T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONTROLLÜ SALIM YAPAN KAPSÜL GÜBRE GELİŞTİRİLMESİ

NUR DURMUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOMÜHENDİSLİK ANABİLİM DALI
BİYOMÜHENDİSLİK PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. İBRAHİM IŞILDAK

İSTANBUL, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONTROLLÜ SALIM YAPAN KAPSÜL GÜBRE GELİŞTİRİLMESİ

Nur DURMUŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 10.01.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomühendislik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. İbrahim IŞILDAK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İbrahim IŞILDAK

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Didem ÖZÇİMEN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Mahfuz ELMASTAŞ

Sağlık Bilimleri Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Dünya nüfusunun sürekli artması tarımsal üretiminde artırılması zorunluluğunu beraberinde getirmektedir. Buna bağlı olarak hem maliyet hem de çevresel açıdan problemler yaratan kimyasal gübre tüketimi artmıştır. Kimyasal gübrenin zararlarını ortadan kaldırmak amacıyla araştırmalar yapılmış ve bitki beslemede yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, biyobozunur malzemeler kullanılarak toprağın verimini artıran ve bitki gelişimine katkıda bulunan kontrollü salım yapan kapsül gübre üretimi yapılmıştır. Laboratuvar ortamında üretilen kapsül gübreler bitkiler üzerinde denenmiştir.

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. İbrahim Işıldak'a teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ailemede sonsuz teşekkür ederim.

Ocak, 2019

Nur DURMUŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ x

ÇİZELGE LİSTESİ xv

ÖZET xvi

ABSTRACT xviii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 2

BÖLÜM 2

GÜBRE VE GÜBRELEME 4

2.1 Gübre ve Çeşitleri 4
2.1.1 Organik Gübreler 4
2.1.1.1 Çiftlik Gübresi 5
2.1.1.2 Tavuk Gübresi 5
2.1.1.3 Kompost 6
2.1.1.4 Yeşil Gübre 6
2.1.1.5 Sıvı Dışkı 7
2.1.1.6 Kanalizyon Atıkları 7
2.1.1.7 Bitkisel Atıklar 7
2.1.1.8 Hayvansal Atıklar 8
2.1.2 İnorganik Gübreler 8
2.1.2.1 Azotlu Gübreler 8
2.1.2.2 Fosforlu Gübreler 9

2.1.2.3 Potasyumlu Gübreler 10
2.1.2.4 Çok Besinli (Kompoze) Gübreler 12
2.1.2.5 Mikro Besin Elementli Gübreler 12
2.2 Gübreleme Ve Önemi 12
2.2.1 Serpme Şeklinde Gübreleme 14
2.2.2 Banda (Şeritsel) Gübreleme 14
2.2.3 Üstten ve sıra yanlarına gübreleme 15
2.2.4 Yapraktan Gübreleme 15
2.2.5 Sulama Suları ile Gübreleme (Fertigasyon) 15
2.3 Bitki Besin Elementleri 16
2.4 Gübre – Çevre İlişkisi 17

BÖLÜM 3

BİTKİ BESLEMEDE YENİ YAKLAŞIMLAR 22

3.1 Biyolojik Gübreleme 22
3.2 Humin Maddeleri 27
3.3 Gübre Etkinliğinin Artırılması 28
3.4 Hassas Tarım Teknikleri 31

BÖLÜM 4

ENKAPSÜLASYON TEKNOLOJİSİ 32

4.1 Enkapsülasyonda Kullnılan Malzemelerin Seçimi 33
4.2 Kapsül Morfolojisi 34
4.3 Enkapsülasyon Yöntemleri 35
4.3.1 Damlatma Yöntemi 35
4.3.1.1 Termal Jelleşme Yöntemi 36
4.3.1.2 İyonik Jelleşme 36
4.3.1.3 Püskürtmeli Kurutma Yöntemi 38
4.3.1.4 Kompleks Koaservasyon Yöntemi 38
4.3.1.5 LentiKats® Yöntemi 39
4.3.1.6 Silikon Kimyasına Dayalı Sol-Jel İmmobilizasyonu 40
4.3.2 Emülsifikasyon 41
4.3.2.1 Termal Jelleşme 41
4.3.2.2 İyonik Jelleşme 41
4.3.2.3 Arayüzey emülsiyon polimerizasyonu 42
4.3.3 Kaplama Yöntemi 42
4.3.3.1 İyonik Polimer Kaplama 43
4.3.3.2 Katman Katman Kaplama 44

BÖLÜM 5

KONTROLLÜ SALIMLI GÜBRE 45

5.1 Kontrollü Salımlı Gübrenin Sınıflandırılması 47
5.2 Kontrollü Salımlı Gübrenin Mekanizması 48
5.3 Deneysel Çalışmada Kullanılan Polimerler Hakkında Bilgi 49

5.3.1 Sodyum Aljinat 49
5.3.2 Perlit 51
5.3.3 Bentonit 53
5.3.4 Öğütülmüş Kil 54

BÖLÜM 6

DENEYSEL KISIM 55

6.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler ve Ekipmanlar 55
6.2 Deneysel Yöntemler 56
6.2.1 Potansiyometrik Ölçümler İçin KNO_3 İçeren Kapsüllerin Oluşturulması 56
6.2.2 Elektrokimyasal Analiz 57
6.2.3 Bitki Çalışmaları İçin Bitki Besin Elementleri İçeren Kapsüllerin Oluşturulması 58
6.2.4 Kapsül Gübrelerin Bitkiye Uygulanması 59

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI 61

7.1 KNO_3 İçeren Kapsül Sonuçları 61
7.2 Elektrokimyasal Analiz Sonuçları 71
7.3 Bitki Besinleri İçeren Kapsüllerin (Kapsül Gübre) Sonuçları 83
7.4 Bitki Uygulaması Sonuçları 85

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER 94

8.1 KNO_3 İçeren Kapsüllerin Değerlendirilmesi 94
8.2 Kapsüllerin Tutuculuk ve Salım Performanslarının Değerlendirilmesi 98
8.3 Bitki Çalışmalarının Değerlendirilmesi 104

KAYNAKLAR 106

ÖZGEÇMİŞ 109

SİMGE LİSTESİ

dk	Dakika
g	Gram
J	Joule
kg	Kilogram
K	Kelvin
M	Molarite
m	Kütle
m_a	Molekül ağırlık
mg	Miligram
mV	Milivolt
n	mol
V	Hacim
µm	Mikrometre
°C	Derece santigrat
%	Yüzde
ds/m	DesiSiemes/metre

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
Al_2O3	Alüminyum Oksit
B	Bor
BDT	Bağımsız Devletler Topluluğu
Be	Berilyum
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
CaO	Kalsiyum Oksit
$CaCl_2$	Kalsiyum Klorür
$Ca(CO_3)_2$	Kalsiyum Nitrat
Cd	Kadmiyum
Cr	Krom
Cu	Bakır
EPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FDA	Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi
Fe	Demir
FeO	Demir (II) Oksit
GDO	Genetiği Değiştirilmiş Organizma
H	Hidrojen
H_2O	Su
IARI	Hindistan Tarım Araştırma Enstitüsü
K	Potasyum
K_2O	Potasyum Oksit
KNO_3	Potasyum Nitrat
Mg	Magnezyum
$MgSO_4$	Magnezyum Sülfat
Mn	Manganez
MnO_2	Manganez Dioksit
Mo	Molibden
N	Azot
Na_2O_3	Sodyum Karbonat
NH_4NO_3	Amonyum Nitrat

Ni	Nikel
NiO	Nikel Oksit
O	Oksijen
P	Fosfor
Pb	Kurşun
PbO	Kurşun (II) Oksit
P_2O_5	Fosfor Pentoksit
S	Kükürt
SiO_2	Silisyum Oksit
SO_3	Kükürt Trioksit
TiO_2	Titanyum Dioksit
UV	Ultraviyole
Zn	Çinko

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Yıllara göre etkili madde bazında dünyada tüketilen gübre miktarı, 1000 ton [1] 18
Şekil 2. 2 Yıllara göre etkili madde bazında Türkiye'de tüketilen gübre miktarı, 1000 ton [1] 18
Şekil 2. 3 Yıllara göre kimyasal gübre üretimi-tüketimi karşılaştırması [18] 19
Şekil 3. 1 Gübre çözünürlükleri ve etkinlik süreleri 30
Şekil 4. 1 Farklı kapsül morfolojileri: beads (küre), hollow beads (içi boş küre), lens shape (mercek şeklinde), coatings (kaplama), multicompartmet beads (çok çekirdekli küre) [30] 34
Şekil 4. 2 Enkapsülasyon Yöntemleri [30] 35
Şekil 4. 3 Damlatma yöntemine dayalı termal jelleşme ile enkapsülasyon [30] 36
Şekil 4. 4 Damlatma yöntemine dayalı iyonik jelleşme ile enkapsülasyon [30] 37
Şekil 4. 5 Damlatma yöntemine dayalı iyonik jelleşme ile enkapsülasyon (içi boş kapsül elde etme) [30] 37
Şekil 4. 6 Damlatma yöntemine dayalı püskürtmeli kurutma ile enkapsülasyon [30] 38
Şekil 4. 7 Damlatma yöntemine dayalı kompleks koaservasyon ile enkapsülasyon [30] 39
Şekil 4. 8 Damlatma yöntemine dayalı LentiKats® üretimi ile enkapsülasyon yöntemi [30] 39
Şekil 4. 9 Silikon kimyasına dayalı sol-jel immobilizasyonu ile enkapsülasyon yöntemi [30] 40
Şekil 4. 10 Emülsifikasyon yöntemine dayalı termel jelleşme ile enkapsülasyon [30]..... 41
Şekil 4. 11 Emülsifikasyon yöntemine dayalı iyonik jelleşme ile enkapsülasyon [30]..... 42
Şekil 4. 12 Emülsifikasyon yöntemine dayalı arayüzey emülsiyon polimerizasyonu [30] 42
Şekil 4. 13 Kitosan (A) veya Na-aljinat(B) kulanarak iyonik polimer kaplama yöntemi ile enkapsülasyon [30] 43
Şekil 4. 14 Katman katman kaplama yöntemi ile enkapsülasyon [30] 44
Şekil 5. 1 Kontrollü Salımlı Gübrelerin Sınıflandırılması [32] 47
Şekil 5. 2 Kapsül gübreden besin salımı aşamaları [30] 48

Şekil 5. 3 ß-D-mannuronik asit ve mannuronik asit ve α-L- gluronik asidin yapıları 50
Şekil 6. 1 Tohum ekim aşamaları; saksılardaki a)toprak, b)kapsül gübreler, c)maydanoz tohumları 59
Şekil 6. 2 Bitki çalışmasında kullanılan gübre oranları ve miktarları 60
Şekil 7. 1 %1,5 Na-aljinat / %0,5 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 61
Şekil 7. 2 %1,5 Na-aljinat / %2 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 62
Şekil 7. 3 %1,5 Na-aljinat / %10 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 62
Şekil 7. 4 %2 Na-aljinat / %0,5 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 62
Şekil 7. 5 %2 Na-aljinat / %2 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 63
Şekil 7. 6 %2 Na-aljinat / %10 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 63
Şekil 7. 7 %2,5 Na-aljinat / %0,5 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 64
Şekil 7. 8 %2,5 Na-aljinat / %2 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 64
Şekil 7. 9 %2,5 Na-aljinat / %10 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 65
Şekil 7. 10 %1,5 Na-aljinat / %1 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 65
Şekil 7. 11 %1,5 Na-aljinat / %2 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 66
Şekil 7. 12 %1,5 Na-aljinat / %4 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 66
Şekil 7. 13 %2 Na-aljinat / %1 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 66
Şekil 7. 14 %2 Na-aljinat / %2 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 67
Şekil 7. 15 %2 Na-aljinat / %4 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 67
Şekil 7. 16 %2,5 Na-aljinat / %1 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 68
Şekil 7. 17 %2,5 Na-aljinat / %2 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 68
Şekil 7. 18 %2,5 Na-aljinat / %4 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası 68
Şekil 7. 19 a) %1,5 Na-aljinat / %1 bentonit; b) %1,5 Na-aljinat / %2 bentonit; c) %1,5 Na-aljinat / %4 bentonit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları 69

Şekil 7. 20 a) %2 Na-aljinat / %1 bentonit; b) %2 Na-aljinat / %2 bentonit; c) %2 Na-aljinat / %4 bentonit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları 70
Şekil 7. 21 a) %2,5 Na-aljinat / %1 bentonit; b) %2,5 Na-aljinat / %2 bentonit; c) %2,5 Na-aljinat/%4 bentonit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları 70
Şekil 7. 22 %1,5 Na-aljinat / %0,5 Perlit oranları ile hazırlanan kapsüllerin elektrokimyasal analizleri öncesinde elde edilen -log[NO^-_3] çözeltilerine karşılık kalibrasyon eğrisi 71
Şekil 7. 23 a) %1,5 Na-aljinat/%1 Perlit; b) %1,5 Na-aljinat/%2 Perlit; c) %1,5 Na-aljinat/%4 Perlit; d) %1,5 Na-aljinat/%6 Perlit; e) %1,5 Na-aljinat/%10 Perlit oranları ile hazırlanan kapsüllerin elektrokimyasal analizleri öncesinde elde edilen -log[NO^-_3] çözeltilerine karşılık kalibrasyon eğrileri 72
Şekil 7. 24 a) %2 Na-aljinat/%0,5 Perlit; b) %2 Na-aljinat/%1 Perlit; c) %2 Na-aljinat/%2 Perlit; d) %2 Na-aljinat/%4 Perlit; e) %2 Na-aljinat/%6 Perlit; f) %2 Na-aljinat/%10 Perlit oranları ile hazırlanan kapsüllerin elektrokimyasal analizleri öncesinde elde edile -log[NO^-_3] çözeltilerine karşılık kalibrasyon eğrileri 73
Şekil 7. 25 a)%2,5 Na-aljinat/%0,5 Perlit; b) %2,5 Na-aljinat/%1 Perlit; c) %2,5 Na-aljinat/%2 Perlit; d) %2,5 Na-aljinat/%4 Perlit; e) %2,5 Na-aljinat/%6 Perlit; f) %2,5 Na-aljinat/%10 Perlit oranları ile hazırlanan kapsüllerin elektrokimyasal analizleri öncesinde elde edilen -log[NO^-_3] çözeltilerine karşılık kalibrasyon eğrileri 74
Şekil 7. 26 a)%1,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş Kil; b) %1,5 Na-aljinat/%4 Öğütülmüş Kil; c) %2 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş Kil; d) %2 Na-aljinat/%4 Öğütülmüş Kil; e) %2,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş Kil; f) %2,5 Na-aljinat/%4 Öğütülmüş Kil oranları ile hazırlanan kapsüllerin elektrokimyasal analizleri öncesinde elde edilen -log[NO^-_3] çözeltilerine karşılık kalibrasyon eğrileri 75
Şekil 7. 27 a)%1,5 Na-aljinat/%2 Bentonit; b) %1,5 Na-aljinat/%4 Bentonit; c) %2 Na-aljinat/%2 Bentonit; d) %2 Na-aljinat/%4 Bentonit; e) %2,5 Na-aljinat/%2 Bentonit; f) %2,5 Na-aljinat/%4 Bentonit oranları ile hazırlanan kapsüllerin elektrokimyasal analizleri öncesinde elde edilen -log[NO^-_3] çözeltilerine karşılık kalibrasyon eğrileri 76
Şekil 7. 28 %1,5 Na-aljinat / %0,5 Perlit ile hazırlanan kapsüllerin saf su içerisindeki NO^-_3 salım grafiği 78
Şekil 7. 29 %1,5 Na-aljinat / %0,5;1;2;4;6;10 Perlit ile hazırlanan kapsüllerin saf su içerisindeki NO^-_3 salım grafikleri 79
Şekil 7. 30 %2 Na-aljinat / %0,5;1;2;4;6;10 Perlit ile hazırlanan kapsüllerin saf su içerisindeki NO^-_3 salım grafikleri 80
Şekil 7. 31 %2,5 Na-aljinat / %0,5;1;2;4;6;10 Perlit ile hazırlanan kapsüllerin saf su içerisindeki NO^-_3 salım grafikleri 81
Şekil 7. 32 %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %1;2;4 Öğütülmüş Kil ile hazırlanan kapsüllerin saf su içerisindeki NO^-_3 salım grafikleri 82

Şekil 7. 33 %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %1;2;4 Bentonit ile hazırlanan kapsüllerin saf su içerisindeki NO^-_3 salım grafikleri 83
Şekil 7. 34 Bitki besini içeren kapsül gübreler etüv öncesi; a) %1,5 Na-aljinat / %2 Perlit, b) %1,5 Na-aljinat / %10 Perlit, c) %2 Na-aljinat / %2 Perlit, d) %2 Na-aljinat / %10 Perlit, e) %2,5 Na-aljinat / %2 Perlit, d) %2,5 Na-aljinat / %10 Perlit 84
Şekil 7. 35 Bitki besini içeren kapsül gübreler; a) %1,5 Na-aljinat / %2 Perlit, b) %1,5 Na-aljinat / %10 Perlit, c) %2 Na-aljinat / %2 Perlit, d) %2 Na-aljinat / %10 Perlit, e) %2,5 Na-aljinat / %2 Perlit, d) %2,5 Na-aljinat / %10 Perlit 84
Şekil 7. 36 Ticari kapsül gübre 85
Şekil 7. 37 %1,5 Na-aljinat / %2 perlit içeren ve 1 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi 86
Şekil 7. 38 %1,5 Na-aljinat / %2 perlit içeren ve 2 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi 86
Şekil 7.39 %2 Na-aljinat / %2 perlit içeren ve 1 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi..... 86
Şekil 7.40 %2 Na-aljinat / %2 perlit içeren ve 2 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi..... 86
Şekil 7.41 %2,5 Na-aljinat / %2 perlit içeren ve 1 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi..... 86
Şekil 7.42 %2,5 Na-aljinat / %2 perlit içeren ve 2 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi..... 86
Şekil 7.43 %1,5 Na-aljinat / %10 perlit içeren ve 2 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi..... 86
Şekil 7.44 %1,5 Na-aljinat / %10 perlit içeren ve 4 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi..... 86
Şekil 7.45 %2 Na-aljinat / %10 perlit içeren ve 2 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi..... 86
Şekil 7.46 %2 Na-aljinat / %10 perlit içeren ve 4 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi..... 86
Şekil 7.47 %2,5 Na-aljinat / %10 perlit içeren ve 2 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi..... 86
Şekil 7.48 %2,5 Na-aljinat / %10 perlit içeren ve 4 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi..... 86
Şekil 7.49 2 gr ticari kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi..... 90
Şekil 7.50 4 gr ticari kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi..... 90
Şekil 7.51 Gübre içermeyen bitkinin gelişimi..... 91
Şekil 8. 1 a)%1,5 Na-aljinat/%10 perlit; b) %2 Na-aljinat/%10 perlit; c) %2,5 Na-aljinat/%10 perlit içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları 94
Şekil 8. 2 a)%1,5 Na-aljinat/%0,5 perlit; b) %1,5 Na-aljinat/%2 perlit; c) %1,5 Na-aljinat/%6 perlit; d) %1,5 Na-aljinat/%10 perlit içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları 95
Şekil 8. 3 a) %1,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil; b) %2 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil; c) %2,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil içeren kapsüllerin etüv öncesi boyutları 96

Şekil 8. 4 a) %1,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil; b) %2 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil; c) %2,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları 96
Şekil 8. 5 a) %1,5 Na-aljinat/%1 Öğütülmüş kil; b) %1,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil; c) %1,5 Na-aljinat/%4 Öğütülmüş kil içeren kapsüllerin etüv öncesi boyutları 97
Şekil 8. 6 a) %1,5 Na-aljinat/%1 Öğütülmüş kil; b) %1,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil; c) %1,5 Na-aljinat/%4 Öğütülmüş kil içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları 97
Şekil 8. 7 %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %0,5 perlit ile hazırlanan kapsüllerin salım grafiği 99
Şekil 8. 8 %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %1 perlit ile hazırlanan kapsüllerin salım grafiği99
Şekil 8. 9 %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %6 perlit ile hazırlanan kapsüllerin salım grafiği 100
Şekil 8. 10 %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %10 perlit ile hazırlanan kapsüllerin salım grafiği 100
Şekil 8. 11 Na-Aljinat (%1,5;2;2,5) ve öğütülmüş kil (%1;2;4) ile hazırlanan kapsüllerin salım grafikleri 101
Şekil 8. 12 Öğütülmüş kil ile hazırlanan kapsüllerin salım grafiği; a) %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %2 öğütülmüş kil, b) %1,5;2;2,5 b)Na-aljinat / %4 öğütülmüş kil 102
Şekil 8. 13 Bentonit ile hazırlanan kapsüllerin salım grafikleri; a)% 1,5Na-aljinat/% 2;4 bentonit, b) %2 Na-aljinat/% 2;4 bentonit, c)%2,5 Na-aljinat/% 2;4 bentonit 103
Şekil 8. 14 Bentonit ile hazırlanan kapsüllerin salım grafiği a) %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %2 beyaz kil, %1,5;2;2,5 b)Na-aljinat / %4 beyaz kil 104

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Bazı hayvansal gübrelerin kimyasal yapıları [4] 5
Çizelge 2. 2 Gübre kullanım etkinliğini azaltan faktörler [16] 13
Çizelge 2. 3 Önemli bitki besin maddeleri ve element sembolleri 17
Çizelge 2. 4 Bazı sebze ve meyvelerin toprak tuzluluğuna göre ürün kaybı [20] 20
Çizelge 3. 1 Solucan ve bahçe kompostunun besin bileşimleri ve miktarları [26] 27
Çizelge 4. 1 Kapsüllemede kullanılan malzemelerin önemli özellikleri [30] 33
Çizelge 5. 1 Perlit malzemesinin fiziksel özellikleri [36] 51
Çizelge 5. 2 Perlit malzemesinin kimyasal özellikleri (%) [36] 52
Çizelge 6. 1 KNO_3 içeren kapsüllerin oluşturulmasında kullanılan Na-aljinat ve perlit yüzdeleri 57
Çizelge 6. 2 KNO_3 içeren kapsüllerin oluşturulmasında kullanılan Na-aljinat ve öğütülmüş kil yüzdeleri 57
Çizelge 6. 3 KNO_3 içeren kapsüllerin oluşturulmasında kullanılan Na-aljinat ve bentonit yüzdeleri 57
Çizelge 6. 4 Bitki besinlerini içeren kapsül gübrede kullanılan Na-aljinat ve perlit oranları 58
Çizelge 6. 5 200 ml saf su içerisindeki bitki besinleri ve miktarları 58
Çizelge 7. 1 %1,5 Na-aljinat / %0,5 Perlit oranları ile hazırlanan kapsüllerin potansiyometrede okunan potansiyel ve salınan NO^-_3 iyonunun konsantrasyon değerleri 77

ÖZET

KONTROLLÜ SALIM YAPAN KAPSÜL GÜBRE GELİŞTİRİLMESİ

Nur DURMUŞ

Biyomühendislik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim IŞILDAK

Toprak içerisinde bulunan bitki besin maddelerinin kontrol altında tutulması ve seviyelerinin bitkinin ihtiyacına göre optimum miktarda kalabilmesi için gübreleme yapılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, artan nüfus karşısında verimli tarım arazilerinin azalması ve hatalı uygulamaların toprak bünyesinde oluşturduğu olumsuz gelişmelerin giderilmesi için biyoteknolojik yöntemlerle kontrollü salım yapan gübre geliştirilmesidir. Bu çalışma kapsamında halihazırda kullanılan ve araştırma aşamasında olan gübreler ve çeşitleri araştırıldı.

Tez çalışmasının birinci aşamasında, bitkinin ihtiyacı olan besin elementleri enkapsülasyon yöntemi ile biyopolimer matriks içerisine hapsedildi. Kaplama materyali olarak farklı oranlarda Na-Aljinat ve perlit malzemeleri kullanıldı. Ayrıca kaplama materyalinde Na-aljinata ek olarak bentonit ve öğütülmüş kil malzemeleride eklenerek, kapsüllerin performansları değerlendirilmiş ve perlit malzemesi ile karşılaştırma yapılmıştır. Bitki beslemesi için gerekli olan tuzlar ve kaplama malzemeleri distile suda karıştırılarak $CaCl_2$ çözeltisine damlatıldı ve kürecikler oluşturuldu. Etüve konulan küreciklerin içerisindeki su tamamen buharlaştırıldı ve küçük tanecikli kapsüller elde edildi. Elde edilen kapsüller suyun içerisine bırakılarak potansiyometrik ölçümleri yapıldı. Ölçülen milivolt değerleri konsantrasyona dönüştürülerek gübrelerin salım sürelerine karşılık konsantrasyon değerlerini gösteren grafikler çizildi. Elde edilen grafikler yorumlanarak uygun olan oran belirlendi.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise elektrokimyasal analiz sonuçları değerlendirilerek bitki besinlerini içerisinde barındıran, farklı oranlarda Na-aljinat ve perlit içeren kapsül

gübreler elde edildi. Kapsül gübrelerle maydanoz tohumu ekildi ve bitki büyümesi gözlemlendi. Aynı zamanda gübresiz ve ticari kapsül gübre ile de maydonoz tohumu ekildi. Bitkinin büyüme aşamaları fotoğraflandı.

Bu tez kapsamında elde edilen sonuçlara göre kaplama materyalinde Na-aljinata ek olarak perlit malzemesinin eklenmesi ve perlit oranının artması ile gübrenin tutuculuk özelliğinin arttığı ve sulu ortamda daha yavaş salım gerçekleştiği görüldü. Ayrıca bitiki üzerindeki denemelerde bu sonucu destekler nitelikteydi. Yapılan denemeler ve ölçümlerle gübredeki optimum kaplama materyali oranının %1,5 Na-Aljinat - %10 perlit olduğu sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: Kapsül gübre, Na-aljinat, perlit, enkapsülasyon, kontrollü salımlı gübre

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF CONTROLLED RELEASE CAPSULE FERTILIZER

Nur DURMUŞ

Department of Bioengineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. İbrahim IŞILDAK

Fertilizing is carried out for the control of plants nutrients available in the soil and keeping the nutrient level at the optimum amount according to plant's need. The aim of this study is to develop a controlled-release fertilizer with biotechnological methods for the reduction of fertile agricultural lands in response to increasing population and to eliminate the negative developments in the soil. In this study, fertilizers and varieties which are currently in use and in research phase were investigated.

In the first stage of the thesis study, the nutrient elements needed by the plant were confined to the biopolymer matrix by the encapsulation method. Different ratio of Na-Alginate and perlite materials were used as coating materials. Furthermore, in addition to Na-alginate were added bentonite and clay materials in the coating material, and the performance of the capsules was evaluated and compared with the perlite material. Salts and coating materials required for plant feeding were mixed in distilled water and added to $CaCl_2$ solution and beads were formed. The water in the beads was completely evaporated in oven and small granular capsules were obtained. The obtained capsules were placed in water and their potentiometric measurements were measured. The measured millivolt values were converted to concentration and graphs which is showing the concentration values against the release times of the fertilizers, were plotted. The obtained graphics were interpreted and the appropriate ratio was determined.

In the second stage of the study, electrochemical analysis results were evaluated and capsule fertilizers containing Na-alginate and perlite in different ratios were obtained. Parsley seeds were sown with capsule fertilizers and plant growth was observed. At the same time unfertilized and commercial capsule fertilizer with parsley seeds were sown. The plant's growth stages were photographed.

According to the results obtained in this thesis, the addition of perlite material in addition to Na-alginate in the coating material and the increase in perlite ratio increased the fertility of the fertilizer and released slower in the aqueous medium. It also supported this result in experiments on the plant. It was concluded that the rate of optimum coating material in the fertilizer was 1.5% Na-Alginate - 10% perlite.

Keywords: Capsule fertilizer, Na-alginate, perlite, encapsulation, controlled release fertilizer

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Toprakta bitki gelişimi için organik maddelere ihtiyaç vardır. Bitkilerin bu ihtiyacı gübreleme yoluyla karşılanmaktadır. Dünya nüfusundaki artışa paralel olarak tarımsal üretimde artmakta, fakat bu durum fazla miktarda gübre kullanımını gerektirmektedir. Aşırı derecede kullanılan kümyasal gübreler toprağın verimini azaltmakta, ürün kalitesini düşürmekte ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Tüm bu olumsuzlukları azaltmak için bitki beslemede yeni yaklaşımlar ortaya atılmıştır. Bu yaklaşımlar biyolojik gübreleme, humin maddeleri kullanılarak gübreleme, gübre etkinliğinin artırılması ve hassas tarım teknikleri gibi yöntemlerdir. Özellikle gübre kullanım etkinliğinin artırılması, riskleri azaltarak bitki besin ihtiyacını karşılamakta önemli rol oynamaktadır [1].

Gübre etkinliğini artırmanın bir yolu, gübreleri çözünmesini geciktirecek bir madde ile kaplanarak yavaş etkili hale getirilmesidir. Enkapsülasyon teknolojisi ile gübreler kapsül haline getirilerek, bitkinin ihtiyacı olan maddeler gübre içine hapsedilir ve bitkiye uygulandığında yavaş ve kontrollü bir şekilde besin salımı gerçekleşir. Enkapsülasyonda kaplama materyalinde kullanılan malzeme seçimi önemli rol oynamaktadır. Bu malzemeler biyobozunur malzemelerden oluşmalıdır, aktif malzeme ile reaksiyona girmemelidir ve içerisindeki maddeleri kontrollü ve yavaş şekilde dış ortama salmalıdır. Enkapsülasyon teknolojisinde kapsül oluşturmada farklı yöntemler kulanılmaktadır. Kullanılacak olan yöntemler uygulama alanlarına göre seçilmektedir [2]. Bu tez çalışmasında iyonik jelleşme yöntemi ile kapsül gübreler elde edildi.

Kaplama materyali olarak Na-aljinat, perlit, bentonit ve öğütülmüş kil malzemeleri farklı oranlarda kullanılarak kapsül gübreler oluşturuldu ve elektrokimyasal analiz ile salım performansları ve tutuculuk özellikleri değerlendirildi. Perlit, bentonit ve öğütülmüş kil arasında karşılaştırma yapıldı. Elde edilen sonuçlar değerlendirildi ve kaplama materyalinde Na-aljinat ve perlit kullanılarak hazırlanan kapsül gübreler bitkiler üzerinde denenerek bitki büyümesi gözlemlendi. Kaplama materyalinde Na-aljinata ek olarak perlit malzemesinin kullanılması ve oranının artırılması kapsül gübrenin tutuculuk özelliğini artırdığı ve besin salımının daha yavaş gerçekleştiği saptandı.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada enkapsülasyon teknolojisi kullanılarak kontrollü salım yapan kapsül gübre geliştirilmesi, kaplama materyalinde perlit malzemesi kullanımının gübrenin tutuculuk özelliği ve salım performansına etkisinin incelenmesi, kaplama materyalinde kullanılan malzemelerin en iyi oranlarının belirlenerek kapsül gübre oluşturulması, gübrelerin bitki büyümesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve ticari kapsül gübre ile karşılaştırma yapılması amaçlanmaktadır.

1.3 Hipotez

Bu yüksek lisans tez çalışmasında kaplama materyalinde Na-aljinata ek olarak perlit malzemesinin kullanılmasının, gübrenin etkinliğini artırması, bitkiye uygulanan gübreden besin salımının yavaş ve kontrollü bir şekilde gerçekleşmesi, gübrenin besin maddelerini içinde tutma özelliğini artırması ve bitki uygulamalarında verimi artırması beklenmektedir. Elde edilen kapsül gübreler çevre dostu, ekonomik, uzun raf ömürlü, taşınması ve uygulanması kolay formlar halinde üretilebilecektir.

Çevre dostu bir yaklaşım içeren bu çalışma ile ekolojik tarım faaliyetlerine önemli bir katkı sağlanacağı ve zirai faydaları olacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 2

GÜBRE VE GÜBRELEME

2.1 Gübre ve Çeşitleri

Tarımsal üretim bir enerji dönüşüm sistemidir. Bu sistemde bitkiler güneş enerjisini kimyasal enerjiye ve gıda enerjisine dönüştürürler. Güneşten gelen ışık enerjisi yeşil bitki yapraklarında fotosentez ile kimyasal enerji olarak organik maddede bağlanmaktadır. Bu sistemdeki diğer girdiler su ve bitki besinleridir. Su ve bitki besinlerinin yeterli olmadığı durumlarda yapılması gereken işlemler sulama ve gübrelemedir.

Gübre, içerisinde bir veya birkaç bitki besin maddesini bir arada bulunduran, bitkilerin gelişmesini artırmak ve ürün miktarını çoğaltmak amacıyla toprağa ve bitkiye uygulanan bileşiklerdir [1].

Gübreler yapılarına göre organik ve inorganik olmak üzere ikiye ayrılırlar.

2.1.1 Organik Gübreler

Organik gübreler bitki, hayvan ve insan kaynaklı kalıntılar ve atıklardan oluşmaktadır. Organik maddenin kaynağına göre farklı oranlarda azot, fosfor, potasyum ve diğer besin elementlerini içerirler. Besin maddesi içerikleri azdır. Fakat toprağa organik madde kazandırırlar ve toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirirler. Toprağın su tutma kapasitesini, havalanmasını, ısınmasını ve su geçirgenliğinin artmasını sağlar. Bir diğer yararları topraktaki mikrobiyolojik faaliyetleri hızlandırmalarıdır.

2.1.1.1 Çiftlik Gübresi

Hayvansal üretimin yoğun olduğu tarımsal işletmelerde, hayvanların katı ve sıvı dışkıları ile sap, saman gibi malzemeleri içeren gübrelerdir. Besin madde içeriklerinin korunması için uygun koşullarda hazırlanmalı ve depolanmalıdır. Çiftlik gübreleri biriktirilip olgunlaşmaya bırakılarak veya taze olarak uygulama yapılabilir. Bu gübreler tüm topraklarda ve bitkilerde kullanılabilir [3].

Çizelge 2.1'de bazı hayvansal gübrelerin kimyasal yapıları verilmektedir. Çiftlik gübrelerinin içerikleri hayvanların cinsine, beslenmesine, yaşına, cinsiyetlerine ve barınaklarda kullanılan yataklıkların etkisine göre değişiklik göstermektedir.

Çizelge 2. 1 Bazı hayvansal gübrelerin kimyasal yapıları [4]

Cinsi	**H_2O (%)**	**Kuru Madde (%)**	**N (%)**	**P_2O_5 (%)**	**K_2O (%)**	**CaO**
Sığır	83,2	16,2	0,29	0,17	0,10	0,34
At	75,7	24,3	0,44	0,35	0,35	0,15
Koyun	65,5	34,8	0,55	0,31	0,15	0,46
Kaz, Ördek	75,0	25,0	0,80	1,00	0,80	1,30
Güvercin, Tavuk	62,0	38,0	1,70	1,60	0,90	2,00

Çiftlik gübreleri toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini etkilerler. Toprağın su tutma kapasitesini ve havalanma özelliğini artırırlar. Aynı zamanda toprağın sıkışmasını engelleyerek köklerin daha kolay gelişmesini sağlarlar. Tuzluluk ve pH düzenlenmesine, mikroorganizma faaliyetlerinin hızlanması yardımcı olurlar [4].

2.1.1.2 Tavuk Gübresi

Tavuk gübresi, içerdiği azot miktarı ve zengin bitki besin kaynaklarıyla çiftlik gübresinden daha fazla besin içeriğine sahiptir. Yapılan bir çalışmada [5], bitkiye gübre

uygulamasının ilk yılında tavuk gübresindeki azotun %65'inin, fosforun %50'sinin ve potasyumun %75'inin yararlı olduğu ortaya çıkmıştır.

Kümeslerden elde edilen gübreler oldukça nemli olduklarından direk kullanılmamaktadır. Yemlerle karıştırılmakta veya kurutma işlemlerinden geçmektedirler. Fakat kurutma işlemleri hızlı bir şekilde yapılmalıdır. Çünkü gübrenin nemli olması amonyak buharlaşması yoluyla azot miktarının azalmasına yol açar. Bu yüzden nitrat ve amonyum kayıplarının önlenmesi önemlidir.

Tavuk gübrelerinin bileşimleri, tavuk çeşidine, yetiştirme yöntemlerine, yataklık özellikleri ve bekletilme sürelerine göre farklılık göstermektedir [6].

2.1.1.3 Kompost

Tarımsal işletmelerden elde edilen bitkisel, hayvansal ve organik bazlı atıkların kontrollü bir şekilde ayrışma ve olgunlaşmaya tabi tutulması sonucu elde edilen kompost organik gübre olarak kullanılır. Kompost gübreleri aerobik şartlar altında ayrışmaya uğradığından patojen değillerdir. Tüm toprak ve bitki türleri için uygundur. Ayrıca atıklardan biyogaz üretimi sonucunda da gübre olarak kullanılabilirler.

Kompost hazırlanmasın sırasında dikkat edilmesi gereken durumlar;

- C/N oranı,
- Parça büyüklüğü,
- Nem,
- Havalandırma,
- Isı,
- Patojen ve parazitlerin yok edilmesi,
- Gerekli durumlarda mikrobiyal aktivitenin hızlandırılmasıdır [3], [4].

2.1.1.4 Yeşil Gübre

Toprağın içeriğindeki organik madde miktarını arttırmak amacıyla yetiştirilen bitkilerin, gelişimlerinin belli evrelerinde ve yeşil halde iken toprak altına gömülen gübre türüdür. Yeşil gübre için en uygun bitkiler fiğ, bakla, yonca, üçgül gibi bitkilerdir. Bu bitkiler köklerinde azot biriktirir ve bundan dolayı toprağı azotça zenginleştirirler [7].

Yeşil gübrenin faydaları;

- Toprağı organik madde ve azot bakımından zenginleştirir.
- Toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını düzenler.
- Toprakta humus birikimi sağlar.
- Mikrobiyal faaliyetleri arttırır ve böylelikle toprağın biyolojik özelliklerini düzenler.
- Besin maddelerini toprağın üst kısımlarına taşır.
- Toprağa funda yapı kazandırır.
- Bitkilerin köklerinin gelişmesini sağlar ve dondan zarar görmesini engeller.
- Toprağın yüzeyini örterek infiltrasyonunu arttırır.

Yeşil gübrenin tek olumsuz yönü toprağın pH' ının düşmesine neden olur [4].

2.1.1.5 Sıvı Dışkı

Hayvanların sıvı dışkıları ile ahırlar yıkanırken katı kısımdan geçen besin maddeleri gübre olarak kullanılmaktadır. Hayvanlarda sodyumun %40'ı ve potasyumun %65'i sıvı dışkı ile atılır. Bu besin maddeleri suda kolayca çözünür ve bitkiler tarafından kolayca alınabilir. Sıvı dışkı kurak mevsimlerde bitkilerde yanmaya sebep olduğundan kullanılmaz. Genelde kış ve bahar aylarında bitkilere uygulanır. Sürekli kullanılması halinde bitkide fosfor ve kalsiyum eksikliği meydana gelir [3].

2.1.1.6 Kanalizyon Atıkları

Kanalizasyon atıkları azot, fosfor, potasyum ve diğer elementleri içerir ve toprağın fiziksel özelliklerini düzenler. İçerdiği azot ve fosforun yaklaşık %70'i organik olmasına rağmen potasyumun tamamı inorganiktir. Uygulandığı ilk yıl bitkiye fazla faydası olmaz. Ayrıca fazla miktarda ağır metaller (Zn, Cu, Pb, Ni, Cd vs.) içerdiklerinden bitkilere ve bunları tüketen hayvan ve insanlara toksik etki yapabilir. Zararlı mikroorganizmalar içerdiğinden tüketiciye zarar verebilir.

2.1.1.7 Bitkisel Atıklar

- Gıda fabrikalarında oluşan atıklar

- Tahıl sap, saman ve kavuzları
- Suda yetişen bitkiler ve deniz yosunları

Organik gübre olarak bitkisel kökenli kaynaklardır.

2.1.1.8 Hayvansal Atıklar

Mezbaha, kesimhane atıkları, balık unu ve kemik unu organik gübre olarak kulllanılan hayvansal kaynaklardır [3].

2.1.2 İnorganik Gübreler

Bitkilerin ihtiyacı olan besin elementlerini içeren doğal veya inorganik maddelerden oluşan gübrelerdir. İnorganik gübrelere kimyasal gübre veya ticari gübre de denilmektedir. Uzun süre kullanılması sonucunda besin maddeleri azalan ve verimsizleşen toprakların bitki besin maddelerini kısa zamanda karşılamak amacıyla kullanılırlar.

İnorganik gübreler, sıvı ve katı halde bulunmaktadırlar. Taşınmaları ve depolanmaları kolaydır. Toz halindeki gübrelerin nem tutması ve taşınmasındaki zorluklardan dolayı sıvı gübreler önem kazanmaktadır. İnorganik gübreler bileşimlerindeki maddelerine göre gruplandırılırlar.

2.1.2.1 Azotlu Gübreler

İçerisinde azot bulunduran gübrelerdir. Amonyum sülfat, amonyum nitrat ve üre gibi çeşitleri bulunmaktadır. Azotlu gübreler;

- Kök oluşumuna, bitkinin gelişmesine ve büyümesine yardımcı olur,
- Bitkilerin daha hızlı olgunlaşmasını sağlar,
- Ürün verimini ve kalitesini yükseltir.

Azotlu gübrelerin büyük bir kısmı toprağın yıkanması ve dentrifikasyonla kayba uğramaktadır. Bu kayıpları azaltmak için; azotun daha yavaş salımını gerçekleştirecek kimyasallar veya kaplanmış gübreler kullanılabilir. Bazı kimyasallar kullanılarak nitrifikasyon yavaşlatılabilir. Gübrelerin tane büyüklüğü düzenlenerek kayıp azaltılabilir.

