgrass and health, *Functional Foods in Health and Disease*, 1(11), 444-456.
79. Bar-Sela, G., Tsalic, M., Fried, G., Goldberg H. (2007). Wheat grass juice may improve hematological toxicity related to chemotherapy in breast cancer patients: a pilot study, *Nutrition and Cancer*, 58(1), 43-8.
80. Sunguroğlu, A., Karadağ, A., Özkan, T., Altinok, B., Aydos, S. (2007). Antiproliferative and apoptotic effects of wheatgrass extracts on chronic myeloid leukemia (CML) cell line, *Planta Medica*, 73,991-993.
81. Singh, N., Verma, P., Pandey, B.R. (2012). Therapeutic potential of organic triticum aestivum linn. (wheat Grass) in prevention and treatment of chronic diseases: An overview, *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, 4(1), 10-14.
82. Aydos, O.S., Avcı, A., Özkan, T., Karadağ, A., Gürleyik, E., Altınok, B., Sunguroğlu, A. (2011). Antiproliferative, apoptic and antioxidant activities of wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) extract on CML (K562) cell line, *Turkish Journal of Medical Sciences*, 41(4), 657-663.
83. Pulat, M., Akalin, G.O. (2013). Preparation and characterization of gelatin hydrogel support for immobilization of *Candida Rugosa* lipase, *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 41, 145–151.
84. Pulat, M., Akalin, G.O., Demirkol Karahan, N. (2014). Lipase release through semi-interpenetrating polymer network hydrogels based on chitosan, acrylamide, and citraconic acid, *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 42, 121–127.
85. Mansur, H.S., Oréfice, R.L., Mansur, A.P. (2004). Characterization of poly(vinyl alcohol)/poly(ethylene glycol) hydrogels and PVA-derived hybrids by small-angle X-ray scattering and FTIR spectroscopy, *Polymer*, 45 (21), 7193–7202.
86. Chen, K. S., Ku, Y. A., Lin, H. R., Yan, T. R., Sheu, D. C., Chen, T. M., Lin, F. H. (2005). Preparation and characterization of sensitive poly(N vinyl-2- pyrrolidone /itaconic acid) copolymer hydrogels, *Materials Chemistry and Physics*, 91 (1-2), 484-489.

87. Kim, S.J., Park, S.J., Kim, S. (2003). Swelling behavior of interpenetrating polymer network hydrogels composed of poly (vinyl alcohol) and chitosan, *Reactive and Functional Polymer*, 55, 53-59.
88. Vulpe, R., Popa, M., Picton, L., Balan, V., Dulong, V., Butnaru, M., Verestiuc, L. (2016). Crosslinked hydrogels based on biological macromolecules with potential use in skin tissue engineering, *International Journal of Biological Macromolecules*, 84, 174-81.
89. Loua, X., Vijayasekaran, S., Sugiharti, R., Robertson T. (2005) Morphological and topographic effects on calcification tendency of pHEMA hydrogels, *Biomaterials*, 26 (29), 5808–5817.
90. Nakata, R., Osumi, Y., Miyagawa, S., Tachibana, A., Tanabe, T. (2015). Preparation of keratin and chemically modified keratin hydrogels and their evaluation as cell substrate with drug releasing ability, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 102(1), 111-116.
91. Nakata, R., Tachibana, A., Tanabe, T. (2014). Preparation of keratin hydrogel/hydroxyapatite composite and its evaluation as a controlled drug release carrier, *Materials Science and Engineering: C*, 41, 59-64.
92. Ekmekçi, A. (2012). *Çeşitli bitki gelişim düzenleyicileri içeren biyobozunur hidrojel sistemlerinin geliştirilmesi ve tarımsal uygulamaları*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
93. Qu, B., Li, J., Xiao, H., He, B., Qian, L. (2014). Preparation of sodium carboxymethylcellulose/poly(methyl acrylate) IPN Hydrogels and their application for adsorption, *Journal of Applied Polymer Science*, 131-140.
94. Gao, C., Ren, J., Zhao, C., Kong, W., Dai, Q., Chen, Q., Liu, C., Sun, R. (2016). Xylan-based temperature/pH sensitive hydrogels for drug controlled release”, *Carbohydrate Polymers*, 151, 189-197.
95. Gierszewska, M., Ostrowska-Czubenko, J. (2012). Mechanism of water diffusion into noncrosslinked and ionically crosslinked chitosan membranes, *Progress on Chemistry and Application of Chitin and its Derivatives*, 59-66.
96. Bardajee, G.R., Hooshyar, Z. (2014). One-pot synthesis of biocompatible superparamagnetic iron oxide nanoparticles/hydrogel based on salep: Characterization and drug delivery, *Carbohydrate Polymers*, 101, 741-751.
97. Swamy, B.Y., Yun, Y.S. (2015). In vitro release of metformin from iron (III) cross-linked alginate-carboxymethyl cellulose hydrogel beads, *International Journal of Biological Macromolecules*, 77, 114-119.
98. Yadollahi, M., Farhoudian, S., Barkhordari, S., Gholamali, I., Farhadnejad, H., Motasadizadeh, H. (2016). Facile synthesis of chitosan/ZnO bio-nanocomposite

- hydrogel beads as drug delivery systems, *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 273-278.
99. El-Hag Ali, A., Abd El-Rehim, H., Kamal, H., Hegazy, D. (2008). Synthesis of carboxymethyl cellulose based drug carrier hydrogel using ionizing radiation for possible use as specific delivery system, *Journal of Macromolecular Science*, 45(8), 628–634.
 100. Muhamad, I.I., Fen, L.S., Hui, N.H., Mustapha, N.A. (2011). Genipin-cross-linked kappa-carrageenan/carboxymethyl cellulose beads and effects on beta-carotene release, *Carbohydrate Polymers*, 83, 1207-1212.
 101. Zhang, J., Fu, M., Zhang, M., Xu, L., Gao, Y. (2014). Synthesis of oxidized glycerol monooleate-chitosan polymer and its hydrogel formation for sustained release of trimetazidine hydrochloride, *International Journal of Pharmaceutics*, 465, 32-41.
 102. Rasso, G., Salis, A., Porcu, E.P., Giunchedi, P., Roldo, M, Gavini, E. (2015). Composite chitosan/alginate hydrogel for controlled release of deferoxamine: A system to potentially treat iron dysregulation diseases, *Carbohydrate Polymers*, 136, 1338-1347.
 103. Rokhadea, P., Agnihotria, S.A., Patila, S.A., Mallikarjunab, N., Kulkarnib, P., Aminabhavia, T.M. (2006). Semi-interpenetrating polymer network microspheres of gelatin and sodium carboxymethyl cellulose for controlled release of ketorolac tromethamine, *Carbohydrate Polymers*, 65 (3), 243–252.
 104. Abou-Youssef, A.M., El-Gendy, H., Nada, A.M. (2010). Carboxymethylated cellulose hydrogel; sorption behavior and characterization, *Nature and Science*, 8 (8), 1-13.
 105. Lai, C.H., Lo, S.L., Chiang HL. (2000). Adsorption/desorption properties of copper ions on the surface of iron-coated sand using BET and EDAX analyses, *Chemosphere*, 41(8), 1249-1255.
 106. Bardajee, G.R., Hooshyar, Z., Asli,, M.J., Shahidi, F.E. (2014). Dianatnejad N2.Synthesis of a novel supermagnetic iron oxide nanocomposite hydrogel based on graft copolymerization of poly((2-dimethylamino) ethyl methacrylate) onto salep for controlled release of drug, *Materials Science and Engineering C*, 277-286.
 107. Rochmadi, Fahrurrozi, M., Distantina, S., Wiratni. (2013). Preparation and characterization of glutaraldehyde-crosslinked kappa carrageenan hydrogel, *Engineering Journal*, 17 (3), 57 – 66.
 108. Rochas, C., Rinaudo, M. (1984). Mechanism of gel formation in K-carrageenan. *Biopolymers*, 23, 735-745.

109. Meena, R., Prasad, K., Siddhanta, A.K. (2007). Effect of genipin, a naturally occurring crosslinker on the properties of kappa-carrageenan, *International Journal of Biological Macromolecules*, 41, 94-101.
110. Keppeler, S., Ellis, A., Jacquier, J.C. (2009). Cross-linked carrageenan beads for controlled release delivery systems, *Carbohydrate Polymers*, 78, 973-977.
111. Pascalau, V., Popescu, V., Popescu, G.L., Dudescu, M.C., Borodi, G., Dinescu, A., Perhaita, I., Paul, M. (2012). The alginate/k-carrageenan ratio's influence on the properties of the cross-linked composite films, *Journal of Alloys and Compounds*, 536, 418-423.
112. Jankaewa, R., Rodkatea, N., Lamlerthonb, S., Rutnakornpituka, B., Wichaia, U., Rossa, G., Rutnakornpituk, M. (2015). "Smart" carboxymethylchitosan hydrogels crosslinked with poly(N-isopropylacrylamide) and poly(acrylic acid) for controlled drug release, *Polymer Testing*, 26-36.
113. Cheng, R., Liu, J., Xie, P., Wu, Y., Deng, J. (2015). Chiral, pH-sensitive polyacrylamide hydrogels: Preparation and enantio-differentiating release ability, *Polymer*, 68, 246-252.
114. Hezaveh, H., Muhamad, I.I. (2012). Effect of natural cross-linker on swelling and structural stability of kappa-carrageenan/hydroxyethyl cellulose pH-sensitive hydrogels, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 29, 1647-1655.
115. Verissimo, D.M., Leitaó, R.F.C., Ribeiro, R.A., Figueiro, S.D., Sombra, A.S.B., Goes, J.C., Brito, G.A.C. (2010). Polyanionic collagen membranes for guided tissue regeneration: Effect of progressive glutaraldehyde cross-linking on biocompatibility and degradation, *Acta Biomaterialia*, 6, 4011-4018.
116. Parka, S., Kima, S.H., Kima, J.H., Yua, H., Kima, H.J., Yanga, Y., Kimb, H., Y.H., Kim, Ha, S.H., Lee, S.H. (2015). Application of cellulose/lignin hydrogel beads as novel supports for immobilizing lipase, *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 119, 33-39.
117. Chang, R., Goldsby, K.A. *Genel Kimya* (Onuncu Baskı). Türkiye: Palme Yayıncılık, 1083-1085.
118. Katkat, V., Kacar, B. (2015). *Bitki besleme* (Altıncı Baskı). Türkiye: Nobel Akademik Yayıncılık, 678-680.
119. Lia, X., Lia, Q., Xua, X., Sua, Y., Yuea, Q., Gaoa, B. (2016). Characterization, swelling and slow-release properties of a new controlled release fertilizer based on wheat straw cellulose hydrogel, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60, 564-572.
120. Masaro, L., Zhu, X.X. (1999). Physical models of diffusion for polymer solutions, gels and solids, *Progress in Polymer Science*, 24, 731-775.

121. Lin, C.C., Metters, A.T. (2006). Hydrogels in controlled release formulations: network design and mathematical modeling, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 58, 1379-408.
122. Taao, Y., Zhang, R., Xua, W., Baia, Z., Zhoua, Y., Zhaoa, S., Xua, Y., Yua, D. (2016). Rheological behavior and microstructure of release-controlled hydrogels based on xanthan gum crosslinked with sodium trimetaphosphate, *Food Hydrocolloids*, 52, 923-933.
123. Elviri, L., Asadzadeh, M., Cucinelli, R., Bianchera, A., Bettini, R. (2015). Macroporous chitosan hydrogels: Effects of sulfur on the loading and release behaviour of amino acid-based compounds, *Carbohydrate Polymers*, 132, 50-58.
124. Hu, Y., Ren, G., Deng, L., Zhang, J., Liu H., Mu, S., Wu, T. (2016). Degradable UV-crosslinked hydrogel for the controlled release of triclosan with reduced cytotoxicity, *Materials Science Engineering C*, 67, 151-158.
125. Devassine, M., Henry, F., Guerin, P., Briand, X. (2002). Coating of fertilizers by degradable polymers, *International Journal of Pharmaceutics*, 242, 399–404.
126. Pinheiro, A.C., Bourbon, A. I., Quintas, M. A.C., Coimbra, M. A., Vicente, A.A., (2012). K-carrageenan/chitosan nanolayered coating for controlled release of a model bioactive compound, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16, 227–232.
127. Hana, M.M., Eltaib, S.M., Ahmad, M.B. (2000). Physical and chemical characteristics of controlled release compound fertiliser, *European Polymer Journal*, 36, 2081-2088.
128. Hana, X., Chena, S., Hu, X. (2009). Controlled-release fertilizer encapsulated by starch/polyvinyl alcohol coating, *Desalination*, 240, 21-26.
129. Wua, L., Liu, M. (2008). Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention, *Carbohydrate Polymers*, 72 (2), 240–247.
130. Brown, J.C., Jolley, V.D. (1989). Plant Metabolic Responses to Iron-Deficiency Stress, *BioScience* , 39 (8), 546-551.
131. Siparsky, G.L., Voorhees, K.J., Dorgan, J.R., Schilling, K. (1997). Water Transport in Polylactic Acid (PLA), PLA/ Polycaprolactone Copolymers, and PLA/Polyethylene Glycol Blends, *Journal of Environmental Polymer Degradation*, 5 (3), 125–136.
132. Ma, Z., Li, Q., Yue, Q., Gao, B., Li, W., Xu, X., Zhong, Q. (2011). Adsorption removal of ammonium and phosphate from water by fertilizer controlled release agent prepared from wheat straw, *Chemical Engineering Journal*, 171, 1209– 1217.

