

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**BUĞDAY YETİŞTİRİCİLİĞİNDE FOSFORLU GÜBRELERDEN
YARARLANMA ORANININ ARTIRILMA STRATEJİLERİ; I-NANO
FOSFORLU GÜBRE; II-BİYOKÖMÜR İLE KAPLI FOSFORLU GÜBRE; III-
GEÇ DÖNEMDE YAPRAKTAN FOSFORLU GÜBRELEME**

Havva TAŞKIN

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ANKARA
2021**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BUĞDAY YETİŞTİRİCİLİĞİNDE FOSFORLU GÜBRELERDEN YARARLANMA ORANININ ARTIRILMA STRATEJİLERİ; I-NANO FOSFORLU GÜBRE; II-BİYOKÖMÜR İLE KAPLI FOSFORLU GÜBRE; III-GEÇ DÖNEMDE YAPRAKTAN FOSFORLU GÜBRELEME

Havva TAŞKIN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aydın GÜNEŞ

Bu çalışmanın amacı, Orta Anadolu koşullarında buğday yetiştirilen alanlarda taban gübrelemesinde yoğun olarak kullanılan DAP gübresine alternatif olması beklenen nano boyutlu P'lu gübre ve biyokömür ile kaplanmış fosforlu gübrenin etkilerini incelemektir. Ayrıca bitkinin geç dönemde yapılan yaprak fosfor uygulamasına tepkisi belirlemek de amaçlanmıştır. Bu nedenle 3 farklı strateji; nano-P'lu gübre, biyokömür kaplı P'lu gübre ve geç dönemde yaprakтан P uygulamasının etkisi birbirinden bağımsız olarak buğdayda Haymana koşullarında 2 yıl süre ile araştırılmıştır. Laboratuvar koşullarında elde edilen nano-P ve biyokömür kaplı P azalan dozlarda (8, 6, 4 kg P₂O₅ da⁻¹) ekimle birlikte uygulanmış ve etkileri referans uygulama olan DAP (8 kg P₂O₅ da⁻¹) ile karşılaştırılmıştır. İlk iki strateji (nano-P ve biyokömür kaplı P) amacına yönelik olarak başaklanma başlangıcında alınan tüm bitki örnekleri ile hasatta alınan tane örneklerinin makro (N, P, K, Ca, Mg) ve mikro (Fe, Zn, Cu, Mn) element konsantrasyonları belirlenmiştir. Üçüncü strateji olan geç dönemde yaprakтан P uygulamasında ise yaprakтан H₃PO₄ ve nano-P başaklanma başlangıcında ve sonunda olmak üzere 2 kez uygulanmıştır. Yaprak uygulamalarının etkinliğini belirlemek için hem gübreleme öncesi hemde 1. ve 2. gübreleme sonrası alınan bitki ile hasatta alınan tane örneklerinin makro ve mikro element konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca 3 farklı stratejide yapılan uygulamaların verim öğelerine (tane verimi, bin tane ağırlığı, hasat indeksi, tane protein oranı) etkisi de bu çalışmada belirlenmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre; nano-P uygulaması ile bitki P, N ve K konsantrasyonları ile tane Fe, Zn konsantrasyonları referansa göre genellikle artarken, biyokömür kaplı P'lu gübrelerin incelenen parametreler üzerine etkisi önemli olmamıştır. Yaprakтан P uygulamaları ile incelenen parametrelerden yalnızca tane protein oranı kontrole göre artmış ve kaynaklar arasında H₃PO₄ uygulaması daha etkili olmuştur. Sonuç olarak geliştirilen yeni nesil gübrelerin P tüketimini azaltarak konvansiyonel gübrelere alternatif olabileceği fakat bu konuda farklı özellikteki bitki ve topraklarda daha fazla çalışma yapılmasının gerekli olduğu belirlenmiştir.

Haziran 2021, 187 sayfa

Anahtar Kelimeler: Taban gübreleme, nano fosfor, biyokömür kaplı fosfor, yaprakтан P uygulaması

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

ENHANCING STRATEGIES OF PHOSPHORUS FERTILIZER EFFICIENCY RATE ON WHEAT CULTIVATION; I-NANO-PHOSPHORUS FERTILIZER; II-BIOCHAR COATED PHOSPHORUS FERTILIZER; III-LATE TERM FOLIAR PHOSPHORUS FERTILIZATION

Havva TAŞKIN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Aydın GÜNEŞ

The aim of this study was to investigate the effects of fertilizers containing nano phosphorus and biochar coated P fertilizer as an alternative to DAP fertilizer, which is used extensively as basal fertilization in wheat growing areas in Central Anatolia conditions. In addition, the plant response to late term foliar phosphorus application was also evaluated. Therefore, 3 different strategies; nano-P, biochar coated P fertilizer and late term foliar P application were investigated independently in wheat plants under Haymana conditions for 2 years. Nano-P and biochar coated P fertilizer obtained under laboratory conditions were applied in decreasing doses (8, 6, 4 kg P₂O₅ da⁻¹) with sowing and their effects were compared with 8 kg P₂O₅ da⁻¹ as reference treatment. For this purpose, macro and micro element concentrations were defined in all plant samples taken at the beginning of booting stage and grain samples taken at harvest. In the late period foliar P, which is the third strategy, H₃PO₄ and nano-P were applied to foliage at the beginning and end of the booting. In order to define the effectiveness of foliar fertilizers, macro (P, N, K, Ca and Mg) and micro (Fe, Zn, Cu and Mn) element concentrations were defined in the samples taken before and after the 1st and 2nd fertilization and the grain samples taken during the harvest. The effects of all P fertilization strategies on yield components were also determined in this study. According to the results obtained from the research; while the concentrations of plant P, N and K and grain Fe, Zn generally increased with nano-P application, the effect of biochar coated P fertilizers on the parameters examined was not found to be significant. Among the parameters examined with leaf P applications, only the grain protein content increased compared to the control and H₃PO₄ application was found more efficient among the sources. As a result, it has been defined that the new developed fertilizers can be an alternative to conventional fertilizers by reducing the P consumption but more studies are required on plants and soils with different characteristics.

June 2021, 187 pages

Key Words: Basal fertilization, nano-phosphorus, biochar coated phosphorus, foliar P application

TEŞEKKÜR

Sunulan bu çalışmanın planlanmasında ve yürütülmesinde, ayrıca bugüne kadar edindiğim bilgi ve tecrübelerde bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyip her zaman yanımda olan, değerli hocam Prof. Dr. Aydın GÜNEŞ'e (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü), düşünce, öneri ve tecrübeleri ile tezimin şekillenmesine ve akademik gelişimime büyük katkılar sağlayan değerli Tez İzleme Komitesi üyesi hocalarım Sayın Prof. Dr. Ali İNAL (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü) ve Prof. Dr. Şefik TÜFENKÇİ'ye (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü), laboratuvar çalışmalarım sırasında tüm imkanları ile yanımda olan, bilgi öneri ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli hocam Prof. Dr. Süleyman TABAN'a (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü) şükranlarımı sunarım. Tezimin yürütülmesinde, analizlerin yapılmasında ve yazım esnasında destekleriyle yanımda olan değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Dr. Hanife AKÇA, Zir. Yük. Müh. Emre Can KAYA, Gıda Yük. Müh. Çağla ATEŞ'e, tüm manevi desteği ile yanımda olan dost ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bir bütünün iki eşit parçası olduğumuzu hissettirerek hayatımın her anında ellerimi sımsıkı tutan, tezimin her aşamasında büyük emek ve özen gösteren değerli eşim Arş. Gör. Dr. M. Burak TAŞKIN'a, bir kız evlat yetiştirmenin zor olduğu ülkemizde hayatım boyunca koşulsuz şartsız yanımda olan, beni yetiştiren kıymetli babam Zair UĞURLU, biricik annem Hanife UĞURLU, sevgili ablam İlkay KARATEKELİ'ye, gelecek nesillere umutla bakmamı sağlayan biricik yeğenlerim Bennu ve Beren KARATEKELİ'ye, burada ismini zikredemediğim üzerimde emeği olan herkese saygı, sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Havva TAŞKIN
Ankara, Haziran 2021

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1 Toprakta Fosfor	5
2.2 Bitkide Fosfor	6
2.3 Bitkide Fosforun Metabolik İşlevleri	8
2.4 Bitkide Fosfor Noksanlığı	10
2.5 Buğday Tarımı	10
2.6 Nano Fosforlu Gübreler	12
2.7 Biyokömür ile Kaplı Fosforlu Gübreler	24
2.8 Geç Dönemde Yaprakdan Fosforlu Gübreleme	38
3. MATERYAL ve YÖNTEM	52
3.1 Materyal	52
3.1.1 Tarla denemelerinin yürütüldüğü yerler	52
3.1.2 Deneme alanlarına ait meteorolojik veriler	52
3.1.3 Toprak örneklerinin alınması ve analize hazırlanması	54
3.1.4 Tarla denemelerinde kullanılan bitki materyali	54
3.1.5 Tarla denemelerinde kullanılan gübre materyalleri	54
3.2 Yöntem	55
3.2.1 Toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal analizlerinde kullanılan yöntemler	55
3.2.2 Nano boyutlu gübrenin hazırlanması	57
3.2.3 Biyokömür ve biyokömür ile kaplı fosforlu gübrenin (BK-DAP) hazırlanması	59
3.2.4 Nano P ve BK-DAP'ın yapısal özelliklerinin belirlenmesi	62
3.2.4.1 Nano-P'un taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile boyutunun belirlenmesi	62

3.2.4.2 Nano-P'un X-ışını kırınım cihazı (XRD) ile kristal yapısının belirlenmesi.....	62
3.2.4.3 Biyokömürün termogravimetrik (TGA) özelliklerinin belirlenmesi.....	63
3.2.4.4 Nano-P ve BK-DAP'ta FTIR yöntemiyle spektrum belirlemesi.....	63
3.2.4.5 Nano-P ve BK-DAP'ın toplam fosfor konsantrasyonu.....	63
3.2.5 Tarla denemelerinin kurulması ve yürütülmesi.....	63
3.2.6 Bitki ve tane örneklerinde yapılan analizler ve ölçümler.....	69
3.2.6.1 Bitki örneklerinin analize hazırlanması.....	69
3.2.6.2 Bitki ve tane örneklerinde yapılan analizler.....	70
3.2.6.3 Verim öğeleri	71
3.2.7 İstatistik analizler.....	71
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	72
4.1 Deneme Alanlarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	72
4.2 Denemede Kullanılan Gübre Materyallerinin Yapısal Özellikleri.....	73
4.2.1 Nano P'un bazı yapısal özellikleri	73
4.2.1.1 SEM cihazı ile boyut analizi.....	73
4.2.1.2 XRD analizi.....	74
4.2.1.3 FTIR analizi.....	75
4.2.2 Biyokömürün bazı yapısal özellikleri.....	76
4.2.2.1 FTIR analizi.....	76
4.2.2.2 TGA analizi.....	77
4.2.2.3 Biyokömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri	78
4.3 Buğday Bitkisine Ait Bulgular	78
4.3.1 Nano fosforlu gübre denemesi.....	79
4.3.1.1 Nano fosforlu gübre uygulamalarının verim öğeleri üzerine etkisi	79
4.3.1.2 Nano fosforlu gübre uygulamalarının bitki ve tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi.....	83
4.3.1.3 Nano fosforlu gübre uygulamalarının bitki ve tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi.....	87
4.3.2 Biyokömür kaplı fosforlu gübre denemesi.....	91
4.3.2.1 Biyokömür kaplı fosforlu gübre uygulamalarının verim öğeleri üzerine etkisi.....	91
4.3.2.2 Biyokömür kaplı fosforlu gübre uygulamalarının bitki ve tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi.....	94
4.3.2.3 Biyokömür kaplı fosforlu gübre uygulamalarının bitki ve tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi.....	97