Azot eksikliğine bağlı olarak bitkide birçok problem meydana gelebilir. Bitkinin yaprakları ve damarları önce açık yeşile, daha sonra sarıya döner. Bitkilerde protein ve enzimlerin sentezi yavaşlar ve buna bağlı olarak bitki gelişimi durarak bodurlaşır. Meyveler erken olgunlaşarak dökülür ve verim azalır. Toprağın azot eksikliği toprağa bol miktarda ahır gübresi veya azotlu gübre verilerek giderilebilir.

Azot fazlalığında da bazı problemler meydana gelmektedir. Gübre fazla kullanıldığında bitki çok hızlı büyür, ekinler artar. Tane verimi artmaz, aksine sap verimi artar. Bitkinin dokuları ve hücre zarları gevşer. Kuraklığa, hastalığa dayanıklılık azalır. Maddi kayıp meydana gelir.

Farklı dozlarda kalsiyum ve farklı azotlu gübrelerin (amonyum nitrat, kalsiyum nitrat, üre) domates verimi ve kalsiyum içeriği üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada [8], domates yetiştirilen ortama kalsiyum ilave edilmesi ve üst gübrelemede amonyum nitrat gübresi kullanılması verimi olumlu yönde etkilemiştir. Ayrıca domates meyvesinde kalsiyum miktarını artırmak için üst gübrelemede üre gübresinin tercih edilebileceği belirtilmiştir.

2000-2001 yılları arasında Erzurum'da yapılan bir çalışmada [9], farklı azot gübre formları (amonyum sülfat, amonyum nitrat, üre) kullanılarak üç farklı gelişme dönemlerinde farklı miktarlarda patateslere uygulanmıştır. Çalışmada azot gübre çeşitlerinin patates verimine ve yumru büyüklüğüne etkileri araştırılmıştır. Araştırmada amonyum sülfat formundaki gübrenin tek seferde ve dikim öncesinde uygulandığında yumru verimini artırdığı sonucuna varılmıştır.

2.1.2.2 Fosforlu Gübreler

İçerisinde fosfor bulunduran gübrelerdir. Normal süperfosfat, triple süperfosfat, dikalsiyum fosfat, ham fosfat fosforlu gübre çeşitleridir. Öğütülmüş ham fosfat direk olarak gübre olarak kullanılabilir. Ancak ham fosfatın işlenerek daha konsantre ve bitkilerin daha kolay yararlanabileceği hale getirilmelidir. Türkiye toprakları genellikle kireçlidir. Kireçli topraklarda gübrenin içerdiği fosforun yararı azaldığından suda eriyebilen fosfor miktarı yüksek olan gübreler tercih edilmelidir. Yapılan çalışmalarda

diamonyum fosfat Türkiye'nin her yerinde kullanılabileceğini göstermiştir. Fosforlu gübreler;

- Kök oluşumunu ve gelişimini sağlar,
- Bitkilerin daha hızlı olgunlaşmasını sağlar,
- Ürün kalitesini ve verimi artırır,
- Tane dökümünü önler,
- Bitkilerin hastalığa ve kuraklığa karşı daha dayanıklı olmasını sağlar.

Fosfor eksikliğinde bitki gelişiminde sıkıntılar yaşanır. Bitkilerin sapları zayıflar ve kök gelişimi sınırlı kalır. Meyve bitkilerinde çiçek ve tomurcuk açması yavaşlar. Ürün verimi düşer.

Fosfor fazlalığında ise bitkinin demir ve çinko alımı zayıflar.

Çeşitli fosfor gübrelerinin buğday verimi ve bazı bitki besin maddesi içeriği üzerine etkisini görmek amacıyla yapılan bir çalışmada [10], süper kompoze, DAP ve triple süperfosfat gübreleri kullanılmıştır. Farklı dozlardaki fosfor gübreleri, buğdayın kuru madde miktarını ve tane verimini önemli derecede artırmıştır. Uygulanan gübre çeşitleri arasında sap ve tane verimi açısından önemli bir fark oluşmamıştır. Fakat kontrol bitki ile karşılaştırıldığında önemli derecede fark ortaya çıkmıştır.

2.1.2.3 Potasyumlu Gübreler

İçerisinde potasyum bulunduran gübrelerdir. Potasyum gübrelerinin hepsi suda çözündüğünden, potasyum tuzlarının çoğu (%91-93) gübre olarak kullanılmaktadır. En çok kullanılan potasyumlu gübre çeşitleri potasyum klorür, potasyum sülfat ve potasyum magnezyum sülfat gübreleridir. Türkiye'de ise potasyum sülfat kullanılmaktadır. Son dönemlerde bu çeşide alternatif olarak potasyum klorürde küçük ölçüde kullanılmaktadır. Topraklarımızın potasyum içeriği yeterli seviyede olduğundan, azotlu ve fosforlu gübrelere göre daha az kullanılmaktadır. Kalsiyum ile potasyum arasında kuvvetli bir antagonistik ilişkiden dolayı kireçli topraklarda potasyum alımı azalmaktadır. Bu durum şekerli-yağlı endüstri bitkilerinde potasyum azlığına ve verimin düşmesine neden olmaktadır.

Potasyumlu gübreler;

- Bitkinin çevresel şartlara dayanıklılığını artırır.
- Ürün verim ve kalitesini yükseltir.
- Azot fazlalığında meydana gelecek zararları önler.
- Bitkinin daha hızlı olgunlaşmasını sağlar.

Potasyum eksikliği daha çok genç bitkilerde problem yaratmaktadır. Potasyum bitkilerin su ve besin alımlarını sağladığı için, yetersiz potasyuma sahip bitkiler yeterli miktarda su alıp depolayamazlar. Bunun sonucunda yapraklarda ölü dokular meydana gelir. Ayrıca meyve kalitesi düşer.

Potasyum fazlalığında ise bitki hücreleri aşırı su alarak şişer ve terleme olayı ile su kaybı azalır. Sürgün verimi yavaşlar, odunsu bitkilerde arazlar oluşabilir [3], [7], [11].

Anason bitkisine yapılan bir çalışmada [12], farklı dozlarda potasyum anasona uygulanarak verim ve yapraktaki besin maddesi içerikleri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda uygulanan potasyum dozları arttıkça tohum veriminin de arttığı görülmüştür. En yüksek verim 2,4 g K_2O/saksı dozunda saptanmıştır. Araştırmada elde edilen bir başka sonuç ise, potasyum miktarı arttıkça yapraklardaki N, K, P, Fe ve Cu miktarları artış gösterirken, Ca, Mg, Na, Zn ve Mn miktarlarında azalma gözlemlenmiştir. Yapraktaki Ca ve Mg miktarı oldukça önemli bir seviyede azalmıştır. Bunun sebebi ise potasyum ile kalsiyum ve magnezyum arasındaki antagonistik ilişkiden kaynaklanmaktadır.

Manisa-Alaşehir yöresinde çekirdeksiz üzüm üretiminde yapılan bir çalışmada [13], bitkiye yapraktan farklı dozlarda potasyum nitrat (KNO_3) uygulanarak yaprağın N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn ve Cu içerikleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda, artan KNO_3 uygulamasının N, P ve K kapsamında olumlu, Mg içeriğinde ise olumsuz etki gösterdiği görülmüştür. Ayrıca Zn, Mn ve Cu dışındaki mikro elementler üzerinde de önemli seviyede etkiler yaratmıştır. Mikro elementler içerisinde yalnızca Cu içeriğinde önemli bir artış olduğu sonucuna varılmıştır.

2.1.2.4 Çok Besinli (Kompoze) Gübreler

İki veya daha fazla bitki besin maddesi içeren gübrelere denir. Genellikle azot, fosfor ve potasyum içerirler. Bu oranlar N:P:K sırasına göre % olarak verilmektedir. Üç madde dışında içerisinde mikro elementlerde bulunmaktadır. En sık kullanılan çeşitleri amonyum fosfat, nitrofosfat ve NPK gübreleridir.

Kompoze gübre içerisindeki maddeler normalde farklı dönemlerde uygulandıklarından sorun oluşabilir. Ancak doğru yapılacak olan doz, çeşit ve uygulamalarda bu sorunun önüne geçilebilir.

Kompoze gübreler;

- Birden fazla bitki besinlerini bir arada barındırdığından taşınmaları, uygulamaları kolay ve ekonomiktir.
- Kullanıcıya zamandan ve iş gücünden tasarruf sağlar.
- Ürün verimi artar [3], [7].

2.1.2.5 Mikro Besin Elementli Gübreler

Kimyevi Gübreler Yönetmeliği'nde belirtildiği gibi, mikro besin maddelerinden (Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Cl, B) birini veya birden fazlasını içeren katı ve sıvı formdaki gübrelerdir. Bu maddelerin kullanım oranları yönetmelikte belirtilmektedir. Ancak bu oranların üstünde etken madde içeren sıvı gübrelerde üretilmektedir. Bu gübreler damla ve yağmurlama yöntemiyle yaprağa ve toprağa uygulanmaktadır [14].

2.2 Gübreleme ve Önemi

Gübrelerin toprağa veya doğrudan bitkiye verilmesi işlemine gübreleme denir. Bitkisel üretimde amaçlanan verim ve kaliteye ulaşmak için içerisinde bir veya birden fazla bitki besin maddesi içeren organik veya inorganik bileşiklerin toprağa veya doğrudan bitkiye verilmesidir.

Gübrelemenin iki amacı vardır;

1. Toprağı bitki besin maddelerince zenginleştirmek,

2. Toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerini düzelterek, yetiştirilecek bitkiye daha iyi bir gelişme ortamı sağlamaktır.

Gübrelemenin yararları;

- ✓ Toprağın verimini arttırarak, birim alandan daha fazla verim alınmasını sağlar.
- ✓ Ürünlerin kalitesini arttırır.
- ✓ Toprak verimliliğinin sürekliliği sağlanır.
- ✓ Toprağın besin içeriği arttırılarak, kimyasal yapısı düzeltilir.
- ✓ Toprakta mikroorganizma faaliyeti arttırılarak toprağın verimliliği arttırılır.
- ✓ Bitkilere daha iyi bir gelişme ortamı sağlanır.
- ✓ Topraktan çeşitli sebeplerle uzaklaşan besinler toprağa geri kazandırılır [15].

Çizelge 2. 2 Gübre kullanım etkinliğini azaltan faktörler [16]

Faktörler	**Kullanım Etkinliğini Azaltma Oranı, %**
Uygun olmayan tohum yatağı	10-20
Uygun olmayan bitki çeşidi	20-40
Geç ekim/dikim	20-40
Erken ekim/dikim	5-20
Yetersiz vejetasyon	10-25
Yetersiz sulama	10-20
Hastalık	15-20
Zararlılar	5-50
Yanlış gübre uygulama zamanı	5-10
Bilinçsiz gübreleme	20-50

Gübreleme işleminin yararlı olması için toprağa ve bitkiye uygun gübre çeşidinin kullanılması önemlidir. Çizelge 2.2' de gübre kullanım etkinliğini azaltan faktörler ve azaltma oranları verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılabileceği gibi gübrelerin uygun zamanda, doğru şekilde ve yeterli miktarda toprağa verilmesi gübrelerin kullanım

etkinliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Gübreleme zamanın belirlenmesinde önemli olan bitkinin ihtiyacına göre gerekli ortamı ve besin maddesi sağlanmasıdır. Bu nedenle bitkiye verilen gübre miktarı her bölgeye göre değişiklik göstermektedir. Zamanında gübreleme yapılmaması sonucunda gübreden beklenen yarar büyük oranda azalmaktadır. Uygulama zamanı organik ve inorganik gübreye göre farklılık gösterir. Organik gübrelerde ayrışma süreleri göz önünde tutulur ve ekimden önce verilir. İnorganik gübrelerde ise gübrenin kaybolma riski göz önünde tutularak N, P, K için değişik dönemler seçilir. Aynı zamanda doğru gübreleme için çevre ve toprak koşulları da iyi bilinmelidir [3], [14] ,[15].

Gübrelemede kullanılan uygulama yöntemleri seçimi uygulama zamanı kadar önemlidir. Başlıca beş gübreleme yöntemi uygulanmaktadır. Bunlar;

1. Serpme şeklinde gübreleme,
2. Banda (şeritsel) gübreleme,
3. Üstten ve sıra yanlarına gübreleme,
4. Yapraklara püskürtme,
5. Sulama suları ile gübreleme (fertigasyon)'dur [14].

2.2.1 Serpme Şeklinde Gübreleme

Gübrenin elle veya gübre dağıtıcı aletlerle toprak yüzeyine serpilmesi işlemidir. Bu yöntem gübrenin fazla kullanılması gerektiğinde ve suda çözünmeleri az olan, fazla toprak yüzeyi ile teması istenen fosforlu gübrelerin kullanıldığı durumlarda kullanılır. Sık ekimi yapılan bitkilerde kolay gübreleme sağladığından tercih edilmektedir. Bu yöntemle işçi ve zamandan da tasarruf sağlanır.

2.2.2 Banda (Şeritsel) Gübreleme

Ekimden önce tohum veya fidenin 3-5 cm altına veya belli bir uzaklığa şeritler halinde toplu halde gübrenin verilmesi işlemdir. Bu yöntem genellikle sıra araları geniş olan bitkilere ve fiksasyon kapasitesi yüksek olup fosforlu ve potasyumlu gübrelerin kullanılacağı zaman uygulanmaktadır. Gübrenin toprakla temas yüzeyi azaltılarak fiksasyon önlenmiş olur. Uygulama genellikle bitkinin kök bölgesine olduğu için genç

bitki kökleriyle kolayca alınabilir. Bitkiye yakın mesafelerde kullanılarak daha az miktarda gübre kullanılması sağlanabilir.

2.2.3 Üstten ve sıra yanlarına gübreleme

Ekimi yapılmış bitkiler toprak yüzeyine çıktıktan sonra üstten, sıra bitkilerine ise yandan gübreleme işlemi yapılır. Bu yöntem erken ilkbaharda azotlu gübrelemede kullanılmaktadır.

2.2.4 Yapraktan Gübreleme

İnorganik gübrelerin veya diğer besinlerin çözelti halinde, bitkiyi yakmayacak dozlarda bitkinin üst kısmına ve özellikle yapraklara püskürtülerek yapılan gübreleme işlemidir. Mikroelement besin içeren gübrelerin kullanımı için uygundur. Maddeler yaprakların kütikula tabakası veya gözeneklerinden girerek kloroplast hücrelerine ulaşır.

Fe, Zn, Mn ve Cu içeren besin maddeleri bazı nedenlerden dolayı bitkiler tarafından topraktan alınması güçleşir. Böyle durumlarda bu besin maddelerinin toprağa verilmesi yerine doğrudan bitkiye verilmesi daha iyi sonuçlar vermektedir.

Bu yöntemle bitkilere besin maddesi verilmesi, köklerden verilmesine göre daha hızlıdır. Bundan dolayı bitkilerdeki besin maddesi noksanlığının hızlı bir şekilde giderilmesinde kullanılabilecek iyi bir yöntemdir. Kuru tarım alanlarında bu yöntem oldukça önemlidir.

Yapraktan gübreleme işleminde yaprakların üzerinde tuz birikmesi sonucunda yaprak kavrulması veya yanmaları gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Bu yüzden düşük konsantrasyonlu çözeltiler kullanılmalıdır.

2.2.5 Sulama Suları ile Gübreleme (Fertigasyon)

Suda çözünebilir gübrelerin sulama suyuna karıştırılarak sulama ile bitkilere gübreleme yapılması işlemidir. Suda kolay çözünebilen azotlu ve potasyumlu gübreler bu yöntemle verilebilir. Zaman, işçilik ve yakıt tasarrufu bakımından avantajlı bir yöntemdir. Gübrelerin su ile birlikte sadece kök kısmına verilmesi ile kök gelişiminin

gerçekleşmediği yerlerde gereksiz gübre kullanımı önlenir. Gübreleme işlemi bitkiye kontrollü ve dengeli şekilde yapılır.

Bu yöntemin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Örneğin, fosforlu gübrelerin suda çözünürlüğü az olduğundan etkisi serpme şeklinde veya banda gübrelemeye göre daha azdır. Bazı besin maddeleri suda tamamen çözünebilmelerine rağmen, sistem içerisinde diğer besin maddeleri ile reaksiyona girerek çökeltiler oluşabilmektedir. Bu yüzden uygulama öncesi bu durum dikkate alınmalıdır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için tesis ve bakım masrafları ortaya çıkmaktadır [3], [14] ,[15].

2.3 Bitki Besin Elementleri

Bitkilerin içerdiği 40-50 elementten 16 tanesi büyümesi için gereklidir. Bitkilerin büyük bölümü karbon, hidrojen ve oksijenden oluşmaktadırlar. Bu elementleri genellikle atmosfer ve sudan alırlar. Diğer 13 element (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo ve Cl) topraktan veya gübrelerden sağlanmaktadır.

Bitki besin elementleri makro ve mikro besin elementleri olarak sınıflandırılabilir. Makro elementler bitkilerde fazla miktarda bulunan ve ihtiyaç duyulan elementlerdir. Kalsiyum, magnezyum ve sülfür toprak sisteminde büyüme kısıtlayıcı faktörlerinin daha az olduğundan ikincil besinler olarak adlandırılırlar. Mikro elementler ise, bitkilerde az bulunan ve fazla ihtiyaç duyulmayan elementlerdir. Bitkiler tarafından az alınırlar (Çizelge 2.3).

Çizelge 2. 3 Önemli bitki besin maddeleri ve element sembolleri

Hava ve su tarafından karşılanan besinler	Toprak sistemi tarafından karşılanan besinler		
Mineral olmayan besinler	Makro besin elementleri	İkincil besinler	Mikro besin elementleri
Karbon - C	Azot - N	Kalsiyum - Ca	Demir - Fe
Hidrojen - H	Fosfor - P	Magnezyum - Mg	Çinko - Zn
Oksijen - O	Potasyum - K	Sülfür - S	Manganez - Mn
			Bakır - Cu
			Bor - B
			Molibden - Mo
			Klor - Cl

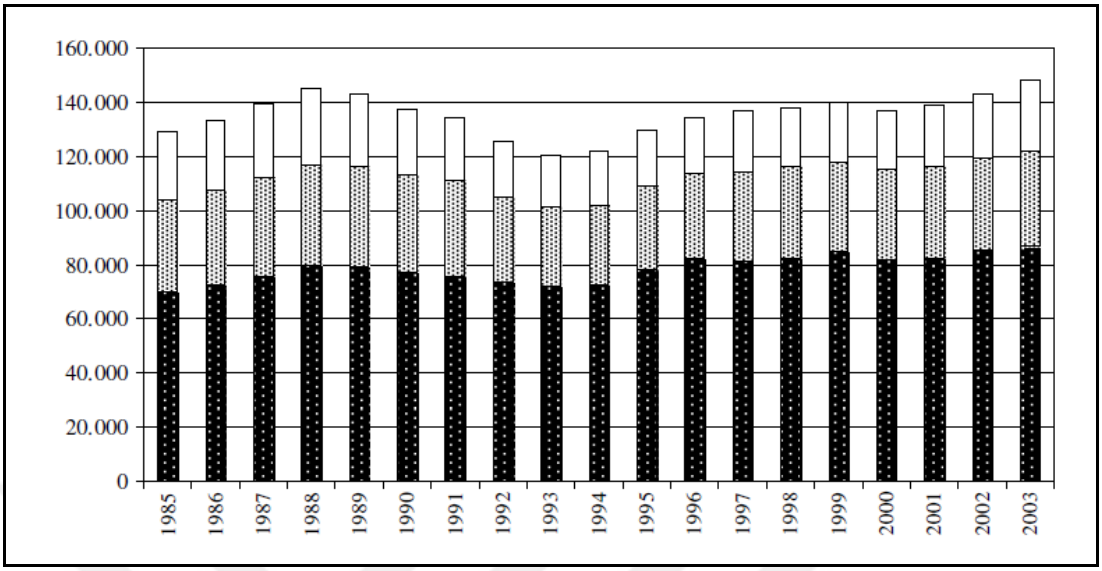
Besin maddelerinin bitkilere optimum yararları için ışık, sıcaklık ve suyun yeterli derecede bitkiye sağlanması gerekir. Bunların dışında uygulamalar, hastalık ve böceklerin kontrolü de bitki üretiminde önemli rol oynamaktadır.

Her bitki kendine özgüdür ve sahip olması gereken optimum besin aralığı bulunmaktadır. Besin içerikleri minimum seviye altında olduğunda besin eksikliği belirtileri göstermeye başlarlar. Gereğinden fazla alımlarda ise toksisite etki oluşarak bitkilerde zayıf büyüme gerçekleşir. Uygun besin maddeleri ve yeterli dozlarda bitkiye besin maddesi verilmesi önemlidir. Bu yüzden toprak ve bitki üzerinde analizler yapılarak ihtiyaç duyulan besin maddeleri ve miktarları belirlenebilir [17], [18].

2.4 Gübre – Çevre İlişkisi

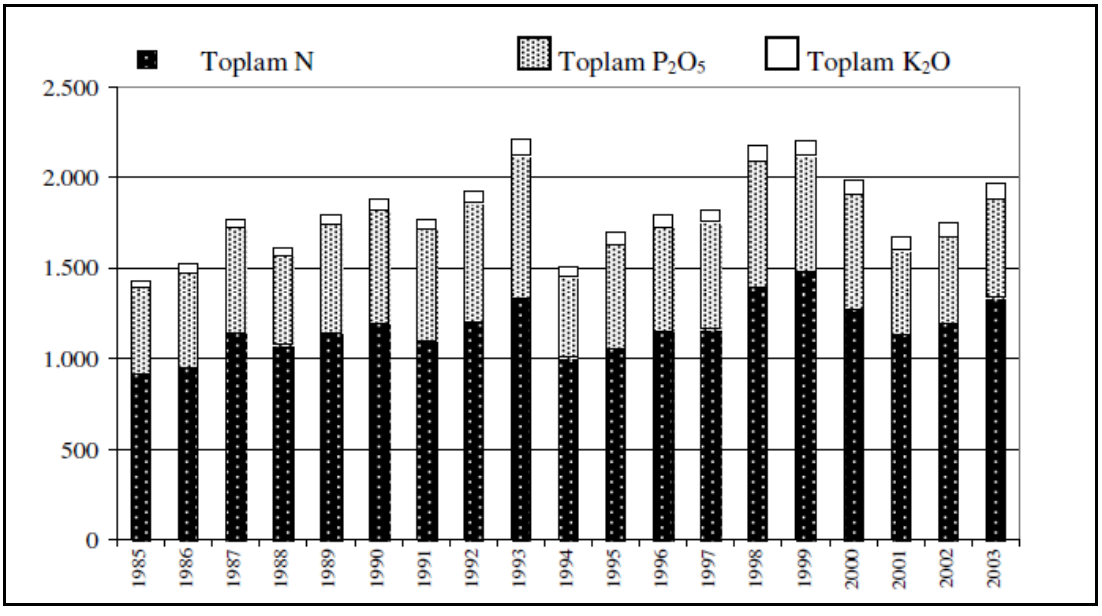
Dünya nüfusu sürekli olarak artmaktadır ve bu artışa bağlı olarak az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kıtlık ve yetersiz beslenme ortaya çıkmaktadır. Ayrıca tarım alanlarının sınıra ulaşmış olmasıyla birim alandan en yüksek verimi alabilmek bir zorunluluk haline gelmiştir. Şekil 2.1' de görüldüğü gibi dünyadaki gübre tüketimi uzun yıllardır etkili madde bazında 140 milyon ton civarındadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'ne göre bu miktar giderek artmaya devam edecektir. Bugün

dünyada toplam gübre tüketiminin %37'si gelişmiş ülkeler tarafında, %63'ü ise gelişmekte olan ülkeler tarafından tüketilmektedir.



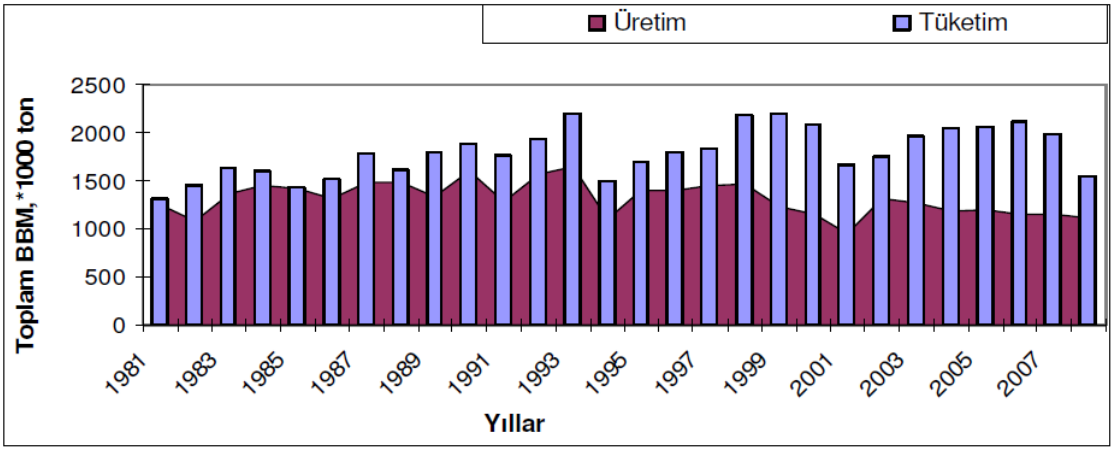
Şekil 2. 1 Yıllara göre etkili madde bazında dünyada tüketilen gübre miktarı, 1000 ton [1]

Gelişmekte olan ülkeler arasında bulunan Türkiye'de gübre tüketimi, uygulanan destek ve teşviklerle artış göstermiştir. Ekonomik krizlerin yaşandığı dönemlerde düşüş yaşanmasına rağmen son yıllarda artmaya devam etmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2. 2 Yıllara göre etkili madde bazında Türkiye'de tüketilen gübre miktarı, 1000 ton [1]

Türkiye'de birim alana gübre tüketimi gelişmiş ülkeler ve Avrupa Birliği ülkeleri ile kıyaslandığında hala geride olduğu görülmektedir. Uygun gübreleme yöntemleri kullanıp, toprak ve bitki analizleri yapılarak yeterli seviyede ve bilinçli bir şekilde gübre tüketimi yapılabilir.



Şekil 2. 3 Yıllara göre kimyasal gübre üretimi-tüketimi karşılaştırması [19]

Türkiye'de üretilen gübre miktarı ile tüketilen gübre miktarları arasında büyük fark bulunmaktadır (Şekil 2.3). 1981-1989 yılları arasında gübre üretimi tüketimin %88'ini karşılamaktaydı. Karşılama oranı sürekli azalmış ve 2005-2008 yıllarında %62'ye kadar düşmüştür. Gübre sektöründe dışa bağımlı olunması, ham madde temininde yaşanan sıkıntılar, yüksek maliyet ve rekabet bu düşüşe sebep olmaktadır [1], [19].

Kimyasal Gübrelerin Zararlı Etkileri

Kimyasal gübre kullanımının doğrudan ve dolaylı olarak çevreye zararları bulunmaktadır. Ayrıca bunların etki dereceleri ve süreleri de önem taşımaktadır. Gereğinden fazla ve uzun süreli gübre kullanımı çevreye birçok zarar vermektedir. Kimyasal gübrelerin çevre üzerinde yaratmış oldukları zararlı etkileri aşağıda verilmiştir.

Toprak Tuzluluğu

Toprakta birim hacimde çözünebilir tuzların miktarı toprak tuzluluğunu ifade etmektedir. Yüksek konsantrasyonlarda kullanılan gübrelerin uzun süre toprağa uygulanması toprakta tuz birikimine neden olmaktadır ve bunun sonucunda ürün verimi ve kalitesi düşmektedir. Topraktaki tuz oranının bazı sebze ve meyve verimi üzerine yapılan bir çalışmada [20], toprak tuzluluğu arttıkça meyve sebzelerdeki ürün

kaybının artmış olduğu görülmüştür (Çizelge 2.4). Ayrıca yüksek tuz konsantrasyonu toprağın fiziksel yapısına da zarar vermektedir.

Çizelge 2. 4 Bazı sebze ve meyvelerin toprak tuzluluğuna göre ürün kaybı [20]

Bitki	Eşik Değeri	Toprağın EC değeri dS m^{-1}		
		Ürün Kaybı %		
		10	25	50
Domates	2.5	3.5	5.0	7.6
Biber	1.3	2.2	3.3	5.1
Ispanak	3.7	5.5	7.0	8.0
Marul	1.3	2.1	3.2	5.2
Havuç	1.0	1.7	2.8	4.6
Patates	1.7	2.5	3.8	5.9
Elma	1.7	2.3	3.3	4.8
Çilek	1.0	1.3	1.8	2.5

Ağır Metal Birikimi

Tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar toprakta önemli derecede ağır metal birikimine neden olmaktadır. Bu ağır metallerden en önemlileri kadmiyum, kurşun, nikel, arsenik ve bakırdır. En çok fosforlu gübreler bu toksik elementlerin toprağa ulaşmasına sebep olmaktadır. Diğer gübrelerle kıyaslandığında fosfat gübresinin en yüksek kadmiyum ve arsenik konsantrasyonuna sahip olduğu belirlenmiştir.

Yoğun şekilde seracılığın yapıldığı Akdeniz Bölgesinde, tarım ilacı olarak yüksek oranda bakır içeren malzemeler kullanılmakta ve buna bağlı olarak toprağın bakır içeriği artmaktadır. Bu durum canlı sağlığı açısından büyük riskler meydana getirmekte ve bakır yoğunluğu artıkça ürün miktarı, kök ağırlığı ve bitki boyunu kısaltıcı gibi zararlı etkileri olmaktadır.

Ötrofikasyon

Gübreleme ile durgun ve akarsularda azot ve fosfor konsantrasyonunun artması sonucunda alg ve bitkisel yaşamın artmasına bağlı olarak su kalitesinin ve hayvansal yaşamın bozulmasıdır. Son yıllarda zararlı etkileri olan bu bitki türlerinde artış olmuştur. Bu bitkiler toksik oldukları ve yenebilir olmadıkları için canlılara zarar vermektedirler. Ötrofikasyon sonucunda suların alt tabakasında oksijen azalması, suda

yaşayan canlıların sayısında azalma, zararlı türlerin çoğalması, koku oluşumu ortaya çıkmaktadır.

Sularda Nitrat Birikimi

Nitrifikasyon sonucunda gübre nitrata dönüşür ve negatif yüklü olan nitrat yıkanarak taban suyuna ulaşır. Gübrelerin en fazla sebep olduğu kirlilik unsurudur. Nitrat, gübrelerde sürekli artan miktarlarda kullanılmaktadır ve toprakta birikmektedir. Normal şartlarda azotlu gübrelerin % 50'si bitkiler tarafından kullanılır, % 2-20'si buharlaşır, % 15-25'i organik bileşikler ile bileşir ve geriye kalan % 2-10'luk kısmı yüzey ve yer altı sularına karışmaktadır. Sulardaki nitrat miktarının artması, canlılığın azalmasına, ölü çocuk doğumlarına, düşük doğum meydana gelmesine ve çiftlik hayvanlarında ağırlık kaybına neden olmaktadır. İnsanlar için toksik olmamasına rağmen nitrat iyonu, bebeklerde ölüme sebebiyet verebilen methemoglobin hastalığına neden olmaktadır.

Diğer Olumsuz Etkiler

Yüksek oranlarda azotlu gübre uygulanan topraklardaki bitkilerde kanserojen maddeler oluşmaktadır. Ayrıca gazlaşma sonucunda havayı olumsuz etkileyen azot oksit gibi gazlar sera etkisine neden olmaktadır.

Kimyasal gübrelerin kullanımı toprağın besin maddesi dengesini bozarak verim ve kaliteyi olumsuz etkilemektedir. Azotlu ve fosforlu gübrelerin bitkiye fazla verildiğinde bitki topraktan gereğinden fazla miktarda potasyum almaktadır ve toprağın mikro besin elementi dengesi bozulmaktadır.

Kimyasal gübrelerin bir diğer zararlı etkileri toprakta yaşayan organizmalaradır. Solucanlar ve toprak kurtçuklarına öldürücü etkileri bulunmaktadır. Bu canlılar gübre ile temaslarında ölebilirler. Yüksek miktarlarda azotlu gübre kullanımı bazı azot fikse eden ve nitrifikasyon gerçekleştiren mikroorganizmaların aktivitelerini olumsuz etkilemektedir [20].

BÖLÜM 3

BİTKİ BESLEMEDE YENİ YAKLAŞIMLAR

Beslenme ihtiyacı sürekli olarak artmıştır ve artmaya da devam edecektir. Dünya nüfusunun sürekli artması, su ve enerji kaynaklarının azalması, ekonomik kısıtlamalar ve kimyasal gübrelerin olumsuz etkileri tarımsal üretimde duyarlılığı arttırmaktadır. Dünya devletleri gıda güvenliğini sağlama ve tarımda verimliliği artırmak için çeşitli araştırmalar yapmaktadırlar.

Tarımsal üretimde biyoteknoloji alanındaki çalışmalar, bitki türelerinin hastalıklara dayanıklı hale getirilmesi, buna bağlı olarak pestisid ve gübre tüketiminin azaltılması yönündedir. Ayrıca bu alanda GDO (Genetiği Değiştirilmiş Organizma) çalışmaları da yapılarak, yüksek verim ve kaliteye sahip bitkiler geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Genetiği değiştirilmiş bitkilerin ticari olarak kullanılması birçok tartışmaya neden olmaktadır. Biyogüvenlik, alerjik reaksiyonların oluşma riski, antibiyotiğe dirençli mikroorganizmaların gelişmesi gibi konulardan dolayı bu tür çalışmalara mesafeli yaklaşılmaktadır.

Bitki beslenmesinde biyoteknolojik çalışmalar,

1. Biyolojik azot fiksasyonu yapan mikroorganizmaların geliştirilmesi,
2. Bitki köklerinin besin maddesi absorbsiyon kapasitelerinin artırılması yönündedir.

3.1 Biyolojik Gübreleme

Toprağın yapısında bulunan canlı organizmalar toprak florası ve toprak faunasından oluşmaktadır. Bu organizmalar toprak verimliliğinde önemli rol oynarlar. Etkinlik

yönünden ilk sırada yer alan toprak florası içinde; bakteriler, mantarlar, aktinomisetler ve algler yer almaktadır. Toprak faunası içinde; protozoalar, nematodlar, toprak solucanları ve diğer hayvanlar yer almaktadır. Bu organizmaların her birinin ayrı ayrı toprak üretkenliğine ve verimine yararı bulunmaktadır. Örneğin, bakteriler azot döngüsünde, aktinomisetler ayrışma ve huminifikasyonda, algler atmosfer azotunu fikse etmekte rol alırlar.

Kimyasal ilaçlar ve gübreler tarımsal üretimi artırmada uzun yıllar önemli rol oynamıştır. Düşük maliyetli olmaları ve verimi artırmaları dikkatleri daha çok üzerine çekse de, toprağın kimyasal ve biyolojik yapısının bozulmasına, bitkilerde besin dengesizliklerinin oluşmasına, hayvan ve insan yaşamı üzerine olan toksik etkilerinden dolayı çevre dostu bitki koruma konusuna odaklanılmıştır. Toprağın doğal yapısını geri kazanmak ve alternatif bir sürdürülebilir tarımsal sistemde kimyasal gübrelere alternatif olarak biyogübreler önemli bir rol oynamaktadır.

Biyolojik gübre veya biyogübre, tohum, bitki yüzeyi veya toprağa uygulandığında gerekli olan besinlerin arzını karşılayacak veya mevcudiyetini artıracak şekilde büyümeyi teşvik eden canlı mikroorganizmalar içeren gübre türüdür. Biyogübre azot fiksasyonu, fosfor çözünmesi ve büyüme destekleyici maddelerin sentezlenmesi gibi doğal proseslerle bitki büyümesini teşvik ederek bitkiye besin maddesi sağlar. Yapısındaki yararlı mikroorganizmalar toprağın doğal yapısını düzenleyerek toprak organik maddesi oluştururlar. Böylece toprağın verimi artar, bitki gelişimi hızlanır ve bitkiler hastalıklardan korunur. Biyogübreler toprak yaşamına zarar verecek kimyasal maddeleri içermediklerinden çevre dostu ve daha az maliyetlidirler. Bu gübrelerin kullanımıyla kimyasal gübre ve zirai ilaç kullanımı da azalır [21].

Biyogübrelerin kısa raf ömrü, uygun taşıyıcı materyallerin eksikliği, yüksek sıcaklığa duyarlılık, taşıma ve depolamadaki problemler biyogübre kullanımını kısıtlayan bazı faktörlerdir. Atıklardan biyogübre üretimi ayrı bir beceri ve teknolojik yöntemler gerektirmektedir. Kimyasal gübrelerle karşılaştırıldığında bitki üzerindeki etkileri daha yavaştır. Canlı mikroorganizma içerdiklerinden çevresel şartlara bağımlıdırlar [22].

Bitkilerin faydalı mikroorganizmalarla aşılanması yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Von Leeuwenhoek mikroskobik canlıların varlığını 1683 yılında kanıtlasa da, antik

çağlardan beri mikroorganizmalar bitki büyümesini sağlamakta kullanılmaktadırlar. Theophorastus (M.Ö. 372-287), toprağı daha da canlandırmak için farklı toprakları karıştırmayı önermiştir. Baklagil yetişmeyen topraklara, baklagil yetişebilen topraklar karıştırıldığında verimin arttığı görüldü. 19. Yüzyıl sonlarında, Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde baklagil inokülasyonunda doğal aşılanmış toprağın tohumlarla karıştırılması yöntemi kullanılmaya başlandı. On yıl sonra *Rhizobium sp.* ile bitki aşılaması için ilk patent alındı. 1930'lu ve 1940'lı yıllarda Rusya'da simbiyotik olmayan bakterilerle baklagil inokülasyonu ve fosfat çözünürlüğü için *Bacillus megaterium* doğu Avrupa'da büyük ölçekte kullanılmıştır.

1920'den sonra Hindistan'da Joshi Desai, Vyas, Biswas ve Acharya toprak azotunun iyileştirilmesi için baklagillerin fosfat gereksinimleri ve organik maddelerin anaerobik sindirimleri üzerine çalıştılar. Bu çalışmalar yapılırken Madhok, *Trifolium alexandrium* bakteri kültürünün kullanımını tanıttı. Sanyasi Raju ve Rajagopalan tarafından bengal gram ve yer fıstığı kök nodülasyonu üzerine çalışmalar yapıldı. 1956 yılında ilk kez rhizobial aşılayıcılarının üretimi Hindistan Tarım Araştırma Enstitüsü (IARI)'da yapıldı. Fakat ticari olarak satışı 1960 yılının sonunda soya fasulyesi ile gerçekleşti. Bunun dışında yağlı tohumlar ve yem baklası içinde aşılayıcılar üretildi.

Aşılayıcı kullanımı yıllar içerisinde önemli ölçüde artmıştır. Bununla beraber birçok özel üretici ortaya çıktığından aşılayıcı kalitesi kontrolü ihtiyacı doğmuştur. Bunun üzerine Hint Standartları Bürosu harekete geçerek *Rhizobium, Azotobacter, Azospirillum* ve fosfat çözündürücü bakteri aşılayıcıları için belirli standartlar getirilmiştir. Azot fiksasyonu yapan bakterilerin en önemlisi olan *Azospirillum* Brezilyalı bilim adamı J. Dobereiner tarafından keşfedilmiştir. 1970 yılının sonlarında bu bakterinin baklagilsiz bitki gelişminide artırdığı bulunmuştur. Ayrıca son yıllarda *Aeromonas veronii, Azotobacter* sp., *Azoarus* sp, Cyanobacteria *Alcaligenas*, *Burkholderia*, *Comamonas acidororans*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *rhizobia* (*Allorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizoblum*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium* ve *Sinorhizobium*) *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seroepdicae*, *Serratia*, *Variovorax paradoxus* ve *Xanthomonas maltopphilia* gibi rhizobakteri çeşitleri biyogübre veya biyolojik kontrol ajanları olarak kullanımları tespit edilmiştir [23].

Biyogübre yapımında mikroorganizmaların türleri, büyüme profilleri, optimum durumları ve aşı formülasyonları gibi dikkat edilmesi gereken faktörler vardır. Aşı formülasyonu, uygulama yöntemleri ve ürünün depolanması kritik önem taşımaktadır. Biyogübre üretiminde genel olarak 6 aşamadan oluşmaktadır;

1. Aktif organizma seçimi
2. Hedef mikroorganizmaların habitatlarından izolasyonu ve seçimi
3. Metot ve taşıyıcı materyal seçimi
4. Yayılma yönteminin seçimi
5. Prototip testler
6. Büyük ölçekli testler

Biyogübre üretiminde öncelikle aktif organizmalara karar verilmelidir. Örneğin, biyolojik gübre çeşidine ve uygulama ortamına göre organik asit bakterileri, azot fiksasyonu yapan bakteriler veya bazı organizma kombinasyonlarının kullanılması gibi organizma seçimi yapılmalıdır. Seçilmiş olan mikroorganizmaları habitatlarından ayırmak için izolasyon yapılır. Genellikle bu izolasyon işlemi bitki köklerinden yapılmaktadır. Daha sonra izole edilen organizmalar arasından en iyilerinin seçimi için petri kabı ve çalkalama üzerinde büyütülürler. Ürün formuna göre uygun olan taşıyıcı materyal belirlenir. Biyogübreler genellikle etkili mikroorganizmalar içeren taşıyıcı bazlı aşılayıcılar olarak hazırlanır. Organizmalar taşıyıcı materyal içerisine yerleştirilerek kolay kontrol edilebilir, uzun süre depolanabilir ve etkinliği artırılmış hale getirilmektedir. Yayılma yöntemi seçimi aşamasının amacı organizmaların optimum koşullarını belirlemektir. Bu yöntemde farklı parametre ve koşullarda büyüme profilleri oluşturulur ve en iyi sonuçlar elde edilir. Bir sonraki aşamada genellikle farklı şekillerde prototipler yapılarak test edilir. Son olarak, biyolojik gübre farklı ortam koşullarında etkinliğini ve limitlerini analiz etmek için büyük ölçekte test edilir [22].