133. Sarathchandra, S.U., Ghani, A. Yeates, G.W., Burch, G., Cox, N.R., (2001). Effect of nitrogen and phosphate fertilisers on microbial and nematode diversity in pasture soils, *Soil Biology & Biochemistry*, 33, 953-964.
134. Nakagawaa, K., Sowasod, N., Tanthapanichakoon, W., Charinpanitkul, T. (2013). Hydrogel based oil encapsulation for controlled release of curcumin by using a ternary system of chitosan, kappa-carrageenan, and carboxymethylcellulose sodium salt, *LWT - Food Science and Technology*, 54 (2), 600–605.
135. Pairatwachapun, S., Paradee, N., Sirivat, A. (2016). Controlled release of acetylsalicylic acid from polythiophene/carrageenan hydrogel via electrical stimulation, *Carbohydrate Polymers*, 137, 214–221.
136. Barrie, J.A. (1968). *Diffusion in Polymers* (İkinci Baskı). ABD: Academic Press, 281–282.
137. Trenkel, M.E. (2010). *Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture* (İkinci Baskı). Fransa: International Fertilizer Industry Association, 61-69.
138. Zhou,Q., Takenaka, S., Murakami, S., Seesuriyachan, P., Kuntiya, A., Aoki, K. (2007). Screening and characterization of bacteria that can utilize ammonium and nitrate ions simultaneously under controlled cultural conditions, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 103 (2), 185–191
139. Esposito, F., Del Nobile, M.A., Mensitieri, M., Nicolais, L. (1996) Water sorption in cellulose-based hydrogels, *Journal of Applied Polymer Science*, 60(13), 2403–2407.
140. Chang, C., Lue, A., Zhang, L. (2008). Effects of crosslinking methods on structure and properties of cellulose/PVA hydrogels, *Macromolecular Chemistry and Physics*, 209(12), 1266–1273.
141. Demitri, C., Del Sole, R., Scalera, F., Sannino, A., Vasapollo, G., Maffezzoli, A., Ambrosio, L., Nicolais, L. (2008). Novel superabsorbent cellulose-based hydrogels crosslinked with citric acid, *Journal of Applied Polymer Science*, 110(4), 2453–2460.
142. Liu, P., Peng, J., Li, J., Wu, J. (2005). Radiation crosslinking of CMC-Na at low dose and its application as substitute for hydrogels, *Radiation Physics and Chemistry*, 72(5), 635–638.
143. Sannino, A., Demitri, C., Madaghiele, M. (2009). Biodegradable Cellulose-based Hydrogels: Design and Applications, *Materials*, 2(2), 353-373.



EKLER

EK-1. pH =2,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 10,0 ve 12,0 Britton-Robinson Tampon (BRT) çözeltilerinin hazırlanması

2,3 mL asetik asit, 2,7 mL %85 lik fosforik asit ve 2,5 g borik asit karıştırılıp saf su ile 1 L tamamlandı. Bu işlem ile pH sı 2,5 olan tampon çözelti hazırlandı. Hazırlanan bu çözeltinin pH sı 2,0 oluncaya kadar ayarlama işlemi derişik HCl ile yapıldı.

pH sı 2,0 olan çözeltiden yeterli miktarlarda alınarak ve ayarlama için 2,0 M NaOH çözeltisi kullanılarak pH=4,0, pH=6,0, pH=7,0, pH=8,0, pH=10,0 ve pH=12,0 tampon çözeltileri hazırlandı.

Tüm ayarlamalar pH metre aracılığı ile yürütüldü.

EK-2. NaCMC hidrojellerinin zamana karşı ortalama şişme değerleri (%)

Hidrojel Zaman (saat)	NaCMC-1	NaCMC-2	NaCMC-3	NaCMC-4
1	125,8±3,2	66,6±1,5	34,5±1,4	22,1±0,3
2	133,3±2,4	74,3±2,2	40,5±1,3	22,4±0,4
3	148,2±3,5	81,4±2,2	46,4±2,6	22,8±2,2
4	156,1±2,2	92,2±3,9	58,4±1,5	27,2±1,2
5	165,7±1,8	103,3±4,4	65,4±2,3	31,3±1,8
6	176,3±3,9	121,4±3,3	78,3±4,3	36,3±1,3
7	193,4±3,4	134,3±2,7	84,5±2,8	40,5±2,3
8	203,3±3,5	145,2±3,8	96,4±3,1	45,3±1,1
9	215,4±3,1	165,3±4,1	103,5±1,8	50,1±3,2
10	245,3±4,8	186,3±2,1	120,5±2,2	58,3±2,5
11	276,5±2,4	203,2±3,8	134,4±1,8	69,4±3,1
12	301,7±3,7	212,4±3,1	148,5±2,6	77,2±2,9
13	323,1±4,1	224,2±2,3	156,4±1,3	81,1±2,1
14	345,3±3,6	230,4±1,3	164,6±3,5	98,3±1,9
15	356,2±2,1	256,3±1,9	178,6±2,3	108,3±1,2
16	379,3±3,1	277,4±2,8	198,5±1,6	117,2±3,2
17	401,3±4,2	298,4±2,2	203,3±3,1	125,2±2,40
18	421,4±5,2	321,5±3,4	218,4±4,5	136,4±3,1
19	444,2±4,1	345,6±2,7	235,3±3,2	147,3±4,3
20	467,3±1,6	365,3±3,2	248,5±2,9	163,4±3,6
21	490,2±5,8	386,6±4,9	267,2±3,3	175,2±4,2
22	490,2±5,8	386,6±4,9	267,2±3,3	175,2±4,2
23	490,2±5,8	386,6±4,9	267,2±3,3	175,2±4,2
24	490,2±5,8	386,6±4,9	267,2±3,3	175,2±4,2
25	490,2±5,8	386,6±4,9	267,2±3,3	175±1,52

EK-2. (devam) NaCMC hidrojellerinin zamana karşı ortalama şişme değerleri (%)

Hidrojel Zaman (saat)	NaCMC-5	NaCMC-6	NaCMC-7	NaCMC-8
1	64,3±2,2	25,3±1,8	21,2±1,6	13,0±2,4
2	83,3±1,8	31,4±1,9	25,2±1,7	17,0±1,2
3	99,4±2,6	36,4±2,6	28,4±2,1	20,2±1,6
4	111,3±3,4	42,6±1,9	33,5±1,2	24,4±2,5
5	128,3±2,8	49,1±1,3	38,3±2,6	31,1±1,3
6	151,3±3,6	53,2±3,4	41,2±1,6	35,4±2,6
7	165,3±3,2	58,2±2,2	47,3±2,2	39,4±1,6
8	182,4±2,1	67,3±3,5	52,3±1,7	45,4±2,1
9	201,4±3,1	75,4±2,3	60,3±1,8	50,3±2,5
10	215,3±1,9	83,2±1,4	65,5±2,9	55,5±1,3
11	222,4±2,7	92,6±2,1	71,8±1,2	58,3±1,4
12	235,3±4,6	103,2±3,1	76,5±2,7	62,5±2,1
13	242,4±2,9	117,4±4,4	84,4±2,1	68,1±1,6
14	262,4±2,2	133,2±2,7	92,2±2,7	75,5±2,1
15	288,3±3,6	149,5±2,1	101,4±1,1	81,3±2,3
16	305,3±2,8	163,2±2,5	126,3±1,7	93,3±2,1
17	321,3±3,6	189,2±2,8	132,3±2,4	101,5±3,4
18	337,5±2,2	204,4±3,9	149,4±3,1	116,2±2,5
19	354,4±3,6	237,2±2,7	163,4±4,7	125,3±3,1
20	373,6±2,7	274,3±4,2	181,4±5,2	137,3±4,5
21	397,5±4,9	303,2±3,1	200,2±4,6	151,4±3,7
22	397,5±4,9	303,2±3,1	200,2±4,6	151,4±3,7
23	397,5±4,9	303,2±3,1	200,2±4,6	151,4±3,7
24	397,5±4,9	303,2±3,1	200,2±4,6	151,4±3,7
25	397,5±4,9	303,2±3,1	200,2±4,6	151,4±3,7

EK-2. (devam) NaCMC hidrojellerinin zamana karşı ortalama şişme değerleri (%)

Hidrojel Zaman (saat)	NaCMC-9	NaCMC-10	NaCMC-11	NaCMC-12
1	56,2±2,1	18,2±4,6	11,2±2,2	9,6±1,1
2	67,3±1,1	31,2±3,1	18,2±1,8	15,5±2,4
3	79,2±2,4	43,2±3,2	23,3±1,6	19,4±2,7
4	91,2±3,2	55,4±2,5	25,4±1,1	23,4±1,8
5	112,2±4,0	64,3±3,3	27,4±1,9	27,3±1,2
6	123,2±2,8	73,3±2,1	28,1±1,0	31,4±2,5
7	134,2±2,2	85,4±1,8	33,2±2,3	35,2±1,1
8	146,2±3,5	94,4±3,5	39,3±2,7	38,0±1,7
9	168,3±4,1	105,3±4,1	46,6±2,1	43,3±1,9
10	181,3±2,6	116,2±3,1	51,2±2,8	46,6±1,2
11	194,2±1,8	124,2±2,4	57,0±3,2	50,2±3,1
12	204,5±3,1	132,4±1,6	68,4±3,1	57,1±2,4
13	215,2±2,1	141,3±1,9	78,6±2,6	63,4±3,6
14	216,4±3,8	149,3±2,9	84,2±1,4	70,3±1,7
15	226,2±3,3	158,3±2,3	91,1±1,9	75,4±1,9
16	235,1±3,7	165,6±4,1	98,2±2,2	79,3±1,2
17	245,2±2,3	174,2±3,1	105,2±2,4	85,4±2,4
18	253,1±4,2	181,2±2,1	111,3±1,2	89,0±3,8
19	260,2±1,9	189,2±1,1	117,1±1,6	94,2±1,8
20	268,2±2,6	195,5±2,1	122,3±1,3	98,1±1,3
21	279,3±3,3	203,4±2,6	127,2±3,1	102,4±2,7
22	292,4±2,9	213,5±3,2	135,3±3,4	102,4±2,7
23	292,4±2,9	213,5±3,2	135,3±3,4	102,4±2,7
24	292,4±2,9	213,5±3,2	135,3±3,4	102,4±2,7
25	292,4±2,9	213,5±3,2	135,3±3,4	102,4±2,7

EK-3. NaCMC hidrojellerinin sıcaklığa karşı ortalama şişme değerleri (%)

Hidrojel Sıcaklık (°C)	NaCMC-1	NaCMC-2	NaCMC-3	NaCMC-4
10	424,3±4,4	332,4±4,2	227,3±4,3	142,4±2,1
20	465,3±5,3	360,2±3,1	241,3±3,6	154,5±4,9
30	490,2±5,8	386,6±4,9	267,2±3,3	175±1,52
40	524,4±4,3	416,3±4,1	283,4±4,0	197,6±3,6
50	558,5±4,1	432,5±5,5	301,5±3,1	227,5±3,7
60	600,7±5,9	472,5±5,4	336,3±4,8	264,3±4,4

EK-3. (devam) NaCMC hidrojellerinin sıcaklığa karşı ortalama şişme değerleri (%)