4.3.3 Geç dönemde yapraktan fosforlu gübre denemesi.....	101
4.3.3.1 Geç dönemde yapraktan fosforlu gübre uygulamalarının verim öğeleri üzerine etkisi	101
4.3.3.2 Geç dönemde yapraktan fosforlu gübre uygulamalarının bitki ve tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi	105
4.3.3.3 Geç dönemde yapraktan fosforlu gübre uygulamalarının bitki ve tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi	111
5. TARTIŞMA	117
5.1 Nano Fosforlu Gübre Denemesi.....	117
5.2 Biyokömür Kaplı Fosforlu Gübre Denemesi.....	128
5.3 Geç Dönemde Yapraktan Fosforlu Gübre Denemesi	140
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	159
KAYNAKLAR	162
ÖZGEÇMİŞ.....	186

SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	Diamonyum fosfat
$^{\circ}\text{C}$	Derece santigrat
μmol	Mikro mol
Al	Alimünyum
C	Karbon
$\text{C}_3\text{H}_5\text{NO}$	Diamonyum fosfat polimeri
Ca	Kalsiyum
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	Triple süperfosfat
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Kalsiyum hidroksit
$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$	Hidroksiapatit
$\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$	Kalsiyum pirofosfat
CaCO_3	Kireç
Cd	Kadmiyum
$\text{CH}_3\text{COONH}_4$	Amonyum asetat
cm	Santimetre
cm^{-3}	Santimetre küp
cm^{-2}	Santimetre kare
CO_2	Karbondioksit
Cu	Bakır
da	Dekar
EC	Elektriksel iletkenlik
Fe	Demir
Fe_3O_4	Manyetit
g	Gram
g kg^{-1}	Kilogramda gram
H_2PO_4^-	Sekonder ortofosfat
H_3PO_4	Fosforik asit
ha	Hektar
HClO_4	Perklorik asit
HCO_3^-	Bikarbonat
HNO_3	Nitrik asit
HPO_4^{2-}	Primer ortofosfat
K	Potasyum
K_2O	Potasyum oksit
K_2SO_4	Potasyum sülfat
kg	Kilogram
KH_2PO_4	Mono potasyum fosfat
KNO_3	Potasyum nitrat
kV	Kilovolt
L	Litre
m	Metre
M	Molar
m^2	Metrekare
Mg	Magnezyum

mg	Miligram
mg kg ⁻¹	Kilogramda miligram
mg L ⁻¹	Litrede miligram
Mg ₂ P ₂ O ₇	Magnezyum pirofosfat
MgO	Magnezyum oksit
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mM	Milimolar
Mn	Mangan
Mo	Molibden
N	Azot
N	Normal
NaHCO ₃	Sodyum bikarbonat
NaOH	Sodyum hidroksit
NH ₄ H ₂ PO ₄	Monoamonyum fosfat
nm	Nanometre
NO ₃	Nitrat
OH ⁻	Hidroksil
OM	Organik madde
P	Fosfor
P ₂ O ₅	Fosfor penta oksit
Pb	Kurşun
pH	Toprak reaksiyonu
SO ₂	Kükürt dioksit
Zn	Çinko
ZnSO ₄	Çinko sülfat

Kısaltmalar

A.Ü.Z.F	Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
AB	Avrupa Birliği
ATP	Adenozin trifosfat
BK	Biyokömür
BKG	Biyokömür kökenli gübreler
CA	Sitrik asit
CMHANP	Modifiye edilmiş nano hidroksiapatit partikülü
CTP	Sitidin trifosfat
DAP	Diamonyum fosfat
DNA	Deoksiribo nükleik asit
DTA	Diferansiyel termal analiz
DTPA	Dietilen triamin penta asetik asit
EDX	Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi
Fe-EDTA	Demir etilendiamin tetrasetik asit
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
GTP	Guanozin trifosfat
HANP	Nano hidroksiapatit partikülü
HA-NP	Hidroksiapatit nano partikülleri
ICP-OES	İndüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi

KDK	Katyon değişim kapasitesi
KH	Kalsiyum hidroksit
KOH	Potasyum hidroksit
LSD	Asgari nemlilik düzeyi
MAP	Monoamonyum fosfat
NHA	Nano hidroksiapatit
NPK	Azot, fosfor ve potasyum
PL	Kümes hayvanı altlığı
PUE	Fosfor kullanım etkinliği
PVA	Polivinil alkol
RNA	Ribonükleik asit
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TEA	Trietanolamin
TG	Tavuk gübresi
TGA	Termogravimetrik analiz
TSP	Triple süper fosfat
UTP	Uridin trifosfat
XRD	X-ışını kırınım cihazı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 AÜZF Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği arazisinin ve deneme alanlarının uydu görüntüsü.....	52
Şekil 3.2 Nano hidroksiapatitin hazırlanması	58
Şekil 3.3 Pelet nano hidroksiapatitin parsel mibzeri ile araziye uygulanabilirliğinin test edilmesi	59
Şekil 3.4 Pelet tavuk gübresi (a), öğütülmüş tavuk gübresi (b) ve piroliz sonucu elde edilen BK'nın (c) görünümü.....	59
Şekil 3.5 Biyokömür kaplı DAP gübresinin hazırlanması	60
Şekil 3.6 Biyokömürün; çeşitli suda çözünen polimer bazlı yapıştırıcılar ile gübrenin üstünde dağılmadan kalabilme testi	61
Şekil 3.7 Biyokömür ile kaplanmış DAP (BK-DAP) gübresi.....	62
Şekil 3.8 Denemenin kurulumu birinci (a), ikinci (b) yıl.....	64
Şekil 3.9 Parsellere üst gübre uygulaması	65
Şekil 3.10 Başaklanma başlangıcında (a) ve sonunda (b) deneme parsellerinden bitki örneklerin alınması.....	66
Şekil 3.11 Başaklanma başlangıcında (a) ve başaklanma sonunda (b) yapraktan P uygulanması	67
Şekil 3.12 Hasat indeksinin belirlenmesi için şablonla örnekleme yapılması (a), örneklerin demet haline getirilip bağlanması (b), şablon veriminin belirlenmesi (c), tanelerin kavuzlarından ayrılması (d), şablon tane veriminin belirlenmesi (e)	68
Şekil 3.13 Parsel hasatlarının yapılması (a), tane veriminin belirlenmesi (b), tanelerin analizlerde kullanılmak üzere öğütülmesi (c) ve bin tane ağırlıklarının belirlenmesi (d).....	69
Şekil 4.1 Laboratuvar koşullarında elde edilen nano-P'un farklı noktalarına ait SEM görüntüleri.....	73
Şekil 4.2 Laboratuvar koşullarında elde edilen nano-P'un SEM ile birlikte belirlenen EDX görüntüsü ve içerdiği element konsantrasyonları (%).....	74
Şekil 4.3 Sentezlenen nano-P'a ait XRD deseni	74
Şekil 4.4 Nano-P'a ait FTIR spektrumu.....	76
Şekil 4.5 Tavuk gübresi ve tavuk gübresinden elde edilen BK'ya ait FTIR spektrumu	77
Şekil 4.6 Tavuk gübresine ait TGA ve DTA eğrileri	78
Şekil 4.7 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl verim ögeleri üzerine etkisi	82

Şekil 4.8 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane P, N ve K konsantrasyonları üzerine etkisi	84
Şekil 4.9 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi	85
Şekil 4.10 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Fe ve Zn konsantrasyonları üzerine etkisi	90
Şekil 4.11 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi	91
Şekil 4.12 Biyokömür kaplı fosforlu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl verim öğeleri üzerine etkisi	93
Şekil 4.13 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane P, N ve K konsantrasyonları üzerine etkisi	96
Şekil 4.14 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi	97
Şekil 4.15 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Fe ve Zn konsantrasyonları üzerine etkisi	99
Şekil 4.16 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi	100
Şekil 4.17 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl verim öğeleri üzerine etkisi	104
Şekil 4.18 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane P konsantrasyonları üzerine etkisi	108
Şekil 4.19 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane N konsantrasyonları üzerine etkisi	109
Şekil 4.20 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane K konsantrasyonları üzerine etkisi	109
Şekil 4.21 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Ca konsantrasyonları üzerine etkisi	110
Şekil 4.22 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Mg konsantrasyonları üzerine etkisi	111
Şekil 4.23 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Fe konsantrasyonları üzerine etkisi	112
Şekil 4.24 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Zn konsantrasyonları üzerine etkisi	112
Şekil 4.25 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Cu konsantrasyonları üzerine etkisi	113
Şekil 4.26 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Mn konsantrasyonları üzerine etkisi	113

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Tarla denemelerine ait meteorolojik veriler.....	53
Çizelge 3.2 Toprak analizlerinin değerlendirilmesinde kullanılan sınır değerler.....	56
Çizelge 3.3 Buğdaydan başaklanma öncesinde alınan yaprak örneklerinde bitki besin maddelerinin kritik düzeyleri	71
Çizelge 4.1 Çalışmanın yapıldığı yıllarda deneme alanı toprağının bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri.....	72
Çizelge 4.2 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl verim öğeleri üzerine etkisi.....	81
Çizelge 4.3 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. yıl bitki-tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi.....	86
Çizelge 4.4 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 2. yıl bitki-tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi.....	87
Çizelge 4.5 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. yıl bitki-tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi.....	88
Çizelge 4.6 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 2. yıl bitki-tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi.....	89
Çizelge 4.7 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl verim öğeleri üzerine etkisi	92
Çizelge 4.8 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. yıl bitki-tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi	94
Çizelge 4.9 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 2. yıl bitki-tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi	95
Çizelge 4.10 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. yıl bitki-tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi	98
Çizelge 4.11 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 2. yıl bitki-tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi	101
Çizelge 4.12 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl verim öğeleri üzerine etkisi.....	103
Çizelge 4.13 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. yıl bitki-tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi	106
Çizelge 4.14 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 2. yıl bitki-tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi	107
Çizelge 4.15 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. yıl bitki-tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi	114
Çizelge 4.16 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 2. yıl bitki-tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi	115

1. GİRİŞ

Beslenme programında günlük enerji ihtiyacının ortalama %55-60'ı karbonhidratlardan karşılanmaktadır ve karbonhidratlar içinde tahıllar ön plana çıkmaktadır (Aydın 2017). Ülkemizde de gerek tüketim miktarı gerekse ekonomideki payı itibarı ile tahıl ve tahıl ürünlerinin önemi büyüktür.