Biyolojik gübre olarak kullanılacak mikroorganizmaların; üretimlerinin basit uygulanması, ucuz olmaları, yüksek metabolik aktivite göstermeleri ve uzun süre depolanabilir olmaları gerekmektedir. Mikroorganizmaların büyümesi için mikrobiyal ortamlar hazırlanırken aseptik teknikler kullanılmaktadır. Böylelikle patojenik organizmalardan gelebilecek olan potansiyel enfeksiyonlar engellenir. Mikroorganizma

kullanımı sırasında kullanılacak olan tüm teçhizatlar steril olmalıdır [24]. Taşıyıcı materyalin sterilizasyonu uzun depolamalarda taşıyıcı içerisindeki bakterilerin sayısının yüksek kalması için önemlidir. Sterilizasyon işlemleri için gama radyasyonu veya otoklav kullanılmaktadır. Ayrıca taşıyıcı materyal inoküle edilen bakteri ve bitki için toksik olmamalıdır [22].

Biyolojik gübrenin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Uygun bir şekilde uygulanmazsa gübreden yeterince yararlanılamayabilir. Mikrobiyal biyogübrelerin çoğu heterotropiktir. Kendi besinlerini hazırlayamazlar ve enerji gereksinimleri ve büyümeleri için topraktaki organik karbona ihtiyaçları vardır. Bu yüzden rizosfer bölgede kolonileşirler ya da yüksek bitkilerin kökleri içinde simbiyotik olarak yaşarlar. Simbiyotik şekilde yaşayan mikroorganizmalar karbon ihtiyaçlarını doğrudan kökten karşılarken, rizosfer bölgelerde kolonize olanlar organik karbon ihtiyaçlarını yüksek bitkilerin kök sızıntılarından sağlarlar. Bundan dolayı mikrobiyal biyogübreler bakterilerin kök yüzeyine yapışacağı şekilde aşılanmalıdırlar. Bu durumlar göz önüne alınarak bazı aşılama yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar [24];

- Çamur aşılama tekniği ile tohumların aşılanması
- Tohum peletleme tekniği ile tohumların aşılanması
- Fidelerin aşılanması
- Katı inokülasyonu tekniği ile toprağın aşılanması

Toprağın bünyesinde bulunan ve toprak verimliliğini etkileyen canlı türünden biri de solucanlardır. Solucanlar beslenmek için toprağı vücutlarından geçirirler ve toprağın içerisindeki besin değeri yüksek olan kısımları atık olarak dışarı atarlar. Bu atıklar çözünmüş halde olduklarından bitkiler tarafından kolayca alınabilir formdadır. Ayrıca pek çok mikroorganizma türü içermektedir. Solucan gübresi biyolojik gübre tanımlamasına uymasa da üretimi ve kullanımı günden güne artan bir gübre çeşidi haline gelmiştir. Solucan gübresi, biohumus ve vermikompost olarak da adlandırılmaktadır [25]. Solucan atıkları bitki besin kaynağı açısından oldukça zengindir. Bahçe kompostunda yaklaşık iki kat daha fazla makro ve mikro besin içeririler (Çizelge 3.1). Bu haliyle bitkinin ihtiyacı olan tüm besinleri karşılar ve bitkilerin besin alımını artırır. Sindirim sistemlerinde ürettikleri antibiyotik özelliğine sahip maddeler,

aminoasitler, vitaminler ve içeriğinde bulunan hümik ve fülvik asit gibi maddeler bitki büyümesini geliştirir ve verimi artırır. Bitkilerin hastalıklara karşı direnci artar. İçerdiği azot bağlayan bakterilerle toprakta azotun geri kazanılmasında önemli rol oynar. Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirirler. Makro gözenek alanlarını artırarak bitki büyümesini iyileştirir. Toprağın pH'sı, mikrobiyolojik faaliyetleri ve toprak enzimleri üzerine olumlu etkileri vardır. Ayrıca çevre kirliliğine neden olan kimyasalların oranını azaltır [26].

Çizelge 3. 1 Solucan ve bahçe kompostunun besin bileşimleri ve miktarları [26]

Besin Elementi	Solucan Kompostu (%)	Bahçe Kompostu(%)
Organik karbon	9,8-13,4	12,2
Nitrojen	0,51-1,61	0,8
Fosfor	0,19-1,02	0,35
Potasyum	0,15-0,73	0,48
Kalsiyum	1,18-7,61	2,27
Magnezyum	0,093-0,568	0,57
Sodyum	0,058-0,158	<0,01
Çinko	0,0042-0,110	0,0012
Bakır	0,0026-0,0048	0,0017
Demir	0,2050-1,3313	1,1690
Manganez	0,0105-0,2038	0,0414

3.2 Humin Maddeleri

Toprağın doğal yapısı içerisinde bulunan organik maddelerin humunifikasyona uğramasıyla elde edilen yan ürünlere humin maddeleri denir. Bu maddeler biyosentezin dünyadaki en yaygın ürünleridir. Sadece toprakta değil, aynı zamanda nehirler, göller, okyanuslar gibi çeşitli kaynaklarda farklı miktarlarda bulunurlar. Her yerde bulunmalarına rağmen, çevre koşullarına bağlı olarak molekül yapıları değiştiğinden humin maddelerin yapıları tam olarak tanımlanamamıştır. Aynı molekül yapıya sahip humin maddesi bulmak imkansızdır. Gübre olarak özellikle humik asit kullanılmaktadır.

Humin maddelerinin özellikle düşük organik madde içeren topraklara olan faydasından dolayı kullanımı oldukça yaygındır. Besin ve karbonun küresel döngüsünde rol oynadığından ekosistemin önemli bir parçasıdır. Bu organik bileşiklerin faydaları şöyle sıralanabilir;

- Başta azot, fosfor, kükürt olmak üzere bitki besin alımını artırırlar.
- Azot gübresi ihtiyacını azaltır.
- Toprağın biyolojik aktivitesini artırır.
- Minerallerin çözünürlüğünü artırır.
- Toprağın yapısını iyileştirir.
- Azot, fosfor, kükürt ve çinko gibi besinlerin depolanmasını sağlar.
- Sus tutma kapasitesini artırarak, kuraklılığa dayanıklılığı artırır [27].

3.3 Gübre Etkinliğinin Artırılması

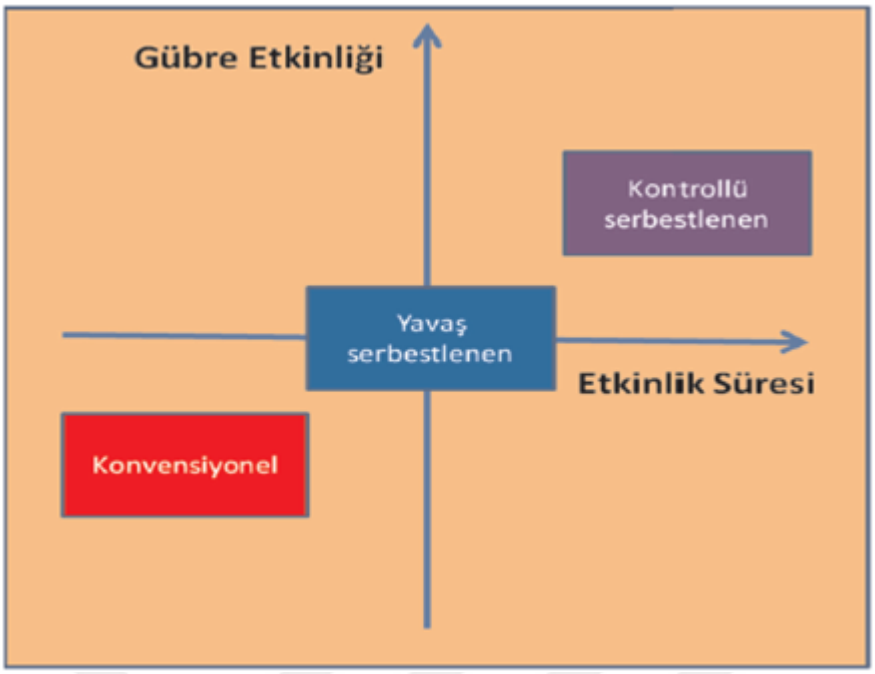
Dünyada kimyasal gübre kullanımı hızlı bir şekilde artış göstermesine rağmen kaliteli ve sürdürülebilir bir üretim modeli elde edilememektedir. Bitkisel üretimde kaliteli ve sürdürülebilir bir model için bitkinin gübreden yeterince faydalanabilmesi gerekmektedir. Bu durum gübre kullanım etkinliği ile yakından ilgilidir. Gübre uygulamalarının bitki, gübre, toprak ve tarım teknikleri dikkate alınmadan yapılması, düşük verime, kalitesiz ürünlere, ekonomik sorunlara ve çevresel sıkıntılara neden olmaktadır. En uygun koşullarda dahi gübreden yaralanma oranı % 50-60'lardır. Gübrelerin yaklaşık yarısı toprakta kalmakta, sulara karışmakta veya gazlaşarak havaya karışmaktadır. Bitkilerin ihtiyacı olan besinlerin tamamı gübreden sağlanabilirse daha az gübre kullanılacaktır [28].

Bitki beslemedeki en kritik nokta, bitki gelişme sürecinde besin elementinin topraktaki miktarının bitki için noksanlık sınırının üzerinde, ancak fazlalık sınırının altında tutulmasıdır. Böylece bitkide optimum gelişme ve ürün sağlanırken ekonomik kayıplar azalacaktır. Ayrıca gübrelerin çevreye vermiş oldukları zararlarda en aza indirgenecektir. Bilinçli gübre kullanımı ve toprak amenajmanının gübre kullanım etkinliği açısından önemlidir.

Gübre etkinliğinin artırılmasına üzerine geliştirilen yöntemlerin başında fertigasyon gelmektedir. Bu yöntemde bitki besinleri sulama sularına katılır ve toprağa uygulanır. Son yıllarda oldukça geliştirilen bu yöntemde yeterli miktarda su kullanılarak gübre etkinliği artırılmakta ve az miktarda gübre uygulanmaktadır. Fertigasyon yöntemiyle besin elementleri bitkinin ihtiyacına göre istenilen konsantrasyonda ve zamanda verilebilir. Böylelikle ürün verimi ve kalitesi artarken çevresel olumsuzluklarda ortadan kalkmaktadır. Bu yöntemin bir diğer avantajı da, gübrelerin üniform olarak dağılması ile gübre kayıplarının azalması ve buna bağlı olarak gübre, gübreleme maliyetinin düşmesidir.

Fertigasyon yönteminin pahalı alet ve donanım gerektirmesinden dolayı ilk yatırım masrafları yüksektir. Kompleks bir sistem olduğundan düzenli işletebilecek bilgi ve beceriye sahip olunması gerekir. Bazı durumlarda istenilen konsatrasyonları sağlamak zordur ve damlatıcıların tıkanması gibi sorunlar yaşanabilmektedir. Tüm gübreler bu yöntemle uygulanamaz. Çünkü bazı besin elementleri birbiri ile reaksiyona girerek çökelti oluşturabilir. Bu tür gübreler ayrı tanklarda veya aynı tankta farklı zamanlarda uygulanmalıdır [1].

Gübre etkinliğini artırma yöntemlerinden biride gübreleri yavaş ve kontrollü çözünür şekilde yarayışlı bir forma dönüştürmektir. Bu yöntemle bitkilerin besin elementlerinden daha fazla yaralanması sağlanırken, az gübre ile daha geniş alanların gübrelenmesi sağlanabilir. Özellikle azotun kaybolması azaltılarak, bitkilerin daha uzun süre azottan faydalanması sağlanır (Şekil 3.1). Bu yüzden yavaş salımlı gübreler genellikle azotlu gübreleri kapsamaktadır [28].



Şekil 3. 1 Gübre çözünürlükleri ve etkinlik süreleri [28]

Gübrelerin yavaş salımlı hale getirilmesi, çözünmesini geciktirecek bir madde ile kaplanması veya büyüklüklerinin artırılması ile sağlanır.

Gübreler üretildikten sonra ikinci bir işlemden geçerek dış yüzeyleri kaplanır. Kaplama maddesi olarak genelde kükürt kullanılır ve bu yöntem genelde üre gübrelerine uygulanmaktadır. Kükürt kaplı üreler toprağın kükürt eksikliğini de karşıladığı için son yıllarda ülkemizde de sıkça kullanılmaktadır.

Üre gübrelerinin dışında azotlu gübrelerde de formaldehit kullanılarak yavaş salımlı hale getirilmektedir. Bunun dışında gübrelerin yüzeyi plastikle veya mumla kaplanarak çözünme fiziksel olarak yavaşlatılmaktadır.

Gübrelerde kullanılan kaplama maddeleri toprakta birikerek çevre açısından olumsuzluklar yaratabilir. Bu kimyasallar sadece bitkiye ve doğaya değil, aynı zamanda toprak mikrobiyolojisini bozarak toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını da değiştirebilir. Ayrıca kaplama materyalleri ek bir bütçe gerektirdiğinden ürünler daha pahalı olmaktadır.

Gübrelerin yavaş salımlı hale getirilmesi gübre granüllerinin irileştirilmesi gibi mekanik yollarla da yapılabilir. Gübrelerin büyüklükleri artıkça çözünmeleri daha fazla zaman

alacaktır ve böylelikle toprağa sürekli gübre uygulanmasına gerek kalmayacaktır. Bu tür gübrelere “süper granül” denilmektedir.

3.4 Hassas Tarım Teknikleri

Gübre etkinliği artırmada kullanılan yöntemlerin beraberinde bazı olumsuzlukları getirmesi nedeniyle bu konuda doğal uygulamalar önerilmektedir. Önerilen bu yöntemlerden biri hassas tarım teknikleridir. Aslında bu yöntem çağımızın terk etmiş olduğu eski tarım yöntemleridir, alternatif bir tarımsal üretim modeli değildir. Hassas tarım uygulamalarına karışık ekim sistemi, toprakta organik madde birikimi sağlanması, etkin sulama uygulamaları, toprak işlemenin minimum düzeyde yapılması örnek verilebilir [1].

BÖLÜM 4

ENKAPSÜLASYON TEKNOLOJİSİ

Enkapsülasyon, bir malzemenin veya bir malzeme karışımının başka bir malzeme veya sistemle kaplandığı veya içinde tutulduğu tekniktir. Kaplanan malzeme aktif veya çekirdek malzeme olarak adlandırılır. Çekirdek malzemeler katı parçacıklar, sıvı damlacıklar veya gaz kabarcıkları içerir. Kaplama malzemesi ise kabuk, duvar malzemesi, taşıyıcı veya kapsül olarak adlandırılır [29].

Kapsülleme yöntemlerinin, 1950'lerde mürekkeplerin mikrokapsüllemesinden başlayıp farmasötik uygulamalar ve gıda teknolojisine yönelik son derece yenilikçi kapsül sistemlerine kadar geniş bir yelpazede aktif bileşenlerin formülasyonu için uygun olduğu bilinmektedir. Enkapsülasyonla ilgili yayınlar gün geçtikçe hızlı bir şekilde artmaktadır. Her yıl yaklaşık 2500 yayın yayınlanmakta ve 1500'den fazla patent alınmaktadır [30].

Kapsülleme, çekirdek malzemenin fiziksel özelliklerinin modifikasyonunu, daha kolay kullanımı, birbirleri ile reaksiyona girecek maddeler ayırmada, etkin bir ajanın yeterli miktarda ve kontrollü olarak dağılmasını sağlamada kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde, kapsülleme işlemi ile uygulama ve depolama sırasında biyoaktif bileşenlerin stabilitesi korunur. Biyoaktif bileşenler ile çevre arasında koruyucu bir bariyer oluşturarak tat ve aroma farklılaşması önlenir, biyoyararlanmaları artırır [27]. Mikrobiyal biyolojik ajanların kapsüllenmesi ile ajanlar biyotik ve abiyotik stres faktörlerine (kirlenmeler, toprak antagonistleri, sıcaklık, kuruluk, UV ışınları, mekanik stres) karşı korunur. Bu durum raf ömrünü uzatır ve uzun süre metabolik aktivitelerin sürdürülmesini sağlar. Metabolik aktivitelerin korunması ile biyokütle tasarrufu sağlanır

ve formülasyonların maliyeti düşer. Ayrıca hücreler matrisin şişmesi veya taşıyıcı malzemenin bozunması ile yavaşça salınır. Böylelikle daha az miktarda ve uygulamayla toprakta daha uzun süre hücrelerin tutulması sağlanır [30].

4.1 Enkapsülasyonda Kullanılan Malzemelerin Seçimi

Kapsül matrikslerde kullanılan polimerler 'kapsül malzemeleri' olarak adlandırılır. Kapsül yapıları için en uygun malzemeler biyobozunur polimerlerdir. Bunlar aljinatlar, karragenanlar, agar/agaroz, reçineler, nişasta, nişasta bazlı malzemeler, selüloz, pektin, kitosan ve türevleri gibi doğal polisakkaritlerdir. Bunların dışında poli-lisin gibi polipeptidler, mum gibi yağlar, lignin gibi biyopolimerler ve poliüre, poliakrilitler, silika bazlı polimerler gibi sentetik polimerlerde vardır. Kapsüllemede kullanılan bu malzemerlerin çizelge 4.1 'de önemli özellikleri belirtilmektedir [30].

Çizelge 4. 1 Kapsüllemede kullanılan malzemelerin önemli özellikleri [30]

Fiziko-kimyasal Özellikler	- Molekül ağırlığı ve dağılımı - Karşı iyonlar - Jelatin mekanizması - pH - Viskoelastik özellikler - Birincil, ikincil ve üçüncül yapılar
Ekonomik Faktörler	- Maliyet
Güvenlik ve Kalite	- Toksisite - Parçalanabilirlik - FDA veya EPA onayı

Kapsül malzemesi seçiminde kapsülün nihai ürüne vermesi gereken işlevsellik, kaplama malzemesi için potansiyel kısıtlamalar, kapsül konsantrasyonu, salım tipi, stabilite ve maliyet önemli kriterlerdir.

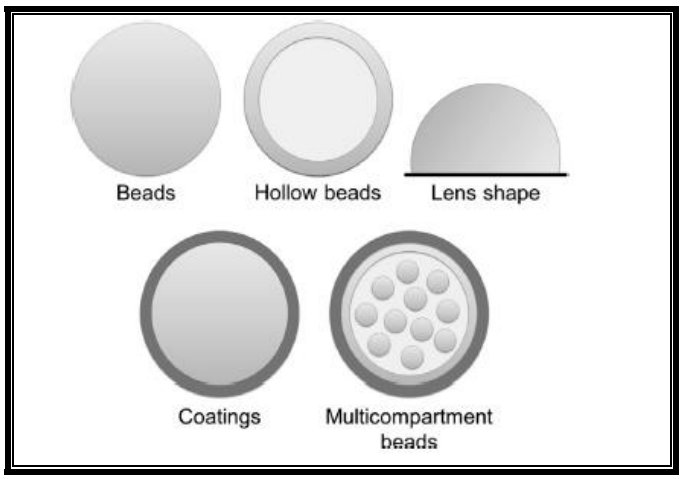
Kabuk bölümünde kullanılan malzemeler gıda sınıfı, biyobozunur ve iç fazla onu saran çevreyle arasında bariyer olmalıdır. Kabuk malzemesi aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [2].

- Aktif malzemeyi çevresel şartlara karşı maksimum derecede korumalıdır.
- Proses ve depolama sırasında aktif malzeme kapsül içerisinde kalmalı ve korunmalıdır.
- Aktif malzeme ile reaksiyona girmemelidir.
- Yüksek konsantrasyonda reolojik özellikleri iyi olmalıdır.
- Kapsülleme sırasında kolay işlenebilir olmalıdır.

4.2 Kapsül Morfolojisi

Kapsül morfolojileri kullanılan enkapsülasyon metodlarına bağlı olmakla birlikte genel olarak çekirdek-kabuk (kapsül) ve matris (küre) gibi iki ana formu ve yapısı bulunmaktadır. Kapsül tipinde, çekirdek malzeme kabuk içinde kapalı sürekli bir faz şeklindedir. Küre tipinde ise homojen bir katı faz kürenin içinde homojen olarak dağılmış şekildedir. Bu temel yapıların dışında kapsüller kabuk içinde çok sayıda çekirdek şeklinde de olabilirler [2],[31].

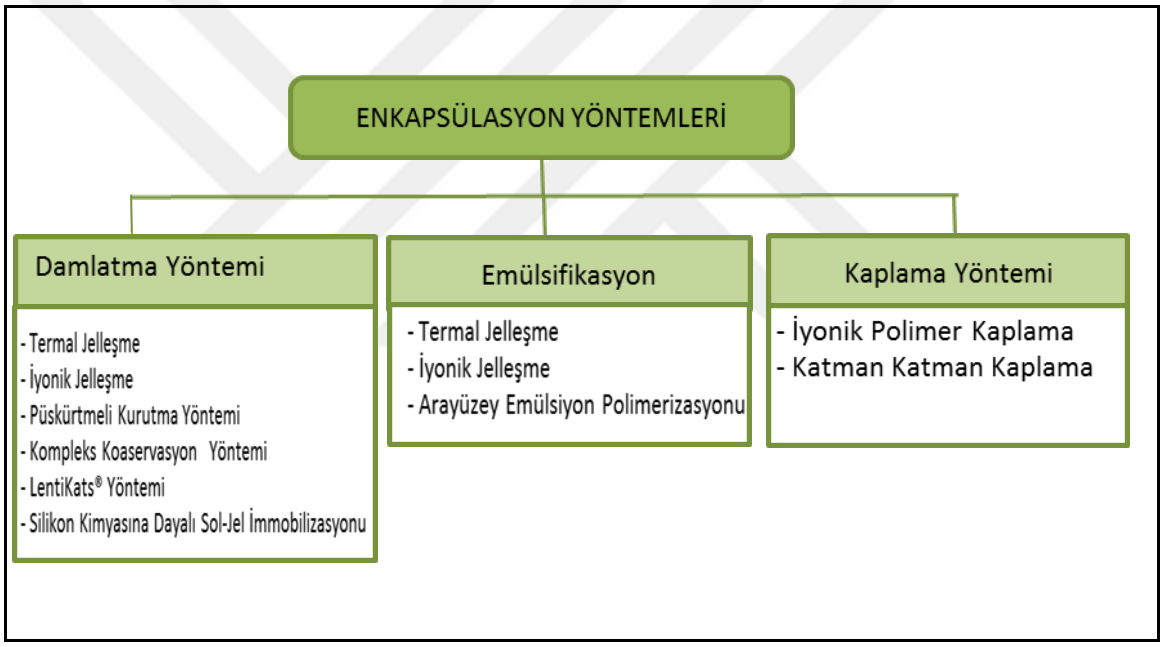
Farklı kapsül morfolojileri şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4. 1 Farklı kapsül morfolojileri: beads (küre), hollow beads (içi boş küre), lens shape (mercek şeklinde), coatings (kaplama), multicompartmet beads (çok çekirdekli küre) [30]

4.3 Enkapsülasyon Yöntemleri

Kapsüller genellikle sıvı damlacık veya parçacıkların damlatma veya emülsifikasyon yoluyla sıvı bir çözeltide katılaştırılmasıyla üretilir. Kullanılacak olan yöntemler uygulama alanlarına göre farklılık göstermektedir. Canlı hücrelerin kapsüllenmsinde yalnızca bir kısım enkapsülasyon yöntemleri uygundur. Mikrobiyal uygulamalar için en iyi kapsülleme yöntemi aljiat kullanımı ile iyonik jelleştirmedir. Diğer yöntemler ise ihtiyaca göre uyarlanabilir. Gıda bileşiklerin kapsüllenmesinde, genellikle sıvı formda bulunduklarından kurutma yöntemleri kullanmak daha uygundur. Enkapsülasyon yöntemleri şekil 4.2'de gösterilmektedir.



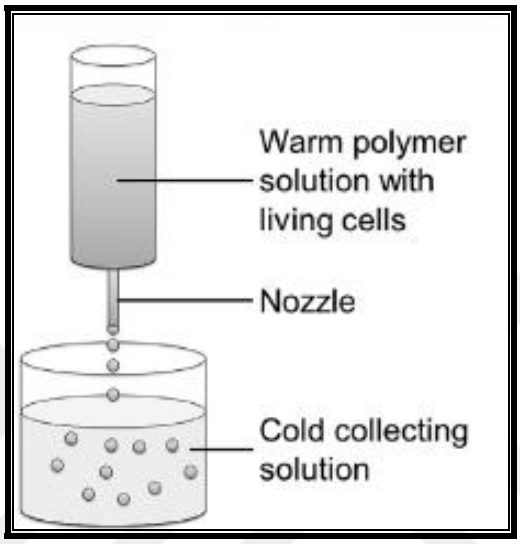
Şekil 4. 2 Enkapsülasyon Yöntemleri [30]

4.3.1 Damlatma Yöntemi

Bir sıvının uygun bir çözetiye damlatılmasıyla kapsül elde edilen basit bir yöntemdir. Genellikle bir iğneye bağlı şırınga kullanılır. Bu yöntemde üretim kapasitesi damlatma hızına bağlıdır ve kullanılan damlatma malzemesinin ucunun çapına bağlı olarak kapsül büyüklüğü ayarlanabilir. Damlatma cihazları, daha fazla sayıda iğne, damlacık kesme sitemleri kullanılarak daha yüksek akış hızında daha küçük damlacıklar elde edilebilir.

4.3.1.1 Termal Jelleşme Yöntemi

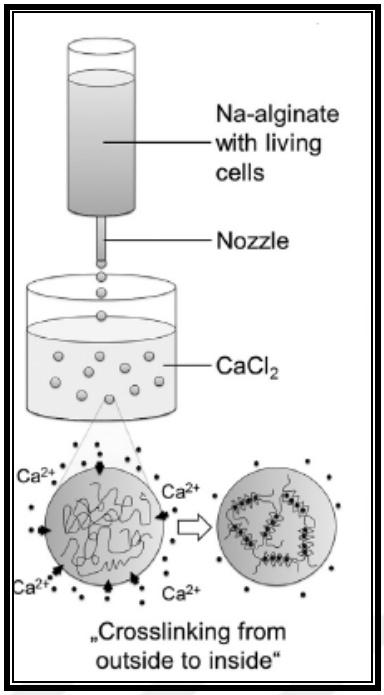
Termal jelleşme yöntemi ile canlı hücreleri veya aktif bir maddeyi içeren sıcak bir polimer çözeltisinin soğuk bir çözeltiye damlatılmasıyla kapsüller elde edilir. Jelleşme termal olarak tersine çevrilebilir ve böylece jeller yüksek sıcaklıklarda yumuşayabilir ve parçalanabilir. Karragenanlar, gellan sakızı, jelatin, agar ve agaroz gibi polimerler bu yöntemle küre şeklinde kapsül oluşturmada kullanılmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4. 3 Damlatma yöntemine dayalı termal jelleşme ile enkapsülasyon [30]

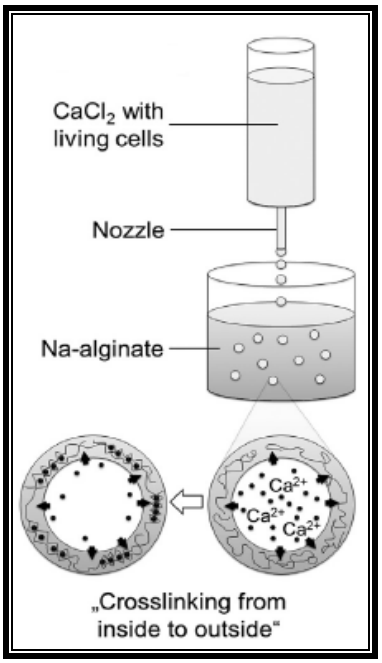
4.3.1.2 İyonik Jelleşme

İyonik jelleşme yönteminde, canlı hücreler veya aktif madde içeren sodyum aljinat, sodyum pektinat veya guar sakızı türevleri çözeltisi, iki değerlikli bir element içeren bir çapraz bağlanma çözeltisine damlatılır. Damlacıklar, milisaniyeler içerisinde iki değerlikli element içeren çözeltideki iyonların, su içeren bir hidrojel olan üç boyutlu sert yapı oluşturmak üzere negatif yüklü polimer zincirleri ile reaksiyona girerek katılaşmaya başlar. İyonlar sıvı damlacık içerisine dağılarak dışardan içeriye doğru çapraz bağlanma gerçekleşir. Böylelikle içinde aktif madde bulunan kapsüller oluşmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4. 4 Damlatma yöntemine dayalı iyonik jelleşme ile enkapsülasyon [30]

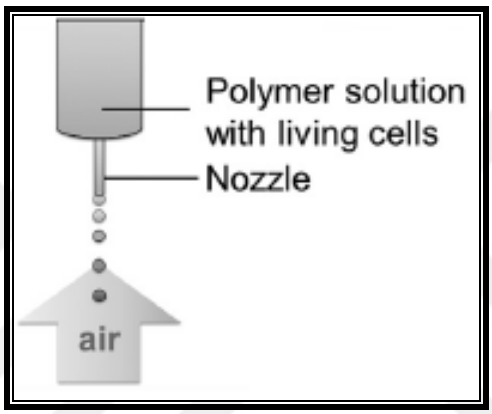
İyonik jelleşmede yönteminde, bir çapraz bağlanma çözeltisi aljinat çözeltisine damlatıldığında yüzeyde iyonotropik jelleşme meydana gelmekte ve içten dışa doğru çapraz bağlanma gerçekleşmektedir [30]. Böylelikle içi boş kapsüller elde edilmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4. 5 Damlatma yöntemine dayalı iyonik jelleşme ile enkapsülasyon (içi boş kapsül elde etme) [30]

4.3.1.3 Püskürtmeli Kurutma Yöntemi

Püskürtmeli kurutma yönteminde, polimer çözeltisi sıcak hava ortamına püskürtülür. Su kısa süre içinde buharlaşarak üründen uzaklaşır ve kapsüller elde edilir (Şekil 4.6). Kuruma süresi oldukça kısa sürer ve ürün teorik olarak yaş termo sıcaklığını aşmaz. Kapsül oluşumunun ve kurumanın aynı zamanda gerçekleşmesi bir avantajdır. Ayrıca 40 µm'den daha küçük partiküller elde edilmektedir. Bu özellik gıda sektöründe ürüne iyi bir duyusal ve dokusal özellik kazandırmaktadır. Ancak ekipman karışıklığı, kurutma bölümündeki bazı kötü koşullar ve partikül büyüklüğünün kontrol edilememesi bu yöntemin başlıca dezavantajlarındandır [30], [2].



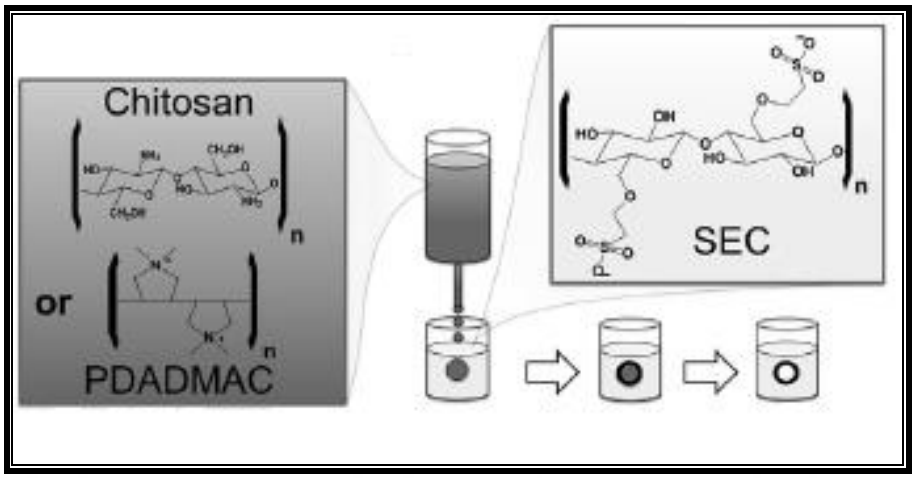
Şekil 4. 6 Damlatma yöntemine dayalı püskürtmeli kurutma ile enkapsülasyon [30]

4.3.1.4 Kompleks Koaservasyon Yöntemi

Kompleks koaservasyon, yoğun bir koaservat fazı ile seyreltik bir denge fazı oluşturan iki suda çözünebilen polimerlerin reaksiyonudur. 1930 yılında keşfedilen bu yöntem baskıya duyarlı kopya kağıdının geliştirilmesinde kullanılmıştır.

Polielektrolitler, fonksiyonel yüklü gruplar taşıyan makromoleküllerdlr. Bazı moleküller su içerisindeki asit ve bazın ayrışmasıyla yük kazanırlar. Bu durum aynı yükler arasında itişmeye ve yüksüz moleküllerle karşılaştırıldığında artan bir hidrasyona yol açar. Su içinde çözünmüş iki farklı kolloid bir araya getirildiğinde, birbirlerinin çekimlerini telafi edecek şekilde çekilirler. Böylelikle düşük hidratlaşma ve hafif hidratlı kompleks kolloidden küçük damlacıklar oluşur. Örnrğin, selüloz sülfat gibi bir polianyonu, polidillil dimetil amonyum klorür bir polikatyonun karşıt yüküne damlatılılır. Yüzeyde iki polielektrolit arasında reaksiyon meydana gelir ve çekirdeğin etrafında ince bir yarı

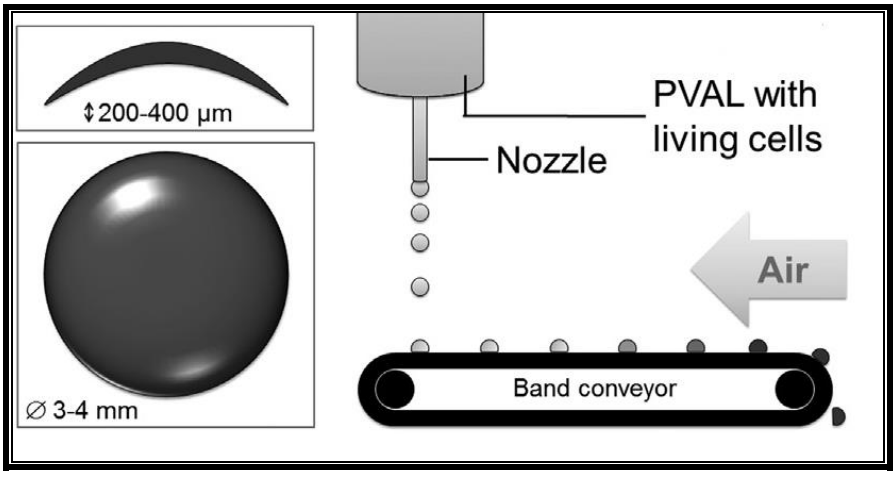
geçirgen zar oluşur (Şekil 4.7). Bu yöntemde maliyetin yüksek olmasından dolayı sık kullanılmamaktadır.



Şekil 4. 7 Damlatma yöntemine dayalı kompleks koaservasyon ile enkapsülasyon [30]

4.3.1.5 LentiKats® Yöntemi

Oda sıcaklığında polivinil-akol (PVA)-hidrojel jelleşmesini sağlayan bir varyasyon geliştirilmiştir. Bu yöntemde çekirdek malzemeyi içeren PVA ve gliserol karıştırılır. Karışım belli oranda su içeren hava ile kurutularak bir yüzeye damlatılır ve lens şeklinde damlacıklar oluşur (Şekil 4.8). Elde edilen kapsüller stabil hale gelmesi için oda sıcaklığında rehidre edilir. Biyopolimer hidrojellerin aksine LentiKats® düşük bir biyobozunurluğa ve yüksek mekanik stabiliteye sahiptir.

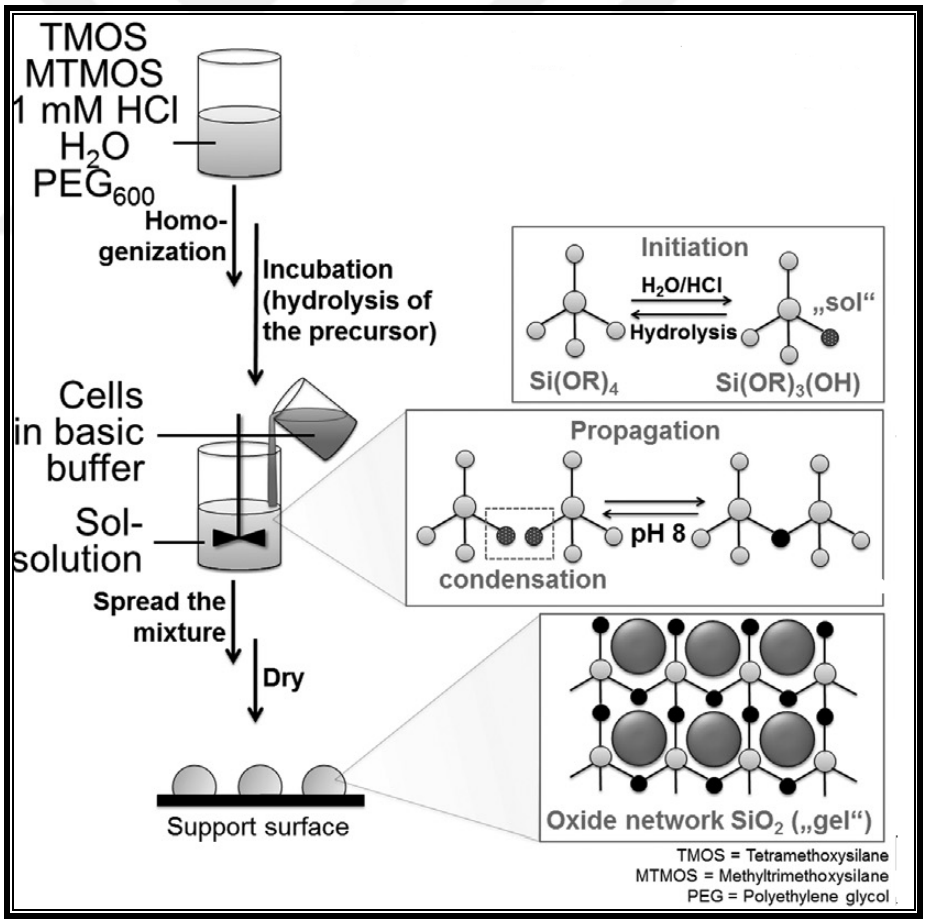


Şekil 4. 8 Damlatma yöntemine dayalı LentiKats® üretimi ile enkapsülasyon yöntemi [30]

4.3.1.6 Silikon Kimyasına Dayalı Sol-Jel İmmobilizasyonu

Biyopolimerler biyouyumluluk açısından avantajlı olmalarına rağmen kimyasal ve mekanik özellikler açısından kararsızdırlar. Bu yöntem cam benzeri inorganik matris materyallerini, biyomoleküller (proteinler, enzimler, antikorlar, DNA, fosfolipitler, polisakkaritler) veya hücrelerle birleştirmek için kullanılır. Silika jellerinin sentezi ile kimyasal, mekanik, termal ve biyolojik açıdan stabil matrisler elde edilebilir. Fakat bu jeller ve seramikler aşırı pH, sıcaklık ve toksik yan ürünlerinden dolayı biyouyumlu değillerdir.

Tetrametoksisilan veya metiltrimetoksisilan öncüllerin hidrolizini gerçekleştirmek için sulu ve asitli ortamda bir gece boyunca 4°C'de inkübe edilir ve silanol grupları (Si-OH) oluşur. Bazik ortamda silanol parçaları arasındaki reaksiyon sonucunda siloksan (Si-O-Si) polimeri oluşur (Şekil 4.9).



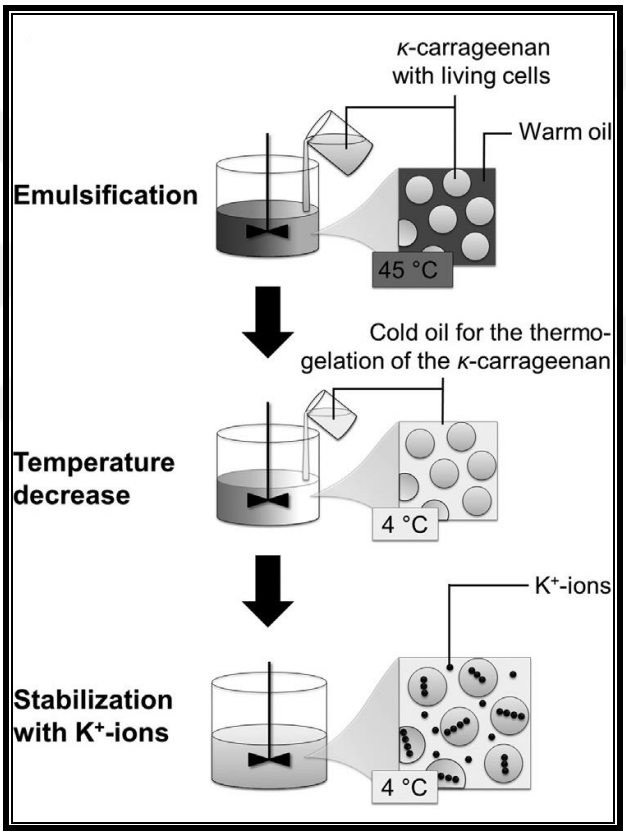
Şekil 4. 9 Silikon kimyasına dayalı sol-jel immobilizasyonu ile enkapsülasyon yöntemi [30]

4.3.2 Emülsifikasyon

Damlacık şeklinde kapsül oluşturmak için kullanılan yöntemlerden biri de emülsifikasyon yöntemidir. Damlatma yöntemine göre daha küçük kapsüller ve daha yüksek boyutlu dağılım elde edilir.