Hidrojel Sıcaklık (°C)	NaCMC-5	NaCMC-6	NaCMC-7	NaCMC-8
10	351,3±3,9	256,4±3,5	159,3±4,8	114,4±4,2
20	374,3±4,9	287,3±4,7	178,4±4,2	130,4±3,2
30	397,5±4,9	303,2±3,1	200,2±4,6	151,4±3,7
40	434,2±3,7	327,4±4,1	221,2±3,3	168,2±3,8
50	451,5±3,9	348,4±3,2	245,2±4,1	184,4±3,1
60	467,5±5,4	367,3±5,8	264,0±4,3	203,4±3,8

EK-3. (devam) NaCMC hidrojellerinin sıcaklığa karşı ortalama şişme değerleri (%)

Hidrojel Sıcaklık (°C)	NaCMC-9	NaCMC-10	NaCMC-11	NaCMC-12
10	256,4±3,2	170,3±2,1	101,4±2,6	73,4±2,1
20	271,4±4,5	188,2±3,3	117,2±3,4	89,5±2,9
30	292,4±2,9	213,5±3,2	135,3±3,4	102,4±2,7
40	316,5±2,3	234,4±3,7	152,2±3,1	120,2±2,2
50	338,2±4,6	256,4±4,8	166,4±2,8	142,4±3,5
60	362,2±5,1	277,0±4,3	184,2±3,8	163,1±3,7

EK-4. NaCMC hidrojellerinin pH'ya karşı ortalama şişme değerleri (%)

Hidrojel pH	NaCMC-1	NaCMC-2	NaCMC-3	NaCMC-4
2	426,2±4,5	347,4±4,9	235,3±3,2	142,3±3,4
4	448,0±3,3	365,2±3,7	247,4±2,2	154,3±4,2
6	468,5±2,9	371,3±3,1	256,2±2,8	163,2±3,4
7	490,2±5,8	386,6±4,9	267,2±3,3	175±1,52
8	612,3±2,2	475,3±4,2	352,3±4,1	258,3±4,1
10	807,6±5,4	628,6±3,1	472,6±5,1	362,3±3,2
12	998,1±5,6	809,7±4,6	622,3±5,8	484,3±2,6

EK-4. (devam) NaCMC hidrojellerinin pH'ya karşı ortalama şişme değerleri (%)

Hidrojel pH	NaCMC-5	NaCMC-6	NaCMC-7	NaCMC-8
2	336,3±4,1	245,3±3,2	158,2±3,2	112,5±2,4
4	354,2±4,6	266,0±4,6	172,4±2,1	122,4±3,5
6	378,4±3,5	285,3±3,5	186,2±2,3	142,4±4,2
7	397,5±4,9	303,2±3,1	200,2±4,6	151,4±3,7
8	519,2±4,3	381,3±2,8	278,4±3,5	213,2±3,7
10	640,4±5,4	484,5±4,6	357,2±2,7	286,2±4,3
12	773,3±5,8	601,4±5,1	468,3±3,6	393,2±5,8

EK-4. (devam) NaCMC hidrojellerinin pH'ya karşı ortalama şişme değerleri (%)

Hidrojel pH	NaCMC-9	NaCMC-10	NaCMC-11	NaCMC-12
2	241,3±3,1	168,4±1,6	93,3±2,3	74,4±3,6
4	258,3±3,5	180,3±2,7	108,4±3,4	83,2±2,1
6	275,3±2,6	198,3±3,1	121,3±2,1	91,3±2,6
7	292,4±2,9	213,5±3,2	135,3±3,4	102,4±2,7
8	367,3±2,6	286,4±5,2	197,0±2,8	162,5±2,4
10	475,3±6,6	371,2±3,3	264,3±5,3	239,4±5,4
12	598,4±5,4	451,3±4,2	361,5±4,7	342,2±4,6

EK-5. NaCMC hidrojenlerinin zamana karşı ortalama bozunma (%) değerleri

Hidrojel Zaman (gün)	NaCMC-1	NaCMC-2	NaCMC-3	NaCMC-4
1	-	-	-	-
2	4,2±0,6	2,2±0,3	-	-
3	8,1±0,7	4,1±0,4	-	-
4	14,2±0,8	7,3±0,2	4,7±0,2	4,1±0,2
5	20,4±0,3	14,6±0,3	7,5±0,3	7,6±0,2
6	27,3±0,4	20,5±0,4	15,1±0,4	14,8±0,3
7	34,6±0,6	23,8±0,3	21,3±0,3	19,1±0,5
8	41,5±0,3	30,1±0,4	26,4±0,4	24,8±0,4
9	45,2±0,4	33,7±0,2	31,4±0,5	29,4±0,5
10	53,7±0,7	41,2±0,6	38,3±0,3	36,1±0,4
11	59,1±0,4	46,4±0,5	45,4±0,5	41,9±0,3
12	63,5±0,6	50,9±0,7	51,1±0,2	45,6±0,5
13	69,4±0,3	54,4±0,5	55,7±0,3	49,2±0,4
14	73,6±0,6	58,9±0,4	60,2±0,4	53,9±0,3
15	77,2±0,6	62,4±0,3	64,6±0,5	56,6±0,6
16	81,9±0,3	66,2±0,6	67,6±0,36	60,1±0,5
17	86,4±0,4	70,7±0,5	72,2±0,7	66,8±0,4
18	88,3±0,5	75,4±0,3	75,2±0,4	70,1±0,4
19	92,1±0,4	79,5±0,4	78,7±0,5	73,3±0,5
20	94,6±0,4	82,1±0,4	81,6±0,4	76,1±0,2
21	100	86,1±0,3	83,0±0,2	78,3±0,3
22		90,4±0,5	86,3±0,3	82,8±0,3
23		100	88,1±0,2	85,7±0,3
24			93,2±0,3	89,9±0,5
25			100	94,6±0,4
26				100

EK-5. (devam) NaCMC hidrojellerinin zamana karşı ortalama bozunma (%) değerleri

Hidrojel Zaman (gün)	NaCMC-5	NaCMC-6	NaCMC-7	NaCMC-8
2	3,3±0,2	1,1±0,2		
3	6,1±0,1	2,1±0,1	1,3±0,1	2,2±0,3
4	9,4±0,3	3,0±0,2	3,1±0,4	4,1±0,6
5	12,1±0,3	5,5±0,15	5,1±0,3	7,2±0,2
6	15,4±0,2	8,8±0,2	13,2±0,2	11,1±0,4
7	18,9±0,4	12,2±0,1	17,6±0,4	15,2±0,3
8	21,5±0,4	15,1±0,3	20,3±0,2	18,2±0,5
9	24,1±0,5	18,1±0,2	24,2±0,8	21,3±0,6
10	27,1±0,3	21,8±0,2	27,2±0,5	24,2±0,3
11	30,2±0,2	25,1±0,2	31,1±0,2	27,3±0,4
12	34,4±0,4	28,3±0,3	34,3±0,6	30,4±0,5
13	37,3±0,2	31,1±0,4	38,3±0,2	33,3±0,5
14	41,1±0,4	35,8±0,1	41,6±0,4	36,3±0,3
15	44,7±0,2	38,5±0,1	45,3±0,1	39,2±0,2
16	47,8±0,4	41,1±0,4	48,6±0,4	42,3±0,4
17	50,1±0,2	45,5±0,3	52,2±0,3	44,3±0,6
18	53,9±0,2	48,5±0,6	54,4±0,2	46,2±0,2
19	56,1±0,4	51,1±0,7	57,1±0,1	49,5±0,4
20	59,5±0,3	54,5±0,4	59,4±0,4	52,1±0,1
21	62,1±0,2	58,4±0,3	62,4±0,6	54,4±0,5
22	65,3±0,3	61,3±0,3	64,1±0,2	57,5±0,2
23	68,9±0,4	64,3±0,2	67,2±0,1	60,3±0,1
24	71,6±0,5	68,9±0,4	69,4±0,2	62,4±0,2
25	74,4±0,2	71,6±0,2	72,7±0,1	65,4±0,5
26	77,1±0,2	74,5±0,4	74,5±0,5	68,6±0,2
27	80,5±0,4	78,7±0,2	77,2±0,4	70,2±0,3
28	83,7±0,2	81,0±0,3	79,1±0,2	74,4±0,5
29	86,8±0,4	84,9±0,2	82,3±0,2	76,4±0,2
30	89,1±0,2	88,8±0,3	84,1±0,5	79,3±0,2
31	92,4±0,1	91,8±0,6	87,1±0,2	82,4±0,2
32	95,8±0,4	94,4±0,3	89,2±0,5	84,2±0,4
33	100	97,1±0,4	92,1±0,2	88,3±0,2
34		100	94,2±0,2	91,3±0,2
35			100	100

EK-5. (devam) NaCMC hidrojellerinin zamana karşı ortalama bozunma (%) değerleri

Hidrojel Zaman (gün)	NaCMC-9	NaCMC-10	NaCMC-11	NaCMC-12
2			1,3±0,2	
3	2,3±0,2	3,1±0,2	3,2±0,3	2±0,2
4	4,3±0,1	6,3±0,3	5,1±0,2	4±0,2
5	7,2±0,5	8,3±0,1	7,2±0,3	7±0,2
6	10,4±0,4	11,3±0,2	9,3±0,5	9,3±0,2
7	12,5±0,3	12,4±0,2	10,2±0,2	12,3±0,2
8	14,3±0,6	15,3±0,2	12,2±0,1	15,4±0,2
9	18,5±0,5	17,4±0,3	13,3±0,5	17,4±0,2
10	19,3±0,2	19,3±0,1	16,2±0,2	19,5±0,3
11	22,4±0,2	22,4±0,4	18,3±0,2	21,2±0,5
12	24,4±0,5	24,2±0,5	20,4±0,2	24,3±0,2
13	26,3±0,2	26,4±0,2	22,2±0,3	26,3±0,4
14	28,4±0,4	29,3±0,1	24,4±0,1	29,3±0,3
15	31,2±0,2	31,2±0,2	26,2±0,4	32,2±0,4
16	34,4±0,1	33,3±0,2	28,3±0,2	35,5±0,5
17	36,4±0,2	36,2±0,3	30,2±0,4	38,2±0,2
18	38,1±0,3	38,3±0,1	33,4±0,5	41,3±0,7
19	41,4±0,6	40,4±0,3	35,2±0,2	44,2±0,5
20	43,3±0,2	43,2±0,6	39,3±0,4	46,3±0,2
21	46,2±0,1	45,5±0,5	42,2±0,2	49,4±0,6
22	47,2±0,2	47,2±0,2	46,3±0,3	53,3±0,3
23	51,2±0,5	50,3±0,3	50,3±0,4	56,3±0,4
24	58,2±0,5	52,2±0,2	53,4±0,2	60,4±0,3
25	61,3±0,2	54,4±0,4	57,1±0,2	63,3±0,5
26	64,4±0,3	57,3±0,3	61,3±0,3	66,4±0,2
27	68,3±0,2	60,4±0,4	64,2±0,3	69,6±0,4
28	72,4±0,2	64,4±0,4	68,3±0,4	71,3±0,3
29	75,2±0,4	68,2±0,3	71,2±0,3	73,3±0,1
30	78,1±0,2	72,4±0,5	75,3±0,3	75,4±0,5
31	82,3±0,1	75,4±0,3	78,1±0,4	76,3±0,2
32	85,2±0,2	77,3±0,2	81,3±0,3	79,4±0,4
33	89,3±0,2	81,4±0,5	85,3±0,4	80,5±0,2
34	92,5±0,5	84,3±0,2	89,2±0,2	82,3±0,6
35	96,4±0,2	86,1±0,1	93,2±0,3	84,5±0,4
36	100	88,3±0,2	100	86,3±0,2
37		100		88,4±0,2
38				100

EK-6. κ -Karragenan hidrojellerinin zamana karşı ortalama şişme değerleri (%)