Tahıl denilince akla *Gramineae* familyası tohum veya taneleri gelmektedir. Kültürü yapılan başlıca tahıl çeşitleri; buğday, mısır, çeltik, arpa, çavdar, yulaf ve darıdır (Bilgin vd. 2008). Ekmek üretiminde ülkemizde ve Dünya'da un denilince akla buğday gelmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde temel besin kaynağı durumunda olan buğday, Dünya'da mısırdan sonra en fazla üretilen tahıl grubudur. Artan dünya nüfusu ve artan gıda talebine oranla tarımsal üretim alanlarının sınırlı kalması tarımsal üretimde şablondan elde edilen ürün miktarı üzerine baskı oluşturmaktadır.

Şablondan elde edilen ürün miktarının artırılmasında bitki ıslahı ve gübreleme çalışmaları son derece önemlidir. Islah çalışmaları sonucunda geliştirilen bitkilerin artan besin maddesi ihtiyaçlarının kimyasal gübreler ile sağlanması tercih edilen bir uygulamadır ve gübre kullanımının bitkisel üretim artışıdaki payı %50-75 arasındadır (Eyüpoğlu 2002). Bitkisel üretimde payı bu denli büyük olan gübrelerden bitkilerin yararlanma oranları toprak özelliklerine bağlı olarak NPK için sırasıyla %40-60, %20-30 ve %65-80 arasında olduğu kabul edilmektedir (Karaman ve Turan 2012).

Bitkisel üretimde eksikliği en fazla hissedilen besin elementlerinden biri olan fosforun (P) ülkemiz topraklarının genelinde yüksek pH, kil ve kireç içeriği ile düşük organik madde ve toprak nemi gibi özellikleri nedeniyle kolaylıkla yarayışsız forma geçtiği bilinmektedir. Bu nedenle ülkemiz topraklarının %58'inde P yetersiz düzeydedir (Eyüpoğlu 1999).

Fosfor eksikliğini gidermede kullanılabilecek P'lu gübre üretiminde ham madde yönünden büyük ölçüde dışa bağımlı olmamız, dünyada P yataklarının giderek azalması, topraklarımızda biriken P'un yarattığı antagonistik etkileşimler ve ötrofikasyon gibi çevre sorunları P'lu gübreleri daha etkin kullanmamızı gerektirmektedir. Öte yandan yüksek verim elde etmek için tarım alanlarında çoğu zaman bitki ihtiyacının 4-5 katı kadar P'lu gübreleme yapılmaktadır ve tarım

istatistiklerine göre 2019 yılı itibariyle toplam P_2O_5 tüketimi 667 bin tondur (Anonim 2020a). Fosforlu gübrelerden yararlanma oranının %20-30 olduğu göz önüne alındığında yıllık 500 bin ton P_2O_5 cinsinden fosforlu gübre topraklarımızda yarayışsız hale gelmekte, birikmekte ve çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere ülke tarımında P'un hem eksikliği hem de fazlalığı önemli sorunlara yol açmaktadır.

Ülkemizde, ekilebilir tarım alanlarının genelinde yarayışlı P düşük olmasına rağmen P'ü etkin kullanabilecek stratejiler konusunda ciddi bir ilerleme kaydedilememiştir. Raghothama (1999) P'lu gübre tüketim hızının devam etmesi durumunda mevcut fosfat kaynaklarının 60-90 yıl içinde tükeneceği öngörüsünde bulunup, mevcut tüketimin çeşitli yollarla çevre kirliliğine yol açtığını da vurgulamıştır. Bu nedenle tarımda sürdürülebilir bir üretim için yeni fosfat kaynakları bulmanın yanı sıra fosfat bazlı yeni nesil gübre teknolojisinin geliştirilmesine öncelik verilmelidir (Tian vd. 2020). Bu amaçla kullanılabilecek yeni nesil stratejilerden biri nano teknolojik yöntemlerle geliştirilen gübrelerin tarımda kullanılmasıdır.

Çeşitli yöntemlerle 100 nm'den daha küçük boyutta üretilen materyaller nano materyal olarak kabul edilmektedir (Powers vd. 2006, Montalvo vd. 2015). Tarımda nano teknoloji uygulamasının amacı mevcut tarımsal üretim tekniklerini geliştirmektir. Tarımda nano teknoloji uygulamasına gübrelerin etkin kullanım yoluyla bitki büyümesinin artırılması yönünden gereksinim duyulmaktadır. Nano teknoloji ile üretilmiş gübreler, etkinliklerinin yüksek olması için gerekli olan yüksek çözünürlük, dayanıklılık ve etkinlik yönleriyle konsantrasyon etkinliği, kontrollü salınım, hedeflenen yere ulaştıktan sonra etkinlik gösterme, düşük ekotoksisite ve etkin dağılım yoluyla uygulama tekrarı zorunluluğunu ortadan kaldırma gibi özelliklerden birine ya da bir kaçına sahip olmaları nedeniyle önem arz etmektedir (Kottagoda vd. 2011).

Boyutları nedeniyle nano teknolojiyle üretilen gübrelerde bulunan besin maddelerinin kök hücreleri ile yaprak kutikulasından girişi, bitkide kısa ve uzun mesafe taşınımının da kolay olabileceği düşünülmektedir. Geleneksel boyutlu gübrelerde olduğu gibi nano teknolojik gübrelerdeki iyonların bitkiye girişine de hücre duvarı engel oluşturmaktadır. Hücre duvarlarındaki boşluk çaplarının 5-20 nm olduğu ölçülmüştür (Fleischer ve

O'Neill 1999). Bu durumda bu çaptan küçük olan maddeler kolaylıkla hücre duvarından geçerek plazma membranına ulaşabilecektir (Solanki vd. 2015).

Yarayırlılığı sınırlı olan P'un nano teknoloji ile üretilmesi toprakta P'un etkinliğini artırabilecek ve yarayırsız formda toprakta birikmesini önleyebilecektir. Çalışmada nano-P'lu gübre olarak sentetik hidroksiapatit [$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$] elde edilmiştir. Suda oldukça az çözünen bir molekül olan hidroksiapatitin bitki kökünden ve yaprak kutikulasından boyutları nedeniyle kolaylıkla geçebileceği düşünöldüğünden bu çalışmada yavaş etkili P'lu gübre kaynağı olarak kullanılmıştır.

Toprakta kolaylıkla yarayırsız hale geçebilen P gibi besin elementlerinin daha etkin kullanılmasını sağlayabilecek yeni nesil materyallerden bir tanesi de biyokömürdür. Biyokömür (BK) her türlü bitkisel ve hayvansal organik materyalin oksijensiz veya düşük oksijenli ortamda yüksek sıcaklıkta ($>250^\circ\text{C}$) yakılmasıyla elde edilmektedir. Biyokömürün gübre olarak kalitesi elde edildiğı organik madde kaynağı ve sıcaklık derecesine bağlıdır. Siyah karbon, organik maddenin tamamlanmamış yanması sonucu üretilen BK'nın temel komponenti olup yoğunlaşmış aromatik yapısı nedeniyle topraklarda parçalanmaya karşı oldukça dirençlidir (Goldberg 1985, Glaser 1998, Schmidt vd. 1999, Kuzyakov vd. 2009). Biyokömür C sağlayan bir toprak düzenleyici olarak rol oynamakta ve topraklarda verimliliğı artırmaktadır (Ogawa vd. 2006, Chan vd. 2007, Gunes vd. 2014). Ayrıca BK, sera gazı salınımlarının azaltılması ve karbonun atmosfere geri dönmesini önleyerek, Kyoto protokolü kapsamında, ölkelere karbon puanı da sağlamaktadır (Singh vd. 2010, Matovic 2011).

Biyokömür bitki besin maddeleri bakımından zengin olup, aynı zamanda toprağın su tutma kapasitesini ve KDK'sını artıran, toprak pH'sını düzenleyen bir toprak düzenleyicidir (Gunes vd. 2014, Inal vd. 2015). Biyokömür hammaddesi bitkisel-hayvansal atıkların sürdürülebilir kullanımını sağlamaktadır. Türkiye'de 2019 yılında tavukçuluk işletmelerinde bulunan 340 milyon tavuktan (Anonim 2021a) 16.7 milyon ton yaş, 5.8 milyon ton olgunlaştırılmış gübre (Gezgin 2018) açığa çıkmakta ve bu gübre uygun depolanmadığında çevre sorunlarına yol açmaktadır. Tavuk altlığının BK olarak değerlendirilmesi topraklarda hem karbon hem besin maddesi kaynağı oluştururken, çevre kirliliğı riskini de azaltmaktadır. Biyokömür topraklara stabil karbon sağlayan önemli bir toprak düzenleyicisi olmasının yanında, buğday

yetiştiriciliğinde P'lu gübrelerin etkinliğinin artırılmasında kaplama amacıyla kullanılabilecek bir materyaldir.

Kimyasal gübrelerin BK gibi materyaller ile kaplanması sonucunda, gübrelerden besin maddesi salınımının daha kontrollü olduğu bildirilmektedir (Geng vd. 2015). Kaplama teknolojisi kullanılarak üretilen P'lu gübreler P'un salınımı ve kil kolloidleriyle temas süresini azaltmakta, P yarayışlılığını arttırmakta ve dolayısıyla kullanılan P'lu gübre miktarı azalmaktadır (Pogorzelski vd. 2020).

Topraklarda besin maddelerinin fiksasyonu nedeniyle noksanlığın giderilmesinde yararlanılan bir diğer yöntem yaprak gübrelemesidir. Yaprak gübrelemesiyle daha çok, düşük miktarlarda ihtiyaç duyulan mikro element eksikliklerinin giderilmesi mümkün olmaktadır. Bununla birlikte son yıllarda yapılan çalışmalarda özellikle tahıllara geç dönemde uygulanan P'un bitkilerde verim ve kaliteyi artırdığına yönelik çalışmalar da bulunmaktadır. Yüksek ürün potansiyeline sahip tahıl çeşitlerine sadece taban gübrelemesinde verilen P'un kardeşlenme evresine kadar yeterli olduğu ve sonraki dönemlerde uygulanacak P'lu gübreler ile verimin artırılacağı belirlenmiştir (Noack vd. 2011). İlave uygulanacak P'un fiksasyon riski nedeniyle toprak yerine yaprağa uygulanmasının daha etkili bir strateji olacağı bildirilmiştir (Fernandez vd. 2014). Kuru koşullarda yetiştirilen buğdayda kuraklık stresinin geç dönemde uygulanan P ile azalabileceği ve buğdayda verimin artabileceği belirlenmiştir (Noack vd. 2011).