4.3.2.1 Termal Jelleşme

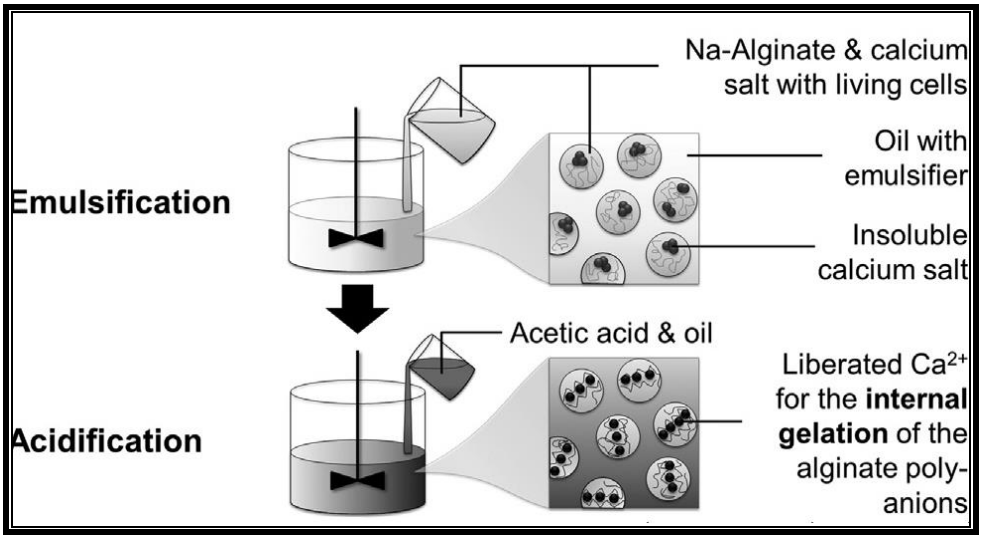
Bu yöntemde, karragenan, agaroz veya agar ve hücrelerin bulunduğu sulu bir çözelti sıcak bir yağ ile emülsifiye edilir. Karışımın sıcaklığı düşürülerek termal jelleşme sağlanır (Şekil 4.10).



Şekil 4. 10 Emülsifikasyon yöntemine dayalı termel jelleşme ile enkapsülasyon [30]

4.3.2.2 İyonik Jelleşme

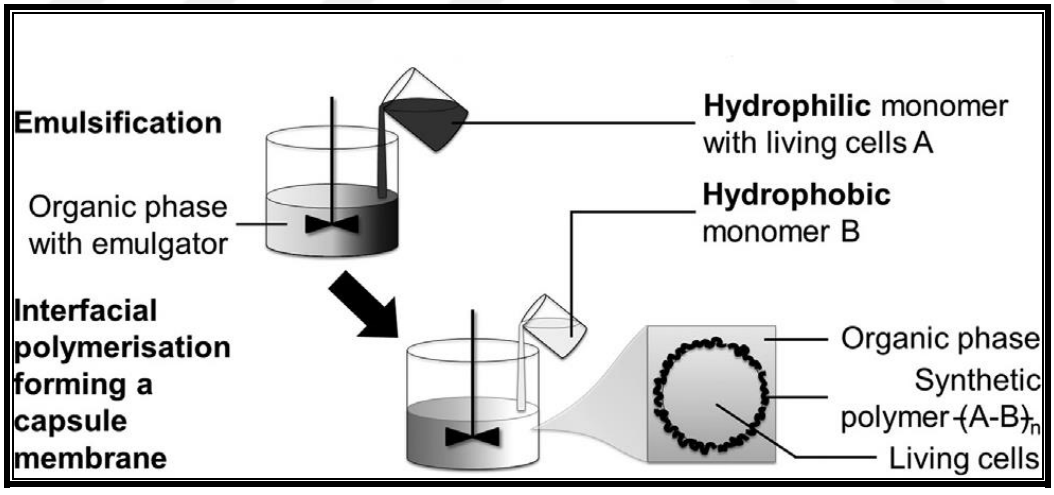
İyonik jelleşme yöntemi, bir yağ fazında aljinat, hücreler ve çözünmeyen bir kalsiyum tuzun emülsifikasyonunu içerir. Yağa asetik asit eklenerek damlacıkalrın pH'ı düşer ve tuzdan kalsiyum iyonları serbest kalır (Şekil 4.11). Bu yöntem damlacıkları katılaştırmak için kullanılmaktadır.



Şekil 4. 11 Emülsifikasyon yöntemine dayalı iyonik jelleşme ile enkapsülasyon [30]

4.3.2.3 Arayüzey emülsiyon polimerizasyonu

Canlı hücreler içeren bir hidrofilik monomer A organik fazda emülsiye edilir. Bir hidrofobik B ve katalizör eklenerek, damlacıkların yüzeyinde bir kaplama oluşturan polimerizasyon reaksiyonu gerçekleşir (Şekil 4.12). Bu yöntem pestisitlerin ve feromonların kapsüllenmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 4. 12 Emülsifikasyon yöntemine dayalı arayüzey emülsiyon polimerizasyonu [30]

4.3.3 Kaplama Yöntemi

Biyopolimer ile aktif bir malzemeyi kaplamada iki farklı yöntem kullanılmaktadır;

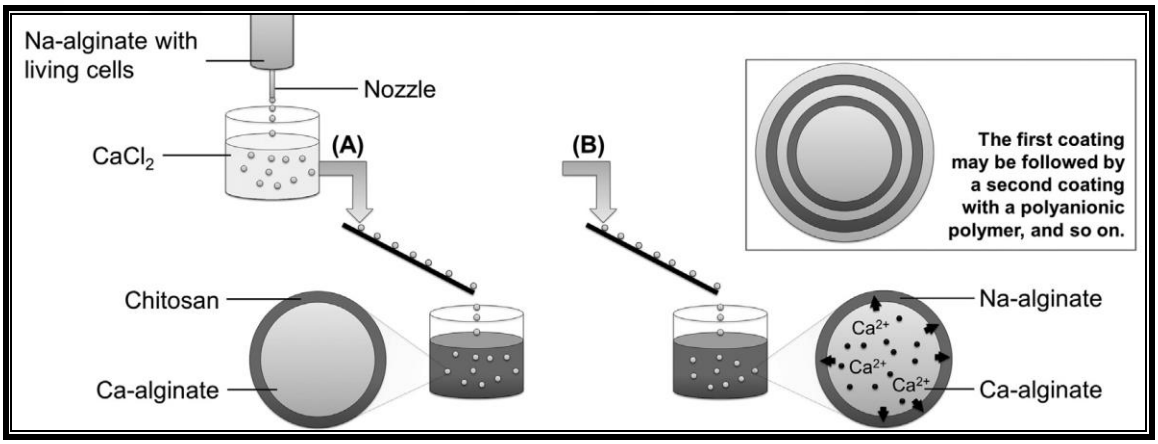
- İyonik Polimer Kaplama

- Katman Katman Kaplama

İyonik polimer kaplama genellikle hücre kapsüllenmesinde kullanılırken, diğer yöntem nanoteknolojiden kaynaklanmaktadır.

4.3.3.1 İyonik Polimer Kaplama

İyonik polimer kaplama yönteminde, polianyonik küreler bir polikatyonik çözelti içerisine süspanse edilerek kaplama işlemi gerçekleştirilir. Polianyonik ve polikatyonik polimerlerle çoklu kaplamalar da yapılabilir. Örneğin, aljinat tanecikleri %2'lik kitosan solüsyonuna katıldığında, kitosanın amin grupları ile aljinatın karboksil grupları arasında kompleks oluşur. Kalsiyum aljinat tanecikleri kitosan ile kaplanır (Şekil 4.13A). İlk kaplama sonrasında ikinci veya daha fazla kaplama yapılabilir.



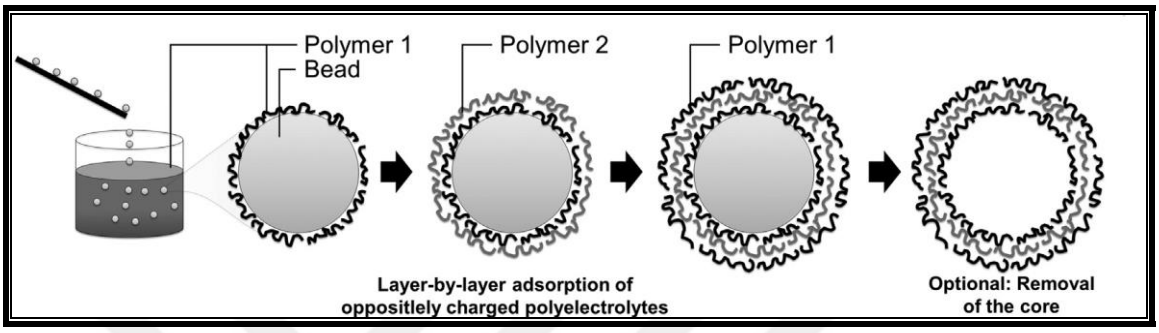
Şekil 4. 13 Kitosan (A) veya Na-aljinat(B) kulanarak iyonik polimer kaplama yöntemi ile enkapsülasyon [30]

Bu yöntemle kalsiyum aljnatın polilisin ile kaplanmasıyla da kapsüller elde edilebilir. Kalsiyum aljinatın karboksil grupları ile polilisinin amin grubu reaksiyona girerek kalsiyum aljinat tanesinin yüzeyinde bir polielektrolit kompleks membran oluşur. Elde edilen katı kalsiyum aljinat çekirdekleri sodyum sitrat ile çözülerek içi boş kapsüller elde edilebilir.

Bu yönteme diğer bir örnek, kalsiyum aljinat tanelerinin sodyum aljinat çözeltisine katılarak, içten dışa doğru çapraz bağlanma ile kaplama yapılması verilebilir (Şekil 4.13B).

4.3.3.2 Katman Katman Kaplama

Çok tabakalı kapsül oluşturma yöntemlerinden biridir. Bu yöntemle ilgili birçok çalışma yapılmıştır ve genellikle nanokapsüller için kullanılır. Bu kaplama yönteminde kolloidler alternatif yüke sahip polielektrolitlere maruz bırakılarak kademeli film tabakaları oluşturulur. İstenen sayıda katmana ulaşıldığında çekirdek katmanın içinden çekilir ve içi boş kabuklar elde edilir (Şekil 4.14) [30].



Şekil 4. 14 Katman katman kaplama yöntemi ile enkapsülasyon [30]

BÖLÜM 5

KONTROLLÜ SALIMLI GÜBRE

Kontrollü salımlı gübre, bitkinin ihtiyacı olan besinlerini kontrollü ve sürekli bir şekilde sağlayan özel olarak tasarlanmış bir gübredir. İdeal bir kontrollü salımlı gübre, salımı yavaş ve kontrollü bir hızla yapacak doğal veya yarı doğal çevre dostu bir molekülle kaplanmış ve uygulandığında bitkinin büyümesi için gerekli olan besin ihtiyaçlarını karşılayan gübredir.

Bu tür gübrelerde kaplama malzemesi önemli rol oynamaktadır. Başlangıçta kontrollü salımlı gübrelerin kaplama malzemelerinde kükürt ve polietilen kullanılmıştır. Zamanla sayısız polimer malzemeler, doğal kaplama malzemeleri, çok işlevli süper emici malzemeler ve nano-kompozitler kullanılarak ticari ölçekte üretimler yapılmıştır.

Kontrollü salımlı gübre ile yavaş salımlı gübre terimleri genelde benzer olarak kabul edilse de birbirlerinden farklı özelliklere sahiptirler. Yavaş salımlı gübreler besin salımının az veya çok kontrollü ve yavaş bir şekilde gerçekleştiği gübrelerdir. Ancak bu gübrede salım özellikleri değişkenlik gösterir ve tahmin edilemez. Ayrıca toprak tipi ve iklim koşullarında farklılık gösterirler. Kontrollü salımlı gübrelerde ise, salım özellikleri belli sınırlar içersinde olup salım miktarı ve süresi tahmin edilebilir.

Kontrollü salımlı gübrelerin avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Tek bir uygulama yeterli olduğundan gübre miktarında ve uygulama sıklığı açısından tasarruf sağlanır.

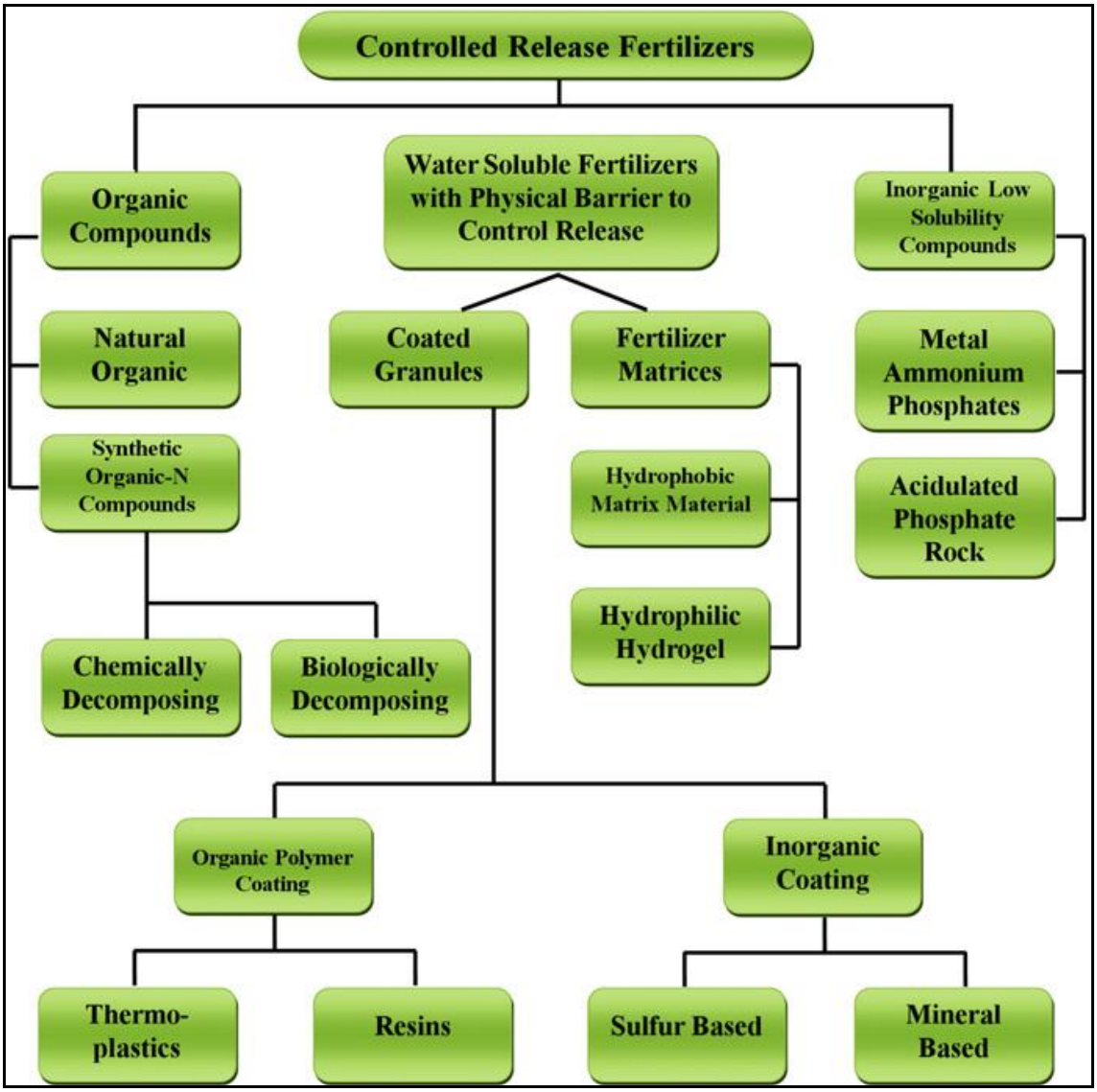
- Besin kayıplarını, tohum zehirlenmesini, yaprak yanmalarını, tehlikeli emisyonları ve dermal tahrişleri önler.
- Toprak kalitesini ve çimlenme oranlarını artırır.

Kontrollü salımlı gübrelerin dezavantajaları da şu şekilde sıralanabilir;

- Üretimi pahalıdır ve pazarlama sorunları yaşanmaktadır.
- Kaplama malzemlerinde kulllanılan bazı malzemeler biyobozunur özelliğe sahip değildir ve toksik etkileri vardır.
- Bazı gübreler torağın pH'ını değiştirebilir.
- Nemli ortamlarda erken beslenme gerçekleşeceğinden depolama tesisleri bu durumu engelleyici şekilde olmalıdır.
- Mevcut kontrollü salımlı gübreler, sıcaklığa, neme, toprağın biyoaktivitesine karşı hassastır. Bu koşulların herhangi biri değişikliğe uğradığında gübrenin salım performansı olumsuz etkilenir ve salım oranları tahmin edilemez.
- Bitkinin besin talebine doğrudan yanıt vermez, besinleri aynı oranda serbest bırakır [32].

5.1 Kontrollü Salımlı Gübrenin Sınıflandırılması

Kontrollü salımlı gübreler literatürde çeşitli şekilde sınıflandırılmıştır. Kapsamlı bir sınıflandırma şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5. 1 Kontrollü Salımlı Gübrelerin Sınıflandırılması [32]

Bu sınıflandırmaya göre kontrollü salımlı gübreler 3 ana gruba ayrılmıştır;

1. Organik Bileşikler

Organik bileşikler, doğal organik bileşikler (hayvan gübresi, lağım çamuru vs.) ve sentetik olarak üretilen organik bileşikler (azot, düşük çözünürlüklü bileşimler vs.) olmak üzere 2 alt gruba ayrılırlar. Bu gruptaki bileşikler biyobozunur özelliğe sahiptirler.

2. Fiziksel Bariyerli Suda Çözünebilen Gübreler

Bu grup besin salımını kontrol eden fiziksel bir bariyer içeren suda çözünebilen gübreleri içerir. Gübreler hidrofobik bir polimer ile kaplanmasıyla veya aktif gübre besinleri ile bir matris oluşturulmasıyla elde edilir. Polimer kaplama ile elde edilen gübreler organik ve inorganik malzemelerle kaplanmaktadır ve daha çok kullanılmaktadır.

3. Düşük Çözünürlüklü İnorganik Bileşikler

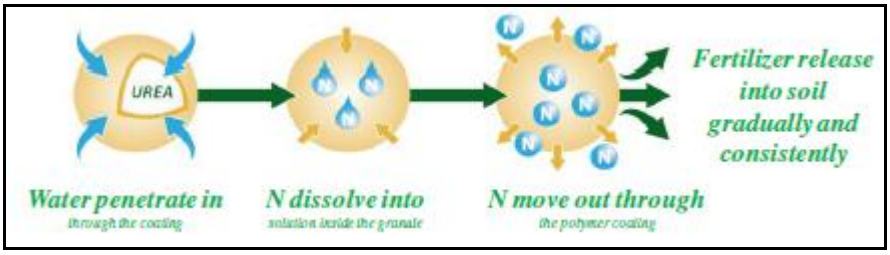
KNH_4PO_4 ve $MgNH_4PO_4$ gibi metal amonyum fosfatlar ve kısmen asitleştirilmiş fosfat kayasından elde edilen gübreler bu gruba aittir [32].

5.2 Kontrollü Salımlı Gübrenin Mekanizması

Literatürde farklı mekanizmalar öne sürülmüştür ve bu konu hala gelişme aşamasındadır. Salım mekanizması temel olarak gübre-polimer arayüzeyinden polimer-toprak arayüzeyine su ile besin aktarımı şeklinde gerçekleşir.

Kapsül bir gübrenin içerisinden besin maddelerinin salım aşamaları şekil 5.2'de gösterilmektedir. Salım mekanizmasının temel aşamaları şunlardır;

1. Difüzyon/şişme
2. Polimer kaplamanın bozulması
3. Kırılma veya çözünme



Şekil 5. 2 Kapsül gübreden besin salımı aşamaları [33]

Salım mekanizması kaplama içerisine suyun nüfus etmesiyle başlamaktadır. Absorbsiyon işlemi, salım prosesinde çok önemli bir role sahiptir. Su kaplama duvarına ulaşmazsa, salım işlemi gerçekleşmez. Eğer su kaplama duvarına hızlı bir şekilde nüfus ederse, salım işlemi kontrolsüz ve hızlı bir şekilde gerçekleşir. Ancak bu durum birçok

araştırmada ihmal edilmiştir. Çünkü bu süreç toplam salım sürecine kıyasla daha kısa sürmektedir ve araştırmalar genellikle besin açığa çıkarma sürecine odaklanmaktadır.

Besin salım profilinde, salımın gerçekleşmediği süre gecikme süresi olarak tanımlanmaktadır. Ticari kontrollü salımlı gübreler için bu süre birkaç gün ile haftalar arasındadır ve toplam süresinin %5 'ini kaplamaktadır. Bu süre kısa gibi gözüksede bitki gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Gecikme süresi çimlenme sürecinden daha kısa olursa besin salımı hızlı gerçekleşir ve tohum alanında birikmeler meyadana gelebilir. Bu durum tohumlara ve köklere zarar vermektedir. Gecikme süresi uzarsa, bitkiler yeterli derecede besin alamaz ve yeterli gelişemezler.

Bu aşama sonunda ozmotik basıncın etkisiyle kapsüller şişer.

Su kaplama iç duvarına ulaşır ve çözeltinin iç basıncını artırır. Çekirdekde bulunan malzemeler çözünerek iyonlarına ayrılırlar.

Bu aşamada iki işlem gerçekleşebilir. Ozmotik basınç eşik membran direncini aşıp kaplamayı patlatabilir ve sonucunda çekirdek kendiliğinden serbest kalır. Salım işlemi başarısızlıkla sonuçlanmış olur. Bu durum genellikle kükürt veya modifiye edilmiş sülfür kullanılarak yapılan kaplamalarda görülür. Eğer membran basınca dayanırsa, çekirdekten besinler difüzyon yoluyla yavaşça salınır. Buna difüzyon mekanızması denir ve salım işleminin başarıyla sonuçlandığını gösterir. Polimer kaplamalarda olumlu sonuçlar alınmaktadır.

Son aşamada, iyonlar polimer tabakadan kademeli ve sürekli olarak dışarı doğru çıkarlar.

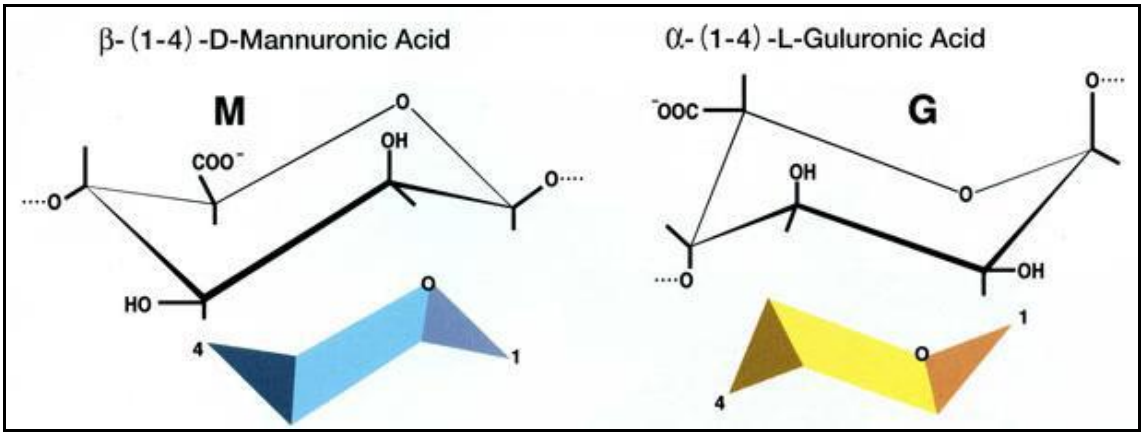
Salım mekanizması kaplama malzemesinin yapısına, gübre türüne ve agronomik koşullara bağlıdır. Ayrıca sıcaklık ve nem artıkça salım da artmaktadır [32],[33].

5.3 Deneysel Çalışmada Kullanılan Polimerler Hakkında Bilgi

5.3.1 Sodyum Aljinat

Aljinatlar, kahverengi deniz yosun türlerinin (Phaeophyceace) hücre duvarlarından elde edilen poliüronik bir sakkarittir. Bu yosunların hücre duvarları kara bitkilerinde bulunmayan sülfatlı polisakkarit içerirler. Sodyum aljinat, ß-D-mannuronik asit ve α-L-

gluronik asidin glikozid bağ ile birleşmesiyle oluşan düz zincirli bir heteropolisakkarittir. ß-D-mannuronik asit ve α-L- gluronik asidin yapıları şekil 5.3'de gösterilmektedir.



Şekil 5. 3 ß-D-mannuronik asit ve mannuronik asit ve α-L- gluronik asidin yapıları

Gluronik asit katyonlar ile bir bağ kurar ve iyonik etkileşimler sonucunda birbirini tutan aljinat flamenteri ağı oluşmaktadır. Ayrıca yapısındaki bu asidin uzunluğu ve molekül ağırlığı, hidrojelleşmeyi etkileyen önemli bir faktördür.

Kimyasal yapıları aljin türüne, talluslu yapının ekstrakte edildiği bölüme, mevsimsel değişikliklere ve suyun derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Ticari olarak satılan Na-aljinatların molekül ağırlığı 32.000 – 400.000 g/mol aralığındadır. pH düştükçe, aljinat çözeltilerinin viskozitesi artar.

Aljinatın avantajları şunlardır;

- Düşük maliyetli olması,
- Toksik olmaması,
- Biyobozunur olması,
- Dayanıklı mekanik özelliğe sahip olması,
- Porozitesinin yüksek olması,
- Tuz ve şelatlayıcı ajanlara karşı toleransının yüksek olması,
- Farklı malzemelerle uyum sağlayarak kabuk oluşturması,
- Kapsülasyon metodlarına uygun olması.

Ancak aljinat asidik ortamda stabilite sorunu yaşamaktadır. Bu sorun farklı malzemelerle aljinatın kombine edilmesiyle aşılmaktadır.

Aljinatın kullanım alanları şunlardır;

- Gıda sektöründe jelleştirme, kalınlaştırma ve sabitleme sağlamak için,
- Tekstilde baskı, apre işlemleri ve elyaf yapımında,
- Kağıt üretiminde,
- İlaç sektöründe kontrollü salımlı sistemlerde,
- Biyouyumlu özelliğinden dolayı tıbbi uygulamalarda,
- Nem tutan bir malzeme olduğu için kozmetikte kullanılmaktadır [34],[35].

5.3.2 Perlit

Perlit asidik bir volkanik camdır. Isıtıldığında genleşerek çok hafif ve gözenekli hale geçer. Perlitin en önemli özelliği içeresindeki su oranıdır ve bu özelliği malzemenin kararlılığını sağlar. Perlit malzemesinin fiziksel özellikleri çizelge 5.1'de, kimyasal özellikleri ise çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5. 1 Perlit malzemesinin fiziksel özellikleri [36]

Renk	Beyaz,gri ve tonları
Yumuşama Noktası	870-1100°C
Ergime Noktası	1260-1343°C
OH	7,5-8,0
Özgül Isı	0,2 Cal/g°C (837 J/kg.K)
Özgül Ağırlık	2200-2400 kg/m^3
Refraktif Indeks	1,5
Serbest Nem	Maksimum 0,5
Ağırlık Kaybı	İstenildiği kadar
Gevşek Yoğunluk	32-400 kg/m^3

Çizelge 5. 2 Perlit malzemesinin kimyasal özellikleri (%) [36]

SiO_2	71,0 – 75,0
AlO_3	12,5 – 18,0
Na_2O_3	2,9 – 4,0
K_2O	0,5 – 5,0
CaO	0,5 – 0,2
Fe_2O_3	0,1 – 1,5
MgO	0,02 – 0,5
TiO_2	0,03 – 0,2
MnO_2	0,0 – 0,1
SO_3	0,0 – 0,2
FeO	0,0 – 0,1
Cr	0,0 – 0,1
Ba	0,0 – 0,05
PbO	0,0 – 0,03/0,3
NiO	Eser
Cu	Eser
B	Eser
Be	Eser
Serbest silis	0,0 – 0,2
Toplam klorürler	Eser – 0,2
Toplam sülfatlar	Hiç yok

Perlit üretiminde, teknolojisinde ve tüketiminde dünyanın öncü ülkesi ABD'dir. Perlitin özelliklerini kamuoyuna tanıtmak, kullanıcı ve tüketicilerin ihtiyaçlarını etkili ve ekonomik bir şekilde karşılamak için ''The Perlite Institute Inc.'' kurulmuştur. Bu

kuruluş önemli faaliyetlerde bulunarak, perlit malzemesinin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur.

Dünya perlit rezervlerine bakıldığında ABD, BDT ülkeleri, Türkiye ve Yunanistan perlit kaynakları bakımından zengin ülkelerdir. Perlit ürünlerini en çok üreten ülke ABD olup onu sırasıyla Yunanistan, İtalya, Macaristan, Çekoslovakya, Fransa ve Türkiye izlemektedir.

Perlitin en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Isı ve ses yalıtımında, sıvalarda, yüzey döşemelerinde ve özel kulllanım amaçlı betonlarda kullanılmaktadır. Bunun dışında toprağın fiziksel özelliklerini artırmak için tarım sektöründe, kimyasal üretimlerde süzme yardımcı maddesi olarak gıda ve ilaç sektöründe, ısı yalıtımında, metalürjide ve seramik, cam sanayilerinde kullanılmaktadır [36].

Perlitin tarımda kullanılmasının avantajları [37];

- Toprağın havalanmasını sağlar.
- Gözenekli yapısı ile filtrasyonu sağlayarak buharlaşmayı azaltır. Böylelikle sulama ihtiyacı azalır ve tasarruf sağlanır.
- İnorganik yapıdadır, hastalık taşımaz.
- Toprağın pH'ını düzenler.
- Isı izolasyonu sayesinde bitkinin sıcaklık değişimlerinden olumsuz etkilenmesini engeller.
- Yapısından dolayı köklerde yıpranmayı engeller.

5.3.3 Bentonit

Ağırlıklı olarak montmorillonit içeren, alüminyum ve magnezyum bakımından zengin volkanik kül, tüf ve lüşüavların ayrışması sonucu oluşan killere denir. Bentonitin genel formülü $(Na,Ca)\ (Al,Mg)_6\ (Si_4O_{10})_3\ (OH)_6\ nH_2O$'dir. Bentonit iyi su emilimine sahiptir ve düşük maliyetlidir. Na-bentonit su ile 8-10 katı, Ca- bentonit 2-3 katı kadar şişer [38]. Bentonit Na-aljinata eklendiğinde çözelti içerisindeki katı oranını, mukavemeti ve

viskoziteyi artırır. Ayrıca bentonit kullanımı kapsüllenme vermini artırarak salım performansını olumlu yönde etkiler [39].

Bentonitin kullanım alanları şunlardır [38];

- İnşaat sektöründe dökümde kalıp malzemesi olarak kullanılır. Kolloidal özelliği ve yüksek plastisitesi sayesinde kumları bağlayabilir.
- Su kaçaklarını engellemek için sondaş çamuruna katılır.
- Çimento ve seramikte katkı maddesi olarak kullanılır.
- Petrol rafinasyonunda kullanılmaktadır.
- Atık suların temizlenmesinde kullanılır.
- Yağların rengini açmada, şarap ve meyve sularının berraklaştırılmasında kullanılır.
- Hayvan yemi yapımında, gübre yapımında ve toprak ıslahında kullanılır.
- İlaç ve kağıt sektöründe dolgu malzemesi olarak kulanılır.
- Yangın söndürücülerde kullanılır.

5.3.4 Öğütülmüş Kil

Öğütülmüş kil kaolinit türü killerin alt gruplarından biridir. Karbonat içerikleri fazla olan bu killer daha fazla empürite içermektedir. İçerisindeki empürite çokluğu ve çeşitliliği sayesinde ısı ile renk değişimi özelliğine sahiptirler. Suyu daha iyi absorbe ederler [40].

BÖLÜM 6

DENEYSEL KISIM

6.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler ve Ekipmanlar

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler

- Sodyum Aljinat [$C_6H_9NaO_7$]
- Perlit
- Kalsiyum Klorür [$CaCl_2$]
- Bentonit [$(Na,Ca)\ (Al,Mg)_6\ (Si_4O_{10})_3\ (OH)_6\ nH_2O$]
- Öğütülmüş Kil
- Potasyum Nitrat [KNO_3]
- Magnezyum Sülfat [$MgSO_4$]
- Kalsiyum Nitrat [$Ca(NO)_3$]
- Amonyum Nitrat [NH_4NO_3]
- Toprak
- Ticari Kapsül Gübre
- Maydanoz Tohumu
- Distile Su

Deneysel çalışmalarda kullanılan ekipmanlar

- Manyetik karıştırıcı
- Petri kabı
- Etüv
- Potansiyometre
- İyon seçici elektrot
- Pipet
- Beher (25 ml, 50 ml, 100 ml)
- Saksı

6.2 Deneysel Yöntemler

Deneysel çalışmalarda, kapsüllerin kaplama malzemeleri Na-aljinata ek olarak farklı oranlarda perlit, bentonit ve öğütülmüş kil içermektedir. Kapsüllere temsilci olarak bitki besin öğesi olarak kullanılan KNO_3 ilave edildi. KNO_3 içeren kapsüller ile potansiyometrik ölçümler yapılarak KNO_3 salım profilleri elde edildi. Ölçümler sonucunda belirlenen en iyi oranlar ile kapsül gübreler oluşturuldu. Elde edilen kapsül gübreler bitkiler üzerinde denendi.

6.2.1 Potansiyometrik Ölçümler İçin KNO_3 İçeren Kapsüllerin Üretilmesi

Tutuculuk ve salım performansları değerlendirilmek üzere farklı oranlarda kaplama malzemesi ve %5 KNO_3 içeren kapsüller üretildi. Kapsüllerin hazırlanmasında iyonik jelleşme yöntemi kullanıldı.

% 5 KNO_3 içeren kapsüllerin üretimi;

1. 50 ml distile su içerisine belirli oranlarda Na-aljinat, perlit, bentonit, öğütülmüş kil ve KNO_3 tuzu konularak 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Kaplamada kullanılan malzemelerin oranları çizelge 6.1, çizelge 6.2 ve çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6. 1 KNO_3 içeren kapsüllerin oluşturulmasında kullanılan Na-aljinat ve perlit yüzdeleri

Na-aljinat (%)	1,5	2	2,5
Perlit (%)	0,5;1;2;4;6;10	0,5;1;2;4;6;10	0,5;1;2;4;6;10

Çizelge 6. 2 KNO_3 içeren kapsüllerin oluşturulmasında kullanılan Na-aljinat ve öğütülmüş kil yüzdeleri

Na-aljinat (%)	1,5	2	2,5
Öğütülmüş kil (%)	1;2;4	1;2;4	1;2;4

Çizelge 6. 3 KNO_3 içeren kapsüllerin oluşturulmasında kullanılan Na-aljinat ve bentonit yüzdeleri

Na-aljinat (%)	1,5	2	2,5
Bentonit (%)	1;2;4	1;2;4	1;2;4

2. Karışım manyetik karıştırıcıda 100 rpm'de, sürekli karışan 100 ml 0,1 M $CaCl_2$ çözeltisine pipet yardımıyla damlatıldı.
3. Damlatma işlemi tamamlandığında manyetik karıştırıcı durduruldu ve kapsüllerin katılaşması için 2 saat oda sıcaklığında $CaCl_2$ çözeltisi içinde bekletildi.
4. İyice katılaşan kapsüller distile su ile 2 kere yıkandı, süzülerek ortamdan alındı ve petri kaplarına yerleştirildi.
5. Kapsüllerin içerisindeki suyu uzaklaştırmak için 2 gün 40°C'de etüvde kurutuldu.
6. 2 günün sonunda içerisinde KNO_3 tuzu içeren kapsüller elde edildi.

6.2.2 Elektrokimyasal Analiz

Kapsüllerin tutuculuk özelliklerini ve salım performanslarını belirlemek ve karşılaştırma yapmak için elektrokimyasal analizleri yapıldı. Bu analiz için nitrat seçici elektrot içeren potansiyometrik sistem kullanıldı. Elektrokimyasal analizler şu şekilde yapıldı;

1. Kalibrasyon için 100 ml 10^{-5}, 10^{-4}, 10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1} M KNO_3 çözeltileri hazırlandı.
2. Nitrat seçici elektrot doyma işlemi için 10^{-2} M KNO_3 çözeltisinde 5 saat tutuldu.
3. Doyma işleminden sonra nitrat seçici elektrot 10^{-5}, 10^{-4}, 10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1} M KNO_3 çözeltilerine daldırılarak potansiyometrede NO^-_3 iyonuna ait potansiyel değerleri ölçülerek kalibrasyon eğrileri çizildi. Bu eğriler her bir analizden önce yeniden elde edildi.
4. Kapsüller 3'er gr tartılarak 100 ml distile suya eklendi ve 40 dk boyunca ölçümler alındı.
5. Ölçüm sonucunda potansiyel değişimleri değerlerini gösteren grafikler elde edildi.
6. Grafiklerdeki verilerle hesaplama yapılarak zamana karşılık distile su içerisindeki artan NO_3^- iyonuna ait konsantrasyon değerlerine karşı grafikleri çizildi.

Hesaplamalar ve çizilen grafikler sonuç bölümünde verilmiştir.

6.2.3 Bitki Çalışmaları İçin Bitki Besinlerini İçeren Kapsüllerin Oluşturulması

Elektrokimyasal analiz sonucunda belirlenen en iyi oranlar ile içerisinde bitki besinlerini içeren kapsüller oluşturulmuştur.

1. 200 ml distile su içerisine çizelge 6.4'de belirtilen oranlarda Na-aljinat ve perlit; çizelge 6.5'de belirtilen bitki besinleri ve miktarları konularak 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırıldı.

Çizelge 6. 4 Bitki besinlerini içeren kapsül gübrede kullanılan Na-aljinat ve perlit oranları

Na-aljinat (%)	1,5	2	2,5
Perlit (%)	2;10	2;10	2;10

Çizelge 6. 5 200 ml saf su içerisindeki bitki besinleri ve miktarları

NH_4NO_3	**$Ca(NO)_3$**	**KNO_3**	**$MgSO_4$**
100 mg	220 mg	134 mg	100 mg

2. Karışım manyetik karıştırıcıda 100 rpm'de sürekli karışan 100 ml 0,1 M $CaCl_2$ çözeltisine pipet yardımıyla damlatıldı ve kapsüller oluşturuldu.

3. Damlatma işlemi tamamlandığında manyetik karıştırıcı durduruldu ve kapsüllerin katılaşması için 2 saat oda sıcaklığında $CaCl_2$ çözeltisi içinde bekletildi.

4. İyice katılaşan kapsüller distile su ile 2 kere yıkandı ve düz yüzeyli kaplara yerleştirildi.

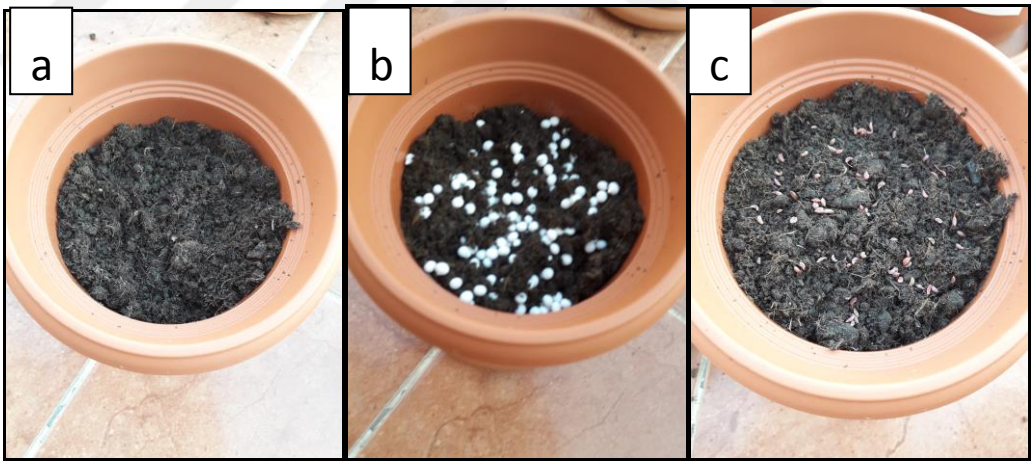
5. Kapsüllerin içerisindeki suyu uzaklaştırmak için 2 gün 40°C'de etüvde kurutuldu.

6. 2 günün sonunda içerisinde bitki besinlerini içeren kapsüller elde edildi.