Hidrojel Zaman (saat)	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
1	275,3 $\pm$ 5,1	245,4 $\pm$ 3,1	224,5 $\pm$ 6,3	198,3 $\pm$ 5,1	125,4 $\pm$ 4,1	73,5 $\pm$ 4,3
2	387,5 $\pm$ 6,3	303,5 $\pm$ 4,2	287,4 $\pm$ 4,1	236,4 $\pm$ 3,1	145,4 $\pm$ 3,3	91,2 $\pm$ 6,1
3	463,6 $\pm$ 7,2	398,3 $\pm$ 3,6	352,8 $\pm$ 5,7	266,4 $\pm$ 6,2	201,3 $\pm$ 3,1	103,3 $\pm$ 4,4
4	513,5 $\pm$ 5,4	433,6 $\pm$ 6,1	412,7 $\pm$ 6,3	356,4 $\pm$ 4,4	231,5 $\pm$ 4,0	132,4 $\pm$ 4,2
5	598,3 $\pm$ 4,6	498,6 $\pm$ 5,7	482,4 $\pm$ 5,3	403,5 $\pm$ 4,8	262,4 $\pm$ 3,1	138,4 $\pm$ 4,8
6	721,4 $\pm$ 3,1	597,4 $\pm$ 4,8	534,3 $\pm$ 4,1	445,3 $\pm$ 3,5	291,3 $\pm$ 3,5	141,4 $\pm$ 3,3
7	791,4 $\pm$ 3,8	634,4 $\pm$ 3,8	583,7 $\pm$ 6,5	504,3 $\pm$ 3,9	331,5 $\pm$ 7,1	185,4 $\pm$ 3,7
8	856,6 $\pm$ 6,7	704,6 $\pm$ 6,5	663,7 $\pm$ 4,3	535,3 $\pm$ 4,0	389,6 $\pm$ 5,5	201,5 $\pm$ 3,4
9	972,5 $\pm$ 4,8	771,6 $\pm$ 6,8	721,6 $\pm$ 5,2	635,6 $\pm$ 5,5	421,5 $\pm$ 5,1	258,7 $\pm$ 5,7
10	972,5 $\pm$ 4,8	771,6 $\pm$ 6,8	721,6 $\pm$ 6,8	635,6 $\pm$ 5,5	421,5 $\pm$ 5,1	258,7 $\pm$ 5,7
11	972,5 $\pm$ 4,8	771,6 $\pm$ 6,8	721,6 $\pm$ 6,8	635,6 $\pm$ 5,5	421,5 $\pm$ 5,1	258,7 $\pm$ 5,7
12	972,5 $\pm$ 4,8	771,6 $\pm$ 6,8	721,6 $\pm$ 6,8	635,6 $\pm$ 5,5	421,5 $\pm$ 5,1	258,7 $\pm$ 5,7

EK-7. κ -Karragenan hidrojenlerinin sıcaklığa karşı ortalama şişme değerleri (%)

Hidrojel Sıcaklık (°C)	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
10	791,5±6,2	601,2±4,1	512,4±5,1	467,6±6,2	314,6±4,8	201,7±5,1
20	901,3±6,8	712,5±5,1	693,5±4,3	591,4±5,1	403,6±4,3	243,6±4,5
30	972,5±4,8	771,6±6,8	721,6±6,8	635,6±5,5	421,5±5,1	258,7±5,7
40	879,4±6,1	684,4±6,5	623,4±5,3	535,2±5,4	278,5±6,3	137,5±5,6
50	801,3±5,5	609,5±6,2	571,2±5,3	480,5±6,2	201,5±5,4	101,6±5,8
60	701,5±6,3	501,5±5,9	481,5±6,0	401,5±5,9	113,5±5,2	66,3±5,5

EK-8. κ -Karragenan hidrojenlerinin pH'ya karşı ortalama şişme değerleri (%)

Hidrojel pH	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
2	275,6 $\pm$ 5,7	245,5 $\pm$ 4,4	224,6 $\pm$ 6,1	183,6 $\pm$ 4,0	133,3 $\pm$ 4,1	105,2 $\pm$ 3,9
4	701,5 $\pm$ 6,3	622,5 $\pm$ 6,8	563,6 $\pm$ 4,1	461,5 $\pm$ 5,7	286,4 $\pm$ 5,1	192,4 $\pm$ 4,8
6	813,6 $\pm$ 8,6	734,7 $\pm$ 6,1	671,7 $\pm$ 7,1	543,2 $\pm$ 6,3	357,4 $\pm$ 4,3	204,2 $\pm$ 5,1
7	972,5 $\pm$ 4,8	771,6 $\pm$ 6,8	721,6 $\pm$ 6,8	635,6 $\pm$ 5,5	421,5 $\pm$ 5,1	258,7 $\pm$ 5,7
8	1002,6 $\pm$ 7,7	801,6 $\pm$ 5,3	767,5 $\pm$ 6,3	671,5 $\pm$ 5,4	457,3 $\pm$ 5,5	291,3 $\pm$ 4,1
10	1083,2 $\pm$ 7,1	891,6 $\pm$ 6,0	841,6 $\pm$ 5,5	734,6 $\pm$ 6,1	547,1 $\pm$ 5,8	334,4 $\pm$ 5,3
12	1383,5 $\pm$ 6,6	1191,5 $\pm$ 5,7	1101,5 $\pm$ 5,8	1039,2 $\pm$ 5,8	831,5 $\pm$ 4,9	524,4 $\pm$ 6,3

EK-9. κ -Karragenan hidrojenlerinin zamana karşı ortalama bozunma değerleri (%)

Hidrojel Zaman (gün)	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
1	23,5 $\pm$ 2,3	20,5 $\pm$ 4,5	17,5 $\pm$ 5,2	15,4 $\pm$ 4,1	10,5 $\pm$ 4,1	6,2 $\pm$ 4,8
2	34,5 $\pm$ 2,8	30,4 $\pm$ 3,4	28,4 $\pm$ 4,2	20,5 $\pm$ 5,4	15,4 $\pm$ 4,3	13,2 $\pm$ 4,0
3	56,7 $\pm$ 6,5	51,6 $\pm$ 5,3	48,4 $\pm$ 3,3	40,4 $\pm$ 4,1	35,4 $\pm$ 3,1	30,4 $\pm$ 3,2
4	79 $\pm$ 4,3	72,4 $\pm$ 4,3	68,4 $\pm$ 5,9	61,4 $\pm$ 3,8	55,3 $\pm$ 2,8	50,5 $\pm$ 3,6
5	100	100	89,4 $\pm$ 4,0	84,3 $\pm$ 4,2	81,2 $\pm$ 2,2	78,3 $\pm$ 4,3
6			100	100	92,4 $\pm$ 2,1	84,5 $\pm$ 3,7
7					100	92,3 $\pm$ 5,1
8						100

EK-10. NaCMC hidrojellerinden Cu²⁺ iyonlarının in vitro salım değerleri (%)

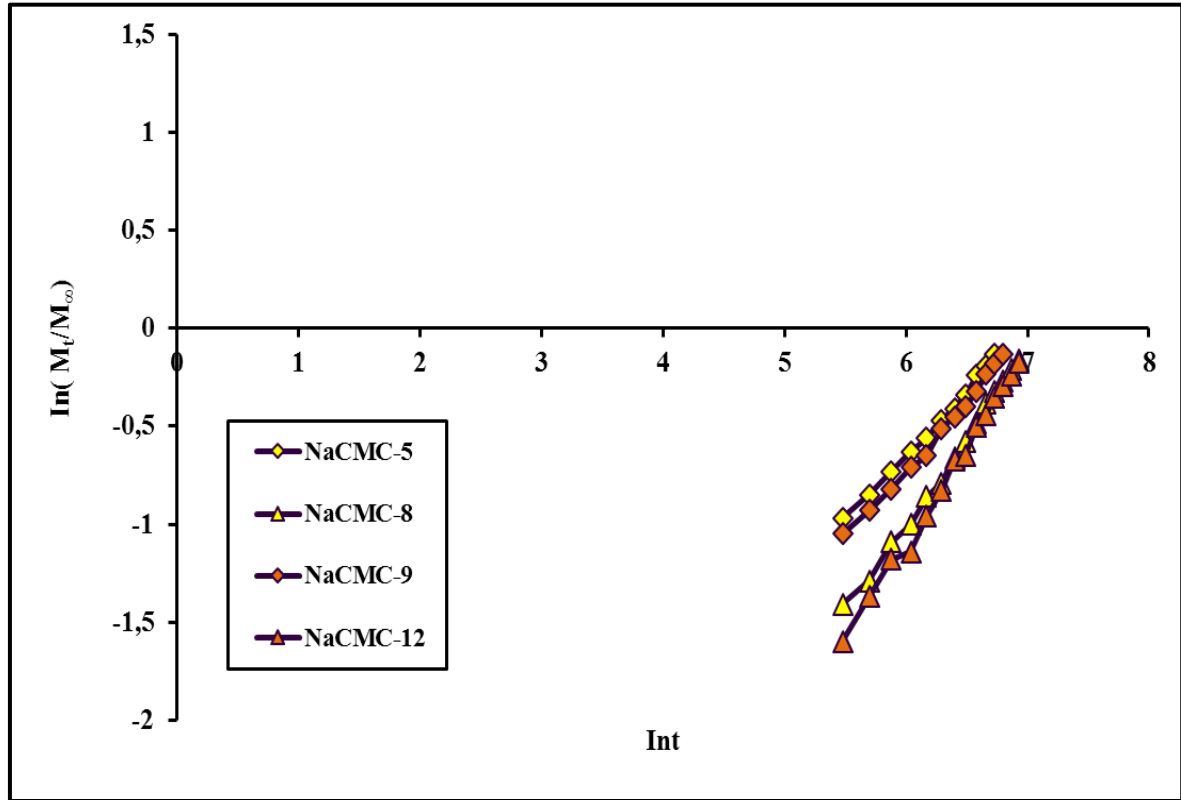
Hidrojel Zaman (saat)	NaCMC-5	NaCMC-8	NaCMC-9	NaCMC-12
1	20,3±2,2	10,1±2,1	13,2±0,8	4,2±1,9
2	26,2±2,0	15,2±1,5	20,2±1,4	10,4±1,2
3	32,4±2,8	20,2±1,8	26,3±1,1	14,3±1,7
4	37,4±1,5	25,1±1,9	31,3±1,4	19,3±2,1
5	42,2±1,8	30,2±1,1	37,2±1,3	24,4±1,5
6	47,3±1,5	34,4±2,2	42,5±1,6	29,3±1,9
7	52,3±2,1	39,3±2,0	46,3±1,2	33,5±1,5
8	57,2±2,5	43,3±1,1	51,0±1,7	37,4±1,8
9	62,4±1,7	48,4±2,1	56,2±1,5	42,3±2,1
10	67,2±1,1	54,2±2,6	61,1±1,3	48,3±2,0
11	72,4±2,7	59,1±2,1	67,3±1,8	53,2±1,4
12	77,2±1,8	64,4±2,5	71,2±2,0	58,4±1,9
13	82,3±2,1	68,1±2,1	76,3±2,1	62,4±0,8
14	86,5±3,3	72,3±2,5	80,3±1,8	66,4±0,7
15	90,2±2,5	76,3±2,3	84,1±1,4	70,4±0,9
16	93,2±2,0	81,3±1,9	88,3±1,0	74,3±0,6
17	95,1±1,9	85,3±2,1	90,3±1,9	79,4±1,0
18	97,3±2,1	89,3±3,3	92,4±2,0	83,3±1,1
19	98,4±4,0	91,3±1,0	94,1±0,5	86,3±0,6
20	98,4±4,0	93,3±0,9	95,3±0,6	88,2±0,3
21	98,4±4,0	95,2±1,1	95,3±0,6	90,4±0,7
22	98,4±4,0	97,3±1,9	96,5±0,5	91,2±0,6
23	98,4±4,0	97,3±1,9	96,5±0,5	92,4±0,7
24	98,4±4,0	97,3±1,9	96,5±0,5	93,1±0,5
25	98,4±4,0	97,3±1,9	96,5±0,5	94,3±0,9
26	98,4±4,0	97,3±1,9	96,5±0,5	94,3±0,9
27	98,4±4,0	97,3±1,9	96,5±0,5	94,3±0,9
28	98,4±4,0	97,3±1,9	96,5±0,5	94,3±0,9
29	98,4±4,0	97,3±1,9	96,5±0,5	94,3±0,9
30	98,4±4,0	97,3±1,9	96,5±0,5	94,3±0,9

EK-11. NaCMC hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının in vitro salım değerleri (%)