Düşük pH değerine sahip fosforik asidin (pH 2-3) daha yüksek pH'lı P'lu bileşiklere (pH 4-5) göre yapraklardan alımının daha iyi olduğu bildirilmiştir (Noack vd. 2011). Ayrıca boyutları nedeniyle yaprak kütikülasından kolayca geçebileceği düşünülen nano-P'un yapraktan uygulanması ile buğdayın geç dönemde ihtiyaç duyacağı P'un karşılanabileceği de düşünülmüştür.

Bu bilgilerden hareketle bu tez çalışmasında buğday bitkisinde P'lu gübrelerden yararlanma oranını artırmaya yönelik 3 farklı strateji olan nano-P'lu gübre (1), BK kaplı P'lu gübre (2) ve geç dönemde yapraktan P'lu gübre (3) uygulamaları birbirinden bağımsız denemeler olarak değerlendirilmiştir. Ülkemizde özellikle İç Anadolu bölgesinde tahıl yetiştirilen alanlarda taban gübrelemesi amacıyla sıklıkla kullanılan DAP'a alternatif olarak geliştirilen bu gübrelerin etkinliği arazi koşullarında ilk defa bu çalışmayla ortaya konulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Toprakta Fosfor

Toprakların toplam P içerikleri, toprakları oluşturan ana materyal olmak üzere iklim, organik madde içeriği, tekstür, parçalanma gibi etmenlere bağlıdır ve toprakların toplam P konsantrasyonu %0.02 ile %0.15 arasında değişmektedir. Toplam P içerikleri genelde toprakların A horizonlarında en yüksek, B horizonlarının üst kısmında bitki tüketimi nedeniyle daha düşük olmaktadır. Toplam P, inorganik ve organik P bileşikleri olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır (Aktaş 1995)

Organik P, toplam P miktarının %20'si ile %80'i arasında değişmektedir (Vaz vd. 1993). Topraklarda organik P bileşikleri genelde 3 grup altında toplanmaktadır. Bunlar; inositol fosfatlar, nükleik asit ve fosfolipitlerdir (Brady ve Weil 1999). Organik P miktarı; iklim, bitki örtüsü, tekstür, uygulanan kimyasal gübreler ve sulama gibi etmenlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Topraklarda inorganik P bileşikleri; toprak çözeltisinde bulunan ve çoğunluğu $H_2PO_4^-$ ve HPO_4^{2-} olan fosfat iyonları, kalsiyum (Ca) içeren fosfat bileşikleri, demir (Fe) ve alüminyum (Al) içeren P bileşikleri, kil mineralleri tarafından adsorbe edilen P bileşikleri, çeşitli minerallerde bulunan fosfatlar olarak 5 gruba ayrılmaktadır. İnorganik P bileşiklerinin cinsi büyük oranda toprak pH'sına bağlıdır. Kireçli ve yüksek pH'lı topraklarda P daha çok çeşitli kalsiyum fosfatlar, asit reaksiyonlu topraklarda ise Fe ve Al fosfatlar şeklinde bulunur. Üst topraklarda, toprak profiline göre değişmekle birlikte inorganik P'lu bileşikler %50 oranında bulunmaktadır (Aguilar ve Heil 1988).

Bitkilerin beslenmesinde 3 temel inorganik P fraksiyonu; toprak çözeltisindeki P, değişebilir P ve değişemez P önem taşımaktadır. Toprak çözeltisinde çözünmüş P, bitkilerin beslenmesinde hemen kullanılabilir, değişebilir P ise yüzeye tutunduğu için hızlı bir şekilde toprak çözeltisine geçebilir, fakat değişemez P kısa dönemde bitkilerin beslenmesinde kullanılamaz (Mengel ve Kirkby 1987).

Toprakta çözünebilir P genelde Ca-fosfatlar ve adsorbe olmuş P şeklinde bulunmaktadır. Toprak pH'sı düşük olduğunda anyonlar daha kuvvetli adsorbe olurken,

toprak pH'sı yükseldiğinde çözeltideki OH^- (HCO_3^-) iyonları artarak adsorbe olmuş P'un toprak çözeltisine geçmesini sağlamaktadır. Bu olay desorpsiyon olarak adlandırılmaktadır. Adsorbsiyonda toprak pH'sı dışında killerin yüzey alanı da önem arz etmektedir. Organik maddenin parçalanması P adsorbsiyonunu hem doğrudan hem de dolaylı olarak etkilemektedir. Organik maddenin parçalanması sırasında içeriğindeki P mineralize olarak toprak çözeltisine geçmektedir. Serbest kalan bu P, adsorbe ve serbest P arasında denge halindedir.

Topraklarda P alımına etki yapan etmenler; fiziksel ve kimyasal olarak ikiye ayrılmaktadır. Fiziksel etmenler toprak havası, toprak sıkışması, toprak nemi, toprak sıcaklığı, toprak tekstürüdür. Organik madde ve toprak pH'sı ise P alımını etkileyen kimyasal etmenlerdir (Stevenson ve Cole 1999).

Türkiye topraklarının yüksek pH, düşük organik madde ve yüksek kireç içeriği toprakların P alımını önemli oranda sınırlandırmaktadır. Eyüpoğlu (1999), tarafından yapılan çalışmada da Türkiye topraklarının %58'inde P'un 6 kg P_2O_5 da^{-1} düzeyinin altında olduğu (yetersiz) tespit edilmiştir. Bölgesel bazda yapılan çalışmalarda; Konya kapalı havzası topraklarında %21.3 (Güneş vd. 1996), Bursa ili alüvyal topraklarında %10 (Turan vd. 2010), Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi topraklarında %58.8 (Özyazıcı vd. 2016), Taşköprü yöresinde sarımsak tarımı yapılan topraklarda %40 (Akça vd. 2017) düzeyinde P noksanlığı tespit edilmişken, Akdeniz bölgesi sera topraklarının %71'inde (Alparslan vd. 2001) P fazla ve çok fazla olduğu belirlenmiştir.

2.2 Bitkide Fosfor

Bitkiler ihtiyaç duydukları P'u ya kök sistemleriyle ya da toprak üstü organlarıyla almaktadır. Bitkiler P'u genel olarak H_2PO_4^- formunda alırken, alkali tepkimeli topraklarda daha çok HPO_4^{2-} formunda almaktadır. Genel olarak H_2PO_4^- ve HPO_4^{2-} formları arasında alım bakımından bir oran yapıldığında 10:1 şeklinde alındıkları söylenebilmektedir (Foth ve Ellis 1988).

Bitkilerin kök sistemleri ile aldığı P'un büyük çoğunluğu toprak çözeltisinde ve çok az bir bölümü toprağın katı fazında bulunmaktadır. Toprak çözeltisindeki P'un bitkiler tarafından alınması; P'un katı fazdan toprak çözeltisine geçmesi, toprak çözeltisinden

kök etki alanına taşınması, kök etki alanındaki P'un kök üzerine alınması ve kök hücresine girerek bitkide gereksinim duyulan yerlere taşınması aşamalarını izlemektedir (Fried ve Shapiro 1960).

Toprağın katı fazından toprak çözeltisine P “karbonik asit kuramı” ve “kontak değişim kuramı” ile alınmaktadır. Karbonik asit kuramında; bitki kökleri ve toprak mikroorganizmaları tarafından açığa çıkan CO₂ su ile birleşerek karbonik asidi oluşturmaktadır. Oluşan karbonik asit iyonlarına ayrılarak, toprakta adsorbe edilmiş H₂PO₄⁻ ile yer değiştirmektedir. Böylece toprakta adsorbe edilmiş fosfat çözeltiye geçmektedir. Diğer kuramda ise toprakta adsorbe edilmiş şekilde bulunan fosfat bitki kökünün pozitif yüklü kısmında bulunan OH⁻ iyonları ile değişim haline geldiğinde kontak değişim yoluyla yer değiştirmektedir. Böylece P bitki köküne geçmektedir (Aktaş 1995).

Toprak çözeltisine geçen P'un bitkiler tarafından alınabilmesi için kök etki alanına (rizosfer) taşınması gerekmektedir. Kök etki alanı; kökün çevresindeki 0.2-1 mm'lik alan olup, kök uçları ve tüyleri yoğun olarak bulunmaktadır. Toprak çözeltisindeki P'un kök etki alanına taşınmasında kitle akımı ve difüzyon etkilidir. Toprak çözeltisindeki P'un kök etki alanına kitle akımı ile taşınması pasif taşımadır. Kitle akımında suyun hareketi sonucunda suyun içerisinde bulunan iyonlar taşınmaktadır. Topraktaki P'un diğer besin elementlerine göre çözünürlüğünün ve konsantrasyonunun az olması P'un kök etki alanına taşınmasında kitle akımından ziyade difüzyonun etkin olduğunu göstermektedir (Hopkins 2015). Marschner (1995) ve Barber (1995) yaptıkları araştırmalarda; bitkilerin P gereksinimlerinin karşılanmasında kontak değişimi ve kitle akımından ziyade difüzyonun önemli role sahip olduğunu belirlemişlerdir. Difüzyon çok kısa aralıklarla ve büyüme mevsiminde görülmektedir. Kök gelişimi ile doğrudan ilişkilidir ve kök sistemi güçlü olan bitkilerin P alımı daha fazla olmaktadır (Sposito 2008, Marschner 2012).

Bitki kök hücrelerinin P konsantrasyonu toprak çözeltisinin konsantrasyonundan 1000 kat fazla olduğu için kök hücrelerine P aktif absorpsiyon ile geçmektedir (Aktaş 1995). Aktif absorpsiyon metabolik enerji kullanılarak besin elementlerinin konsantrasyon farkına ya da elektrokimyasal gradientine karşıt yönde biyolojik membranlardan

taşımasıdır. Aktif taşımada ATP'nin hidrolizi ile oluşan metabolik enerji kullanılmaktadır.