6.2.4 Kapsül Gübrelerin Bitkiye Uygulanması

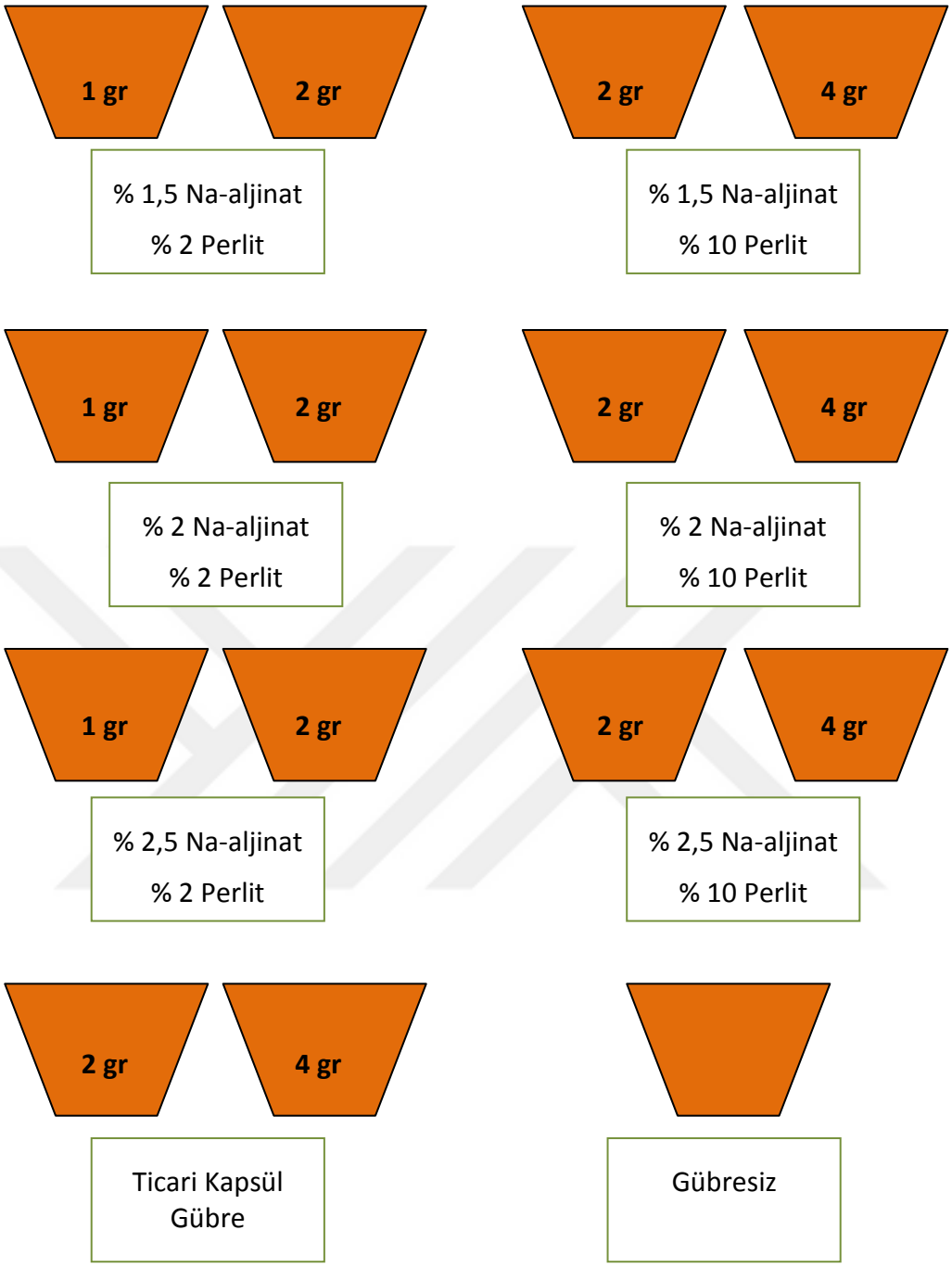
Bitki çalışmalarında 15 adet küçük boy saksı, gübresiz toprak, ticari gübre, maydanoz tohumu ve kapsül gübreleri kullanıldı. Uygulama sırası şu şekilde yapılmıştır;

1. Her bir saksıya aynı miktarda toprak tartılarak konuldu (Şekil 6.1a).



Şekil 6. 1 Tohum ekim aşamaları; saksılardaki a)toprak, b)kapsül gübreler, c)maydanoz tohumları

2. Gübreler tartılarak bitkilerin köklerine denk gelecek şekilde serpiştirildi (Şekil 6.1b). Referans olarak 1 adet saksıya gübre konulmadı. Kullanılan gübre miktarları şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6. 2 Bitki çalışmasında kullanılan gübre oranları ve miktarları

3. Maydanoz tohumları tartılarak her bir saksıya aynı miktarda serpiştirildi ve üzerine az miktarda toprak konuldu (Şekil 6.1c).

4. Son olarak saksılara aynı miktarda su döküldü.

5. 3 gün arayla saksılar sulandı.

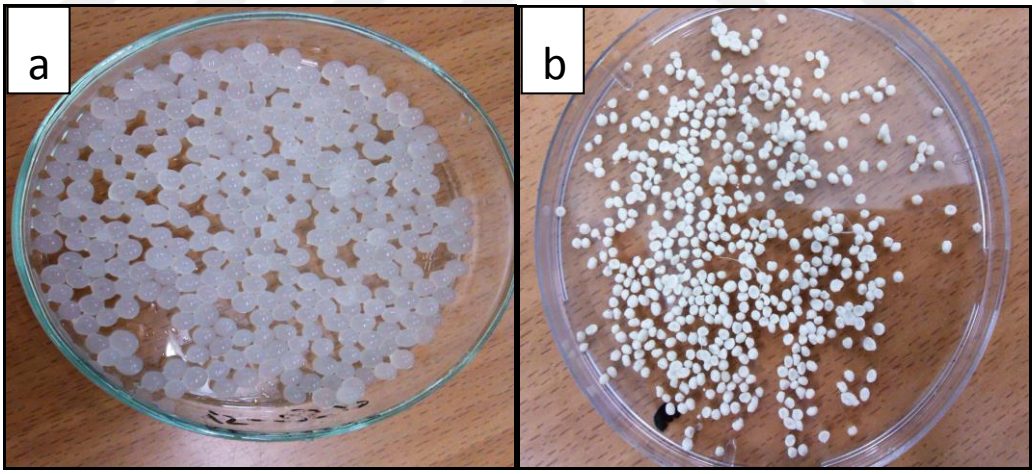
BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI

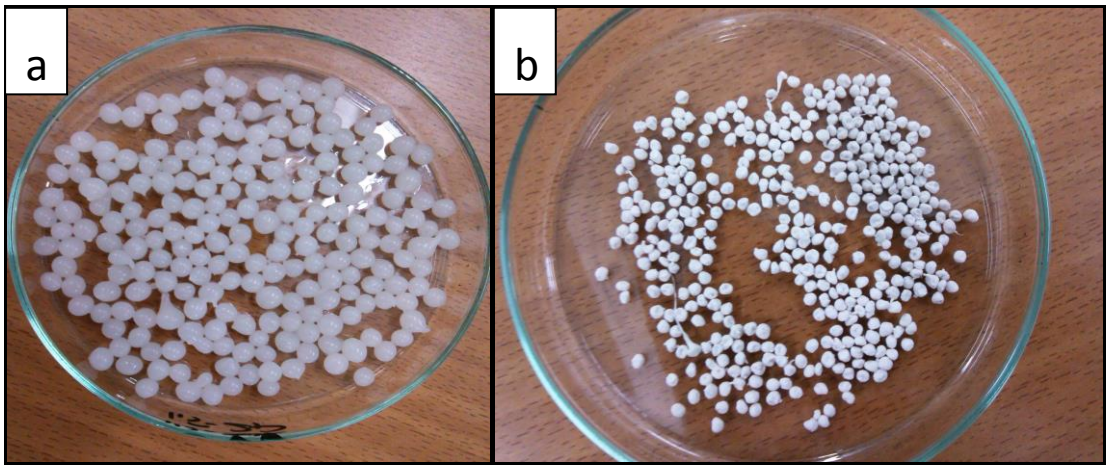
7.1 KNO_3 İçeren Kapsül Sonuçları

Na-aljinat/Perlit ile hazırlanan kapsüller

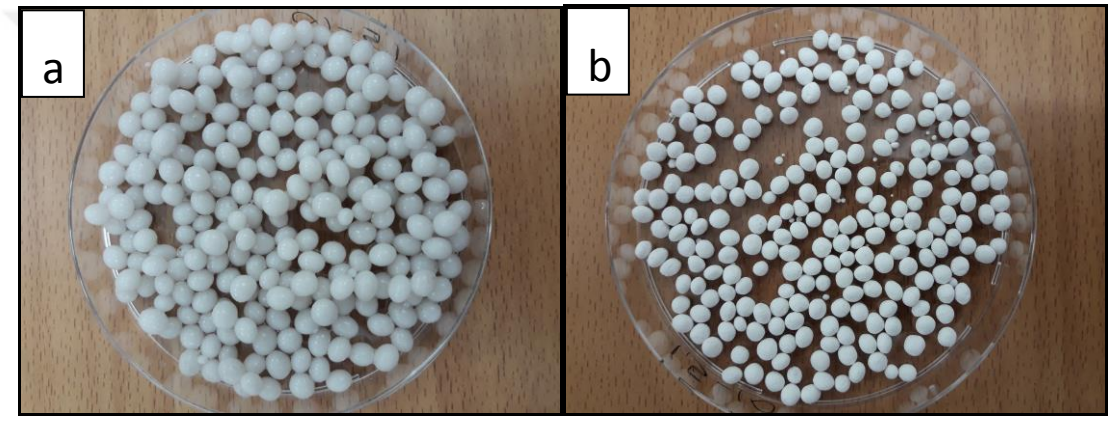
- Çizelge 6.1'de verilen oranlarla hazırlanan çözeltilerin her birinde kapsül oluşumu gerçekleşti. Kapsüllerin etüv öncesi ve sonrası görünüşleri şekil 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9'de verilmiştir.



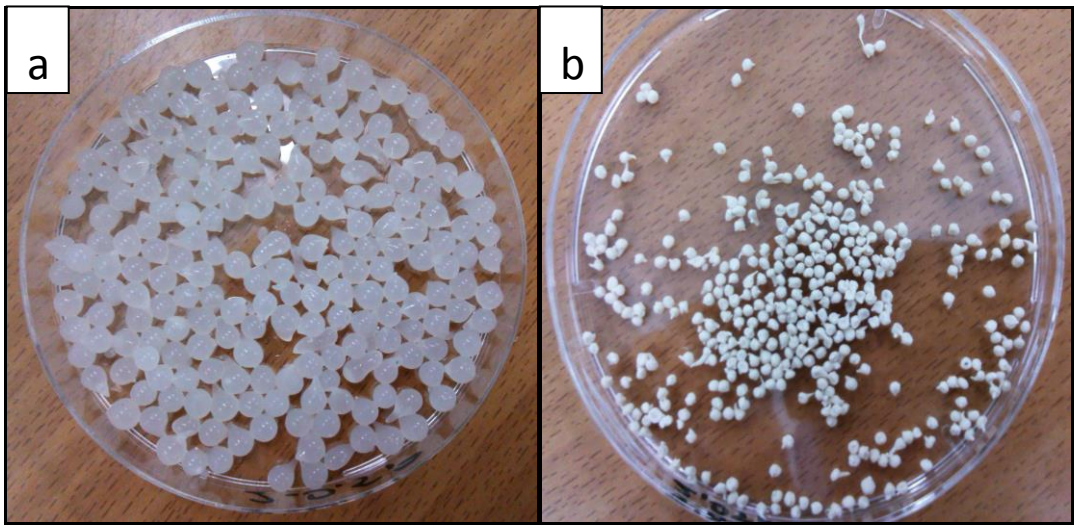
Şekil 7. 1 %1,5 Na-aljinat / %0,5 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



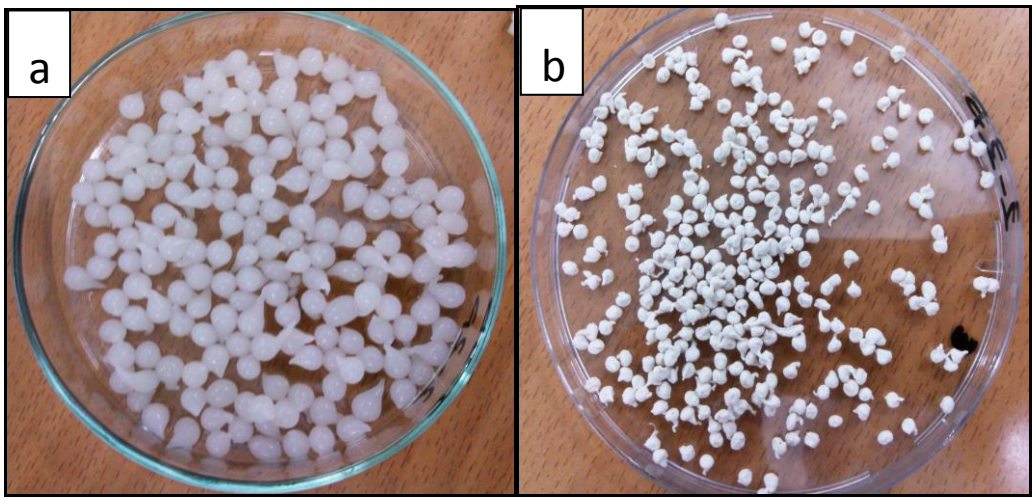
Şekil 7. 2 %1,5 Na-aljinat / %2 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



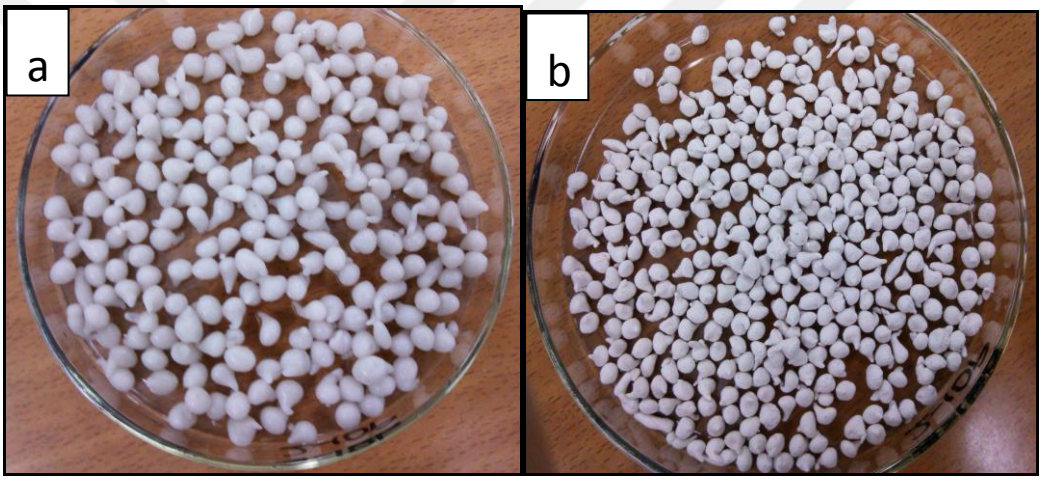
Şekil 7. 3 %1,5 Na-aljinat / %10 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



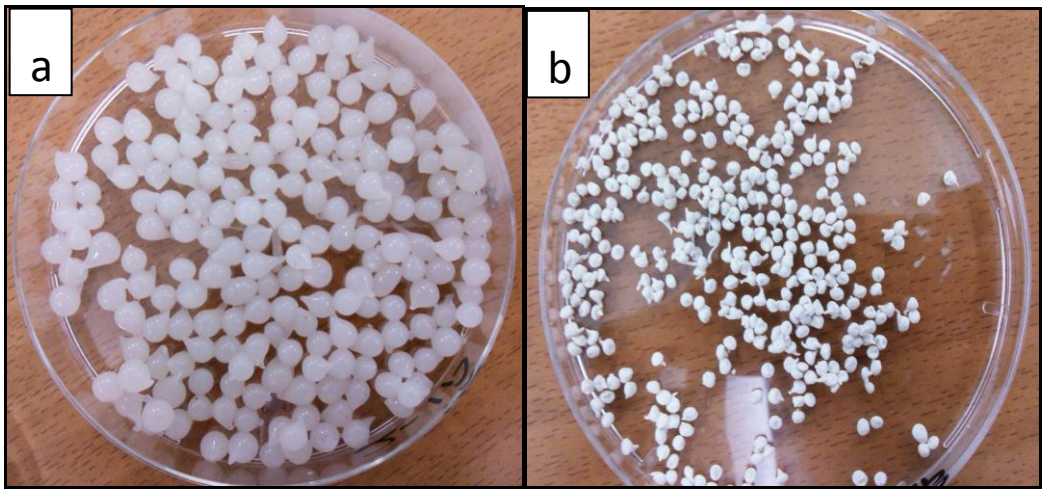
Şekil 7. 4 %2 Na-aljinat / %0,5 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



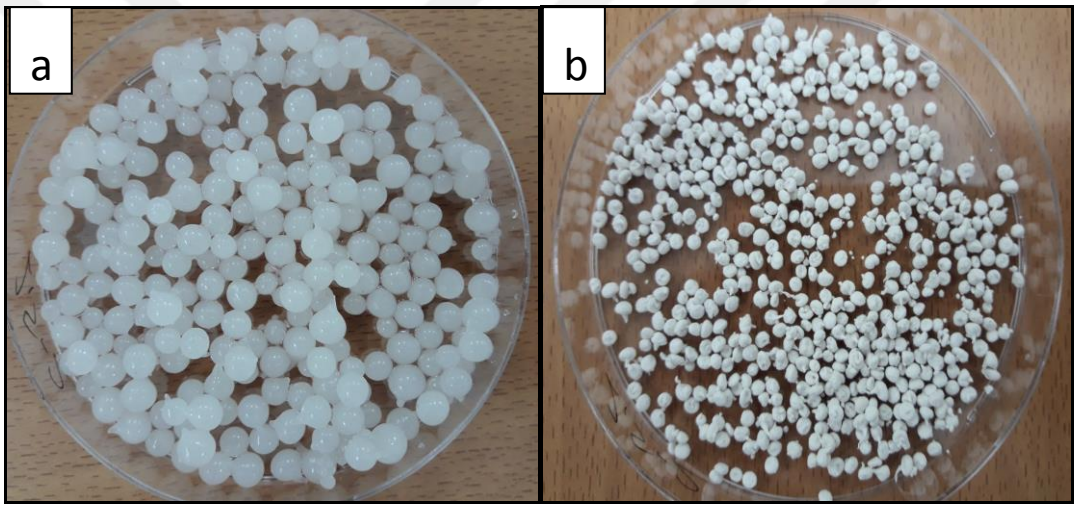
Şekil 7. 5 %2 Na-aljinat / %2 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



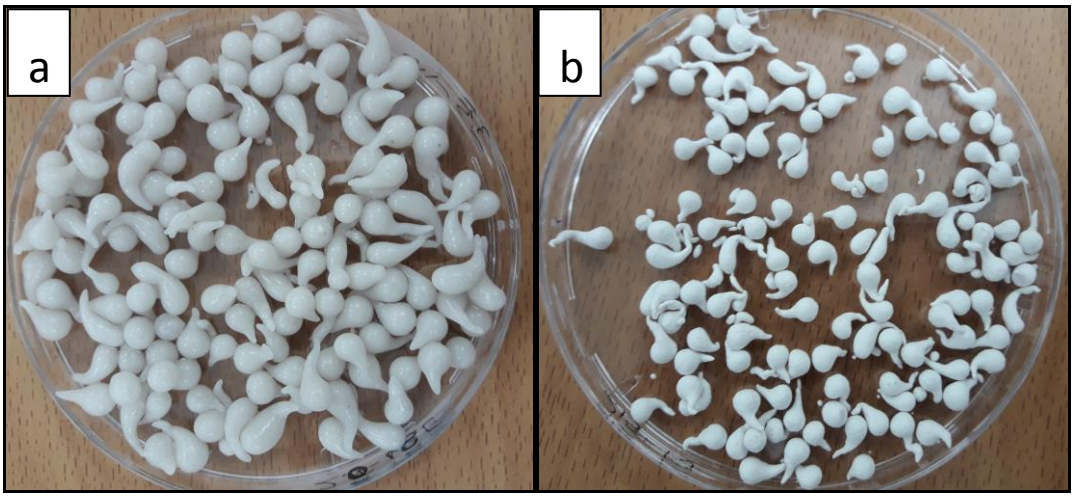
Şekil 7. 6 %2 Na-aljinat / %10 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



Şekil 7. 7 %2,5 Na-aljinat / %0,5 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



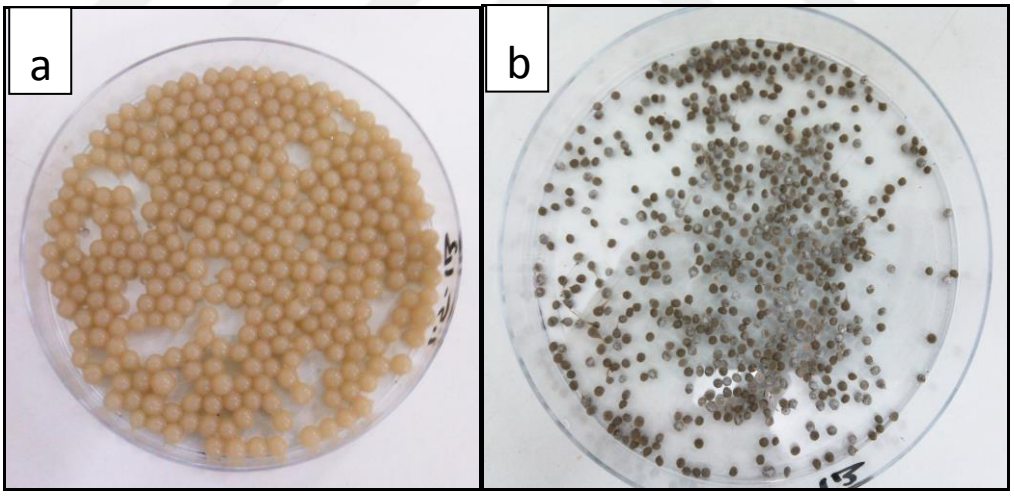
Şekil 7. 8 %2,5 Na-aljinat / %2 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



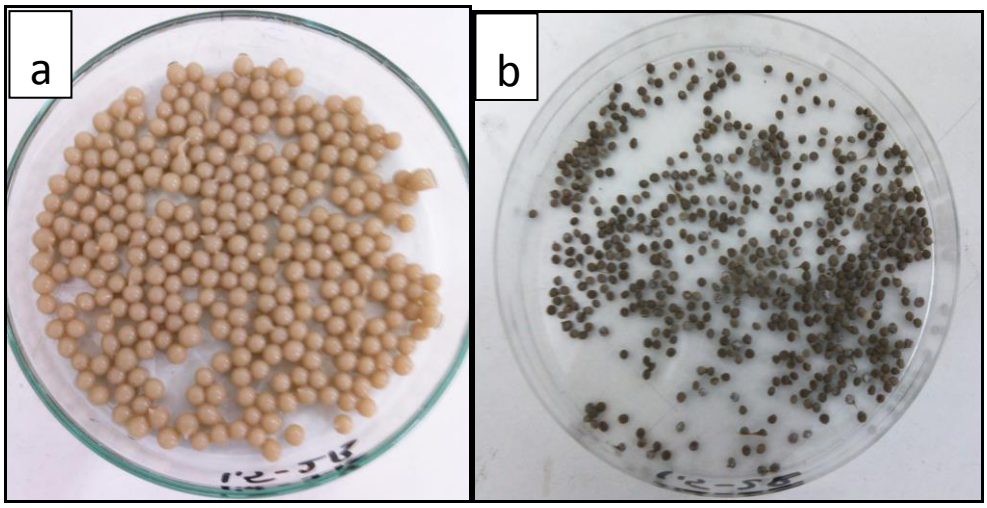
Şekil 7. 9 %2,5 Na-aljinat / %10 perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası

Na-aljinat/Öğütülmüş kil ile hazırlanan kapsüller

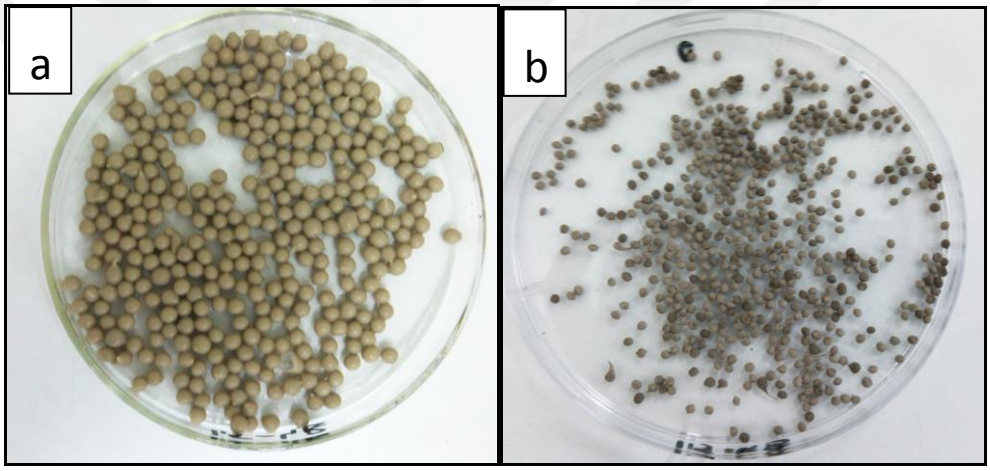
- Çizelge 6.2'de verilen oranlarla hazırlanan çözeltilerin her birinde kapsül oluşumu gerçekleşmiştir. Kapsüllerin etüv öncesi ve sonrası görünüşleri şekil 7.10, 7.11, 7.12, 7.13, 7.14, 7.15, 7.16, 7.17, 7.18'de verilmiştir.



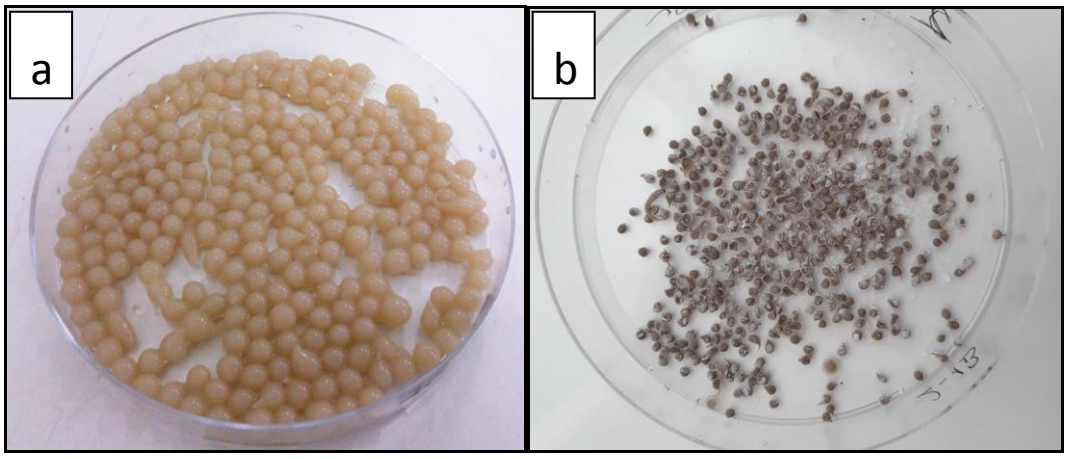
Şekil 7. 10 %1,5 Na-aljinat / %1 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



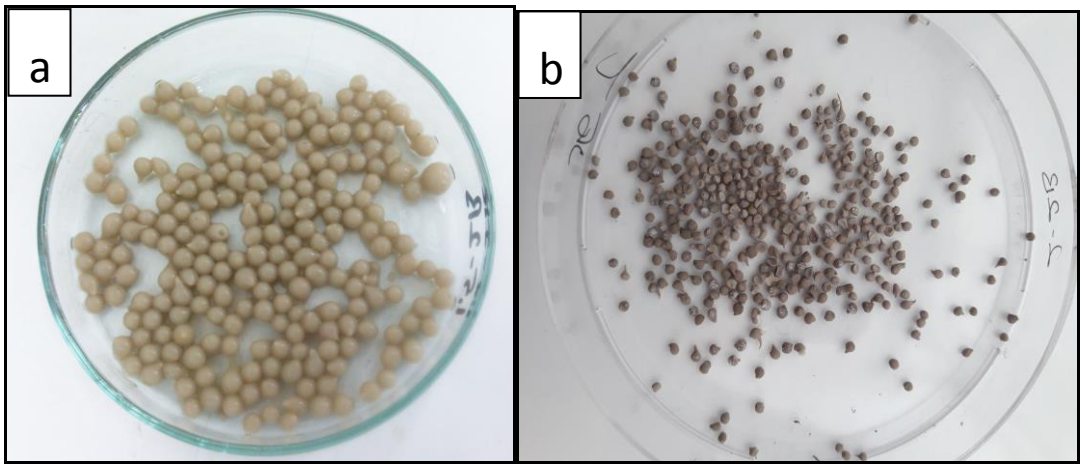
Şekil 7. 11 %1,5 Na-aljinat / %2 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



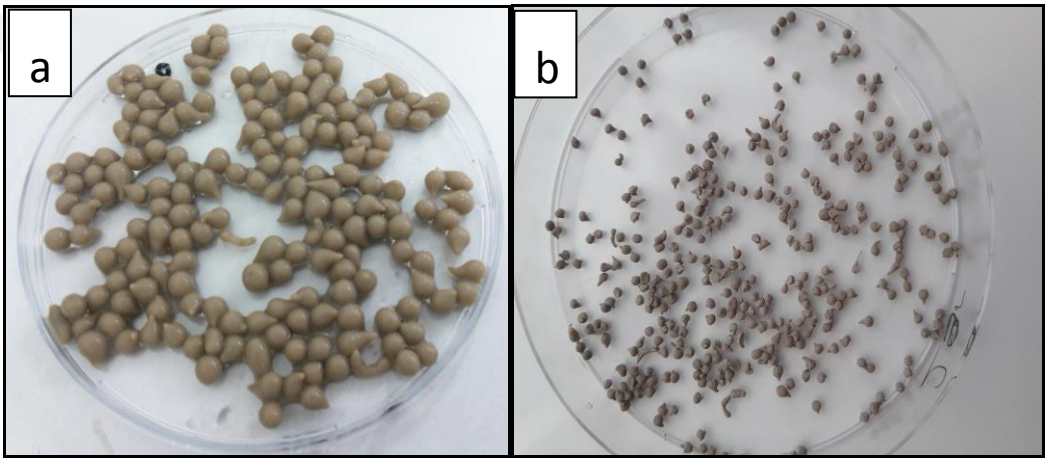
Şekil 7. 12 %1,5 Na-aljinat / %4 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



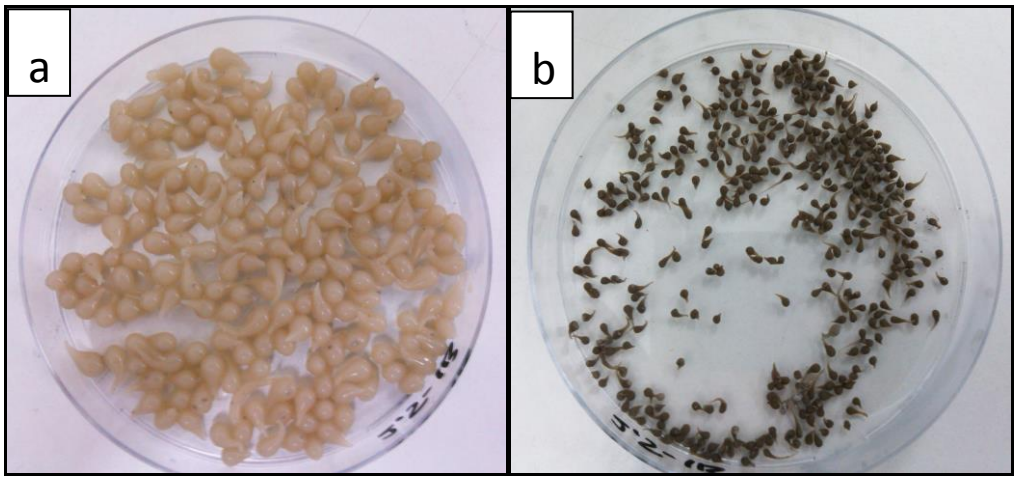
Şekil 7. 13 %2 Na-aljinat / %1 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



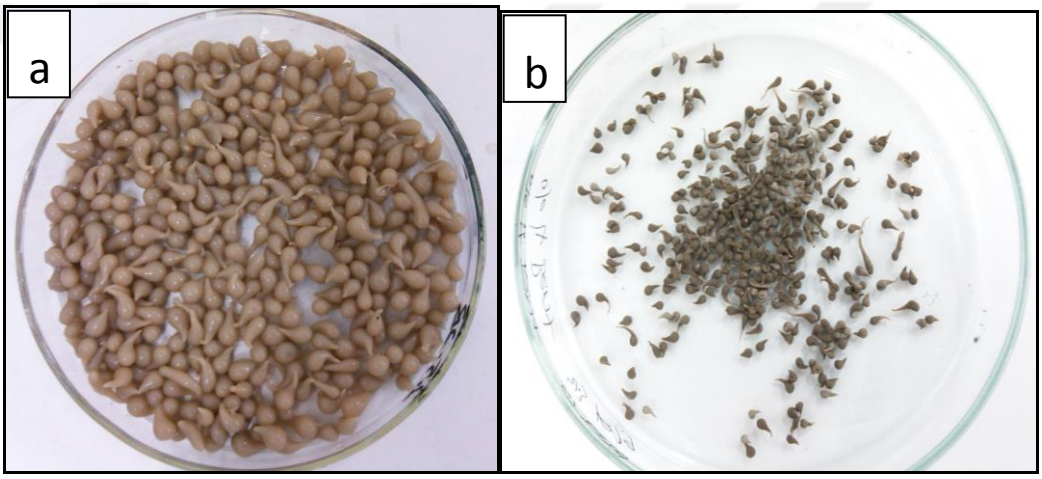
Şekil 7. 14 %2 Na-aljinat / %2 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



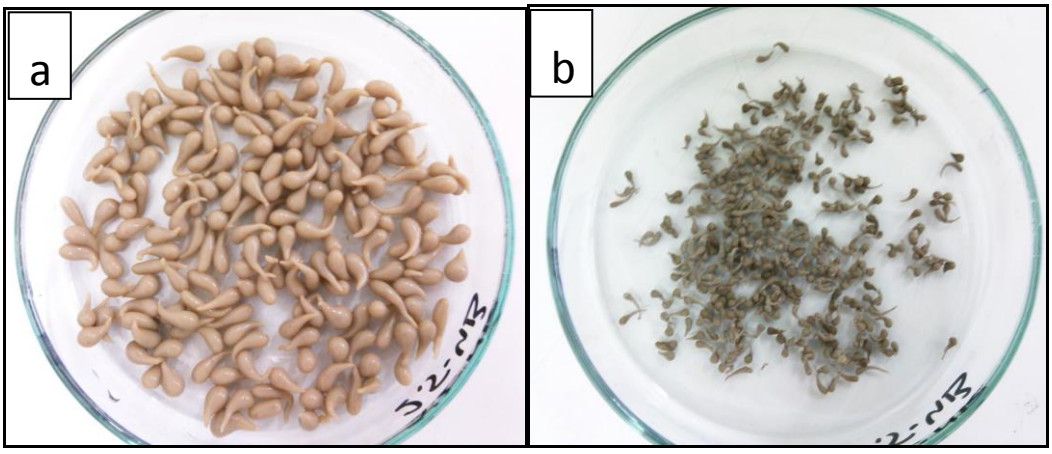
Şekil 7. 15 %2 Na-aljinat / %4 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



Şekil 7. 16 %2,5 Na-aljinat / %1 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



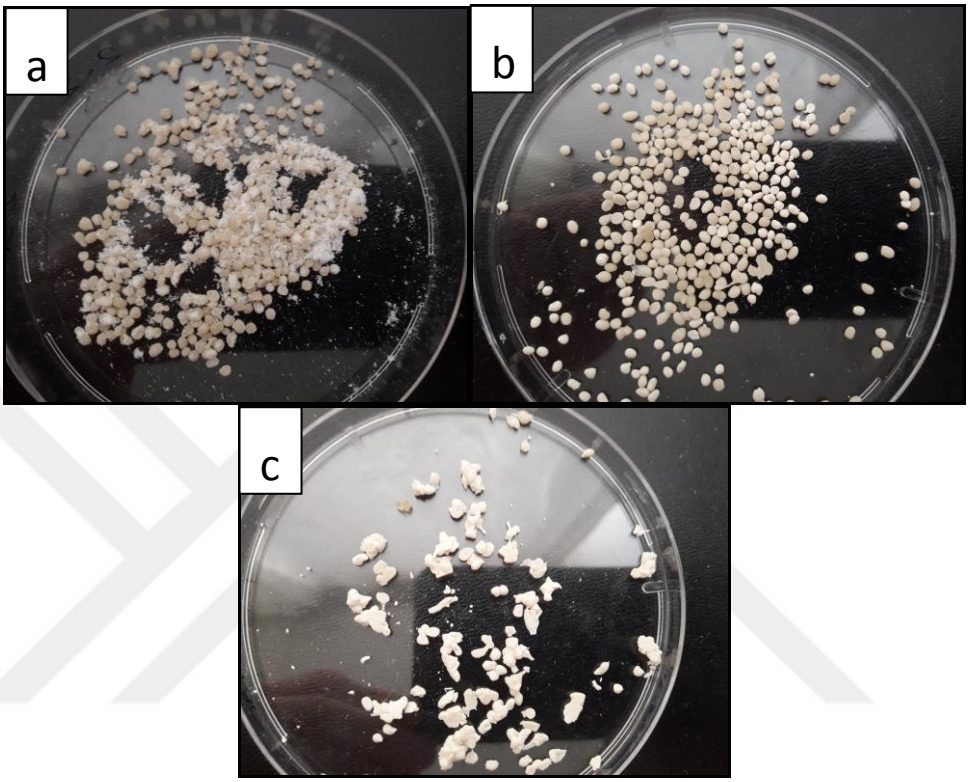
Şekil 7. 17 %2,5 Na-aljinat / %2 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası



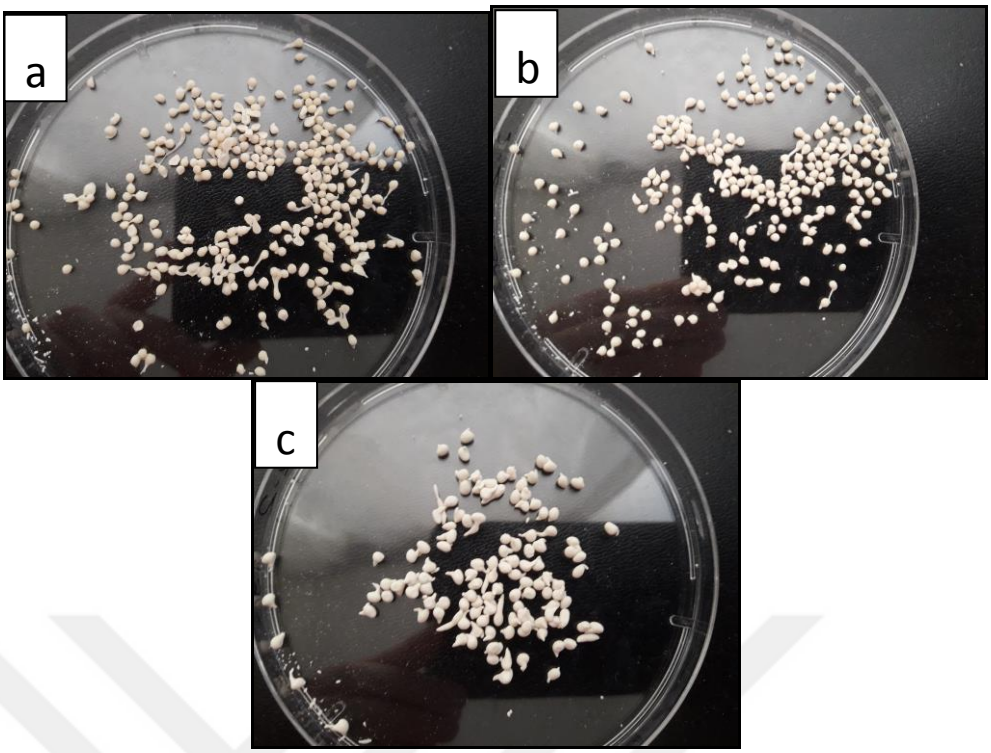
Şekil 7. 18 %2,5 Na-aljinat / %4 öğütülmüş kil ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller; a) etüv öncesi, b) etüv sonrası

Na-aljinat/bentonit ile hazrlanan kapsüller

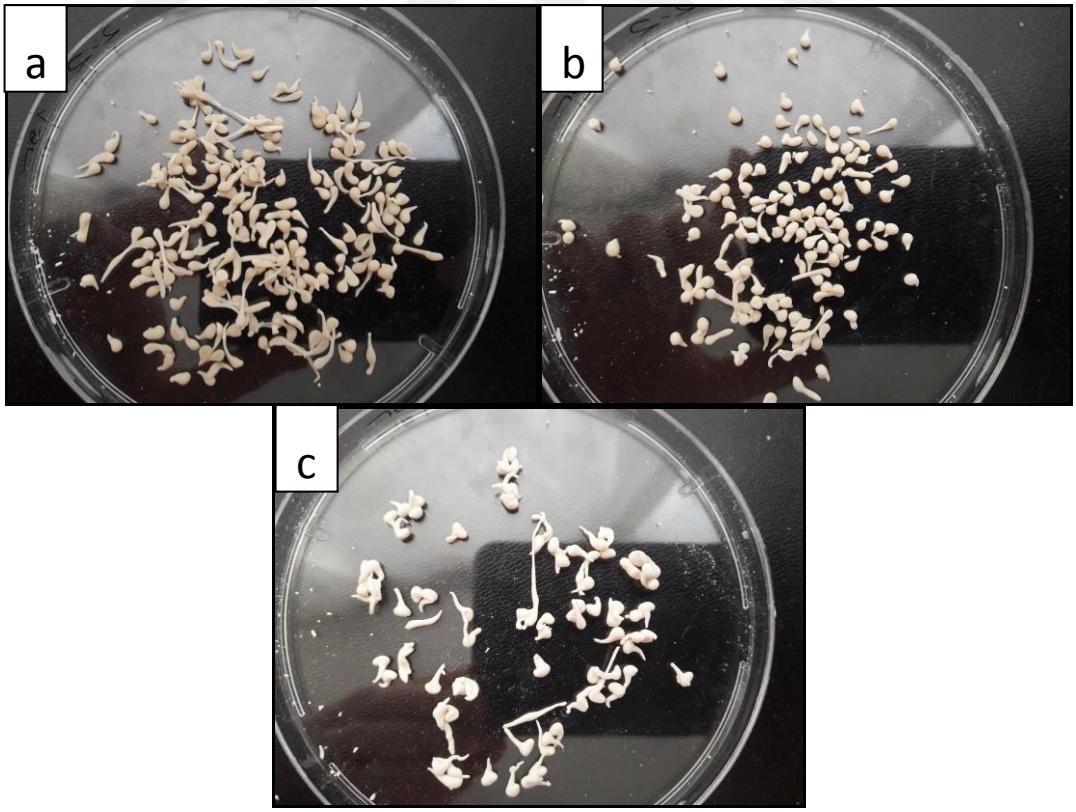
Na-aljinat/bentonit ile hazırlanan kapsüllerin etüv sonrası görünüşleri şekil 7.19, 7.20, 7.21'da verilmiştir.