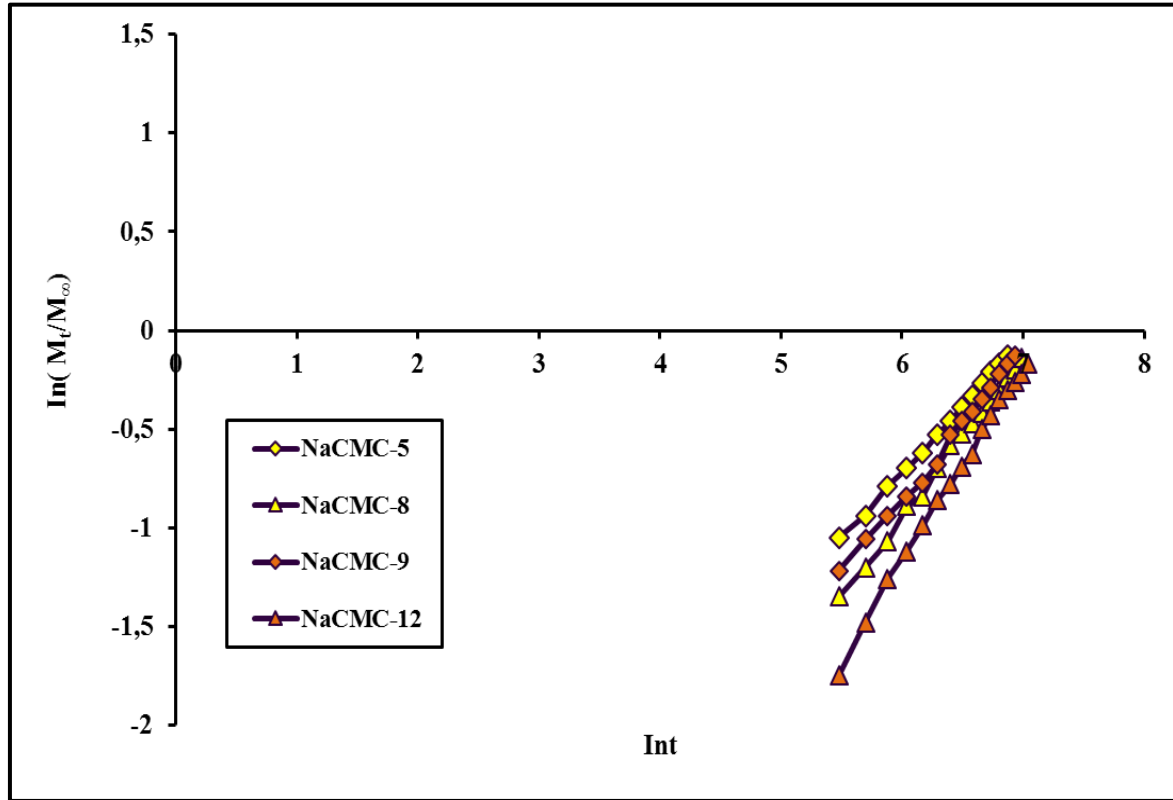
Hidrojel Zaman (saat)	NaCMC-5	NaCMC-8	NaCMC-9	NaCMC-12
1	14,2±0,9	5,3±0,5	9,3±0,5	3,2±0,5
2	21,4±1,2	12,3±1,0	14,3±0,6	8,1±0,9
3	28,2±1,6	17,2±0,9	20,4±0,8	12,2±0,7
4	34,5±1,4	22,4±0,8	26,2±0,3	16,2±0,8
5	40,2±1,0	28,3±0,5	32,4±0,4	21,3±0,4
6	45,3±1,3	32,6±1,1	37,6±0,8	26,3±1,1
7	50,4±0,9	38,2±0,7	42,4±0,7	30,3±0,3
8	55,2±1,1	42,6±1,3	47,4±1,0	34,4±1,0
9	60,2±1,3	46,5±1,6	52,3±0,8	39,3±0,8
10	65,4±1,6	52,5±1,5	57,2±0,5	44,4±0,5
11	70,3±0,8	55,1±0,9	61,6±0,2	48,4±1,0
12	75,4±1,6	60,1±1,1	65,3±0,4	52,2±0,8
13	80,5±0,7	64,2±1,3	69,5±0,9	58,3±0,5
14	84,2±1,1	69,3±0,6	73,5±0,5	62,2±1,0
15	88,4±1,2	73,5±0,2	77,1±0,8	67,3±0,5
16	90,3±1,6	77,5±0,8	81,1±0,3	71,3±0,9
17	92,3±1,0	79,4±1,1	84,2±0,3	74,2±0,2
18	94,2±1,2	83,4±0,7	87,2±0,2	77,3±0,7
19	96,3±0,4	85,2±0,5	90,4±0,4	80,2±0,2
20	97,3±0,8	87,3±0,8	93,2±0,3	82,3±0,5
21	97,3±0,8	90,2±0,2	95,5±0,2	85,5±0,4
22	97,3±0,8	92,3±0,1	95,5±0,2	89,2±0,8
23	97,3±0,8	93,4±0,3	95,5±0,2	92,4±0,5
24	97,3±0,8	93,4±0,3	95,5±0,2	92,4±0,5
25	97,3±0,8	93,4±0,3	95,5±0,2	92,4±0,5
26	97,3±0,8	93,4±0,3	95,5±0,2	92,4±0,5
27	97,3±0,8	93,4±0,3	95,5±0,2	92,4±0,5
28	97,3±0,8	93,4±0,3	95,5±0,2	92,4±0,5
29	97,3±0,8	93,4±0,3	95,5±0,2	92,4±0,5
30	97,3±0,8	93,4±0,3	95,5±0,2	92,4±0,5

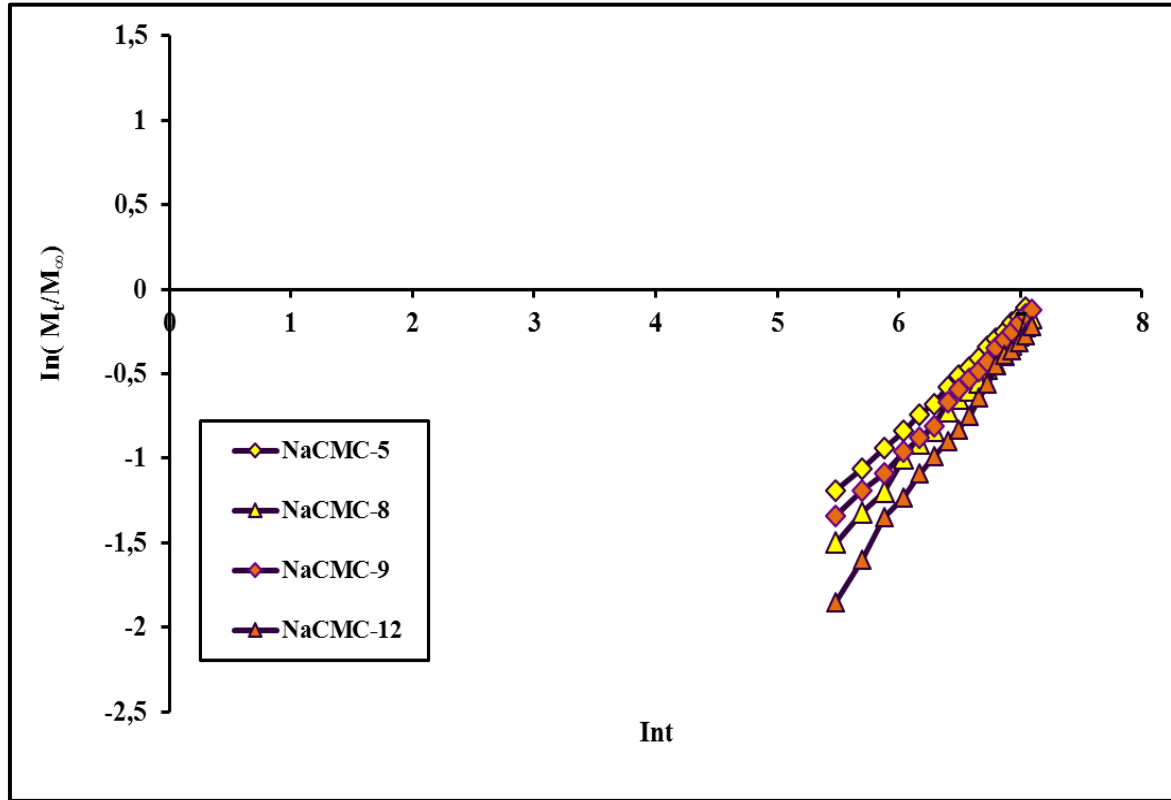
EK-12. NaCMC hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının in vitro salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (saat)	NaCMC-5	NaCMC-8	NaCMC-9	NaCMC-12
1	10,1±0,3	4,2±0,3	7,0±0,4	3,3±0,1
2	18,2±0,6	10,2±0,5	14,1±0,9	7,2±0,2
3	24,2±0,2	15,2±0,1	19,4±0,5	10,3±0,6
4	29,2±1,0	20,2±0,9	24,3±1,0	14,2±0,3
5	33,4±0,7	24,1±0,1	28,3±0,2	18,3±0,4
6	37,2±0,2	28,3±0,4	32,3±0,3	22,3±0,7
7	41,4±0,4	32,3±0,7	36,1±0,2	27,3±0,9
8	45,5±0,5	36,3±0,4	40,1±0,5	31,3±0,2
9	49,4±0,6	40,3±0,5	44,2±0,6	35,5±0,3
10	53,4±0,9	43,5±1,0	48,4±0,5	38,4±0,5
11	57,2±0,2	47,5±0,9	52,4±0,3	41,4±0,7
12	61,4±0,6	50,4±2,5	55,1±0,4	45,3±0,6
13	64,3±1,1	53,1±1,2	58,5±0,2	49,5±0,3
14	68,3±0,9	57,5±0,8	61,1±0,1	53,5±0,5
15	72,3±0,4	61,1±1,1	64,3±0,3	57,4±0,2
16	75,5±0,8	64,4±1,4	67,4±0,4	60,5±0,4
17	77,5±0,8	66,1±0,6	69,2±0,2	63,4±0,6
18	79,6±0,2	67,5±0,5	71,3±0,3	64,4±0,2
19	80,4±0,3	69,4±0,4	73,5±0,5	66,2±0,1
20	82,5±0,1	70,3±0,2	75,2±0,2	67,7±0,8
21	83,2±0,2	72,5±0,4	77,2±0,9	68,3±0,4
22	85,3±0,4	74,1±0,1	79,2±0,7	70,2±0,2
23	87,3±0,3	76,3±0,2	81,3±0,5	72,2±0,3
24	89,4±0,2	77,6±0,3	83,2±0,3	74,5±0,6
25	89,4±0,2	78,1±0,2	85,6±0,5	75,6±0,1
26	89,4±0,2	80,2±0,3	85,6±0,5	76,5±0,3
27	89,4±0,2	80,2±0,3	85,6±0,5	77,2±0,2
28	89,4±0,2	80,2±0,3	85,6±0,5	77,2±0,2
29	89,4±0,2	80,2±0,3	85,6±0,5	77,2±0,2
30	89,4±0,2	80,2±0,3	85,6±0,5	77,2±0,2

EK-13. NaCMC hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının salım kinetik parametrelerinin bulunması

EK-14. NaCMC hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının salım kinetik parametrelerinin bulunması



EK-15. NaCMC hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının salım kinetik parametrelerinin bulunması

EK-16. NaCMC hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının model salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (gün)	NaCMC-5	NaCMC-8	NaCMC-9	NaCMC-12
1	19,2±0,5	9,3±0,2	13,4±0,2	7,3±0,3
2	29,6±0,3	17,5±1,5	22,1±0,8	14,4±0,1
3	40,3±0,2	29,4±1,2	33,4±0,4	24,6±0,3
4	51,5±0,6	39,5±1,8	44,4±0,9	33,4±0,2
5	63,6±0,7	50,1±1,1	54,2±1,1	45,3±0,4
6	75,7±1,6	61,4±1,4	65,2±1,0	56,4±0,6
7	88,5±1,8	72,4±0,6	78,3±0,8	64,4±0,8
8	94,4±0,9	81,3±0,7	84,4±0,6	72,3±0,5
9	94,4±0,9	85,5±0,4	88,4±0,7	78,3±0,8
10	94,4±0,9	85,5±0,4	88,4±0,7	82,3±0,2
11	94,4±0,9	85,5±0,4	88,4±0,7	84,6±0,3
12	94,4±0,9	85,5±0,4	88,4±0,7	86,7±0,4
13	94,4±0,9	85,5±0,4	88,4±0,7	86,7±0,4
14	94,4±0,9	85,5±0,4	88,4±0,7	86,7±0,4