Kök ucundan absorbe edilen çözünmüş fosfat iyonları iletim borularına; apoplast, transhücre ve simplast yollarıyla taşınmaktadır. Apoplast yolunda fosfat iyonları herhangi bir membrandan geçmeksizin hücre duvarları arasında oluşan yoldan endodermise ulaşmaktadır. Transhücre yolunda bir hücrenin bir tarafından diğer tarafına daha sonra da diğer hücreye taşınarak endodermise ulaşmaktadır. Simplast da ise plazmodezmal aracılığıyla taşınım sağlanmaktadır. İletim borularına ulaştırılan P, ksilem ve floem aracılığıyla gereksinim duyulan organlara taşınmaktadır.

2.3 Bitkide Fosforun Metabolik İşlevleri

Bitkilerde P organik ve inorganik formda bulunmaktadır. Organik P, şekerlerin ve alkollerin hidroksil gruplarıyla esterleşmiş ya da inorganik pirofosfat bağları ile diğer fosfat gruplarına bağlanmış şekillerde bulunmaktadır. Fosforilize olmuş şeker ve alkoller biyosentez ve parçalanma sırasında oluşan metabolik olayların ara ürünleridirler. Aynı şekilde organik fosfatlar lipitlerle birleşerek fosfolipitleri oluşturmaktadır (Aktaş 1995).

İnorganik fosfat çoğunlukla fosfat, az miktarda da pirofosfat şeklinde bulunmaktadır. Yüksek bitkilerde inorganik P'un %85-95 kadarı vakuollerde depolanmaktadır (Bieleski ve Ferguson 1983). Bitki yapraklarında fotosentezin karanlık ve ışık tepkimeleri sonucunda CO₂ özümsemesi kloroplastların stomaları içerisinde bulunan inorganik P miktarı ile ilişkilidir. Fosfor noksanlığı yaşayan bitkilerin fotosentez tepkimeleri de azalmaktadır. Bitkide yavaşlayan fotosentez nedeniyle gövde büyümesi de gerilemektedir. Fosfor noksan durumlarda yumru bitkilerinde ve tahıl tanelerinde nişasta birikimi de azalmaktadır (Plaxton ve Preiss 1987, Mohabir ve John 1988).

Fosfor grupları birbirine yüksek enerji içeren pirofosfat bağları ile bağlıdır. Hidrolize oldukları zaman yüksek enerji açığa çıktığından fotosentez ve solunum gibi metabolik işlevlerde P'a ihtiyaç duyulmaktadır. Fosforilasyon tepkimesi sonucunda ATP içerisindeki yüksek enerji, bir fosforil grubunun başka bir bileşiğe geçmesi ile aktarılmakta ve aktarılan enerji diğer metabolik olaylara katılmaktadır. ATP dışında

anılan tüm nükleotid trifosfatların (UTP, CTP ve GTP); ribonükleik asitlerin (RNA) ve deoksiribonükleik asitlerin (DNA) sentezlenmesinde de pirofosfat bağları önemli roller oynamaktadır.

Sitoplazma ve kloroplastlarda meydana gelen enzimatik tepkimelerin çoğunda P ya etki edilen madde ya da son ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Örneğin sitoplazmaya aktarılan P, meyve olgunlaşması gibi metabolik olaylarda görev almaktadır (Centeno vd. 2011).

Bitkilerde bulunan önemli bir organik P'lu bileşik de fitindir. Fosforun tane ve tohumlarda depo edildiği form olan fitatlar, tahıl tanelerinin %60-70'ini, buğday ununun %86'sını oluşturmaktadır (Schlemmer vd. 2009).

Tohumların çimlenmesinde fitatlar önemli bir role sahiptir. Tohumun çimlenmesi sırasında tohumda bulunan fitatlar parçalanmakta ve fosfolipit miktarı artmaktadır. Artan fosfolipit ile hücre membranları oluşmakta, hücre içinde solunum, fosforilasyon ve protein sentezi gibi tepkimeler artmaktadır.

Tahılların oluşum evresinin başında tane de fitat içeriği düşüktür. Ancak nişasta sentezi ile birlikte fitat içeriği artmaktadır ve tahılların tane dolum evresinde de nişastanın sentezlenmesinde fitatın önemli rol oynadığı belirlenmiştir (Reddy 2002).

Tahıl tanelerinde ve baklagil tohumlarında P'un depo şekli olan fitik asit, çinko, demir ve kalsiyumun insan ve hayvan bağırsaklarından emilimini azaltmaktadır (Welch vd. 2004). Bağırsaklardan çinkonun alım miktarını besinlerin Zn/fitat içeriği belirlemektedir. Fitat içeriği yüksek mayasız kepekli ekmek ile beslenen bireylerde çinko eksikliği görülebilmektedir. Fakat buğdayda fitik asit içeriği sadece düşük toplam P ile ilişkili olmayıp, aynı zamanda tane protein içeriği ile de ilişkilidir (Raboy vd. 1991).

Optimum bitki gelişimi için bitkilerin vejetatif dönemde P gereksinimi bitki kuru maddesinin %0.3-0.5 aralığında değişmektedir. Bu kritik P konsantrasyonu Jones vd. (1991) tarafından mısır ve pamukta %0.3-0.5, çavdarda %0.52-0.65 ve buğdayda %0.2-0.5 olarak belirlenmiştir.

2.4 Bitkide Fosfor Noksanlığı

Bitkilerde P noksanlığına; toprakta pH, sıcaklık, nem, tekstür, strüktür ve diğer besin elementlerinin miktarı ile bitkide P'dan yararlanmayla ilgili genetik özellikler neden olmaktadır. Bu nedenle yeterli düzeyde P içeren topraklarda yetiştirilen bitkilerde de noksanlık gözlenebilmektedir (Sanyal ve Datta 1991).

Fosfor noksanlığında bitki büyümesi gerilemekte ve bodur bir gelişim gözlenmektedir. Çiçeklenme gecikmekte ve tomurcuklar geç açmaktadır. Azot noksanlığına benzer şekilde fazla antosiyanin biriktiği için koyu yeşil veya morumsu renkler ortaya çıkmaktadır. Yaprak gelişimi ve yaprak yüzey alanı önemli derecede azalırken, yaprak sayısı da azalmaktadır. Gövde/kök kuru ağırlık oranı belirgin bir şekilde azalmaktadır. Bitki yaşamını garanti altına almak için kök gelişimini artırmaktadır. Artan kök miktarı ile rizosfere organik asit ve proton salgılayarak yüzey aktivitesi ile mikoriza enfeksiyonunun artması sağlanmaktadır.

Toprak çözeltisinde 0.4-8.0 kg ha⁻¹ çözülmüş P bitki ihtiyacını karşılayacak düzeydedir. Buna rağmen yoğun bitkisel üretim ve aşırı azotlu gübreleme P noksanlığına neden olabilmektedir.

Tahıllarda P noksanlığı önce yaşlı yapraklarda görülmekte ve noksanlık belirtileri incelendiğinde; büyümede gerileme, kardeşlenmede azalma, yaprak uçlarının aşağı doğru sarkması, yaprakların dik duramaması, erken dönemde koyu mavi-yeşil renk oluşumu, yaprak renginin koyulaşması, bitkide kırmızımsı menekşe renk oluşması, ilerleyen dönemde kahverengi nekrotik leke oluşumu ve tanede şekil bozukluğu şeklinde gözlenmektedir. Bitkinin dona dayanıklılığı da azalmaktadır (Güneş vd. 2010).

2.5 Buğday Tarımı

Buğday, tek yıllık bir serin iklim tahılıdır. Gelişimi 5 evreden oluşmaktadır. Bu evreler; vejetatif (çimlenme ve kardeşlenme) ve generatif (sapa kalkma, başaklanma, döllenme) evrelerdir (Hanft ve Wych 1982). Günümüzde yaygın olarak kültürü yapılan modern buğday çeşitleri ekmeklik ve makarnalık buğdaylardır (Atar 2017).

Buğday geniş adaptasyon yeteneğine sahip olması nedeniyle insan beslenmesinde kullanılan kültür bitkileri arasında dünyada ekiliş ve üretim bakımından ilk sıralarda yer almaktadır. Buğday geniş bir adaptasyon yeteneğine sahip olmasına rağmen fazla sıcak ve nemden hoşlanmayan bir serin iklim tahılıdır. Özellikle gelişiminin ilk dönemlerinde (çimlenme, kardeşlenme) sıcaklığın 8-10 °C, bağıl nemin %60'ın üzerinde olması yeterlidir. Kardeşlenme ve sapa kalkma arasındaki dönemde fazla sıcaklık istemez. Sapa kalkma döneminde sıcaklık ve nem isteği artar, başaklanma döneminin hemen öncesinde bağıl nemin yüksek olması buğday verimini olumlu yönde etkiler. Dölllenme ile birlikte, düşük nem ve yüksek sıcaklık tanenin niteliğini yükseltir. Gelişme dönemine uygun dağılmış 500 mm bir yağış maksimum verim için yeterlidir (Anonim 2015). İç Anadolu koşullarında buğdaya, toprak analiz sonuçlarını göz önünde bulundurarak ekimle birlikte ihtiyaç duyulan N'un yarısı ve P'un tamamı verilirken, üst gübreleme amacıyla N'un geri kalan kısmı kardeşlenme döneminde verilmektedir.

Buğday dünya nüfusunun bitkisel kaynaklı besinlerden sağladığı toplam kalorisinin yaklaşık %20'sini, ülkemizde ise %53'ünü sağlamaktadır (Anonim 2019a). Dünya buğday ekim alanları 2019-2020 döneminde 217 milyon hektar ve ortalama buğday verimi 351 kg da⁻¹ olarak belirlenmiştir. 2019-2020 döneminde olumsuz hava koşullarından dolayı Avustralya, Türkiye ve Kazakistan'da üretim miktarı düşmüştür ve Türkiye 2019-2020 döneminde Dünya buğday üretiminin %2'sini karşılamıştır (Anonim 2019b).

Tarıma elverişli alanlarımızın %70'inde tahıl grubu bitkiler yetiştirilirken, tahıl ekilen alanlarımızın %64'ünde buğday üretiminin yapılması, buğdayı ülkemiz açısından da stratejik bir ürün haline getirmektedir. Son verilere göre ülkemizin buğday üretimi 19 milyon ton ve ekim alanı yaklaşık 68 milyon dekar olup ortalama verim 278 kg da⁻¹'dir (Anonim 2019b).

Uluslararası hububat konseyi (2019) verilerine göre dünya buğday verim ortalaması 351 kg da⁻¹ iken ülkemizin verim ortalaması (278 kg da⁻¹) bu değer oldukça altındadır. Buğday verimindeki düşüklüğün nedenleri arasında; Türkiye topraklarının genel karakteristik özellikleri olan yüksek pH, kil ve kireç içeriğinin yanında düşük organik madde ve toprak nemi ile yetiştiricilikte önemli yeri olan P'un kolaylıkla yarıyışsız

forma geçmesi sayılabilir. Hem bitkisel üretimde en fazla ihtiyaç duyulan besin elementlerinden biri olan P'un topraklardaki fiksasyon düzeyini azaltmak, hem de tükenmekte olan P rezervlerinin daha etkin kullanılabilmesi amacıyla günümüzde farklı teknolojik yöntemlerle P'lu gübreler geliştirilmektedir. Bu teknolojik yöntemlerden biri de nano boyutlu P'lu gübrelerin tarımsal amaçlı kullanılmasıdır.