Şekil 7. 19 a) %1,5 Na-aljinat / %1 bentonit; b) %1,5 Na-aljinat / %2 bentonit; c) %1,5 Na-aljinat / %4 bentonit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları



Şekil 7. 20 a) %2 Na-aljinat / %1 bentonit; b) %2 Na-aljinat / %2 bentonit; c) %2 Na-aljinat / %4 bentonit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları



Şekil 7. 21 a) %2,5 Na-aljinat / %1 bentonit; b) %2,5 Na-aljinat / %2 bentonit; c) %2,5 Na-aljinat/%4 bentonit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları

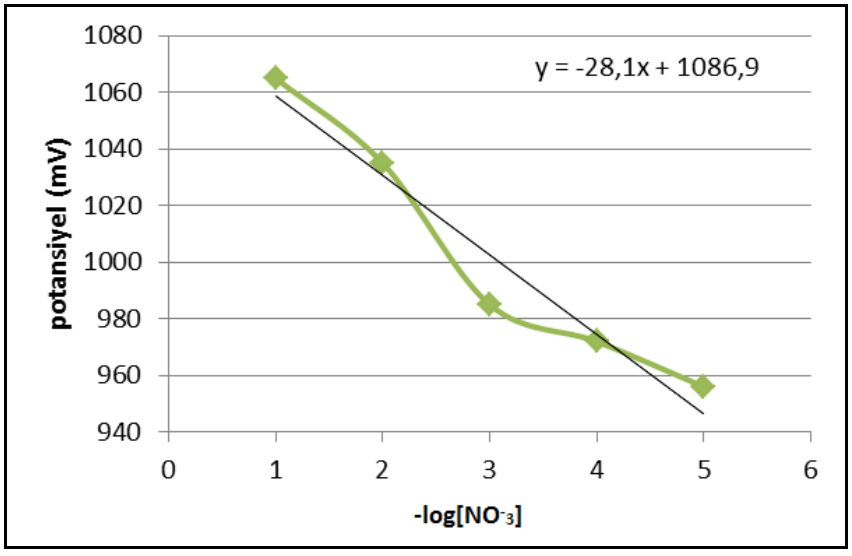
7.2 Elektrokimyasal Analiz Sonuçları

Bu bölüm iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, potansiyometrede ölçümler alınmadan önce 10^{-1}, 10-2, 10^{-3}, 10^{-4} ve 10^{-5} KNO_3 içeren çözeltilerin potansiyometrede potansiyel değişim değerleri ölçüldü ve kaydedildi. Bu ölçümler her bir örnek için tekrarlandı. Bu değerler ile potansiyel değerlere (y ekseni) karşılık $-\log[NO_3]$ (x ekseni) grafiği çizilerek kalibrasyon eğrisi ve deklemi elde edildi. İkinci aşamada, çizilen grafiğin lineer denklemi alındı ve 1-5-10-15-20-30-40. dakikalardaki distile suya salınan K konsantrasyonları hesaplandı. Hesaplama sonuçları ile zamana (x ekseni) karşı saf su içerisine salınan potasyum iyonunun konsantrasyon değişimlerini (y ekseni) gösteren grafikleri çizilerek, kapsüllerin salım ve tutuculuk performansları değerlendirildi.

Kalibrasyon eğrilerinin elde edilmesi

Her bir kapsüle ait potansiyometrede okunan potansiyel değerler ve kalibrasyon eğrileri şu şekildedir;

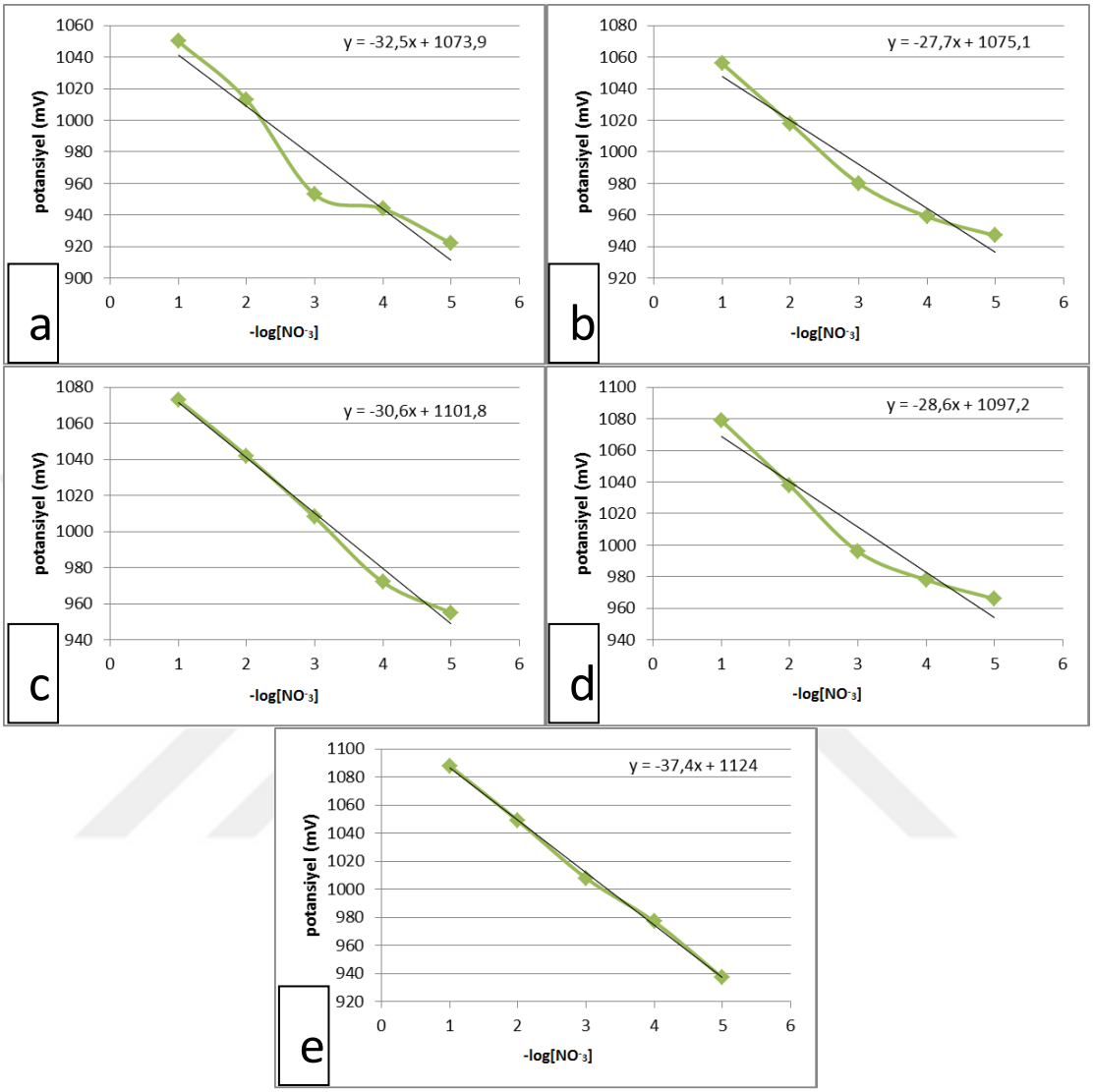
% 1,5 Na-aljinat / % 0,5 Perlit oranları ile hazırlanan kapsüllerin elektrokimyasal analizinden önce kalibrasyon çözeltilerinden okunan potansiyometre değerleri ile $-\log[NO^-_3]$'e karşılık gelen kullanılarak kalibrasyon eğrisi elde edildi (Şekil 7.22).



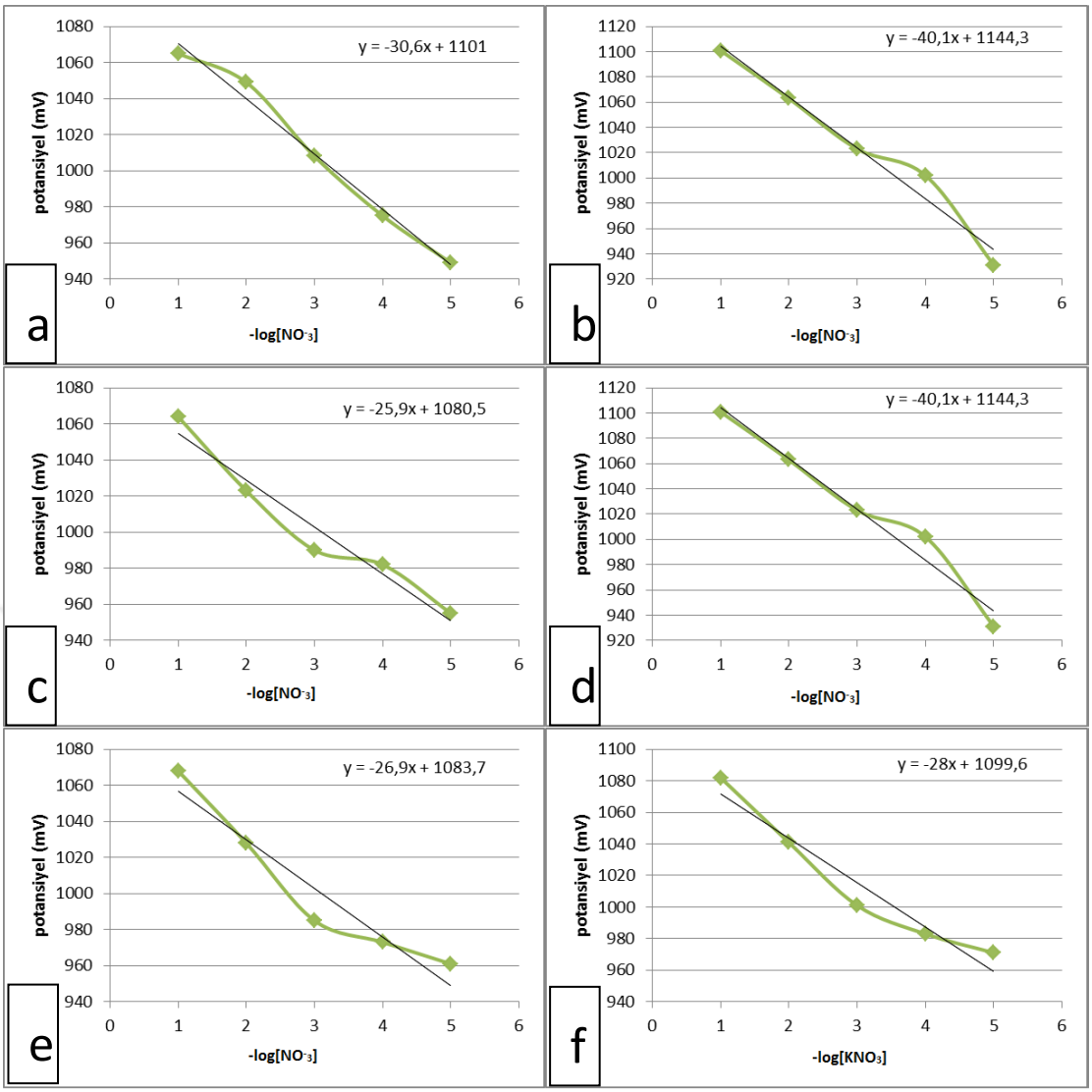
Şekil 7. 22 %1,5 Na-aljinat / %0,5 Perlit oranları ile hazırlanan kapsüllerin elektrokimyasal analizleri öncesinde elde edilen $-\log[NO^-_3]$ çözeltilerine karşılık kalibrasyon eğrisi

Kalibrasyon çözeltilerinin potansiyometre değerleri her bir örnekten önce ölçülüp kalibrasyon eğrileri elde edildi. Perlit, bentonit ve öğütülmüş kil ile hazırlanan

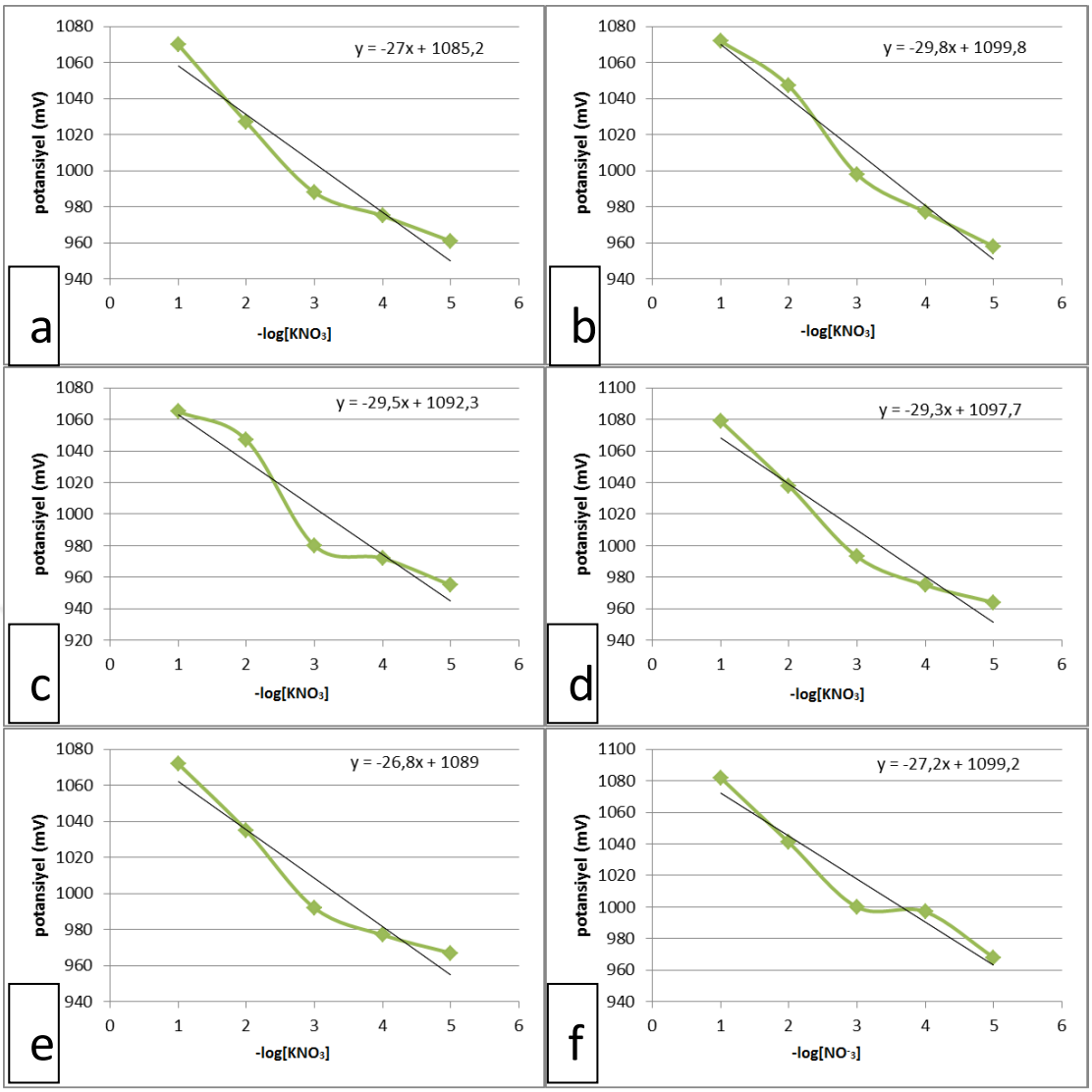
kapsüllere ait kalibrasyon eğrileri için aynı işlemler yapılarak aşağıdaki grafikler elde edildi (Şekil 7.23'den Şekil 7.27'ye kadar).



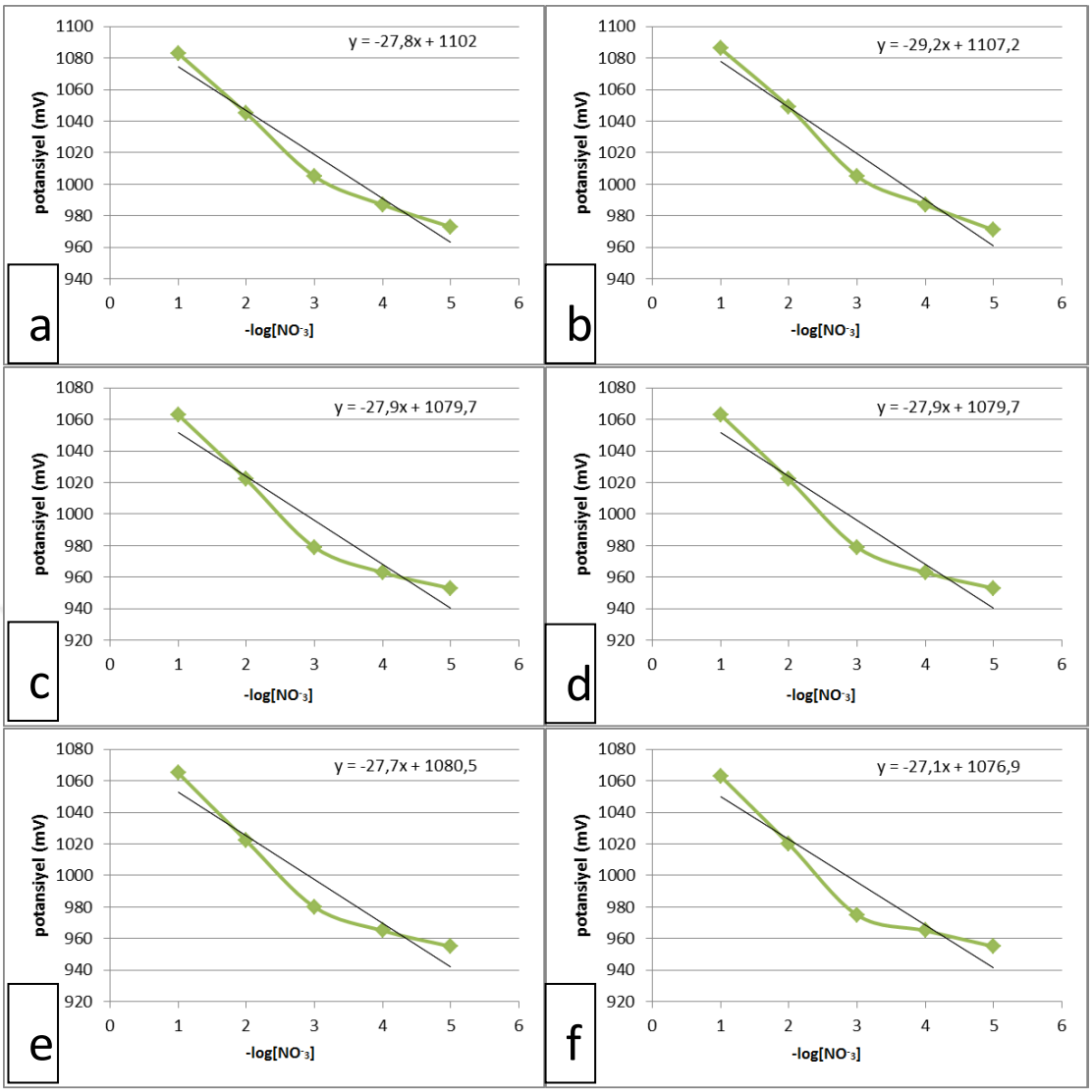
Şekil 7. 23 a)%1,5 Na-aljinat/%1 Perlit; b) %1,5 Na-aljinat/%2 Perlit; c) %1,5 Na-aljinat/%4 Perlit; d) %1,5 Na-aljinat/%6 Perlit; e) %1,5 Na-aljinat/%10 Perlit oranları ile hazırlanan kapsüllerin elektrokimyasal analizleri öncesinde elde edilen -log[NO^-_3] çözeltilerine karşılık kalibrasyon eğrileri



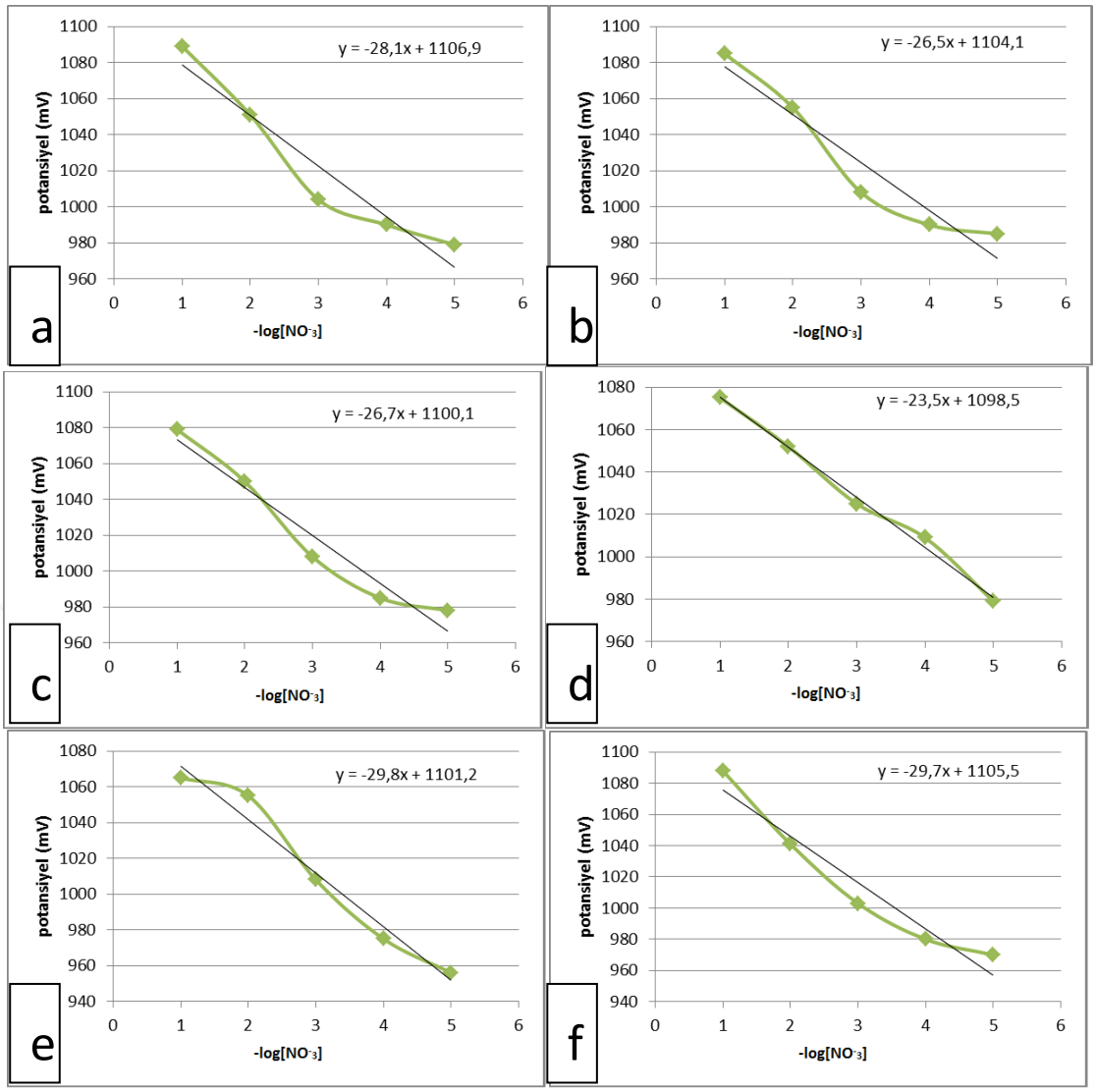
Şekil 7. 24 a)%2 Na-aljinat/%0,5 Perlit; b) %2 Na-aljinat/%1 Perlit; c) %2 Na-aljinat/%2 Perlit; d) %2 Na-aljinat/%4 Perlit; e) %2 Na-aljinat/%6 Perlit; f) %2 Na-aljinat/%10 Perlit oranları ile hazırlanan kapsüllerin elektrokimyasal analizleri öncesinde elde edilen -log[NO^-_3] çözeltilerine karşılık kalibrasyon eğrileri



Şekil 7. 25 a)%2,5 Na-aljinat/%0,5 Perlit; b) %2,5 Na-aljinat/%1 Perlit; c) %2,5 Na-aljinat/%2 Perlit; d) %2,5 Na-aljinat/%4 Perlit; e) %2,5 Na-aljinat/%6 Perlit; f) %2,5 Na-aljinat/%10 Perlit oranları ile hazırlanan kapsüllerin elektrokimyasal analizleri öncesinde elde edilen -log[NO^-_3] çözeltilerine karşılık kalibrasyon eğrileri



Şekil 7. 26 a)%1,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş Kil; b) %1,5 Na-aljinat/%4 Öğütülmüş Kil; c) %2 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş Kil; d) %2 Na-aljinat/%4 Öğütülmüş Kil; e) %2,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş Kil; f) %2,5 Na-aljinat/%4 Öğütülmüş Kil oranları ile hazırlanan kapsüllerin elektrokimyasal analizleri öncesinde elde edilen -log[NO^-_3] çözeltilerine karşılık kalibrasyon eğrileri



Şekil 7. 27 a)%1,5 Na-aljinat/%2 Bentonit; b) %1,5 Na-aljinat/%4 Bentonit; c) %2 Na-aljinat/%2 Bentonit; d) %2 Na-aljinat/%4 Bentonit; e) %2,5 Na-aljinat/%2 Bentonit; f) %2,5 Na-aljinat/%4 Bentonit oranları ile hazırlanan kapsüllerin elektrokimyasal analizleri öncesinde elde edilen -log[NO^-_3] çözeltilerine karşılık kalibrasyon eğrileri

Salım miktarlarının hesaplanması ve grafiklerin elde edilmesi

% 1,5 Na-aljinat / % 0,5 Perlit ile hazırlanan KNO_3 içeren kapsüller

Kalibrasyon eğrisinin denklemi y = -28,1x + 1086,9 (Şekil 7.22 grafiğinin eğri denklemi).

Kapsüllerin potansiyometre cihazı ölçümlerinde okunan potansiyel değerleri kullanılarak (çizelge 7.1) salınan NO^-_3 iyonunun miktarı aşağıdaki şekilde hesaplandı;

t=1 dk

y = -28,1x + 1086,9 denkleminde y=970 yazılırsa,

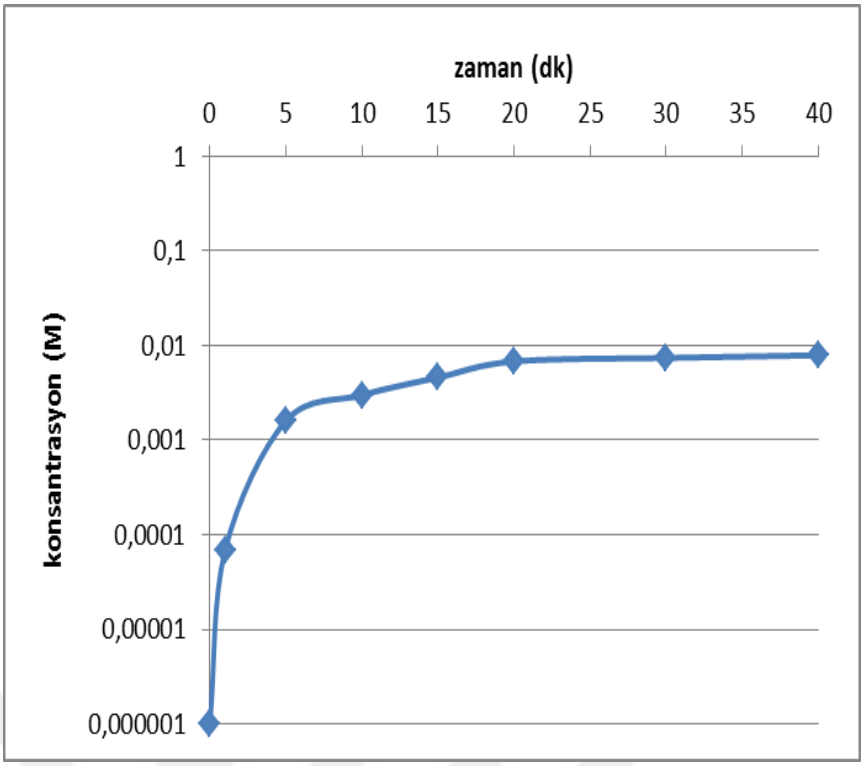
970 = -28,1x + 1086,9

x = 4,16

–log[x] = 4,16 ise $x = 6,9x10^{-5}$ M çıkmaktadır. Yani 1. dakikada su içerisine salınan NO^-_3 iyonunun konsantrasyonu $6,9x10^{-5}$ M'dır. Bu hesaplamalar 1-5-10-15-20-30 ve 40. dakikaları için yapılarak zamanla saf suya salınan NO^-_3 miktarını gösteren grafik elde edildi (Şekil 7.28).

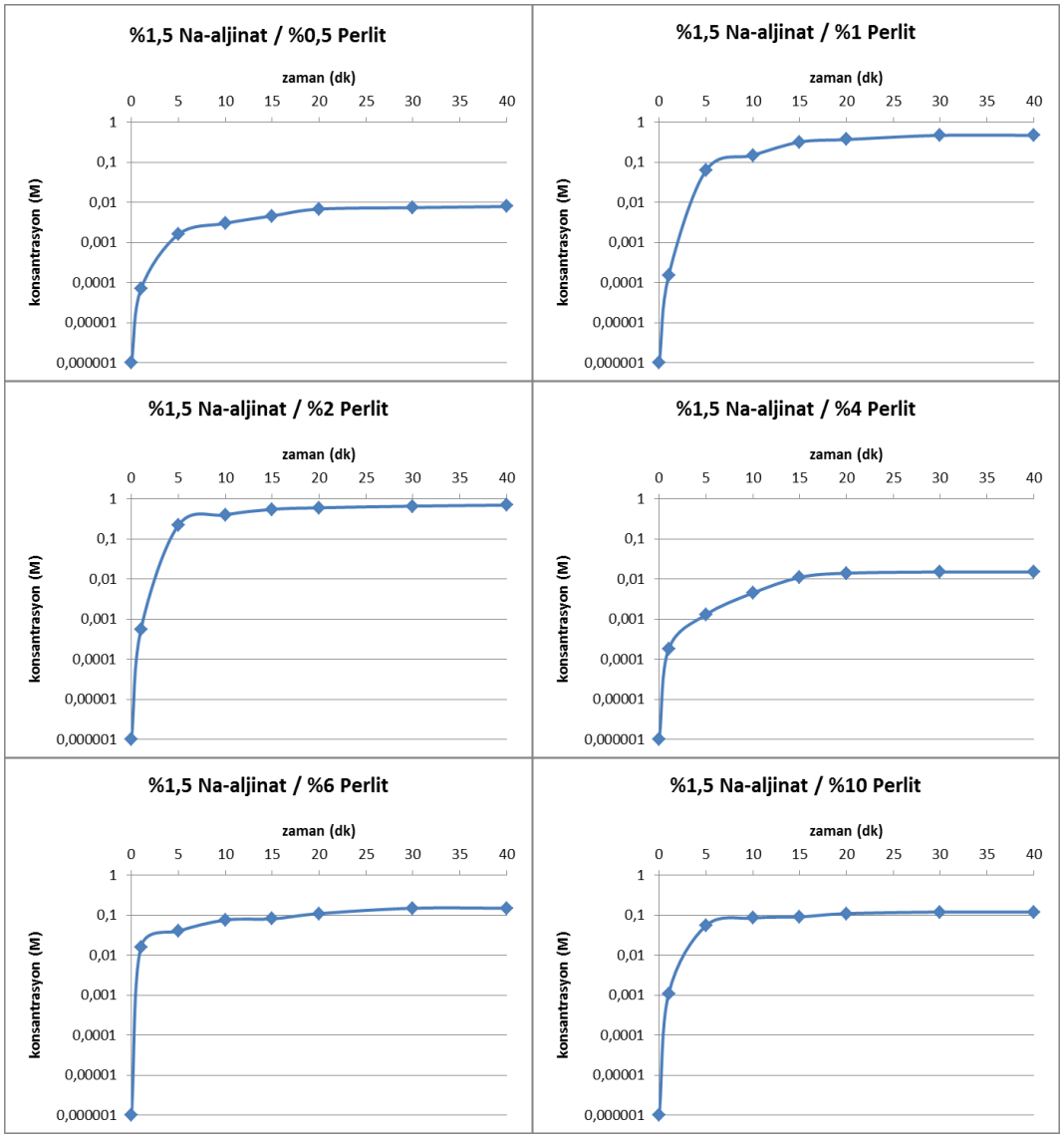
Çizelge 7. 1 %1,5 Na-aljinat / %0,5 Perlit oranları ile hazırlanan kapsüllerin potansiyometrede okunan potansiyel ve salınan NO^-_3 iyonunun konsantrasyon değerleri

Zaman (dk)	**Potansiyel değerler (mV)**	**Salınan NO^-_3 iyonu konsantrasyonu (M)**
1	970	$6,9x10^{-5}$
5	1008	$1,6x10^{-3}$
10	1016	$3,0x10^{-3}$
15	1021	$4,6x10^{-3}$
20	1026	$6,8x10^{-3}$
30	1027	$7,4x10^{-3}$
40	1028	$7,9x10^{-3}$

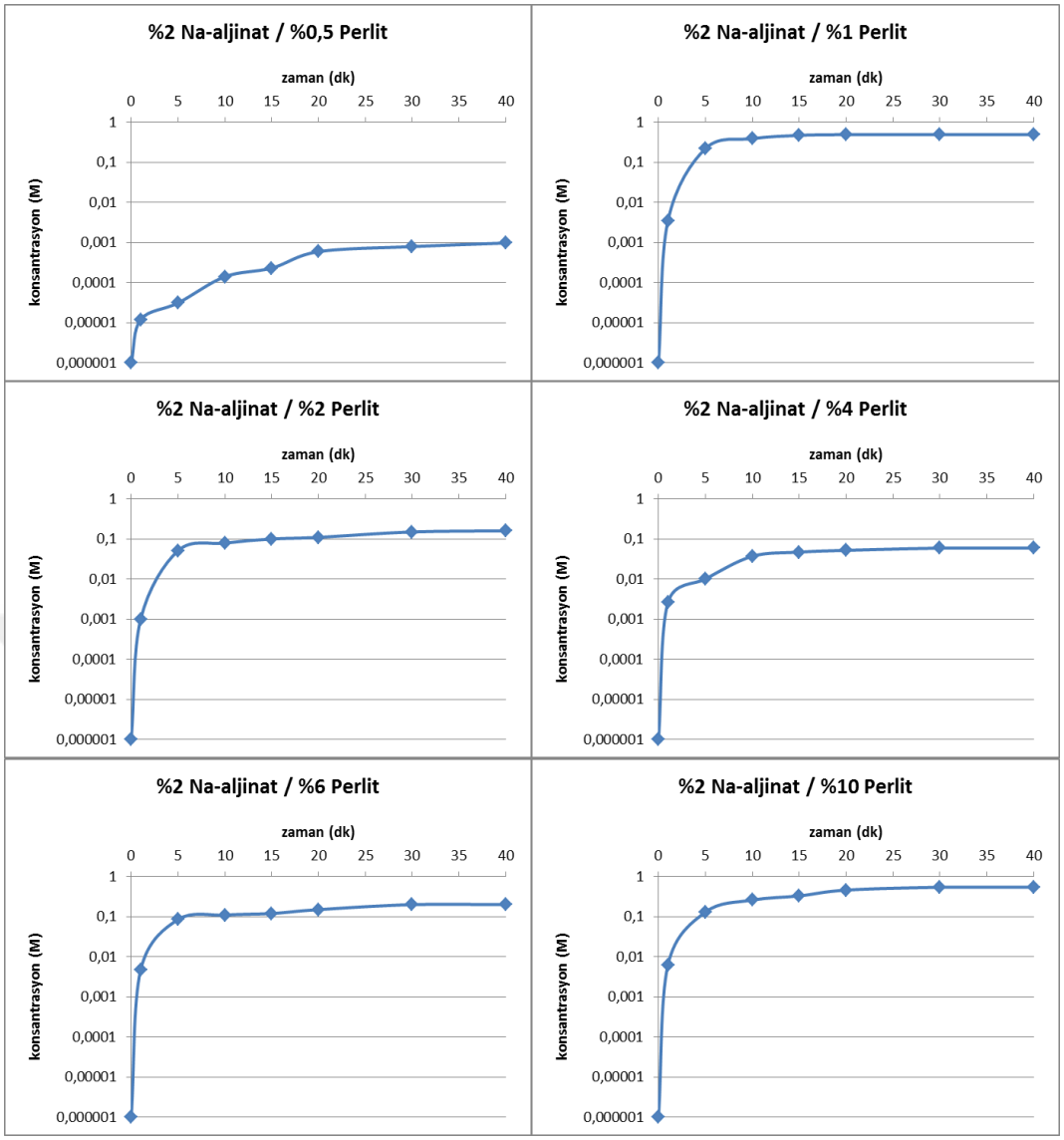


Şekil 7. 28 %1,5 Na-aljinat / %0,5 Perlit ile hazırlanan kapsüllerin saf su içerisindeki NO^-_3 salım grafiği

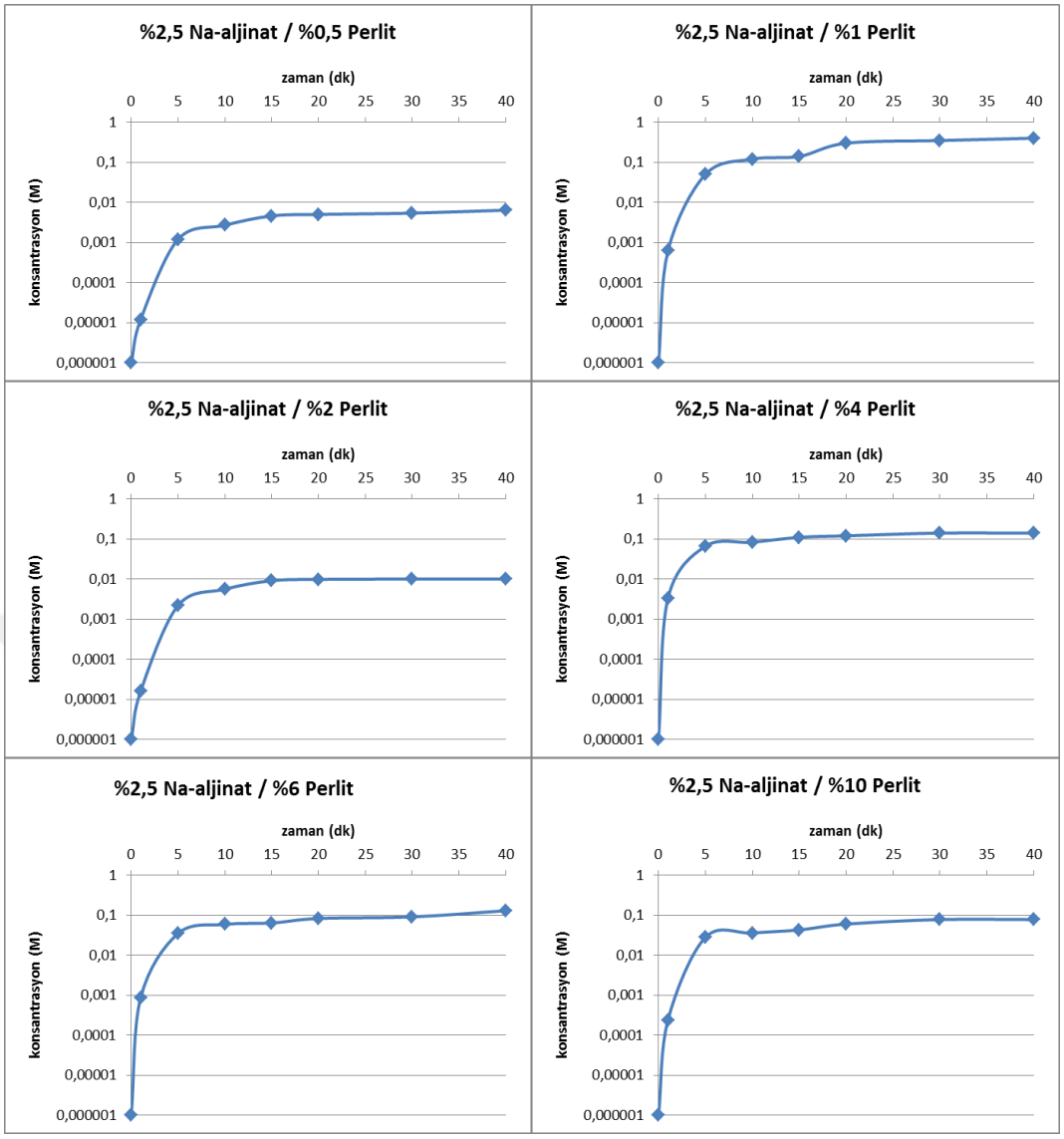
Çizelge 6.1, çizelge 6.2 ve çizelge 6.3'de belirtilen oranlarla hazırlanan kapsüllerin her biri için aynı işlemler yapılarak salım grafikleri elde edildi (Şekil 7.29'dan Şekil 7.33'e kadar).