EK-17. NaCMC hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının model salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (gün)	NaCMC-5	NaCMC-8	NaCMC-9	NaCMC-12
1	12,3±0,3	6,2±0,2	10,2±0,5	5,3±0,3
2	27,5±0,1	18,5±0,3	22,4±0,2	12,4±0,6
3	40,3±0,4	31,1±0,6	35,4±0,6	20,4±0,3
4	51,5±0,3	41,3±0,2	46,1±0,4	27,4±0,5
5	62,2±0,1	51,5±0,7	56,4±0,3	38,3±0,3
6	74,5±0,5	61,3±0,5	66,6±0,5	47,5±0,6
7	84,4±0,9	70,4±0,6	74,4±0,2	58,5±0,2
8	88,4±0,6	76,1±0,3	80,3±0,5	66,4±0,7
9	90,3±0,4	81,5±0,5	83,3±0,8	74,4±0,4
10	90,3±0,4	83,7±0,2	85,8±0,6	78,5±0,6
11	90,3±0,4	86,2±0,5	86,5±0,3	80,3±0,3
12	90,3±0,4	86,2±0,5	88,4±0,6	82,6±0,5
13	90,3±0,4	86,2±0,5	88,4±0,6	85,7±0,5
14	90,3±0,4	86,2±0,5	88,4±0,6	85,7±0,5

EK-18. NaCMC hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının model salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (gün)	NaCMC-5	NaCMC-8	NaCMC-9	NaCMC-12
1	10,3±0,7	6,2±0,3	7,3±0,5	4,3±0,4
2	24,4±0,5	18,5±0,4	20,4±0,9	11,1±0,6
3	37,3±1,1	29,6±0,7	33,5±0,6	19,3±0,4
4	48,4±0,9	40,4±0,6	44,3±0,9	28,2±0,2
5	60,4±1,2	51,2±0,2	56,3±0,8	38,3±0,1
6	71,1±0,6	59,5±0,5	65,5±0,5	46,2±0,5
7	77,5±0,3	66,4±0,3	72,4±0,2	54,3±0,4
8	79,5±0,2	73,8±0,1	75,2±0,1	62,3±0,4
9	81,2±0,4	74,3±0,8	76,4±0,3	66,3±0,3
10	82,3±0,2	75,5±0,4	77,3±0,4	70,3±0,4
11	83,3±0,4	76,4±0,6	78,5±0,3	72,2±0,6
12	84,2±0,1	78,3±0,4	80,5±0,5	73,5±0,2
13	84,2±0,1	78,3±0,4	81,4±0,6	74,4±0,7
14	84,2±0,1	78,3±0,4	81,4±0,6	74,4±0,7

EK-19. NaCMC hidrojellerinden Cu²⁺ iyonlarının topraktaki salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (gün)	NaCMC-5	NaCMC-8	NaCMC-9	NaCMC-12
1	16,4±0,9	10,3±0,4	12,2±0,5	5,3±0,2
2	23,2±0,7	13,5±0,6	18,3±0,2	8,5±0,4
3	30,1±0,6	18,4±0,5	24,3±0,6	12,3±0,6
4	37,3±0,5	24,5±0,4	30,3±0,4	19,4±0,7
5	45,3±0,5	31,3±0,5	37,5±0,3	25,4±0,5
6	54,5±0,3	39,5±0,8	46,6±0,5	34,3±0,2
7	63,5±0,2	49,4±0,5	54,4±0,3	43,5±0,5
8	73,3±0,6	60,4±0,3	64,6±0,6	53,6±0,6
9	83,5±0,3	71,2±0,2	75,5±0,2	62,4±0,3
10	88,4±0,6	80,5±0,4	82,5±0,3	70,2±0,7
11	92,2±0,4	85,5±0,5	84,4±0,4	76,5±0,4
12	95,3±0,4	87,5±0,9	86,4±0,3	78,5±0,5
13	95,3±0,4	87,5±0,9	88,3±0,4	80,4±0,4
14	95,3±0,4	87,5±0,9	88,3±0,4	82,5±0,9
15	95,3±0,4	87,5±0,9	88,3±0,4	83,2±0,2
16	95,3±0,4	87,5±0,9	88,3±0,4	83,2±0,2

EK-20. NaCMC hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının topraktaki salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (gün)	NaCMC-5	NaCMC-8	NaCMC-9	NaCMC-12
1	12,2±0,4	6,5±0,3	10,3±0,5	5,3±0,2
2	19,4±0,2	13,3±0,4	16,2±0,4	8,3±0,5
3	27,3±0,9	18,5±0,2	22,2±0,6	13,5±0,2
4	35,3±0,2	24,3±0,6	27,4±0,3	19,5±0,7
5	42,5±0,6	32,3±0,5	37,6±0,5	25,2±0,5
6	52,4±0,5	41,3±0,4	46,4±0,4	33,6±0,3
7	62,3±0,4	49,4±0,2	56,4±0,2	40,6±0,7
8	71,3±0,9	58,5±0,6	66,3±0,3	48,3±0,4
9	81,5±0,5	67,4±0,3	74,4±0,4	57,6±0,6
10	85,2±0,1	74,4±0,7	78,5±0,5	65,4±0,6
11	87,5±0,2	78,3±0,2	81,3±0,2	71,2±0,3
12	87,5±0,2	81,3±0,2	83,4±0,6	75,5±0,6
13	87,5±0,2	83,5±0,3	84,2±0,5	78,2±0,3
14	87,5±0,2	83,5±0,3	86,3±0,7	81,5±0,4
15	87,5±0,2	83,5±0,3	86,3±0,7	81,5±0,4
16	87,5±0,2	83,5±0,3	86,3±0,7	81,5±0,4

EK-21. NaCMC hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının topraktaki salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (gün)	NaCMC-5	NaCMC-8	NaCMC-9	NaCMC-12
1	9,2±0,4	6,4±0,2	7,4±0,2	4,3±0,4
2	15,3±0,6	10,3±0,5	12,3±0,5	7,3±0,2
3	22,4±0,6	15,3±0,5	17,3±0,4	11,3±0,5
4	29,4±0,3	21,2±0,4	23,4±0,6	16,3±0,5
5	37,5±0,8	27,5±0,6	30,4±0,5	21,4±0,4
6	47,2±0,1	38,2±0,5	40,3±0,7	28,3±0,5
7	58,6±0,2	47,6±0,2	52,4±0,6	38,3±0,3
8	68,4±0,5	56,5±0,6	63,3±0,8	46,5±0,3
9	75,6±0,3	66,3±0,3	69,3±0,4	54,2±0,2
10	77,8±0,2	71,5±0,6	74,4±0,6	62,4±0,5
11	78,4±0,5	74,3±0,4	77,3±0,2	69,3±0,6
12	80,6±0,3	77,3±0,3	79,3±0,5	76,3±0,5
13	82,6±0,4	79,3±0,2	80,3±0,3	77,2±0,2
14	83,4±0,2	80,5±0,3	81,2±0,5	78,4±0,2
15	83,4±0,2	80,5±0,3	81,2±0,5	78,4±0,2
16	83,4±0,2	80,5±0,3	81,2±0,5	78,4±0,2

EK-22. κ -Karragenan hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının in vitro salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (saat)	K-4	K-5	K-6
1	14,2±0,4	10,2±0,2	6,3±0,5
2	22,4±0,2	18,3±0,6	14,4±0,7
3	30,3±0,5	25,3±0,4	21,3±0,4
4	38,3±0,6	32,5±0,2	27,5±0,4
5	46,3±0,7	39,5±0,7	35,2±0,6
6	56,3±0,6	48,4±0,5	42,6±0,7
7	65,4±0,5	58,8±0,4	51,5±0,4
8	74,3±0,2	67,2±0,5	60,5±0,7
9	83,5±0,3	76,7±0,4	69,3±0,6
10	92,3±0,6	85,6±0,7	77,4±0,4
11	99,3±0,5	92,4±0,6	83,3±0,6
12	99,3±0,5	98,3±0,8	90,4±0,5
13	99,3±0,5	98,3±0,8	96,3±0,2
14	99,3±0,5	98,3±0,8	98,4±0,6
15	99,3±0,5	98,3±0,8	98,4±0,6
16	99,3±0,5	98,3±0,8	98,4±0,6
17	99,3±0,5	98,3±0,8	98,4±0,6
18	99,3±0,5	98,3±0,8	98,4±0,6
19	99,3±0,5	98,3±0,8	98,4±0,6
20	99,3±0,5	98,3±0,8	98,4±0,6

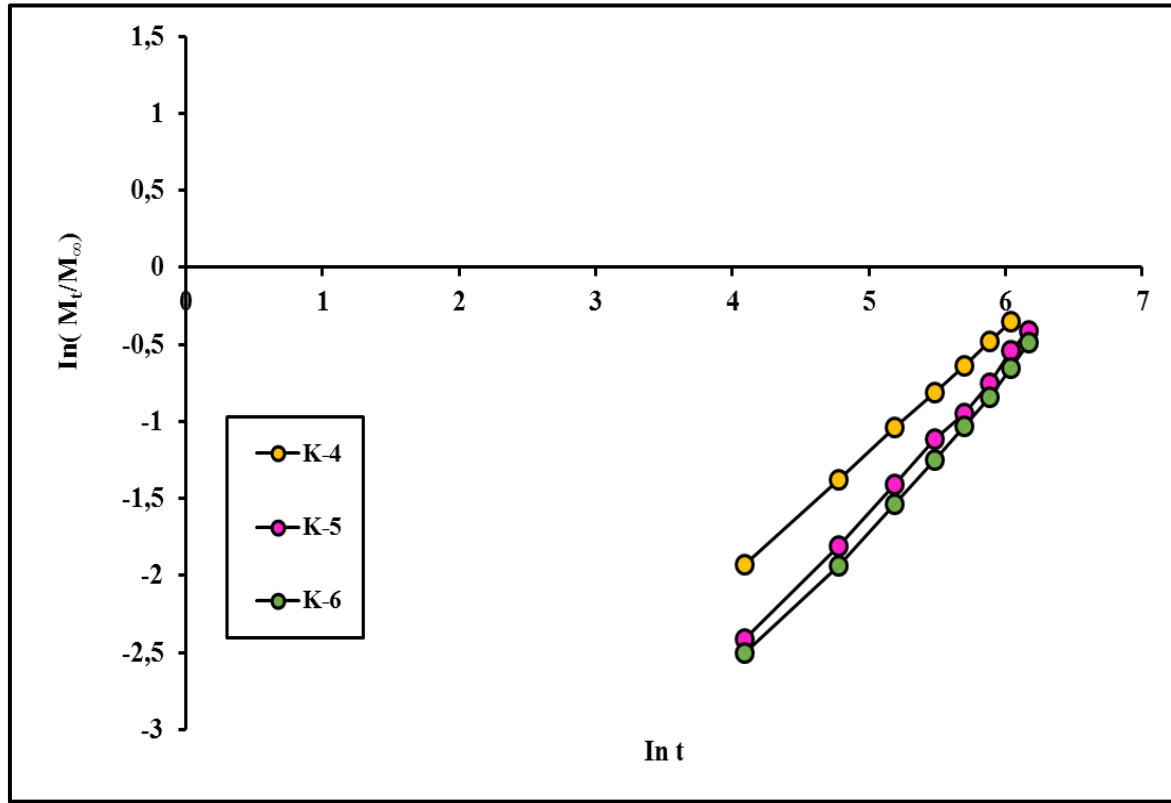
EK-23. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının in vitro salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (saat)	K-4	K-5	K-6
1	13,4±0,4	11,2±0,5	5,3±0,3
2	21,3±0,6	19,2±0,2	13,4±0,4
3	30,3±0,7	27,2±0,3	20,4±0,6
4	40,3±0,4	35,3±0,4	28,4±0,5
5	49,2±0,5	43,6±0,5	35,3±0,4
6	58,3±0,3	50,3±0,9	42,3±0,2
7	66,3±0,8	58,3±0,3	48,4±0,4
8	74,3±0,5	65,5±0,4	55,2±0,3
9	82,6±0,2	73,6±0,5	62,4±0,5
10	88,3±0,5	81,3±0,2	70,3±0,4
11	94,3±0,2	88,5±0,1	76,3±0,6
12	99,4±0,2	92,5±0,6	81,3±0,2
13	99,4±0,2	96,3±0,4	85,4±0,6
14	99,4±0,2	98,5±0,3	88,3±0,3
15	99,4±0,2	98,5±0,3	91,1±0,5
16	99,4±0,2	98,5±0,3	94,4±0,4
17	99,4±0,2	98,5±0,3	97,4±0,2
18	99,4±0,2	98,5±0,3	97,4±0,2
19	99,4±0,2	98,5±0,3	97,4±0,2
20	99,4±0,2	98,5±0,3	97,4±0,2