2.6 Nano Fosforlu Gübreler

Günümüzde bitkilerin ihtiyaç duyduğu P'un temin edilmesinde kullanılabilecek kimyasal gübrelerden bazıları; monoamonyum fosfat, $(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)$, diamonyum fosfat, $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$ ve triple süperfosfat $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2)$ olup, bu gübreler suda kolay çözünen ve hızlı etkili olan gübrelerdir. Ancak bu gübreler toprakta kolloidlere hızlı bir şekilde bağlanmakta veya su kaynaklarına karışarak ötrofikasyon şeklinde kirliliğe neden olmaktadır. Toprak kolloidlerine bağlanan P, toprakta mikro elementlerin yararışlılığını azaltabilmekte ve bu yüzden insanlarda mikro element eksikliklerine bağlı hastalıkların ortaya çıkmasına sebebiyet verebilmektedir.

Fosforun toprakta mikro element yararışlılığını azaltması ve kolaylıkla fıkse olmasının dışında fosfat madenlerinin önümüzdeki yüzyılda tükeneceğı öngörüsü de çevre dostu olan, kontrollü salınan ve etkinliğı yüksek yeni P'lu gübre üretim teknolojilerinin araştırılmasına yol açmaktadır (Schröder vd. 2011).

Nanoteknoloji kavramı ilk defa Amerika Birleşik Devletlerinde daha sonrada Japonya, AB, Kore, İsrail, Güney Afrika Birliğı, Kanada gibi ülkelerde araştırılmıştır (Salamanca Buentello vd. 2005). Nanoteknolojinin sağık alanında başarılı bir şekilde kullanılması araştırmacıları tarımsal nanoteknoloji konusunda da araştırmalar yapmaya yöneltmiştir (Giroto vd. 2015).

Çeşitli yöntemlerle 100 nm' den daha küçük boyutta üretilen materyaller nano materyal olarak kabul edilmektedir (Liu ve Lal 2016, Marchiol vd. 2019). Bu şekilde üretilen malzemeler; tek veya çok duvarlı karbon bazlı nano materyaller, metal bazlı nano materyaller, dendrimerler ve kompozitler olarak sınıflandırılmaktadırlar. Materyallerin nano boyuta indirgenmesi onların kimyasal, fiziksel, biyolojik, katalitik özelliklerini

etkilemekte ve spesifik yüzey alanı ile reaktif özelliklerini artırmaktadır (Güneş vd. 2013)

Nanoteknolojinin bitkisel üretimde kullanılması “fito-nanoteknoloji” olarak tanımlanmıştır (Wang vd. 2016). Fito-nanoteknolojinin en umut verici uygulamalarından biri gübrelemeyle ilgili olan "Nano gübre" terimidir (Marchiol vd. 2019). Nano gübrelerin kullanım amacı gübre formülasyonlarının iyileştirilmesidir (Nair vd. 2010, Ghormade vd. 2011, Gogos vd. 2012). Araştırmalar nanoteknolojik yöntemlerle geliştirilen gübrelerin, yavaş salınımından dolayı gübre kullanım etkinliğini artırıp çevre risklerini azaltabilecek yeni bir teknoloji olduğunu göstermiştir (De Rosa vd. 2010, Liu ve Lal 2014, Xiong vd. 2018).

Boyutları nedeniyle nanoteknolojiyle üretilen gübrelerde bulunan besin maddelerinin kök hücreleri ile yaprak kutikulasından girişi ve bitkide kısa ve uzun mesafe taşınımının kolay olabileceği düşünülmektedir (Singh vd. 2017). Hücre duvarlarındaki boşluk çaplarının 5-20 nm (Fleischer ve O'Neill 1999) olması nedeniyle geleneksel gübrelerde iyonların bitkiye girişinde hücre duvarı engel oluşturmaktadır. Bu çaptan küçük olan maddelerin kolaylıkla hücre duvarından geçerek plazma membranlarına ulaşabilmesi tarımsal açıdan büyük bir avantajdır.

Nano boyutlarda elde edilen P'lu gübreler hidroksiapatit $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$ formunda üretilir ve hidroksiapatit suda oldukça az çözünen (5.4×10^{-19}) bir P'lu bileşiktir. Sentetik nano hidroksiapatitin yavaş çözünmesi, uzun süre etkili olması ve boyutunun azalması P yarıyışlılığını artırmaktadır (Borm vd. 2006). Watanabe vd. (2014) tarafından sentetik nano hidroksiapatitin boyutunun 100 nm'den küçük olmasının bitkiler tarafından kolay alınmasına ve taşınmasına olanak sağladığı belirtilmiştir.

Bazı araştırmacılar, nano gübrelerin potansiyel olarak toprakta hareket edebileceği ve bitki köklerine kitle akışı yoluyla ulaşabileceği hipotezine dayanarak P kullanım etkinliğini artırmada potansiyel bir gübre olarak nano hidroksiapatitin önemini ortaya koymuşlardır (Bala vd. 2014, Liu ve Lal 2014). Bitkisel üretimde P kaynağı olarak kullanılan nano-P'lu gübrelerle ilgili yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Nano fosforlu gübrelerle ilgili yapılan çalışmalar

Bala vd. (2014) yaptıkları çalışmada hidroksiapatit nanopartiküllerinin nohut bitkisinde çimlenme oranı, bitki boyu, tohum canlılık oranı ve bitki kuru ağırlığı üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada nano hidroksiapatit sol jel tekniği ile sentezlenmiş ve daha sonra karakterize edilmiştir. Denemede artan dozlarda nano hidroksiapatit (0, 500, 1000 ve 1500 ppm) çözelti şeklinde uygulanmıştır. Tohum çimlenme yüzdesini test etmek için 25 tohum sterilize kum içeren beherlere aktarılmış ve konuya göre damıtılmış su veya nano hidroksiapatit çözeltileri ile tamamen ıslatılacak şekilde nemlendirilmiştir. Çimlenme verileri 24 saatlik aralıklarla kaydedilmiş ve kökler 1 mm uzunluğa ulaşmış tohum kabuğu açıldığında tohumların tamamen çimlendiği kabul edilmiştir. Deneme sonuçları değerlendirildiğinde; çimlenme oranı, bitki boyu ve tohum canlılık oranı bakımından uygulama dozlarının 1000, 500, 1500, 0 ppm sırasıyla daha etkin olduğu belirlenmiştir. Kontrole göre bitki kuru ağırlığının 1 mg ml^{-1} nano hidroksiapatit çözeltisi ile iki kattan fazla arttığı tespit edilmiştir. Elektron mikroskobu altında incelenen görüntülerde bitki dokularında nanopartiküllerin biriktiği görülmüştür. Çalışma sonucunda araştırmacılar nano hidroksiapatitin bitkisel üretimde kullanılabilecek bir materyal olduğunu belirtmişlerdir.

Liu ve Lal (2014) peat-perlit karışımı kullanarak soya fasulyesi yetiştirdikleri 20 haftalık bir sera denemesinde çeşitli P kaynaklarının (hidroksiapatit nano partikülleri ve TSP) bitki gelişimi ve verime etkisini incelemişlerdir. Çalışmada karşılaştırma yapabilmek amacıyla kontrol (saf su) ve P içermeyen besin çözeltisi de kullanılmıştır. Deneme 5 L'lik saksılarda 5 tekerrürlü olarak yürütülmüş ve P kaynağı olarak hidroksiapatit nano partikülleri ile geleneksel P'lu gübre (TSP) 21.8 mg kg^{-1} P düzeyinde 1 L'lik çözeltiler halinde haftalık olarak uygulanmıştır. Ayrıca kontrol amaçlı uygulanan saf su ve P içermeyen besin çözeltisi de haftalık olarak 1 L'lik çözeltiler şeklinde uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; hidroksiapatit nano partikülleri ve TSP'nin incelenen tüm parametreler bakımından kontrol uygulamalarından önemli oranda yüksek olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte hidroksiapatit nano partikülleri TSP'ye göre gelişim oranını %33 ve verimi %20 artırmıştır. TSP gübresi ile karşılaştırıldığında nano hidroksiapatit uygulaması ile toprak üstü biyokütle %18, toprak altı biyokütle ise %41 artmıştır. Bitki boyu değerlendirildiğinde en yüksek bitki

boyuna nano hidroksiapatit uygulaması (ort 121 cm) ile ulaşılmış ve bu uygulama TSP'ye göre %30 boy artışına neden olmuştur. Araştırmacılar, soya fasulyesi yetiştiriciliği açısından nano hidroksiapatitin etkili bir P kaynağı olduğunu ve bitkilerde sağlıklı büyüme ile yüksek verimi teşvik ettiğini bildirmişlerdir.

Montalvo vd. (2015) nano hidroksiapatit, hidroksiapatit ve TSP gübrelerinin buğday bitkisinin gelişimine etkisini iki andisol ve iki oksisol karakterli yüksek P fiksasyon kapasitesine sahip dört asit toprakta sera denemesi şeklinde yaptıkları bir çalışmada incelemişlerdir. Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre ve her saksıda 2 bitki olacak şekilde 260 g toprak alan saksılarda yürütülmüştür. Saksılara 0 ve 150 mg kg⁻¹ P olacak şekilde P kaynakları uygulanmış ve 6 hafta sonunda hasat edilen bitkilerde verim ile bitkinin P alımı bakımından kaynaklar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; tüm topraklarda bitkinin P alımını en fazla artıran uygulamaların sırasıyla TSP, nano hidroksiapatit ve hidroksiapatit şeklinde olduğu belirlenmiştir. Bitki gelişimi bakımından TSP uygulamasının en etkili uygulama olduğu, bunu nano hidroksiapatitin takip ettiği ve kontrol ile hidroksiapatit arasında bir fark olmadığı belirlenmiştir. Araştırmacılar nano hidroksiapatitin bitkisel gelişimin artırılmasında TSP kadar etkili olmadığını fakat nanoteknolojik yöntemlerle üretilen gübrelerin asit karakterli topraklarda P etkinliğinin artırılmasında kullanılabilecek bir kaynak olduğunu bildirmişlerdir.