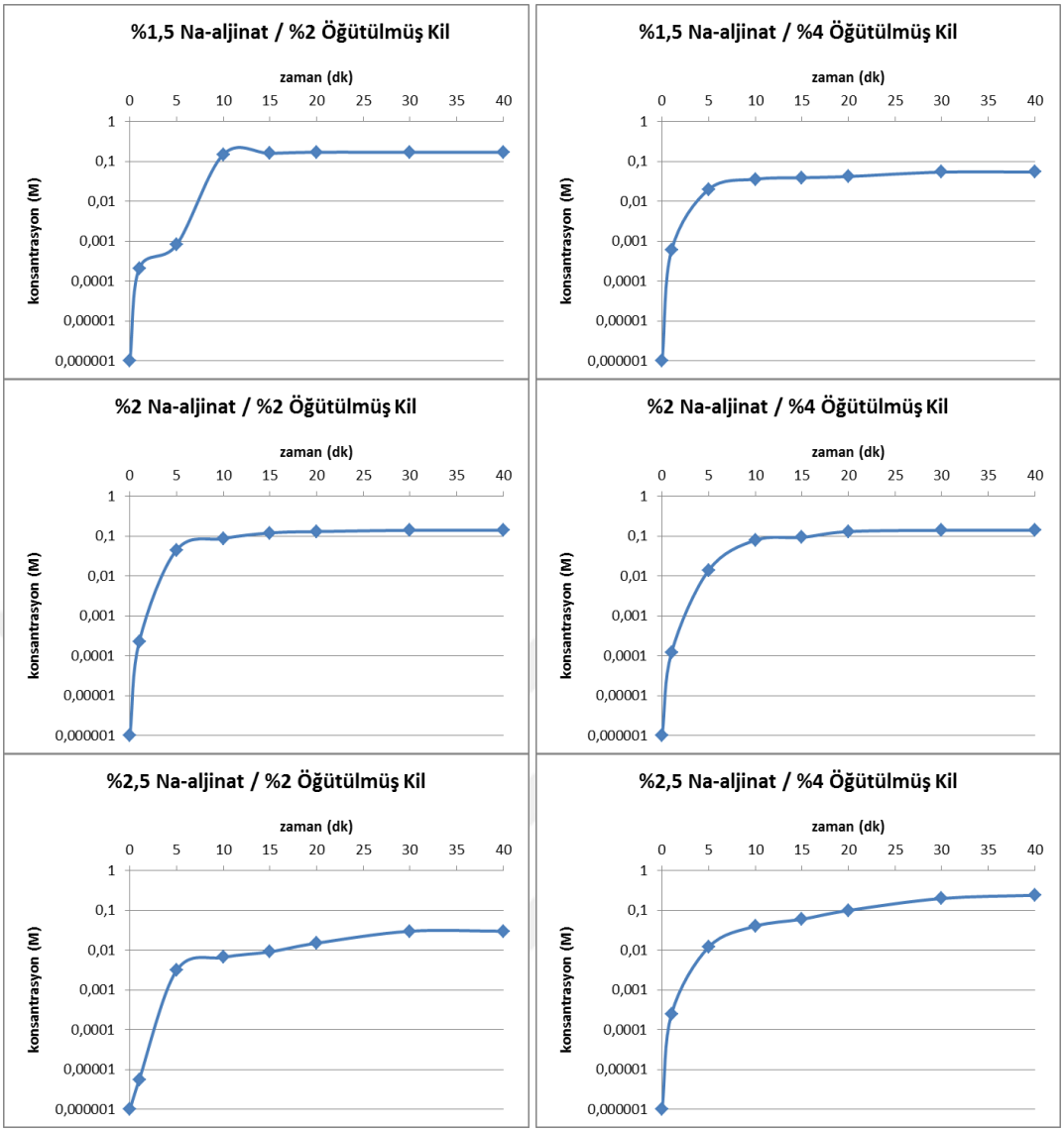
Şekil 7. 29 %1,5 Na-aljinat / %0,5;1;2;4;6;10 Perlit ile hazırlanan kapsüllerin saf su içerisindeki NO^-_3 salım grafikleri



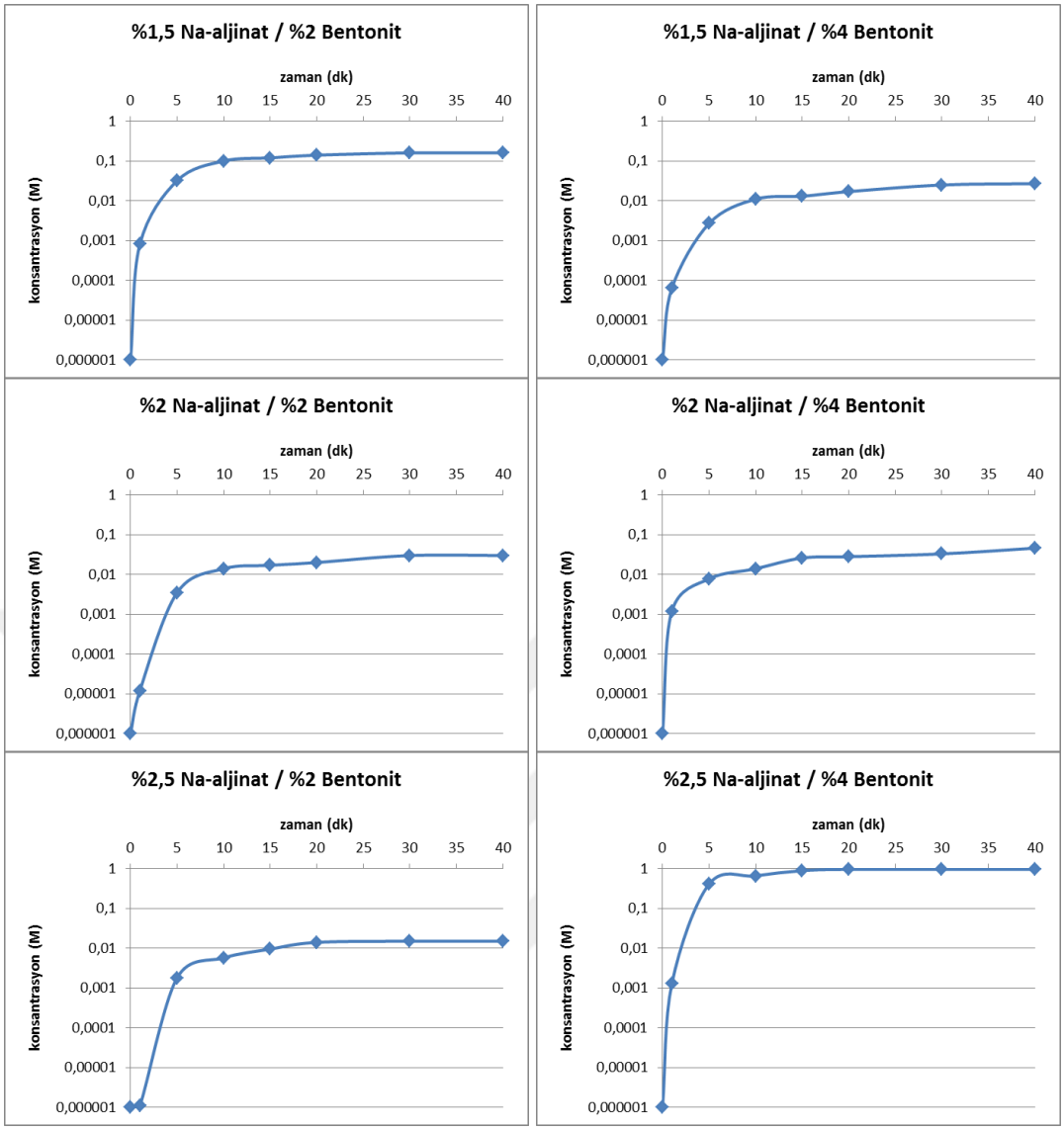
Şekil 7. 30 %2 Na-aljinat / %0,5;1;2;4;6;10 Perlit ile hazırlanan kapsüllerin saf su içerisindeki NO^-_3 salım grafikleri



Şekil 7. 31 %2,5 Na-aljinat / %0,5;1;2;4;6;10 Perlit ile hazırlanan kapsüllerin saf su içerisindeki NO^-_3 salım grafikleri



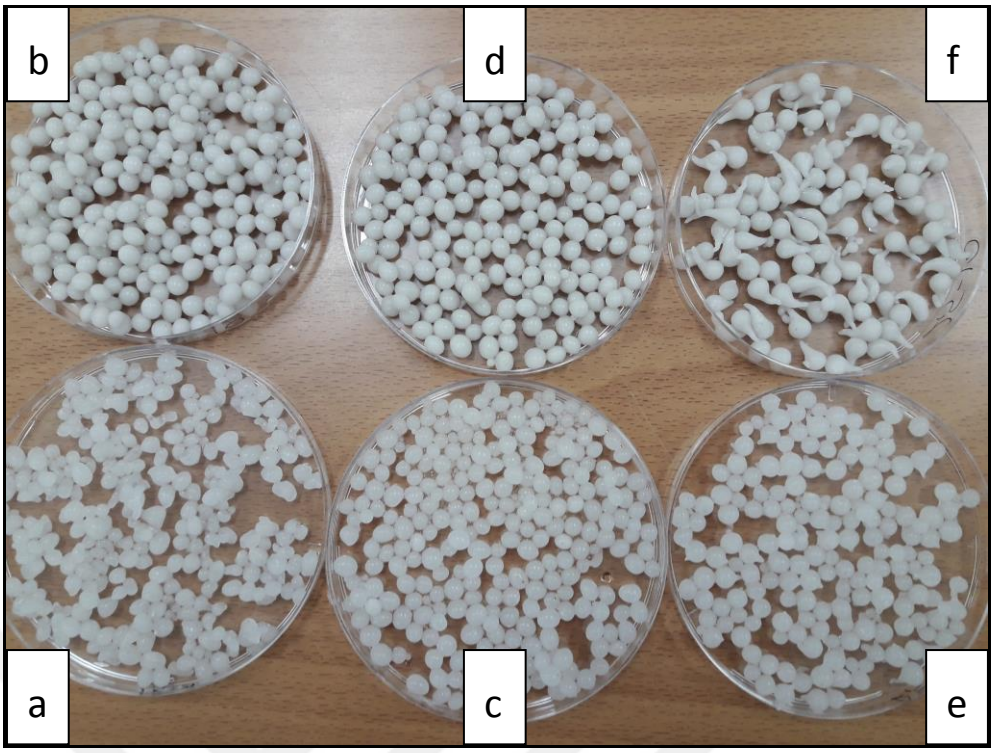
Şekil 7. 32 %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %1;2;4 Öğütülmüş Kil ile hazırlanan kapsüllerin saf su içerisindeki NO^-_3 salım grafikleri



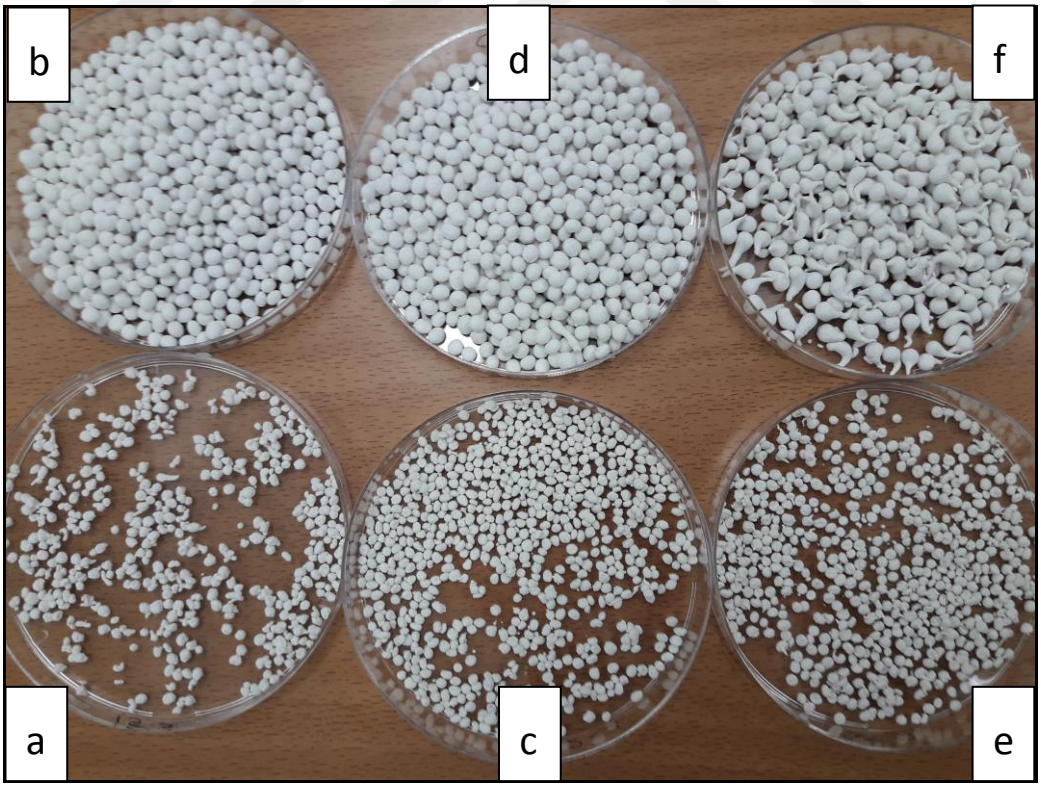
Şekil 7. 33 %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %1;2;4 Bentonit ile hazırlanan kapsüllerin saf su içerisindeki NO^-_3 salım grafikleri

7.3 Bitki Besinleri İçeren Kapsüllerin (Kapsül Gübre) Sonuçları

Çizelge 6.4'de verilen Na-aljinat ve perlit oranlarıyla hazırlanmış ve çizege 6.5'de verilen miktarlarda bitki besini içeren kapsüllerin etüv öncesi ve sonrası görüntüleri şekil 7.34 ve şekil 7.35'de verilmiştir.



Şekil 7. 34 Bitki besini içeren kapsül gübreler etüv öncesi; a) %1,5 Na-aljinat / %2 Perlit, b) %1,5 Na-aljinat / %10 Perlit, c) %2 Na-aljinat / %2 Perlit, d) %2 Na-aljinat / %10 Perlit, e) %2,5 Na-aljinat / %2 Perlit, d) %2,5 Na-aljinat / %10 Perlit



Şekil 7. 35 Bitki besini içeren kapsül gübreler; a) %1,5 Na-aljinat / %2 Perlit, b) %1,5 Na-aljinat / %10 Perlit, c) %2 Na-aljinat / %2 Perlit, d) %2 Na-aljinat / %10 Perlit, e) %2,5 Na-aljinat / %2 Perlit, d) %2,5 Na-aljinat / %10 Perlit

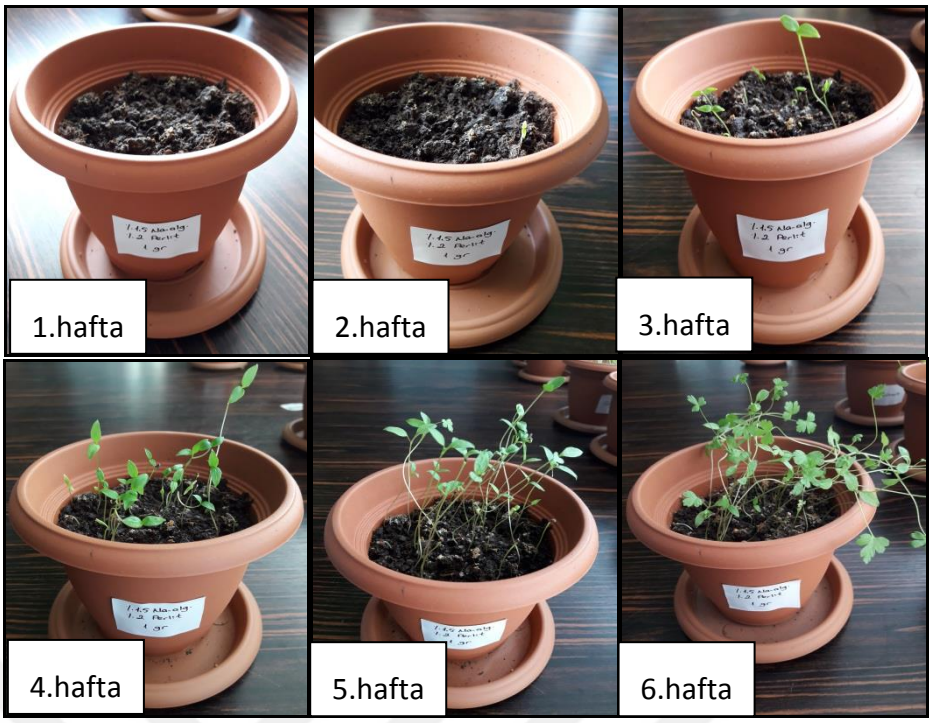
Bitki beslemede kullanılan ticari kapsül gübre, karşılaştırma amacıyla bitki uyguamalarında kullanıldı. Kullanılan ticari gübre şekil 7.36'da görülmektedir.



Şekil 7. 36 Ticari kapsül gübre

7.4 Bitki Uygulaması Sonuçları

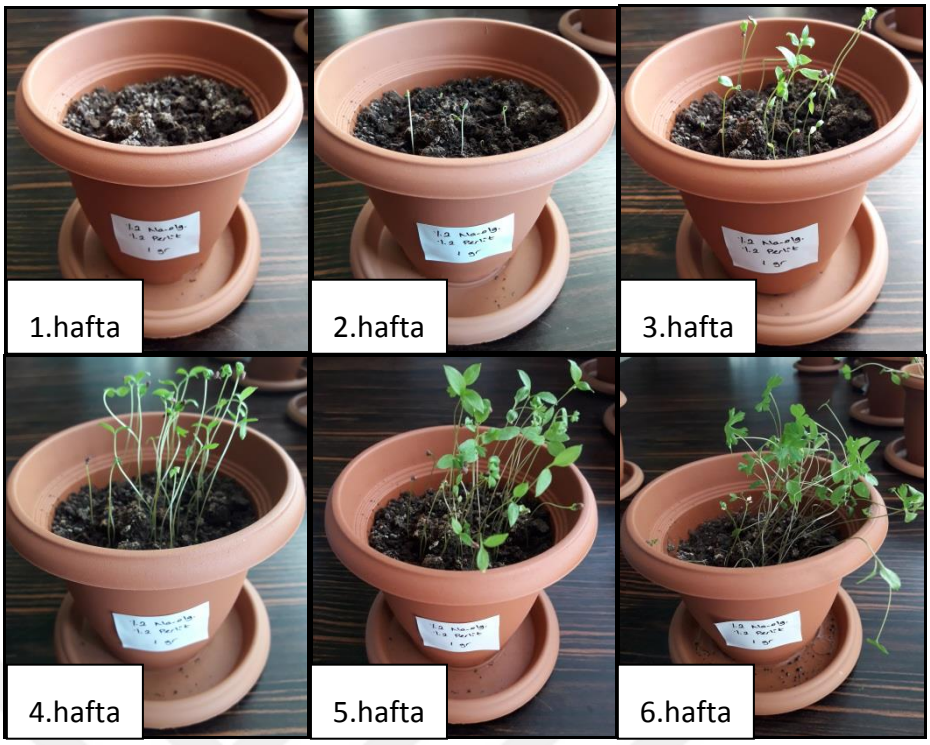
Bitki gelişimleri bir hafta aralıklarla 6 hafta boyunca fotoğraflanmıştır ve sonuçları aşağıda verilmiştir (Şekil 7.36'den Şekil 7.51'a kadar).



Şekil 7. 37 %1,5 Na-aljinat / %2 perlit içeren ve 1 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi



Şekil 7. 38 %1,5 Na-aljinat / %2 perlit içeren ve 2 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi



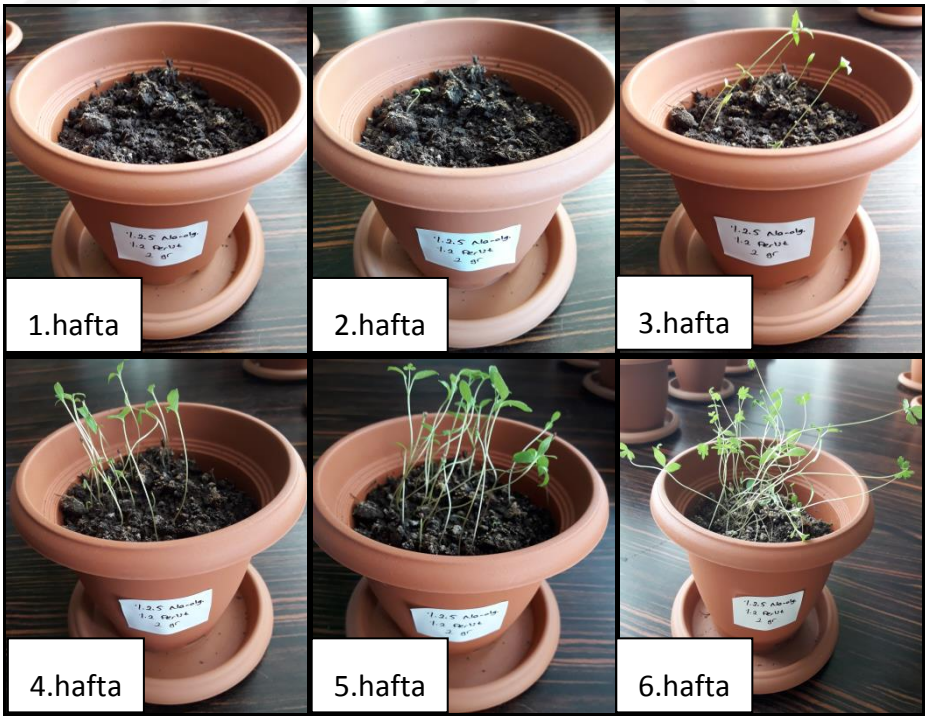
Şekil 7. 39 %2 Na-aljinat / %2 perlit içeren ve 1 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi



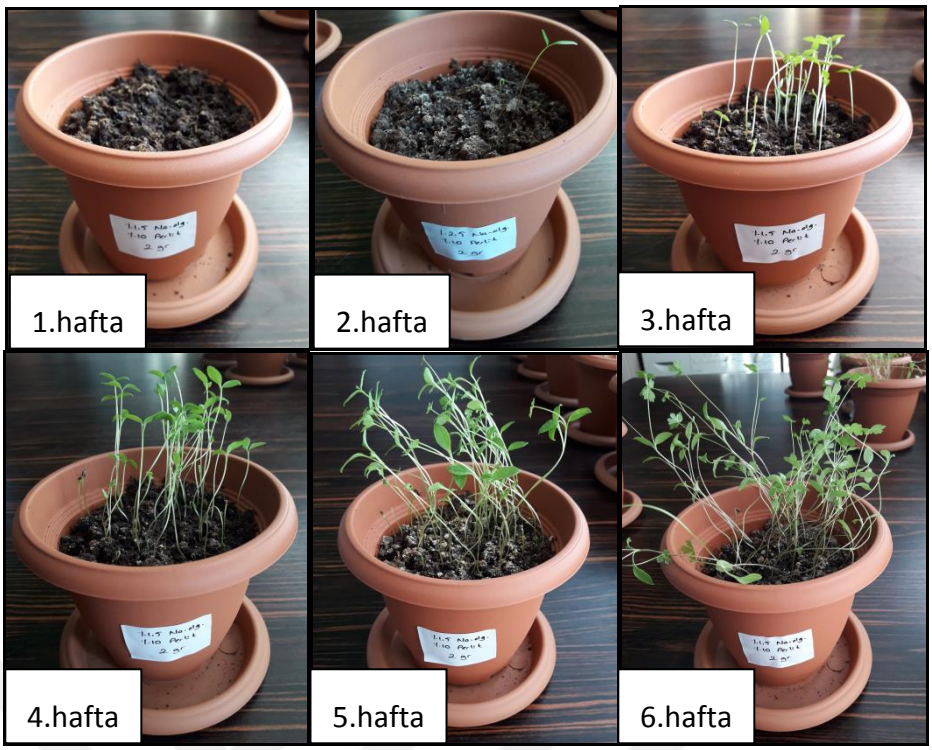
Şekil 7. 40 %2 Na-aljinat / %2 perlit içeren ve 2 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi



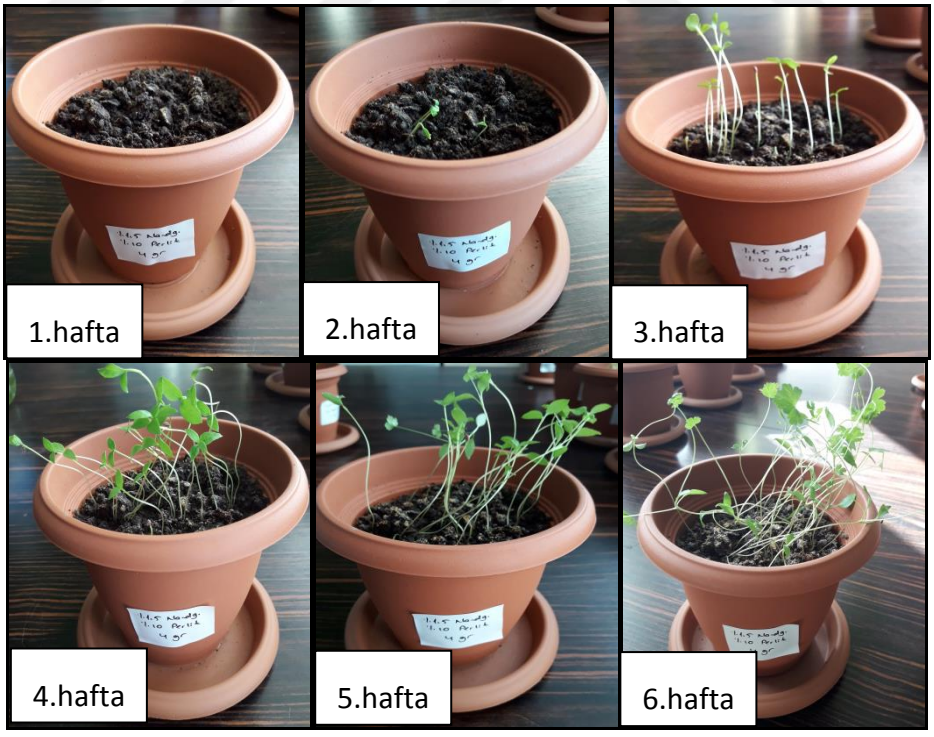
Şekil 7. 41 %2,5 Na-aljinat / %2 perlit içeren ve 1 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi



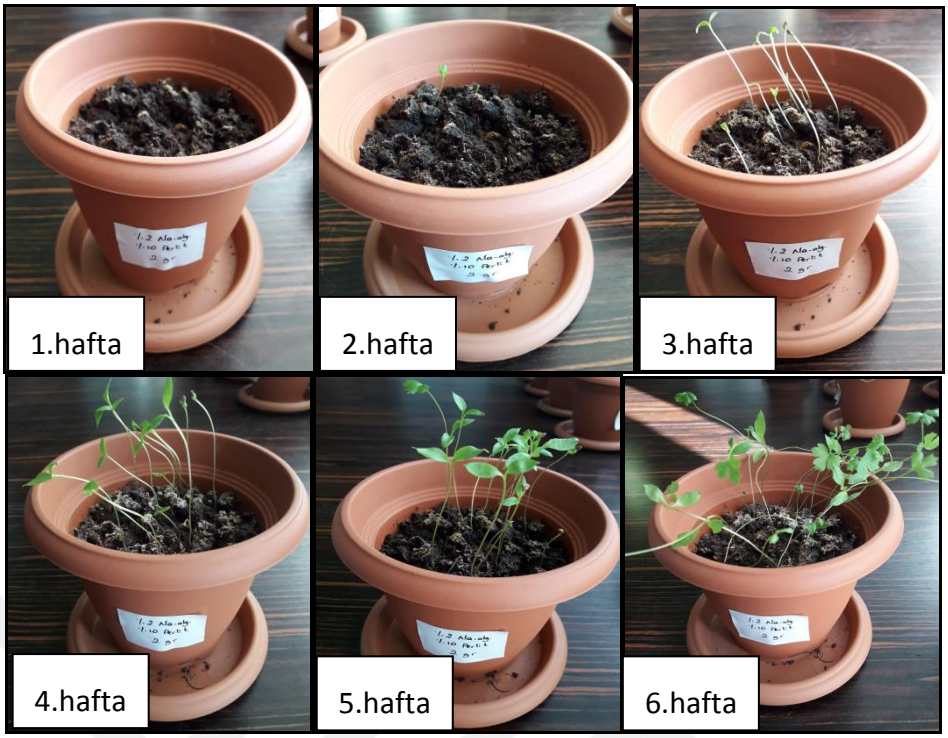
Şekil 7. 42 %2,5 Na-aljinat / %2 perlit içeren ve 2 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi



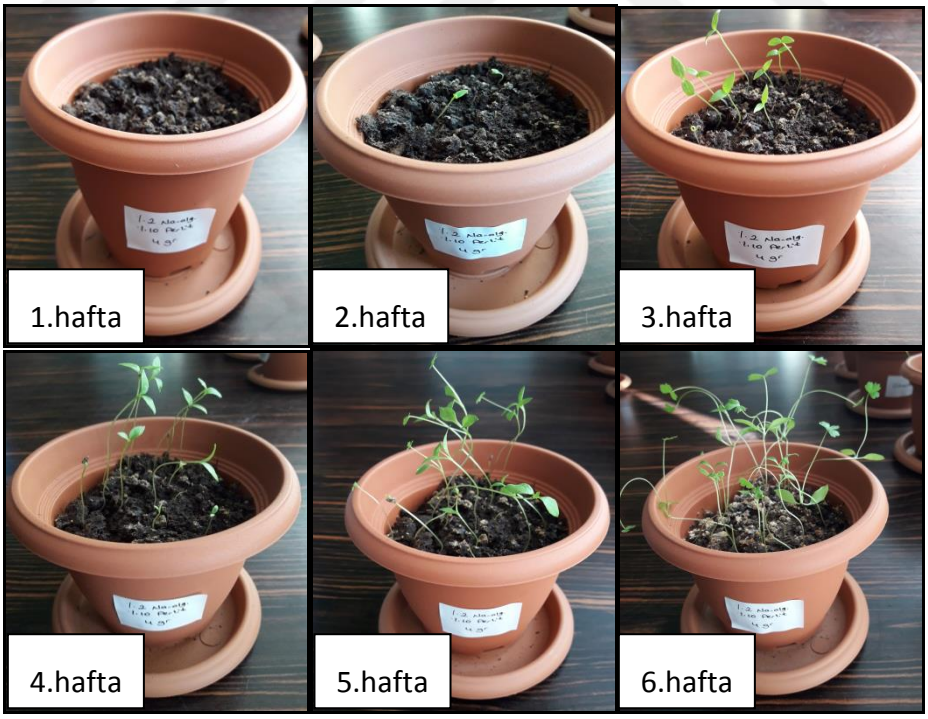
Şekil 7. 43 %1,5 Na-aljinat / %10 perlit içeren ve 2 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi



Şekil 7. 44 %1,5 Na-aljinat / %10 perlit içeren ve 4 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi



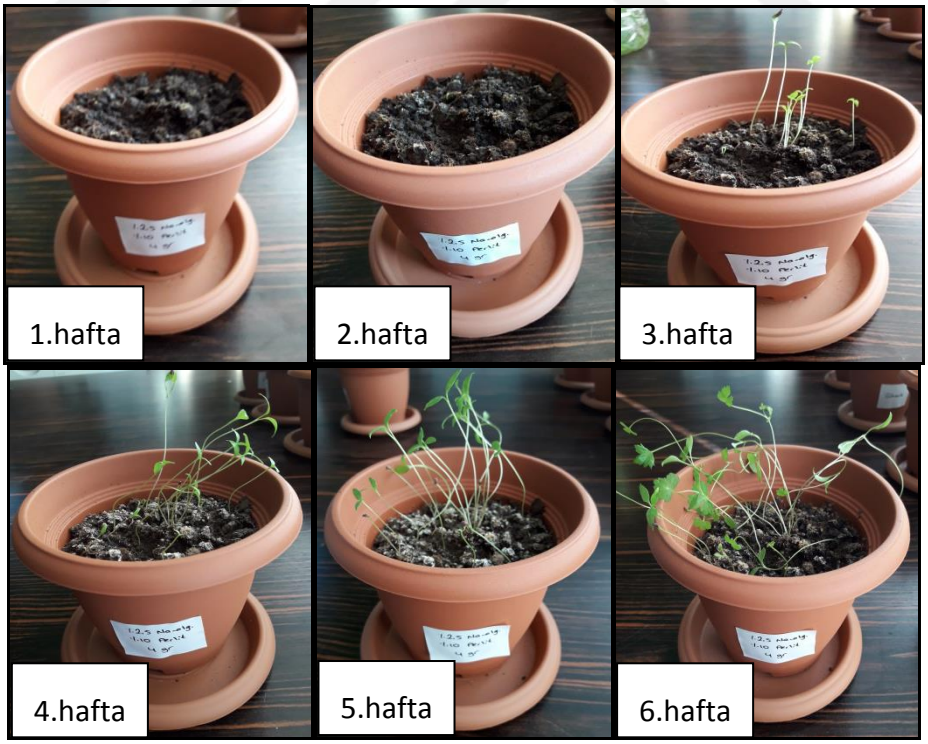
Şekil 7. 45 %2 Na-aljinat / %10 perlit içeren ve 2 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi



Şekil 7. 46 %2 Na-aljinat / %10 perlit içeren ve 4 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi



Şekil 7. 47 %2,5 Na-aljinat / %10 perlit içeren ve 2 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi



Şekil 7. 48 %2,5 Na-aljinat / %10 perlit içeren ve 4 gr kapsül gübre içeren bitkinin gelişim



Şekil 7. 49 2 gr ticari kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi



Şekil 7. 50 4 gr ticari kapsül gübre içeren bitkinin gelişimi



Şekil 7. 51 Gübre içermeyen bitkinin gelişimi

BÖLÜM 8

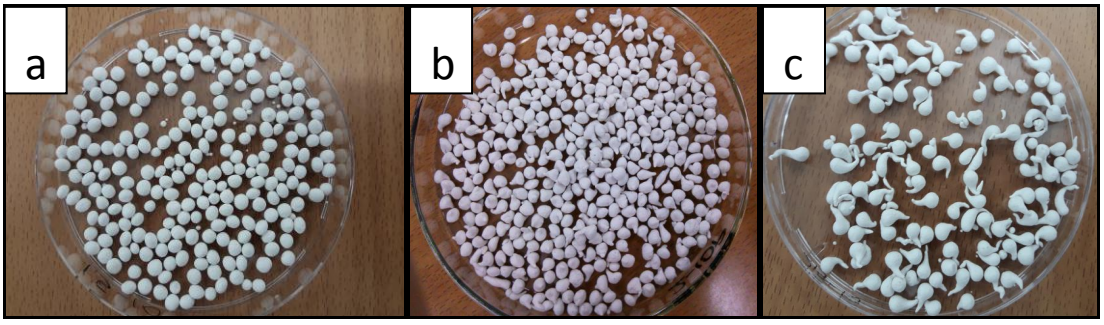
SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1 KNO_3 İçeren Kapsüllerin Değerlendirilmesi

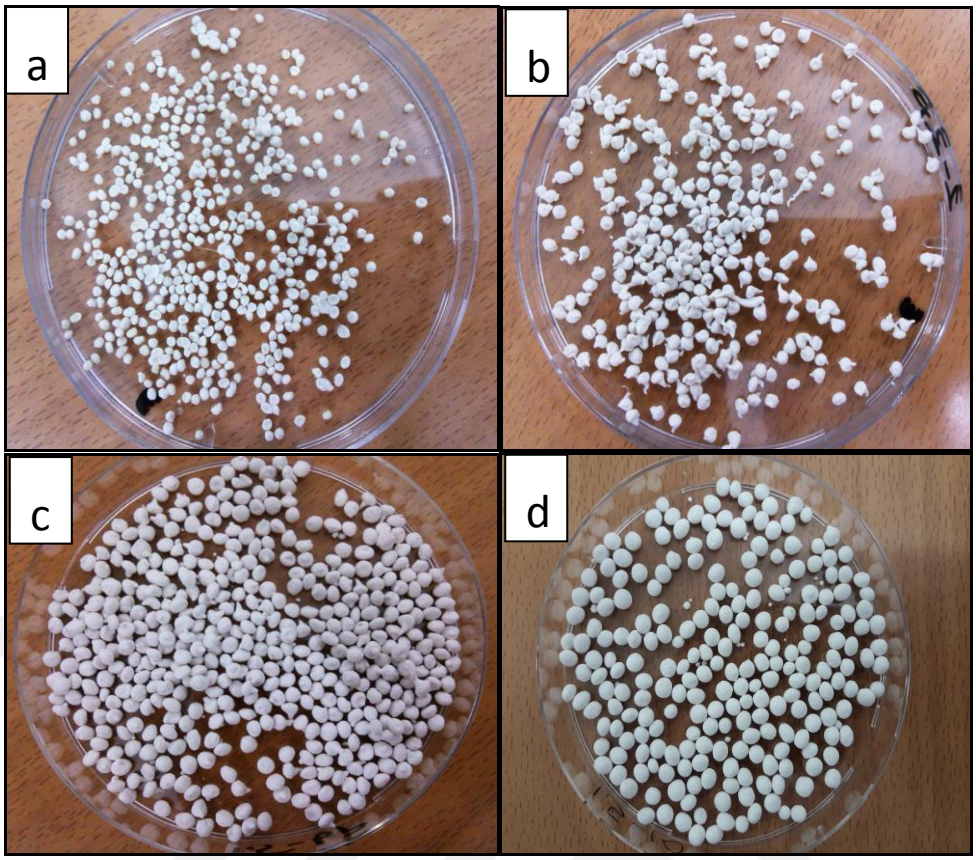
Kaplama malzemesinde Na-aljinata ek olarak perlit, bentonit ve öğütülmüş kil içeren, içerisinde KNO_3 bulunan kapsüller elde edildi. Kaplama çözeltisinin viskozitesi, kürecik oluşumu, etüvde kuruma süreleri ve kapsül boyutları incelenerek karşılaştırmalar yapıldı.

Perlit ile hazırlanan kapsüller

Na-aljinat/perlit ile hazırlanan kapsüllerde Na-aljinat ve perlit oranı artıkça çözeltinin viskozitesi ve kapsül çapları büyüdü (Şekil 8.1, Şekil 8.2).



Şekil 8.1 a) %1,5 Na-aljinat/%10 perlit; b) %2 Na-aljinat/%10 perlit; c) %2,5 Na-aljinat/%10 perlit içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları



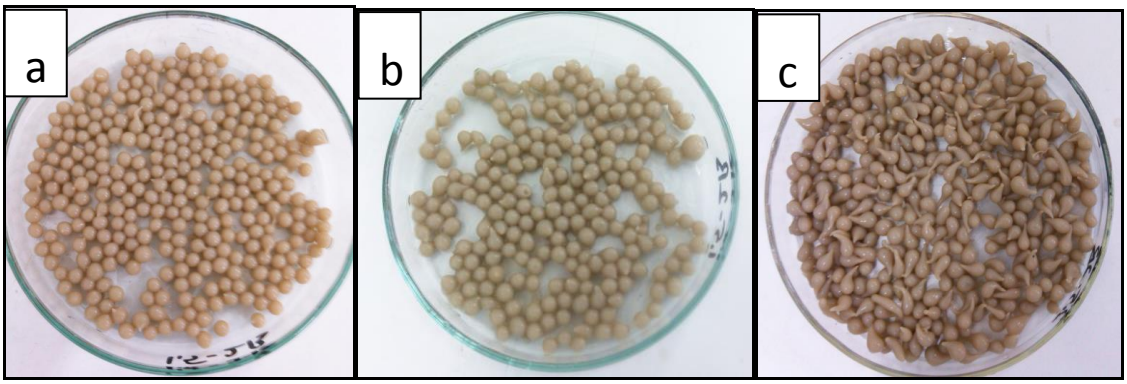
Şekil 8.2 a) %1,5 Na-aljinat/%0,5 perlit; b) %1,5 Na-aljinat/%2 perlit; c) %1,5 Na-aljinat/%6 perlit; d) %1,5 Na-aljinat/%10 perlit içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları

%1,5 ve %2 Na-aljinatlı çözeltilerde, perlit oranı %0,5-%10 arasında olan kapsüller kürecik şeklinde kolay elde edilirken, %2,5 Na-aljinat içeren çözeltilerde %6 ve %10 perlit katıldığında kapsüller kürecik halinde zor elde edildi. Bu durum kapsüllenme hızını yavaşlatmıştır (Şekil 6.12).

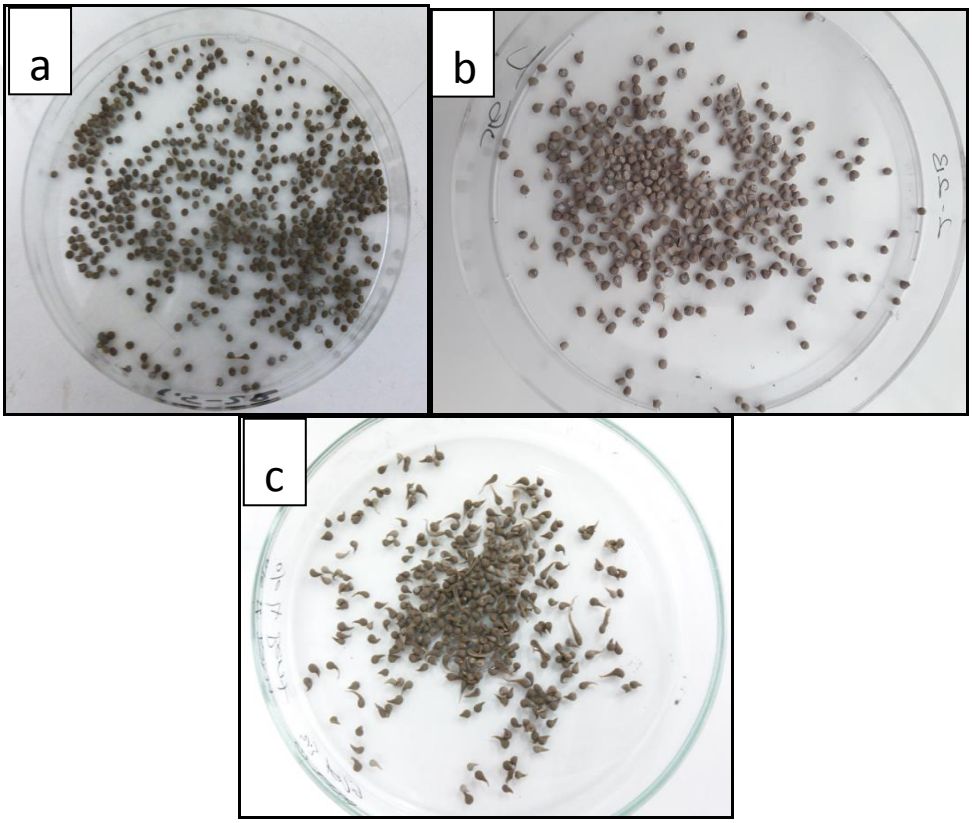
Perlit ilavesinin kompozit duvar malzemesinin kaybını azaltarak verimin artmasını sağlamıştır. Ayrıca Na-aljinatın düşük konsantrasyonlarında perlit ilavesinin viskoziteyi artırarak yapısal destek sağladığı ve kapsül oluşumuna yardımcı olduğu izlenmiştir.