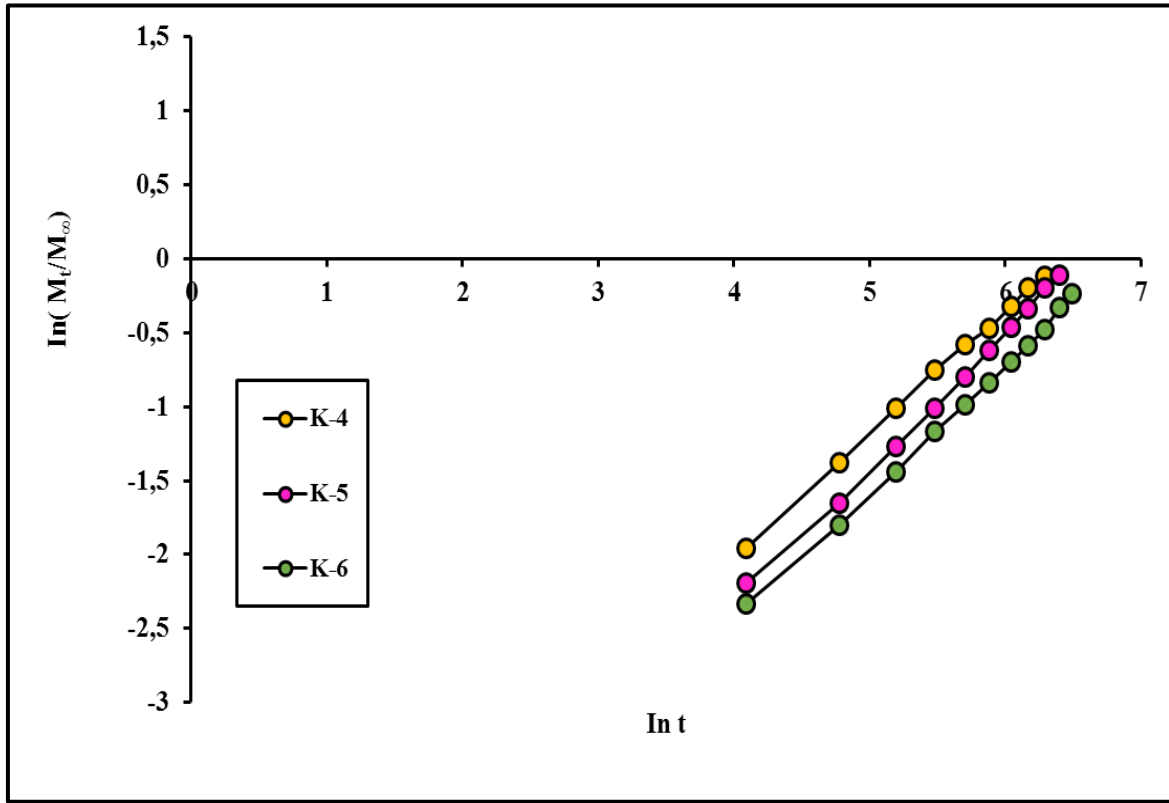
EK-24. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının in vitro salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (saat)	K-4	K-5	K-6
1	14,2±0,3	9,3±0,3	7,3±0,3
2	22,2±0,4	15,3±0,5	12,3±0,5
3	30,4±0,5	22,3±0,4	18,2±0,3
4	38,4±0,7	30,2±0,5	24,3±0,4
5	46,3±0,8	37,2±0,2	30,3±0,6
6	55,4±0,3	46,2±0,3	38,4±0,5
7	63,5±0,6	53,5±0,4	46,3±0,3
8	73,3±0,7	62,3±0,5	54,5±0,5
9	82,3±0,8	70,2±0,6	61,3±0,6
10	91,3±0,5	78,3±0,3	68,2±0,6
11	98,2±0,2	83,4±0,4	74,4±0,3
12	98,2±0,2	88,5±0,5	79,4±0,4
13	98,2±0,2	91,3±0,3	84,2±0,5
14	98,2±0,2	95,3±0,7	88,4±0,5
15	98,2±0,2	98,2±0,4	92,3±0,2
16	98,2±0,2	98,2±0,4	96,4±0,5
17	98,2±0,2	98,2±0,4	96,4±0,5
18	98,2±0,2	98,2±0,4	96,4±0,5
19	98,2±0,2	98,2±0,4	96,4±0,5
20	98,2±0,2	98,2±0,4	96,4±0,5

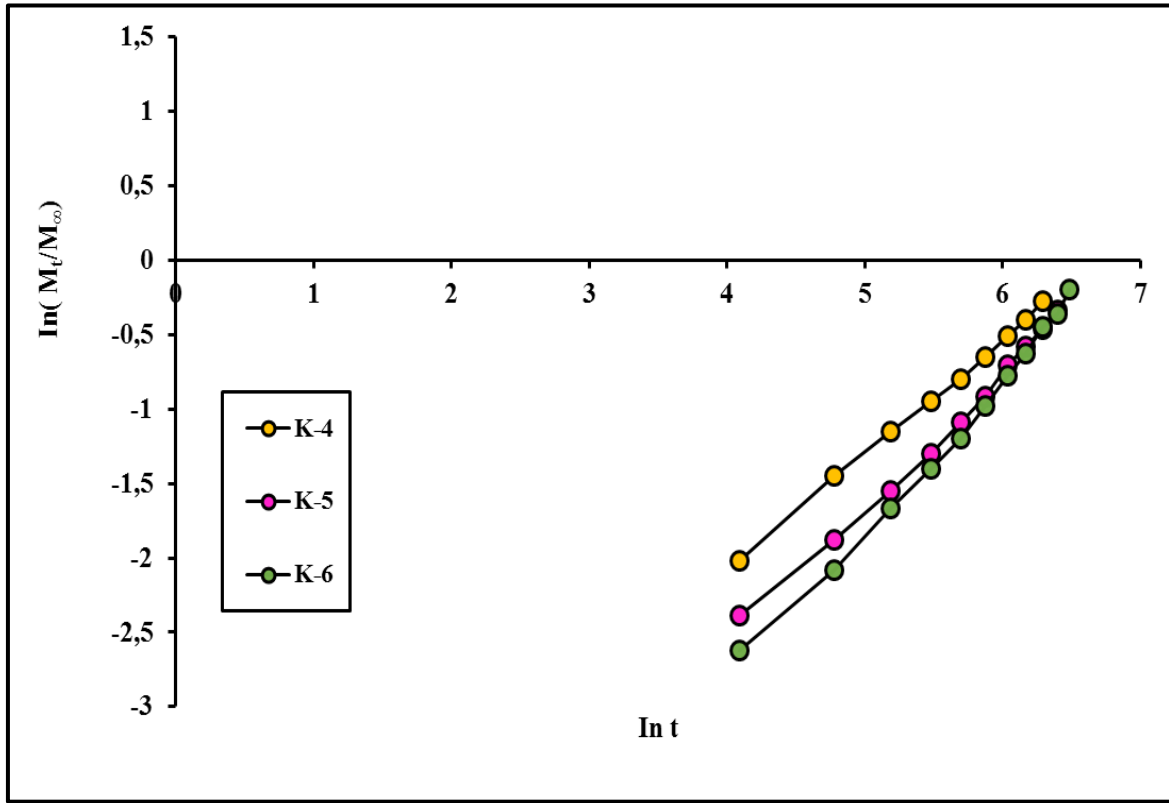
EK-25. κ -Karragenan hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının salım kinetik parametrelerinin bulunması



EK-26. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının salım kinetik parametrelerinin bulunması



EK-27. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının salım kinetik parametrelerinin bulunması



EK-28. κ -Karragenan hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının model salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (gün)	K-4	K-5	K-6
1	24,3 $\pm$ 1,2	20,4 $\pm$ 1,0	15,2 $\pm$ 1,3
2	38,4 $\pm$ 1,1	33,4 $\pm$ 1,4	27,3 $\pm$ 1,4
3	50,3 $\pm$ 0,4	45,4 $\pm$ 0,8	39,2 $\pm$ 1,5
4	61,2 $\pm$ 0,9	55,2 $\pm$ 0,9	49,5 $\pm$ 0,6
5	73,2 $\pm$ 0,2	66,4 $\pm$ 1,3	59,2 $\pm$ 1,4
6	84,6 $\pm$ 0,3	77,3 $\pm$ 1,1	71,6 $\pm$ 0,7
7	88,2 $\pm$ 0,5	82,4 $\pm$ 0,5	80,3 $\pm$ 0,9
8	88,2 $\pm$ 0,5	86,2 $\pm$ 0,6	84,4 $\pm$ 0,5
9	88,2 $\pm$ 0,5	86,2 $\pm$ 0,6	84,4 $\pm$ 0,5
10	88,2 $\pm$ 0,5	86,2 $\pm$ 0,6	84,4 $\pm$ 0,5

EK-29. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının model salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (gün)	K-4	K-5	K-6
1	28,3 $\pm$ 1,5	21,3 $\pm$ 0,8	17,4 $\pm$ 1,6
2	40,3 $\pm$ 1,1	33,3 $\pm$ 0,9	28,3 $\pm$ 1,4
3	50,2 $\pm$ 0,5	43,6 $\pm$ 1,1	38,5 $\pm$ 1,2
4	60,5 $\pm$ 1,0	53,6 $\pm$ 1,2	47,3 $\pm$ 1,5
5	71,5 $\pm$ 1,2	64,6 $\pm$ 0,6	57,4 $\pm$ 1,3
6	80,4 $\pm$ 0,5	74,5 $\pm$ 0,9	68,2 $\pm$ 1,2
7	87,5 $\pm$ 0,8	81,4 $\pm$ 1,1	76,5 $\pm$ 0,9
8	87,5 $\pm$ 0,8	85,5 $\pm$ 0,8	80,4 $\pm$ 0,7
9	87,5 $\pm$ 0,8	85,5 $\pm$ 0,8	83,5 $\pm$ 0,6
10	87,5 $\pm$ 0,8	85,5 $\pm$ 0,8	83,5 $\pm$ 0,6

EK-30. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının model salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (gün)	K-4	K-5	K-6
1	22,5±1,4	16,3±1,2	10,4±0,8
2	34,4±1,2	28,6±1,0	21,4±1,0
3	46,4±1,3	39,3±0,9	30,4±1,3
4	58,2±1,1	50,5±1,4	41,2±1,4
5	67,7±1,5	59,5±1,3	51,3±0,9
6	76,5±1,3	68,2±1,5	62,5±0,7
7	84,1±0,6	77,6±1,2	72,4±1,1
8	86,3±1,2	82,4±0,5	79,4±0,8
9	86,3±1,2	84,5±1,0	82,4±0,6
10	86,3±1,2	84,5±1,0	82,4±0,6

EK-31. κ -Karragenan hidrojellerinden Cu^{2+} iyonlarının topraktaki salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (gün)	K-4	K-5	K-6
1	23,4 $\pm$ 1,2	20,4 $\pm$ 0,8	15,4 $\pm$ 1,2
2	32,5 $\pm$ 1,1	28,3 $\pm$ 0,2	23,3 $\pm$ 1,3
3	39,4 $\pm$ 0,9	36,5 $\pm$ 0,9	31,2 $\pm$ 0,8
4	48,5 $\pm$ 1,4	44,3 $\pm$ 1,2	38,3 $\pm$ 1,2
5	59,5 $\pm$ 1,5	54,5 $\pm$ 1,1	48,6 $\pm$ 1,6
6	71,3 $\pm$ 0,9	67,3 $\pm$ 1,5	57,2 $\pm$ 1,3
7	82,4 $\pm$ 0,3	78,2 $\pm$ 1,2	70,2 $\pm$ 0,7
8	86,2 $\pm$ 0,6	81,5 $\pm$ 1,4	80,5 $\pm$ 1,1
9	88,3 $\pm$ 0,6	84,2 $\pm$ 1,0	82,3 $\pm$ 0,8
10	88,3 $\pm$ 0,6	84,2 $\pm$ 1,0	82,3 $\pm$ 0,8
11	88,3 $\pm$ 0,6	84,2 $\pm$ 1,0	82,3 $\pm$ 0,8
12	88,3 $\pm$ 0,6	84,2 $\pm$ 1,0	82,3 $\pm$ 0,8