Mikhak vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada nano hidroksiapatit, nano zeolit, kaya fosfat ve TSP gibi P kaynaklarının papatya bitkisinde bazı verim parametreleri ile P alımına etkisi 4 tekerrürlü bir sera denemesinde incelenmiştir. Denemede 1 kg toprak alan saksılara, 8 farklı uygulama (a- kontrol, b- amonyum sülfatlı nano zeolit, c- kaya fosfat, d- amonyum sülfat ve kaya fosfat katkılı nano zeolit, e- nano hidroksiapatit, f- amonyum sülfat ve nano hidroksiapatit katkılı nano zeolit, g- TSP, h- amonyum sülfat ve TSP katkılı nano zeolit) yapılmış ve çalışmada bitkiler 187 gün sonunda hasat edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; hem nano zeolit ve nano hidroksiapatit uygulamalarının tamamı hem de geleneksel TSP'nin papatya bitkisinin gelişimini önemli düzeyde artırdığı belirlenmiştir. Amonyum sülfat ve nano hidroksiapatit katkılı nano zeolit (f) ile amonyum sülfat ve TSP katkılı nano zeolit (h) bitki boyu, dal sayısı, yan dal sayısı, çiçek sayısını en fazla artıran uygulamalar olmuştur. Amonyum sülfat ve

nano hidroksiapatit katkılı nano zeolit (f) uygulaması ile toprakta yarayırlı P miktarı, kök ve bitki P içeriği ile yaş ve kuru çiçek ağırlığı diğer uygulamalardan önemli oranda yüksek olmuştur. Diğer taraftan bitki toplam azot ve kükürt konsantrasyonları bakımından uygulamaların bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda nano hidroksiapatit katkılı nano zeolitin bitkisel verim artışının yanı sıra su kaynaklarında ötrofikasyon riskini azaltabilecek etkili bir P kaynağı olduğu araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir.

Abdel-Salam (2018) yaptığı bir çalışmada topraktan uygulanan P kaynakları (nano hidroksiapatit ve TSP) ile yapraktan uygulanan Fe kaynaklarının (nano Fe_3O_4 ve Fe-EDTA) baklada (*Vicia faba* L.) bitki boyu, bakla sayısı, tohum verimi ve N, P, Fe alımı üzerine etkisini ortaya koymuştur. Deneme, tesadüf bloklarında faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kil tekstüre sahip bir alanda yürütülmüştür. Birinci faktör olan P 5 dozda (P0: kontrol; P1: 20 kg P ha⁻¹ TSP; P2: 40 kg P ha⁻¹ TSP; P3: 20 kg P ha⁻¹ nano hidroksiapatit; P4- 40 kg P ha⁻¹ nano hidroksiapatit) ve 2 eşit miktarda (ekimle birlikte ve ilk sulamadan önce), ikinci faktör olan Fe ise 4 dozda (Fe0: kontrol; Fe1: 150 mg Fe L⁻¹ nano Fe_3O_4 ; Fe2: 300 mg Fe L⁻¹ nano Fe_3O_4 ; Fe3: 300 mg Fe L⁻¹ Fe-EDTA) ve iki defa da (ekimden 30 ve 45 gün sonra) uygulanmıştır. İlave olarak tüm parsellere 15 kg N ha⁻¹ (üre, %46 N) ve 53 kg K ha⁻¹ (K_2SO_4 , %41 K_2O) uygulanmış ve bitkiler 180. günde hasat edilmiştir. Denemede P uygulaması sonuçlarına göre; bitki boyu, bitki başına bakla sayısı, verim ve Fe alımı üzerine uygulanan tüm kaynaklar kontrole göre artış sağlamış ve artan P'lu gübre dozları ile daha yüksek değerler elde edilmiştir. Kaynaklar karşılaştırıldığında nano hidroksiapatit uygulaması ile TSP'ye göre incelenen parametreler bakımından daha yüksek değerlere ulaşılmış ve 40 kg P ha⁻¹ nano hidroksiapatit uygulaması en etkili uygulama olmuştur. Kontrole göre tüm uygulamalar tane N ve P alımını önemli oranda artırmıştır. Uygulamalar arasında kaynakların yüksek dozları ile daha fazla N ve P alımı sağlanırken, nano hidroksiapatit uygulamasının yüksek dozu TSP uygulamalarından daha etkili olmuştur. Araştırmacı deneme sonucunda baklada P kaynağı olarak nano hidroksiapatit kullanılması ile incelenen parametreler bakımından önemli artışlar sağlanabileceğini ortaya koymuştur.

Samavini vd. (2018) yaptıkları çalışmada sitrik asit ile modifiye edilmiş nano hidroksiapatitin etkinliğini mısır (*Zea mays*) bitkisinde araştırmışlardır. Sera denemesi

şeklinde yapılan çalışmada çeşitli şekillerde elde edilmiş nano hidroksiapatit içerikli gübreler, kaya fosfat ve TSP ile P salınımı ve gelişim parametreleri bakımından karşılaştırılmıştır. Deneme 10 konu (1- Kontrol; 2- Saf HANP; 3- 50 mM sitrik asit (CA) ile in-situ modifiye edilmiş hidroksiapatit nanopartiküller (InCAHANP); 4- 150 mM InCAHANP; 5- 250 mM InCAHANP; 6- 50 mM sitrik asit (CA) ile ex situ modifiye edilmiş hidroksiapatit nanopartiküller (ExCAHANP); 7- 150 mM ExCAHANP; 8- 250 mM ExCAHANP; 9- TSP; 10- Kaya Fosfat) ve 3 tekerrür olarak düzenlenmiştir. Çalışmada P 100 kg ha⁻¹ dozunda uygulanmışken ilaveten tüm saksılara N ve K uygulamaları da yapılmıştır. Haftalık olarak bitki boyu ölçülerek bitki gelişimi izlenmiş ve bitki gelişimi tamamlandığında koçan verimi belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; koçan verimi bakımından tüm uygulamaların kontrole göre önemli artışlar sağladığı en yüksek değerlere 50, 150 ve 250 Mm InCAHANP uygulamaları ile ulaşıldığı belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, hidroksiapatit nanopartikülleri ve kaya fosfat ile karşılaştırıldığında hidroksiapatit nanopartiküllerine ilave edilen organik asitler ile P yarayırlılığının arttığı araştırmacılarca ifade edilmiştir.

Taskin vd. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada düşük (70.9 g kg⁻¹) ve yüksek (347 g kg⁻¹) kireç içeriğine sahip alkali karakterli 2 farklı toprağa 200 mg P kg⁻¹ düzeyinde uygulanan nano hidroksiapatit (NHA) ve fosforik asidin (H₃PO₄) marul bitkisinin gelişimi ile P konsantrasyonuna etkisi araştırılmış ve hasattan sonra P kaynaklarının benzer parametreler üzerine bakiye etkisinin izlenmesi amacıyla aynı saksılarda 2. defa marul bitkisi yetiştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; kaynağına ve kireç miktarına bakılmaksızın uygulanan P ile 1. ve 2. ürün marulda kuru ağırlık değerlerinin kontrole göre önemli oranda yüksek olduğu belirlenmiştir. İstatistiki anlamda önemli olmasa da NHA uygulaması ile H₃PO₄'e göre 1. ve 2. ürün marul bitkilerinde daha yüksek kuru ağırlık değerlerine ulaşılmıştır. Bitki P konsantrasyonları incelendiğinde; P uygulamaları ile kontrole göre önemli artışlar sağlandığı görülmüştür. Düşük kireçli toprakta 1. üründe P kaynakları arasında P konsantrasyonları bakımından bir fark olmadığı, 2. üründe ise H₃PO₄'in ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Yüksek kireçli toprakta 1. üründe P kaynakları arasında P konsantrasyonları bakımından bir fark olmadığı, 2. üründe ise NHA'in ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Nano hidroksiapatitin bitki gelişimi ve P içeriği bakımından H₃PO₄'e göre alkali karakterli topraklarda

genellikle daha etkili bir P kaynağı olduğu fakat bu P kaynağının bitkiler tarafından alımı, bitkide taşınımı ve diğer elementlerle olan ilişkilerinin belirlenebilmesi amacıyla uzun dönem tarla denemelerinin yapılmasının gerektiği araştırmacılarca ifade edilmiştir.

Xiong vd. (2018a) tarafından yapılan bir çalışmada 3 farklı yüzey yüküne sahip hidroksiapatit nano partiküllerinin (HA-NP) P kaynağı olarak kullanım olanağı asit (pH: 4.7) ve alkali (pH: 8.2) karakterli ve P bakımından fakir 2 farklı toprakta inkübasyon çalışması şeklinde denenmiştir. Denemede TSP, hidroksiapatit ve 3 farklı yüzey yüküne (negatif, nötr ve pozitif) sahip HA-NP 150 mg P kg⁻¹ olacak şekilde 150 g toprak alan saksılara uygulanmış ve 240 gün süre ile saksılar inkübasyona bırakılmıştır. Çalışmada karşılaştırma yapabilmek amacıyla kontrol uygulaması da yer almıştır. Sonuçlar incelendiğinde; 2 toprak tipinde de kontrole göre uygulanan P kaynakları ile daha yüksek P konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışma sonunda yüksek pH değerlerinde HA-NP'lerden salınan P'un kalsiyum fosfatlar şeklinde bağlandığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada farklı pH değerlerine sahip topraklara uygulanan HA-NP'lerin yarıyışlı P miktarına etkisini belirlemek için ikinci bir inkübasyon denemesi de kurulmuştur. Bu inkübasyon çalışmasında asit karakterli toprağa (pH 4.7) ilave edilen NaOH (0.5 M) ile toprak pH'sı 5.6, 6.7 ve 8.1 olan topraklar elde edilmiştir. Bu topraklara farklı P kaynakları (TSP, nötr HA-NP ve HAP) uygulanmış ve 21 gün süreyle inkübasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneme sonucunda yüksek pH'larda hidroksiapatit bileşiklerinin toprakta yarıyışlı P varlığını oldukça düşürdüğü, TSP'nin ise artırdığı belirlenmiştir. İki inkübasyon denemesinden elde edilen sonuçlar özellikle negatif yüzey yüküne sahip HA-NP'nin yavaş salınımlı bir P kaynağı olarak asit karakterli topraklarda kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Xiong vd. (2018b) tarafından yapılan bir çalışmada 3 farklı yüzey yüküne sahip (negatif, nötr ve pozitif) hidroksiapatit nano partiküllerinin (HA-NP) ayçiçeği bitkisinin gelişimi ile besin elementi konsantrasyonlarına (P, Ca, Fe ve Zn) etkisi P noksanlığı olan 2 farklı (asit ve alkali) toprakta sera denemesi şeklinde 35 gün boyunca izlenmiştir. Çalışmada karşılaştırma yapabilmek amacıyla TSP ve kaya fosfat ile kontrol de yer almıştır. Deneme 3 tekerrürlü olarak kurulmuş ve P uygulamaları 150 mg kg⁻¹ düzeyinde yapılmıştır. Deneme sonuçlarına göre; asit toprağa ilave edilen TSP ya da HA-NP'ler ile bitki boyu benzer bulunurken, kontrol ve kaya fosfata göre bu