Öğütülmüş kil ile hazırlanan kapsüller

Na-aljinat/Öğütülmüş kil ile hazırlanan kapsüllerde Na-aljinat oranı artıkça çözeltinin viskozitesi artmıştır. Kapsül çapları ise etüve konulmadan önce artarken (Şekil 8.3), etüv sonrası boyutları hemen hemen aynı kalmıştır (Şekil 8.4).

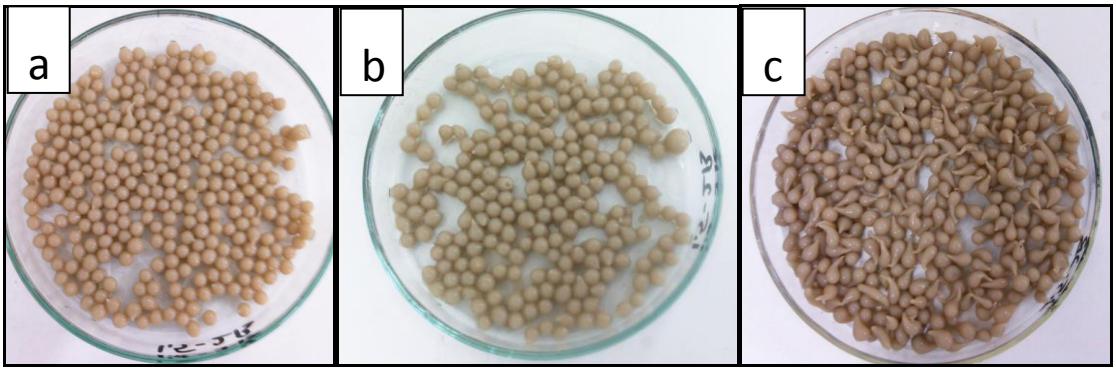


Şekil 8.3 a) %1,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil; b) %2 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil; c) %2,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil içeren kapsüllerin etüv öncesi boyutları

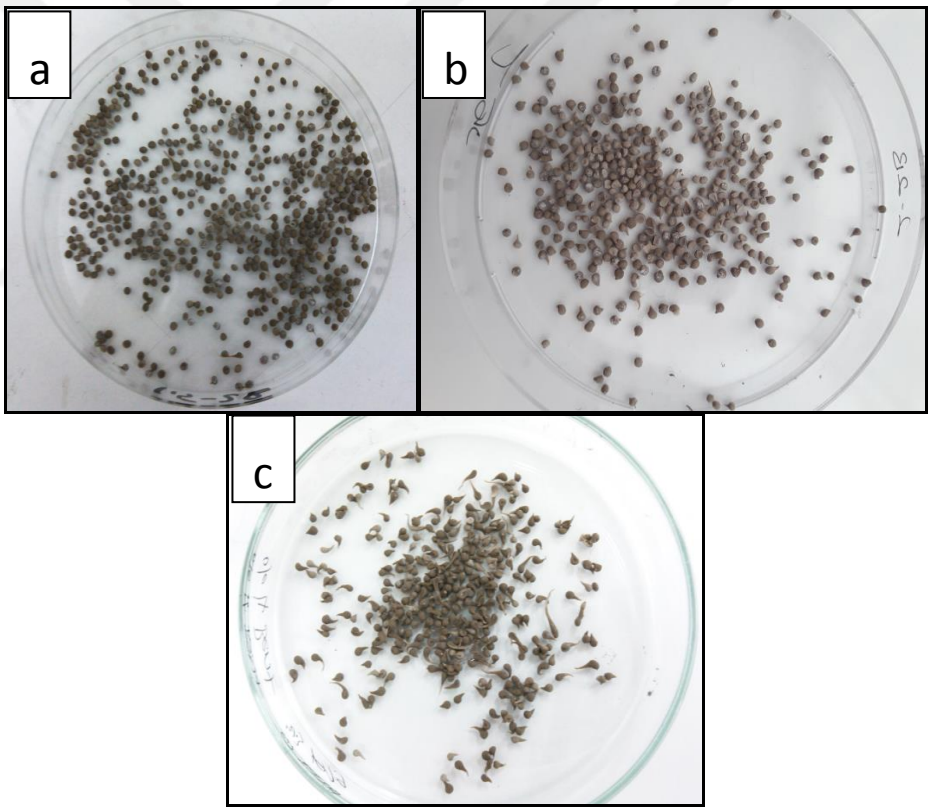


Şekil 8.4 a) %1,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil; b) %2 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil; c) %2,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları

Öğütülmüş kil oranı artıkça çözeltinin viskozitesi artmıştır. Kapsül çapları ise etüve konulmadan önce artarken (Şekil 8.5), etüv sonrası boyutları hemen hemen aynı kalmıştır (Şekil 8.6).



Şekil 8. 5 a) %1,5 Na-aljinat/%1 Öğütülmüş kil; b) %1,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil; c) %1,5 Na-aljinat/%4 Öğütülmüş kil içeren kapsüllerin etüv öncesi boyutları



Şekil 8.6 a) %1,5 Na-aljinat/%1 Öğütülmüş kil; b) %1,5 Na-aljinat/%2 Öğütülmüş kil; c) %1,5 Na-aljinat/%4 Öğütülmüş kil içeren kapsüllerin etüv sonrası boyutları

%2,5 Na-aljinatı çözeltilerde kürecikler zor elde edilmiştir. Öğütülmüş kil kullanımı perlit malzemesi gibi kompozit duvar malzemesinin kaybını azaltarak verimi artırmıştır. Na-aljinata yapısal destek sağlamıştır.

Bentonit ile hazırlanan kapsüller

%1,5 Na-aljinat/%1 bentonit içeren çözeltilerde bentonit ilavesi viskoziteyi artırmamış ve kapsüller kürecik şeklinde zor elde edilmiştir. Ayrıca bu kapsüller içerisinde tuzu tutamamıştır (Şekil 7.19a). %1,5 Na-aljinat/%4 beyaz kil içeren çözeltilerde küre şeklinde kapsüller elde edilememiştir (Şekil 7.19c). Bunların dışındaki çözeltilerde bentonit oranı artıkça viskozite artmış ve kapsül çaplarında azda olsa artış görülmüştür.

Perlit / Öğütülmüş kil / Bentonit ile hazırlanan kapsüllerin karşılaştırılması

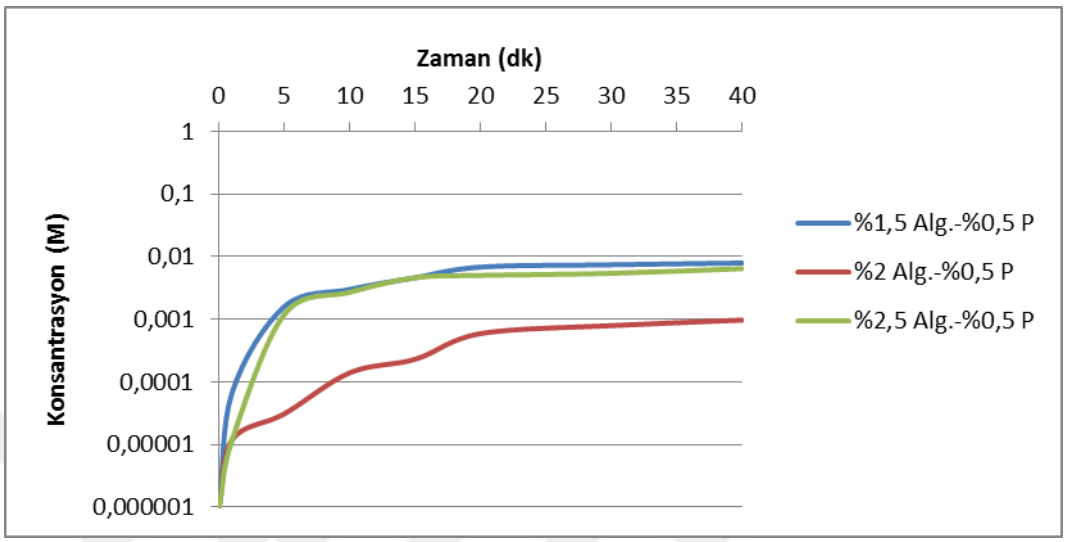
- Perlit diğer malzemelere oranla çözeltinin viskozitesini daha çok artırmış ve Na-aljinata daha fazla yapısal destek sağlamıştır.
- Düşük konsantrasyonlarda kolay kapsüllenme sırası en kolaydan zora doğru şu şekildedir; perlit, öğütülmüş kil, bentonit.
- Aynı oranlarda perlit, bentonit ve öğütülmüş kil ile hazırlanan kapsüllerin boyutları karşılaştırıldığında, en büyük çapa perlit malzemesi ile hazırlanan kapsüller sahiptir. Bentonit ve öğütülmüş kil ile hazırlanan kapsüllerin çapları hemen hemen aynıdır ve perlitten oldukça küçüktür.
- Bentonit ile hazırlanan kapsüller etüvde geç sürede kururken, öğütülmüş kil ve perlit ile hazırlanan kapsüller daha kısa sürede kurumuştur.

8.2 Kapsüllerin Tutuculuk ve Salım Performanslarının Değerlendirilmesi

Elektrokimyasal analizde her bir örnek için kalibrasyon eğrileri elde edilmiştir. Kalibrasyon eğri denklemi kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve çözelti konsatrasyonları hesaplanmıştır. Her bir örnek için zaman-konsantrasyon grafikleri çizilerek, tutuculuk ve salım performansları karşılaştırma yapılarak değerlendirilmiştir.

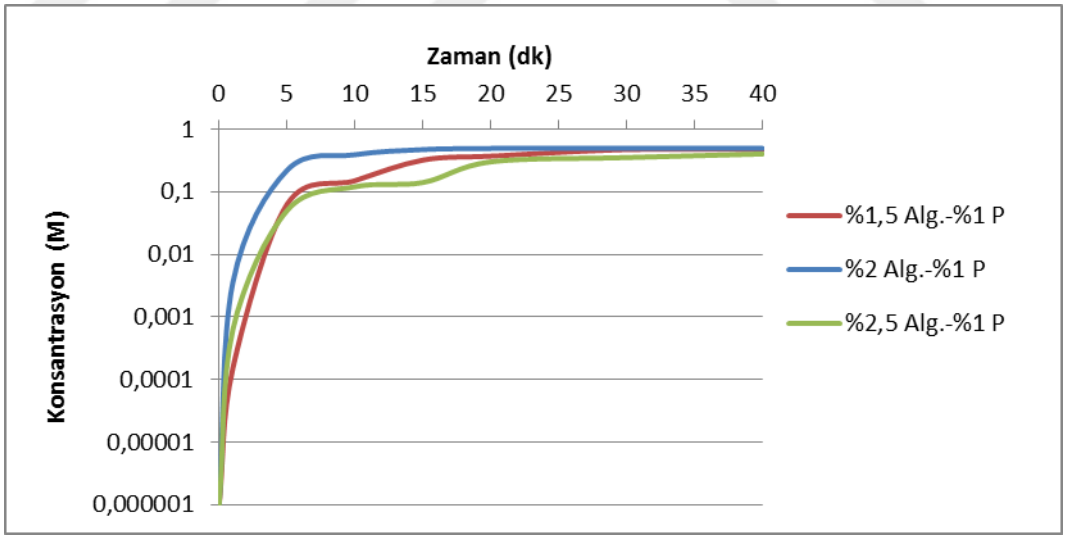
Perlit malzemesiyle yapılan kapsüllerin analiz sonuçları değerlendirildiğinde;

%0,5 perlit ile hazırlanan kapsüller içerisinde besin maddesini çok az barındırmakta ve hızlı bir şekilde salım gerçekleşmektedir (Şekil 8.7).



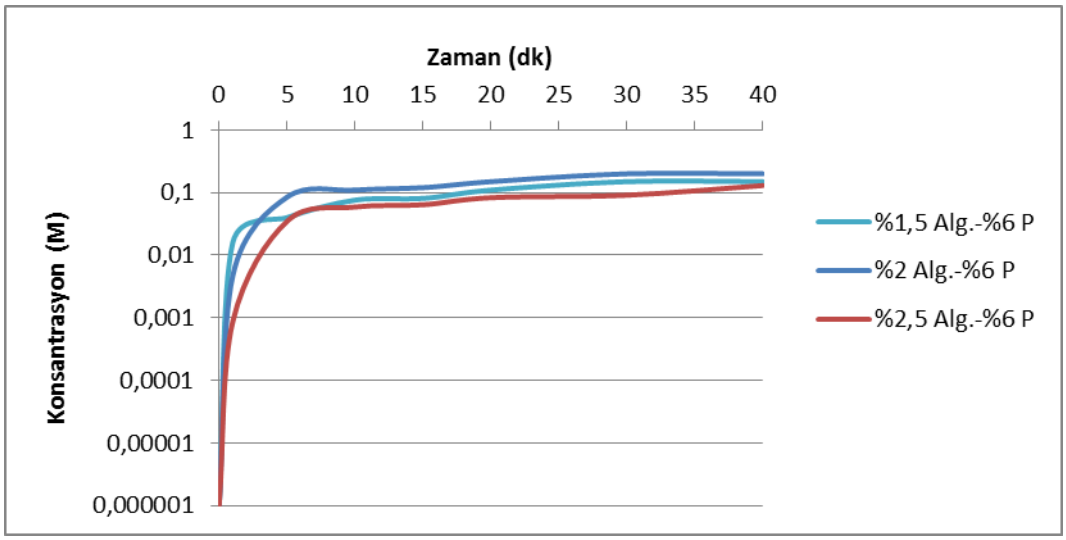
Şekil 8.7 %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %0,5 perlit ile hazırlanan kapsüllerin salım grafiği

%1 perlit oranı içeren kapsüller %0,5 perlit içeren kapsüllere kıyasla içerisinde daha fazla besin maddesi tutmasına rağmen salım hızlı bir şekilde gerçekleşmiştir (Şekil 8.8).



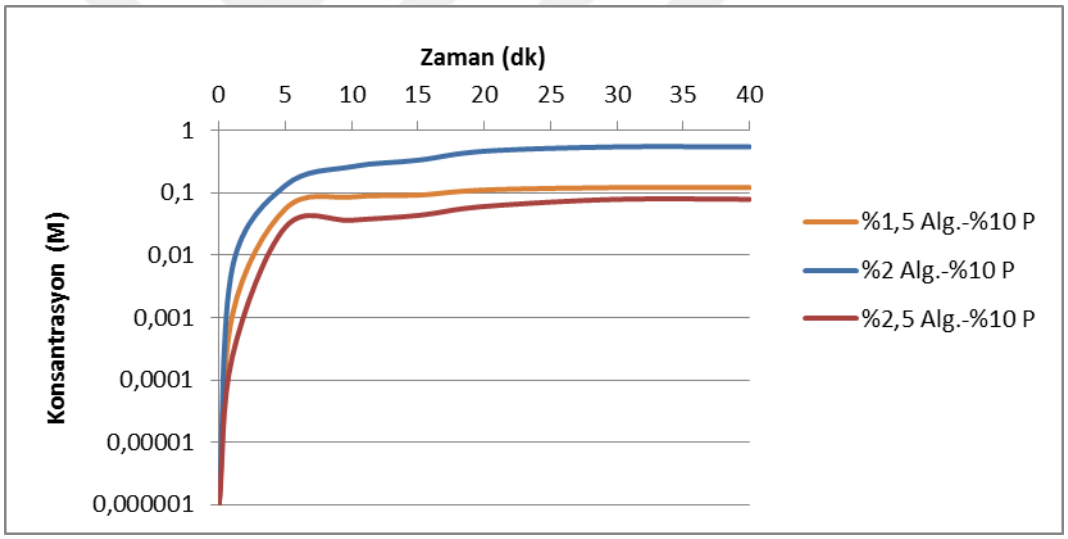
Şekil 8.8 %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %1 perlit ile hazırlanan kapsüllerin salım grafiği

%6 perlit oranlarında hazırlanan kapsüllerin tutuculuk özelliklerinin artığı ve yavaş salım gerçekleştiği görülmüştür. Fakat belli bir noktadan sonra konsantrasyon değerleri sabitlenmiştir (Şekil 8.9).



Şekil 8.9 %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %6 perlit ile hazırlanan kapsüllerin salım grafiği

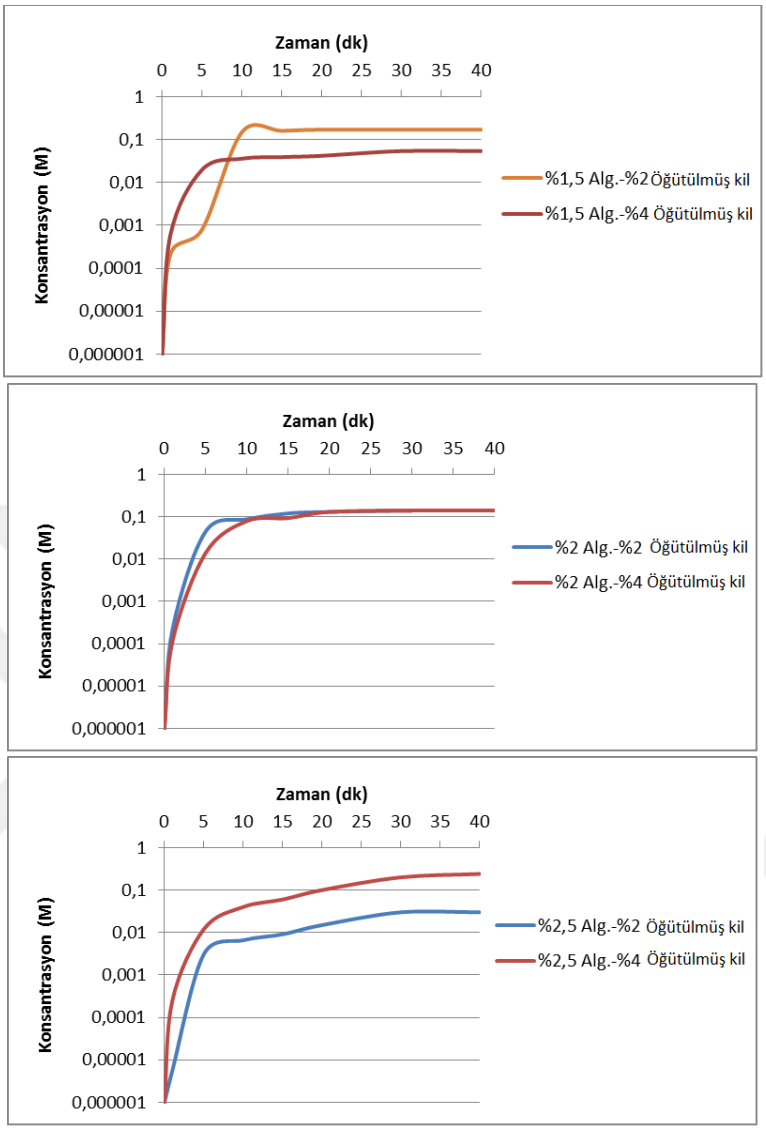
%10 perlit içeren kapsüllerin tutuculuk özellikleri gayet iyi ve salım performansları yavaş ve kontrollüdür (Şekil 8.10).



Şekil 8.10 %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %10 perlit ile hazırlanan kapsüllerin salım grafiği

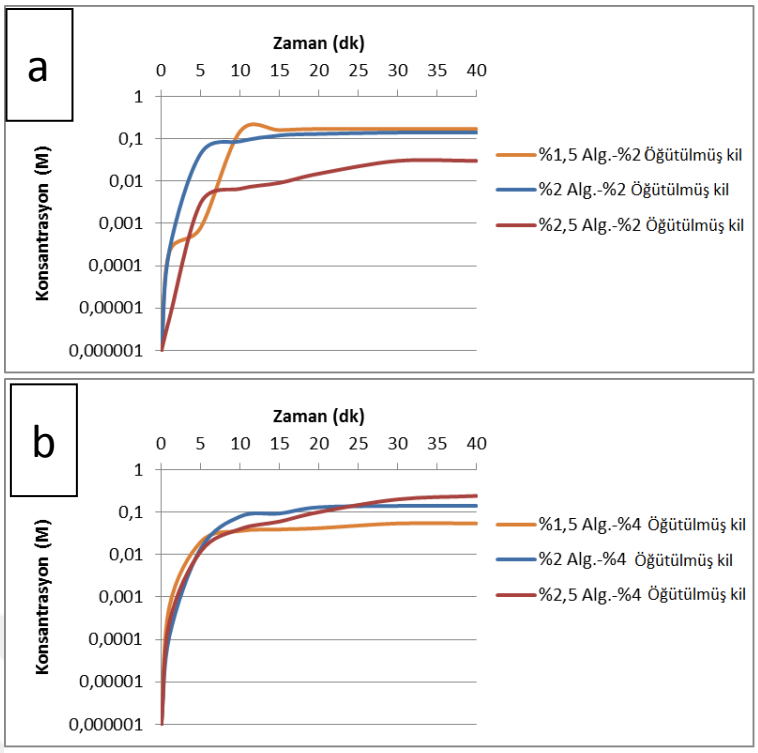
Na-aljinat oranlarına göre değerlendirildiğinde, %1,5 Na-aljinat ile hazırlanan kapsüllerde en iyi sonuçlar alınmıştır. %2 ve %2,5 oranlarında Na-aljinat içeren kapsüllerde belli bir süre sonra su içerisindeki + iyon konsantrasyonlarında sabitlenme gözlemlenirken, %1,5 Na-aljinatlı kapsüllerde yavaş yavaş konsantrasyon artmıştır. Perlit oranının artırılması kapsüllerin tutuculuk özelliklerini ve salım performanslarını olumlu yönde etkilemiştir. En iyi sonuç %1,5 Na-aljinat / %10 Perlit oranlarını içeren kapsülde alınmıştır.

Öğütülmüş kil malzemesiyle yapılan kapsüllerin analiz sonuçları değerlendirildiğinde;



Şekil 8.11 Na-Aljinat (%1,5;2;2,5) ve öğütülmüş kil (%1;2;4) ile hazırlanan kapsüllerin salım grafikleri

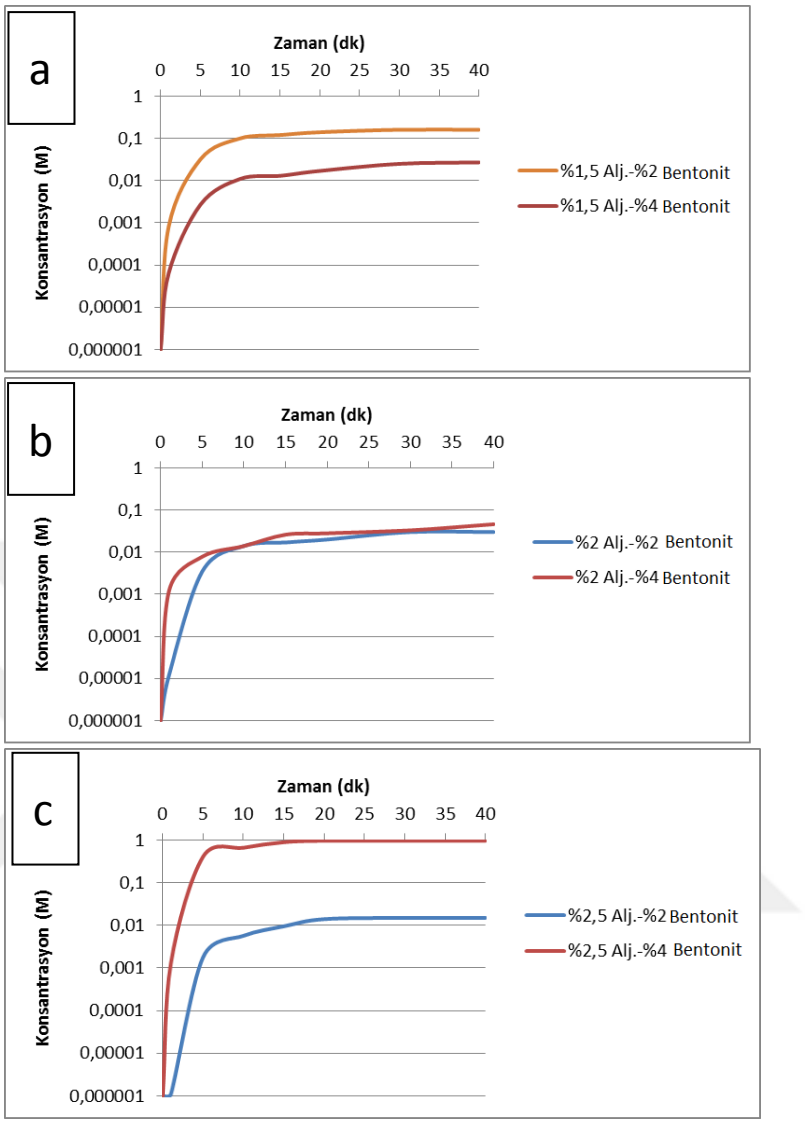
Şekil 8.11 %1,5 Na-aljinat/%2 öğütülmüş kil ve %2 Na-aljinat/%2 öğütülmüş kil oranında salımın hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Öğütülmüş kil oranı artınca salım daha yavaş gerçekleşmiştir. Aljinat oranı %2,5 olduğunda, %1,5 ve %2 Na-aljinata göre tam tersi durum görülmüştür. Öğütülmüş kil oranı artınca salım hızlanmıştır. En iyi tutuculuk özelliğini %2,5 aljinat/%4 öğütülmüş kil içeren kapsül sergilemiştir.



Şekil 8.12 Öğütülmüş kil ile hazırlanan kapsüllerin salım grafiği; a) %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %2 öğütülmüş kil, b) %1,5;2;2,5 b)Na-aljinat / %4 öğütülmüş kil

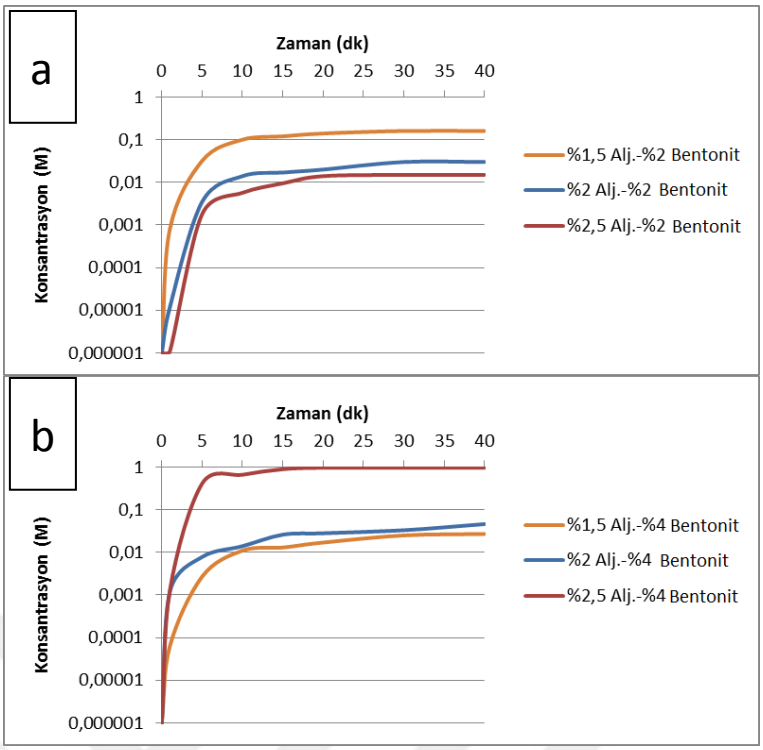
%1,5 Na-aljinat/%2 öğütülmüş kil ve %2 Na-aljinat/%2 öğütülmüş kil ile hazırlanan kapsüllerin hızlı bir şekilde içerisindeki besin maddesini saldığı görülmektedir. Aljinat oranı %2,5'e çıkması salımı biraz yavaşlatmıştır (Şekil 8.12).

Bentonit malzemesiyle yapılan kapsüllerin analiz sonuçları değerlendirildiğinde;



Şekil 8.13 Bentonit ile hazırlanan kapsüllerin salım grafikleri; a) % 1,5Na-aljinat/% 2;4 bentonit, b) %2 Na-aljinat/% 2;4 bentonit, c) %2,5 Na-aljinat/% 2;4 bentonit

Şekil 8.13 a ve b'de aynı oranda Na-aljinat kullanımında bentonit oranının artması ile besin salımı yavaşlamıştır. Ancak %2,5 Na-aljinat bulunan kapsüllerde bentonit oranının artması ile salım hızlanmıştır.



Şekil 8.14 Bentonit ile hazırlanan kapsüllerin salım grafiği a) %1,5;2;2,5 Na-aljinat / %2 beyaz kil, %1,5;2;2,5 b) Na-aljinat / %4 beyaz kil

%2 bentonit ile hazırlanan kapsüllerde Na-aljinat oranı artıkça kapsülün tutuculuk özelliği azalırken, daha yavaş besin salımı gerçekleşmiştir. %4 bentonit içeren kapsüllerde ise durum tam tersidir (Şekil 8.14).

8.3 Bitki Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Bitki büyümeleri 6 hafta boyunca takip edilmiştir. Filizlenme zamanları, büyümeleri, uzunlukları ve canlılıkları incelendi.

İlk bir hafta içerisinde saksılarda filizlenme gerçekleşmedi. Bir haftanın sonunda ilk filizlenme %2,5 Na-aljinat / %10 perlit içeren kapsül gübrede görüldü (Şekil 6.41). %1,5 Na-aljinat / %10 perlit içeren kapsül 2. haftada filizlenmiş fakat 3. haftada filizlenme miktarı ve uzunluk açısından %2,5 Na-aljinat / %10 perliti geçti.

%1,5; %2; %2,5 Na-aljinat / %2 perlit içeren kapsül gübrelerden 1 gr konulan saksılar ile 2 gr konulan saksılardaki bitkilerin büyümeleri karşılaştırıldığında; 1 gr gübre konulanlarda daha çok filizlenme ve daha iyi büyüme olduğu görüldü. Aynı şekilde %1,5; %2; %2,5 Na-aljinat / %10 perlit içeren kapsül gübrelerden 2 gr konulan saksılar

ile 4 gr konulan saksılardaki bitkilerin büyümeleri karşılaştırıldığında; 2 gr gübre konulanlarda daha çok filizlenme ve daha iyi büyüme olduğu görüldü.

Perlit oranının yüksek olduğu gübrelerin bulunduğu saksılardaki bitki büyümesinin daha çabuk ve hızlı olduğu gözlemlendi. %10 perlit içeren kapsül gübreler karşılaştırıldığında en iyi sonuç %1,5 Na-aljinat / %10 perlit içeren kapsül gübreden alındı. %2; %2,5 Na-aljinatlı kapsül gübrelere oranla daha fazla filizlenme, daha canlı ve bitkilerin daha uzun olduğu görüldü.

Herhangi bir gübre konulmayan saksıdaki bitkide de büyüme gerçekleşmedi. %1,5 Na-aljinat/%10 perlit içeren kapsül gübreyle kıyaslandığında her ikiside 2. haftada filizlendi. Büyümeleri 4. Haftaya kadar aynı şekilde ilerledi. Fakat 5. ve 6. haftada kapsül gübre içeren bitkinin daha uzun ve canlı olduğu görüldü. Ayrıca üzerinde daha fazla sayıda maydanoz bitkisi oluştu.

Ticari kapsül gübre içeren saksılarda bitki büyümesi gerçekleşmedi. Bunun üzerine bitki uygulaması başka bir saksıda tekrarlandı, ancak aynı sonuç alındı. Bu sonuca iki durum sebep olmuş olabilir. Kapsül gübrenin salım mekanizmasında gecikme süresinin kısa olması ve buna bağlı olarak bitki besinlerinin tohum alanında birikerek tohuma zarar vermesi olabilir. Bir diğer olası sebep ise, uygulama alanına gübre miktarının fazla gelmesi ile gübredeki bazı elementlerin fazlalığı, başka elementlerin noksanlığına veya azalmasına sebep olmuş olabilir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarla doğal ve biyobozunur polimerlerle çevre dostu kontrollü salım yapan kapsül gübre geliştirilmiştir. Bu kapsül gübreler kimyasal gübrelere alternatif olabilecek niteliktedir. Ayrıca bu bilgiler ve sonuçlar bütün besin elementlerini içeren kapsül gübre geliştirilmesine ışık tutacak bir ön çalışma olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Karaçal, İ. ve Tüfenkçi, Ş., (2010). "Bitki Beslemede Yeni Yaklaşımlar ve Gübre-Çevre İlişkisi", Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, 11-15 Ocak 2010, Ankara, 257-268.

[2] Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S. ve Bugarski, B., (2011). "An Overview of Encapsulation Technologies for Food Applications", Procedia Food Science, 1: 1806-1805.

[3] Güneş, A., Alpaslan, M. ve İnal, A., (2007). Bitki Besleme ve Gübreleme, Dördüncü Baskı, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ankara.

[4] Yetgin, M.A., (2010). Organik Gübreler ve Önemi, T.C. Samsun Valiliği İl Tarım Müdürlüğü, Samsun.

[5] Aydeniz, A. ve Brohi, A.R., (1991). Gübreler ve Gübreleme, C. Ü. Ziraat Fak. Yayın No:10, Ders Kitabı:3, Tokat.

[6] İnal, A., Sözüdoğru, S. Ve Erden, D., (1996). "Tavuk Gübresinin İçeriği ve Gübre Değeri, Tarım Bilimleri Dergisi, 2(3): 45-50.

[7] Yılmaz, D., (2010). Yeşil Gübrelemenin Kültür Bitkilerinde Mineral Azot Girdisi Tasarrufu ve Çevre Açısından Önemi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

[8] Özkan, N. ve Müftüoğlu, N.M., (2017). "Farklı Kalsiyum ve Azotlu Gübre Uygulamalarının Domates Verimi ve Kalsiyum İçeriği Üzerine Etkisi", Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 4(2): 213-219.

[9] Öztürk, E., Kara, K. ve Polat, T., (2007). "Azotlu Gübre Formları ve Uygulama Zamanlarının Patatesin Verimi ile Yumru Büyüklüğü Üzerine Etkisi", Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 4(2): 127-135.

[10] Brohı, A.R., Özcan, S., Savaşlı, E. ve Aktaş, A., (2000). "Çeşitli Fosfor Gübrelerinin Ekmeklik Buğday Bitkisinin Verim ve Bazı Bitki Besin Maddesi Alımına Etkisi", GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi, 17(1): 129-132.

[11] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, (2012). Kimya Teknolojisi Ticari Gübre Analizleri, Ankara.

[12] Yağmur, B., (2009). "Farklı Seviyelerde Uygulanan Potasyumun Anasonun Verim ve Yaprak Besin Maddesi İçeriğine Etkisi", Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 46(1): 17-27.

[13] Aydın, Ş., Yağmur, B. ve Çoban, H., (2005). "Bağda Yapraktan KNO_3 Uygulamalarının Yapraktaki Besin Element İçeriklerine Etkisi", Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 42(1): 167-177.

[14] Zengin, M., (2014). İGSAŞ Gübreler ve Gübreleme Çiftçi Rehberi, Kocaeli.

[15] T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, (2013). Gübreleme, Yayın No:2013, Erzurum.

[16] Köşk Ziraat Odası Başkanlığı, Gübreleme Yöntemleri, http://www.koskziraatodasi.org.tr, 12 Eylül 2017.

[17] Uchida, R., (2000). Essential Nutrients for Plant Growth: Nutrient Functions and Deficiency Symptoms, Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture, University of Hawaii.

[18] Savoy, H., Fertilizers and Their Use, https://extension.tennessee.edu/publications/Documents/PB1637.pdf, 15 Eylül 2017.

[19] Eraslan, F., İnal, A., Güneş, A., Erdal, İ. ve Coşkan A., (2010). Türkiye'de Kimyasal Gübre Üretim ve Tüketim Durumu, Sorunlar, Çözüm Önerileri ve Yenilikler, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, Ankara.

[20] Sönmez, İ., Kaplan M. ve Sönmez, S., (2008). "Kimyasal Gübrelerin Çevre Kirliliği Üzerine Etkileri ve Çözüm Önerileri", Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi, 25(2): 24-34.

[21] Demir, H., Polat, E. ve Sönmez, İ., (2010). "Ülkemiz İçin Yeni Bir Organik Gübre: Solucan Gübresi", Tarım Aktüel, (14):54-60.

[22] Nagavallemma, K.P., Wani, S.P., Lacroix, S., Padmaja, V.V., Vineela, C. ve Shrawat, K.L., (2005). "Vermicomposing: Recycling Wastes into Valuable Organic Fertilizer", An Open Access Journal Published by Icrısat, 2(1).

[23] Mayhew, L., (2004). "Humic Substances in Biological Agriculture", ACRES USA, 34.

[24] Karaman, M.R. ve Turan, M., (2012). "Bitki Beslemede Sürdürülebilir Yönetim Stratejisi ve Gübre Etkinlk Parametreleri", Toprak Su Dergisi, 1(1): 15-21.

[25] Khalıd, K.A., (2012). "Review: Biological Fertilization and Its Effect on Medicinal and Aromatic Plants", Nusantara Bioscience, 4(3): 124-133.

[26] Mohammadi, K. ve Sohrabi, Y., (2012). " Bacterial Biofertilizers for Sustainable Crop Production: A Review", ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, 7(5): 307-316.

[27] Shodh a Reservoir of Indian Theses, Historical Development of Biofertilizers, http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/17927/7/07_chapter%201.pdf, 1 Eylül 2017.

[28] Aggani, S.L., (2013). "Development of Bio-Fertilizers and its Future Perspective", Scholars Academic Journal of Pharmacy, 2(4): 327-332.

[29] Madene, A., Jacquat, M., Scher, J. ve Desobery, S., (2006). "Flavour Encapsulation and Controlled Release – A Review", International Journal of Food Science and Technology, 41: 1-21.

[30] Vemmer, M. ve Patel, A.V., (2013). "Review of Encapsulation Methods Suitable for Microbial Biological Control Agents", Biological Control, 67: 380-389.

[31] Vincekovic, M., Viskic, M., Juric, S., Giacometti, J., Kovacevic, D.B., Putnik, P., Donsi, F., Barba, F. ve Jambrak, A.R., (2017). "Innovative Tecnologies for Encapsulation of Mediterranean Plants Extracts", Trends in Food Science and Tachnology, 69: 1-12.

[32] Azeem, B., Kushaari, K., Man, Z.B., Basit, A. ve Thanh, T.H., (2014). "Review on Materials and Methods to Produce Controlled Release Coated Urea Fertilizer", Journal of Controlled Release, 181: 11-21.

[33] Trinh, T.H. ve Kushaari, K., (2016). "Dynamic of Water Absorption in Controlled Release Fetilizer and its Relationship with the Release of Nutrient", Procedia Engineering, 148: 319-326.

[34] KüçükÇapraz, D.Ö., Üçgül, İ. ve Elibüyük, U., (2016), "Aljinatlar ve Tekstilde Lif Uygulamaları", ANKA e-Dergi, 1(1): 8-16.

[35] Gökbulut, İ. ve Öztürk, F.S., (2018). "Gıda Mikroenkapsülasyonunda Aljinat Kullanımı", Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 8(1/2): 16-28.

[36] Doğusan Boru Sanayi ve Ticaret A.Ş., Perlit, http://www.dogusanas.com.tr/perlit.pdf, 12 Ekim 2018.

[37] Tokyap Medencilik A.Ş., Tarımda Perlit, http://www.perlit.biz/tarimda-perlit, 15 Ekim 2018.

[38] Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü, Bentonit, http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bentonit, 15 Ekim 2018.

[39] He, Y., Wu, Z., Tu, L., Han, Y., Zhang, G. ve Li, C., (2015). "Encapsulation and Characterization of Slow-Release Microbial Fertilizer from the Composites of Bentonite and Alginate", Applied Clay Science, 109-110: 68-75.

[40] Malayoğlu, U. ve Akar, A., (1995). "Killerin Sınıflandırmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranan Kriterlerin İrdelenmesi", Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 21-22 Nisan.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nur DURMUŞ

Doğum Tarihi ve Yeri : 13.04.1990, İstanbul

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : nurdurmus90@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Biyomühendislik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2019
Lisans	Kimya Mühendisliği	Kocaeli Üniversitesi	2014
Lise	Sayısal	İzzet Ünver Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2017 - Halen	Turkuaz Sağlık Hizmetleri Medikal Temizlik Kimyasal Ürünler San. ve Tic. A.Ş	Kalite Kontrol Uzmanı
2014 - 2015	Metal Kimya San. Tic. Ltd. Şti.	Kalite Kontrol Sorumlusu

YAYINLARI

Bildiri

1. Durmuş, N. ve Işıldak, İ., (2018). "Kontrollü Salım Yapan Kapsül Gübre Geliştirilmesi", 6. Ulusal Biyomühendislik Öğrenci Kongresi, 5-6 Nisan 2018, İstanbul.

Proje

1. Mor Kükürtsüz Bakterilerden Karotenoid Üretimi (Bitirme Projesi-1)

2. Mor Kükürtsüz Bakterilerden Poli-Hidroksibütirat (PHB) Üretimi (Bitirme Projesi-2)

3. Kömür Sentez Gazından Metanol Üretimi (2014)

ÖDÜLLERİ

1. Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü 2018 Mezuniyet 3.lük Ödülü

2. 6. Ulusal Biyomühendislik Öğrenci Kongresi Poster Sunumu 3.lük Ödülü