EK-32. κ -Karragenan hidrojellerinden Zn^{2+} iyonlarının topraktaki salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (saat)	K-4	K-5	K-6
1	27,5 $\pm$ 0,8	20,5 $\pm$ 0,8	15,4 $\pm$ 1,4
2	32,5 $\pm$ 1,7	26,3 $\pm$ 1,5	21,4 $\pm$ 1,1
3	40,4 $\pm$ 1,5	31,3 $\pm$ 1,6	27,2 $\pm$ 0,9
4	48,2 $\pm$ 1,2	40,4 $\pm$ 0,9	35,3 $\pm$ 1,0
5	60,6 $\pm$ 1,6	51,4 $\pm$ 1,2	44,3 $\pm$ 0,9
6	72,4 $\pm$ 0,8	62,3 $\pm$ 1,5	53,5 $\pm$ 1,2
7	80,5 $\pm$ 0,4	72,2 $\pm$ 0,9	65,5 $\pm$ 1,6
8	82,2 $\pm$ 0,5	82,5 $\pm$ 0,4	72,2 $\pm$ 1,1
9	85,3 $\pm$ 0,6	84,2 $\pm$ 0,5	78,3 $\pm$ 0,8
10	85,3 $\pm$ 0,6	84,2 $\pm$ 0,5	83,4 $\pm$ 0,6
11	85,3 $\pm$ 0,6	84,2 $\pm$ 0,5	83,4 $\pm$ 0,6
12	85,3 $\pm$ 0,6	84,2 $\pm$ 0,5	83,4 $\pm$ 0,6

EK-33. κ -Karragenan hidrojellerinden Mn^{2+} iyonlarının topraktaki salım değerleri (%)

Hidrojel Zaman (gün)	K-4	K-5	K-6
1	22,4 $\pm$ 0,7	16,4 $\pm$ 0,8	10,,5 $\pm$ 0,5
2	28,6 $\pm$ 0,5	24,3 $\pm$ 0,9	17,2 $\pm$ 0,5
3	36,6 $\pm$ 1,1	31,2 $\pm$ 0,7	25,3 $\pm$ 1,2
4	46,3 $\pm$ 0,9	39,5 $\pm$ 1,5	32,6 $\pm$ 0,9
5	56,4 $\pm$ 1,0	50,4 $\pm$ 0,9	41,6 $\pm$ 1,1
6	66,6 $\pm$ 1,4	59,3 $\pm$ 1,2	51,5 $\pm$ 1,4
7	75,5 $\pm$ 0,9	68,5 $\pm$ 1,5	62,2 $\pm$ 0,8
8	79,3 $\pm$ 1,2	77,3 $\pm$ 1,0	72,6 $\pm$ 0,5
9	82,5 $\pm$ 1,4	82,6 $\pm$ 0,6	79,2 $\pm$ 0,9
10	84,3 $\pm$ 0,8	84,5 $\pm$ 0,5	82,6 $\pm$ 1,1
11	84,3 $\pm$ 0,8	84,5 $\pm$ 0,5	82,6 $\pm$ 1,1
12	84,3 $\pm$ 0,8	84,5 $\pm$ 0,5	82,6 $\pm$ 1,1

EK-34. N-9 örneklerinde ortalama fide çıkış sayısının zamanla değişim değerleri

Örnek Zaman (gün)	Kontrol -1	Kontrol-2	(N-9)-5	(N-9)-10	(N-9)-15
4	13±3	50±5	40±5	130±6	135±7
7	135±12	185±11	250±10	315±15	400±14
8	175±10	270±13	338±15	403±12	479±11
10	190±11	315±10	418±11	412±9	552±12
11	190±11	315±10	418±11	412±9	552±12
12	190±11	315±10	418±11	412±9	552±12

EK-35. N-9 örneklerinde ortalama fide boylarının (cm) zamanla değışim değeri

Örnek Zaman (gün)	Kontrol -1	Kontrol-2	(N-9)-5	(N-9)-10	(N-9)-15
1. GÜBRELEME					
4	1,3±0,1	1,5±0,2	1,8±0,1	2,2±0,3	2,5±0,3
5	2,3±0,2	2,7±0,3	3,2±0,2	3,9±0,2	4,7±0,5
6	3,1±0,1	3,4±0,4	4,3±0,5	4,6±0,1	5,2±0,2
7	5,3±0,3	6,4±0,1	7,5±0,3	8,2±0,4	9,3±0,4
8	11,2±0,2	12,4±0,2	13,6±0,2	14,5±0,5	15,7±0,5
9	14,3±0,1	15,2±0,4	16,3±0,1	17,1±0,3	18,3±0,6
10	16,5±0,3	17,7±0,3	18,6±0,4	20,5±0,5	21,8±0,3
12	22,2±0,5	25,4±0,4	26,5±0,3	28,2±0,3	30,3±0,2
2. GÜBRELEME					
14	3,2±0,4	3,3±0,4	4,7±0,4	5,4±0,3	5,9±0,1
16	10,0±0,2	10,8±0,2	11,1±0,2	11,8±0,4	12,3±0,4
18	17,3±0,3	18,5±0,5	20,2±0,3	21,3±0,2	23,2±0,2

EK-36. K-6 örneklerinde ortalama fide çıkış sayılarının zamanla değişim değerleri

Örnek Zaman (gün)	Kontrol -1	Kontrol-2	(K-6)-5	(K-6)-10	(K-6)-15
4	36±6	42±3	53±5	75±6	82±5
7	61±7	66±5	80±8	112±6	130±7
8	75±4	82±6	101±6	145±4	173±7
10	88±8	93±5	116±4	155±7	196±10
11	103±11	112±12	135±10	163±12	199±11
12	103±11	112±12	135±10	163±12	199±11

EK-37. K-6 örneklerinde ortalama fide boylarının (cm) zamanla değışim değeri

Örnek Zaman (gün)	Kontrol -1	Kontrol-2	(K-6)-5	(K-6)-10	(K-6)-15
1. GÜBRELEME					
5	1,1±0,2	1,4±0,1	2,2±0,4	3,2±0,3	4,5±0,3
6	2,2±0,1	2,8±0,5	4,3±0,3	5,2±0,4	6,4±0,1
7	5,3±0,3	6,4±0,3	7,6±0,1	8,3±0,5	9,6±0,2
8	9,3±0,2	10,4±0,4	12,4±0,6	13,7±0,4	14,6±0,5
9	12,2±0,3	14,3±0,4	15,5±0,2	17,2±0,5	18,3±0,2
10	14,8±0,4	16,7±0,6	18,5±0,3	20,4±0,6	21,6±0,3
12	21,3±0,2	26,4±0,2	28,4±0,4	29,5±0,3	30,6±0,6
2. GÜBRELEME					
14	4,1±0,2	4,8±0,3	5,1±0,1	5,9±0,4	5,9±0,4
16	10,9±0,5	12,4±0,4	13,3±0,4	13,8±0,5	15,1±0,3
18	15,6±0,2	18,2±0,2	19,6±0,3	20,4±0,2	21,7±0,4

EK-38. Farklı mikro besin elementleri içeren N-9 örneklerinde ortalama fide çıkış sayılarının zamanla değişim değerleri

Örnek Zaman (gün)	Kontrol -1	Kontrol-2	(N-9)-Zn	(N-9)-Mn	(N-9)-Cu
4	13±3	87±7	140±4	120±5	130±7
7	135±6	213±8	327±7	301±10	315±12
8	175±13	288±11	427±15	380±11	403±15
10	190±11	322±10	438±12	389±12	412±13
11	190±11	322±10	438±12	389±12	412±13
12	190±11	322±10	438±12	389±12	412±13

EK-39. Farklı mikro besin elementleri içeren N-9 örneklerinde ortalama fide boylarının (cm) zamanla değişim değerleri

Örnek Zaman (gün)	Kontrol -1	Kontrol-2	(N-9)-Zn	(N-9)-Mn	(N-9)-Cu
1. GÜBRELEME					
4	1,3±0,2	1,8±0,1	2,5±0,3	2,9±0,4	3,3±0,2
5	2,3±0,3	2,9±0,3	4,7±0,5	4,1±0,1	5,4±0,4
6	3,1±0,1	3,7±0,4	5,2±0,4	4,5±0,3	6,7±0,3
7	5,3±0,5	6,2±0,2	9,3±0,4	8,2±0,3	8,7±0,5
8	11,2±0,6	11,9±0,3	15,7±0,6	13,2±0,5	15,6±0,5
9	14,3±0,4	15,2±0,4	19,4±0,4	17,2±0,6	18,2±0,6
10	16,5±0,5	17,3±0,3	23,4±0,5	19,7±0,4	21,5±0,3
12	22,2±0,3	23,5±0,5	30,3±0,3	24,3±0,5	26,3±0,1
2. GÜBRELEME					
14	3,2±0,2	4,2±0,5	5,9±0,3	5,1±0,1	6,4±0,4
16	10±0,7	10,6±0,4	12,3±0,5	11,4±0,2	11,8±0,2
18	17,3±0,3	18,6±0,6	23,2±0,2	19,4±0,5	20,6±0,3

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKALIN, Gülen Oytun
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 28.07.1985, Karataş
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (382) 288 27 56
 e-mail : gulenoytunakalin@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi /Kimya Bölümü	Devam Ediyor
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Kimya Bölümü	2011
Lisans	Çukurova Üniversitesi /Kimya Bölümü	2007
Lise	Danışmend Gazi Anadolu Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Aksaray Üniversitesi	Uzman

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

Yayınlar

1. Pulat, M., Akalin, G.O., Demirkol Karahan, N. (2014). Lipase release through semi-interpenetrating polymer network hydrogels based on chitosan, acrylamide, and citraconic acid, *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 42, 121–127.
2. Pulat, M., Akalin, G.O. (2013). Preparation and characterization of gelatin hydrogel support for immobilization of Candida Rugosa lipase, *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 41, 145–151.

Bildiriler

1. Akalin, G.O., Pulat, M. (2015). *Preparation and characterization of nanoporous NaCMC hydrogel*, 12th Multinational Congress on Microscopy, August 23–28, 567-568.
2. Akalin, G.O., Karahan, N., Pulat, M. (2014). *Kitosan temelli yarı-IPN hidrojelilerin şişme özellikleri ve lipaz salım davranışları*, V. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi, 1-4 Eylül, 46-47.
3. Akalin, G.O., Pulat, M. (2012). *Jelatin Hidrojellerden üre serbestleşmesi*, IV. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi, 5-8 Eylül, 46.
4. Akalin, G.O., Pulat, M. (2010). *Jelatin hidrojele immobilize lipazın aktifliği*, 3. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi, 12-14 Mayıs, 109.

Hobiler

Yüzme, Koşu, Tenis, Resim yapmak, Seyahat etmek.

DİZİN

A

Abstract · v

B

Bitki besin elementleri · 3, 4, 5
Biyobozunur polimer · 21, 22, 23
Bozunma · 39, 56, 73
Buğday çimi · 30, 31, 94, 99,
101, 106, 108

C

-

Ç

Çizelge · 5, 9, 16, 37, 41, 42, 44,
46, 47, 63, 66, 68, 76, 79, 80,
87, 92, 93, 100, 107, 113

D

Deneyssel kısım · 33
Dizin · 183

E

EKLER · 133
Eşitlik · 36, 38, 39, 43, 44, 99,
106, 112

F

formül · 36, 38, 39, 43, 44,

G

Giriş · 1
Gübre · 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

grafik · 50-57, 64, 65, 71-74,
77,78, 81-86, 88-91, 98, 105,
111

H

Hidrojel · 15-21, 33-133

İ

İçindekiler · vii

K

Kontrollü Salım Gübreleri · 12,
13, 19, 20
Kinetik · 78-80, 87
Karragenan · 25-29, 33, 36, 36,
41, 66-76, 85-92, 106
Kaynaklar · 121
Key Words · v

L

literatür · 24, 45, 54, 56

M

Mikro besin elementleri · 4, 8, 9,
40-42, 76-95, 99, 101, 106,
108-112

N

-

O

Kabul ve Onay · 2

Ö

Özet · iv
Özgeçmiş · 181

P

-

R

Resim · 26, 48, 58-62, 68, 75,
95-97, 102-104, 108-110

S

Salım · 41-43, 76-94
Sodyum Karboksimetil
Selüloz · 2, 23, 24, 33, 34, 40-66,
76-85, 91, 84, 108
Simgeler ve Kısaltmalar · xx
Sonuç ve öneriler · 115

Ş

Şekillerin listesi · xv

T

Teşekkür · vi

U

-

Y

-



GAZİ GELECEKTİR...