uygulamalar ile yaklaşık 2 kat fazla bitki boyu elde edilmiştir. Alkali karakterli toprağa yapılan P uygulamalarının bitki boyuna etkisinin önemsiz olduğu bulunmuştur. Asit toprağa ilave edilen negatif ve nötr HA-NP uygulamaları ile en yüksek P konsantrasyonu belirlenmişken, bunu pozitif HA-NP ve TSP uygulamaları izlemiştir. Kaya fosfat ve kontrolde bitki P konsantrasyonları önemli derecede düşük olmuştur. Alkali toprağa uygulanan TSP ile bitki P konsantrasyonu en yüksek değere ulaşmış, diğer P kaynakları ile kontrol arasında istatistiksel önemli bir fark belirlenmemiştir. Asit toprağa uygulanan kaya fosfat dışındaki tüm P kaynakları ile bitki Ca konsantrasyonları kontrole göre önemli oranda artarken, alkali toprakta TSP dışındaki uygulamalarla azalmıştır. Asit toprakta yetiştirilen bitkilerin Fe konsantrasyonlarının kontrol ve kaya fosfatta en yüksek, HA-NP uygulamalarında ise en düşük düzeyde olduğu belirlenmiştir. Alkali topraklarda P uygulamaları ile kontrol arasında bitki Fe konsantrasyonu bakımından bir fark saptanmamıştır. Asit toprakta yetiştirilen bitkilerin Zn konsantrasyonlarının HA-NP uygulamaları ile en düşük düzeyde olduğu ve diğer uygulamalar ve kontrolün bunlardan önemli ölçüde yüksek olduğu belirlenmiştir. Alkali topraklarda ise TSP uygulaması bitki Zn konsantrasyonunu önemli ölçüde düşürmüştür. Diğer uygulamalar kontrole aynı sınıfta yer almıştır. Deneme sonunda asit topraklarda belirlenen yarayışlı P konsantrasyonları değerlendirildiğinde, kontrole göre kaya fosfat dışındaki P kaynaklarının yarayışlı P içeriğini önemli düzeyde artırdığı ve en fazla artışın negatif HA-NP uygulamasında olduğu tespit edilmiştir. Alkali toprakta ise TSP uygulaması kontrole göre yarayışlı P içeriğini önemli düzeyde artırırken, diğer P kaynakları kontrole aynı sınıfta yer almıştır. Çalışma sonucunda özellikle negatif HA-NP'in asit topraklara uygun yeni bir P'lu gübre formu olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

Marchiol vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada karboksimetilselüloz ile stabilize edilmiş hidroksiapatit nano partiküllerinin domates tohumlarının çimlenmesi ve kök uzunluğuna etkisi incelenmiştir. Çalışmada 30 adet domates tohumu artan dozlarda (0, 2, 20, 200, 500, 1000 mg P L⁻¹) hazırlanan hidroksiapatit nano partiküllerini içeren çözeltilerde 12 saat süreyle bekletilmiş ve sonrasında petri kabında 9 gün boyunca çimlenme testine tabi tutulmuştur. Bu sürenin sonunda çimlenen tohum sayısı ile kök uzunlukları belirlenmiş ve çimlenen tohumlar sera denemesinde kullanılmıştır.

Çalışmanın 2. kısmında hidroponik ortamda Hoagland besin çözeltisinde yetiştirilen bitkilere 3 yapraklı olduğu dönemde artan dozlarda (0, 2, 20, 200, 500, 1000 mg P L⁻¹) hidroksiapatit nano partikülleri ile 2000 mg P L⁻¹ olacak şekilde hidroksiapatit 48 saat süreyle uygulanmış ve uygulamaların bitki P ve Ca konsantrasyonları ile klorofil a ve b içeriklerine etkisi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre uygulamaların çimlenme üzerine etkisi önemsiz olurken, kök uzaması üzerine etkisi önemli olmuştur. En uzun kök 500 mg L⁻¹ uygulamasından elde edilirken, 2 ve 20 mg L⁻¹ P uygulamaları kontrolle aynı sınıfta yer almıştır. Hidroponik koşullarda yetiştirilen domates bitkilerinin gelişimi üzerine hidroksiapatit nano partiküllerinin fitotoksik etkisi gözlenmemiştir. Bitki P ve Ca konsantrasyonları ile klorofil a ve b içerikleri bakımından kontrol ile uygulama dozları arasında bir fark bulunmamıştır. Araştırmacılar çalışmanın sonucunda karboksimetilselüloz ile stabilize edilmiş hidroksiapatit nano partiküllerinin toksik olmayan etkileri olduğunu ve bu nedenle hem bir P kaynağı hem de diğer element ve moleküllerin taşıyıcısı olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Miranda-Villagómez vd. (2019) Avustralya’da yürüttüğü çalışmada, besin çözeltisi ortamında yetiştirilen çeltik bitkilerine (*Oryza sativa* L. ssp. *Indica*) vejetatif evrede P kaynağı olarak KH₂PO₄ ile polimer kaplı nano KH₂PO₄’ı farklı dozlarda uygulamışlar ve uygulamaların bazı gelişim parametreleri ile bitkide P konsantrasyonu, P birikimi ve fotosentez oranı gibi parametrelere etkisini değerlendirmişlerdir. Denemede P içermeyen Yoshida çözeltisinde yetiştirilen bitkilere 8 farklı P kaynağı (1-Kontrol (saf su); 2- nano materyallerin (5-8 arasındaki) kaplanmasında kullanılan polimer esaslı A tipi jel (0.1042 g L⁻¹); 3- önerilen P dozunun %50’si KH₂PO₄’ten (0.0260 g L⁻¹); 4- önerilen P dozunun tamamı KH₂PO₄’ten (0.0521 g L⁻¹); 5- önerilen P dozunun %50’si nano KH₂PO₄’ten (0.0781 g L⁻¹); 6- önerilen P dozunun tamamı nano KH₂PO₄’ten (0.1563 g L⁻¹); 7- tripsin (0.1 g L⁻¹) ile birlikte önerilen P dozunun %50’si nano KH₂PO₄’ten (0.0781 g L⁻¹); 8- tripsin (0.2 g L⁻¹) ile birlikte önerilen P dozunun tamamı nano KH₂PO₄’ten (0.1563 g L⁻¹)) uygulanmış ve çalışma 14 gün boyunca yürütülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde; 3, 5 ve 7 numaralı uygulamaların kontrol uygulamalarına (1 ve 2) göre daha fazla bitki boyuna neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 4, 6 ve 8 numaralı uygulamalar kontrol uygulamalarından daha fazla yaprak ve kardeş sayısına sebep olmuşlardır. Nano KH₂PO₄ uygulamaları hem köklerde hem de sürgünlerde P’un

fizyolojik etkinliğini artırmış ve bu durum daha yüksek biyokütle birikimine neden olmuştur. Fosfor uygulamalarına bağlı olarak bitki P konsantrasyonları kontrol uygulamalarına göre önemli oranda artmış ve 4 ve 8 numaralı uygulamalar sonucunda en yüksek P konsantrasyonuna ulaşılmıştır. Bitkide P birikimi bakımından 6 numaralı uygulama ile en yüksek değere ulaşılmış ve tüm P kaynakları kontrol uygulamalarından önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. Fotosentez oranı bakımından 5 ve 6 numaralı uygulamalar ön plana çıkmıştır. Ayrıca nano KH_2PO_4 uygulamaları çeltikte su kullanım etkinliğini artırmıştır. Çalışma sonucunda çeltiğe P kaynağı olarak nano KH_2PO_4 uygulanması ile gübre miktarı ve üretim maliyetleri ile sularda kirlilik riskinin azalabileceği araştırmacılarca ortaya konmuştur.

Mohamed vd. (2019) balık kemiği ve yumurta kabuğundan elde ettikleri nano hidroksiapatitin soya fasulyesinin gelişimine etkisini geleneksel TSP gübresi ile sera koşullarında 3 tekerrürlü olarak karşılaştırmışlardır. Deneme konuları kontrol, TSP, balık kemiği ve yumurta kabuğundan elde edilen nano hidroksiapatitler şeklindedir. Denemede P kaynakları dekara 35 kg P da^{-1} olacak şekilde 12 L toprak alan saksılara 3 eşit miktarda (ekimle birlikte, ekimden 17 ve 40 gün sonra) uygulanmıştır. Denemede 7.5 kg da^{-1} düzeyinde N ekimden 17, 36 ve 50 gün sonra amonyum nitrat formunda, K ise 12.5 kg da^{-1} düzeyinde ekimden 15, 36 ve 50 gün sonra potasyum sülfat formunda uygulanmıştır. Bitkiler 78 gün boyunca yetiştirilmiştir. Deneme sonunda hasat edilen bitkilerde uygulamaların yaprak sayısı, kapsül sayısı, bitki uzunluğu, kök uzunluğu, yaprak uzunluğu, yaprak genişliği gibi parametrelere etkisi belirlenmiştir. İncelenen özellikler bakımından balık kemiği ve yumurta kabuğundan elde edilen nano hidroksiapatitler arasında bir fark olmadığı, fakat TSP'ye göre nano gübrelerin 1.9 kat fazla bitki gelişimine sebep olduğu belirlenmiştir. Balık kemiğinden elde edilen nano hidroksiapatit ile bitkilerde N, P, K konsantrasyonlarının TSP uygulamasına göre sırasıyla 1.21, 1.32 ve 1.17 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda organik atıklardan elde edilen ve yüksek kaliteli bir P kaynağı olan nano hidroksiapatitin soya bitkisinde verimi artırdığı fakat elde edilen bu verilerin arazi çalışmalarıyla desteklenmesinin gerekli olduğu bildirilmiştir.

McKnight vd. (2020) yaptıkları bir çalışmada nano hidroksiapatitin P kaynağı olarak kullanım olanağını soya fasulyesinde iki farklı deneme şeklinde incelemişlerdir.

Denemede bitkiler 500 g peat-perlit karışımında yetiştirilmiştir. Bu çalışmalardan ilkinde 5 konu (a- kontrol (sadece saf su), b- P içermeyen besin çözeltisi (negatif kontrol), c-hidroksiapatit ($9.25 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P}$), d- nano hidroksiapatit ($9.25 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P}$), e- nano hidroksiapatit ($18.5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P}$)) yer almış ve çalışma 8 hafta süreyle yürütülmüştür. Çalışmada saf su (kontrol) dışındaki uygulamalara Hoagland besin çözeltisi ve KNO_3 ilave edilmiştir. Toprak altı biyokütle, toprak üstü biyokütle, toplam biyokütle, toplam verim gibi parametreler bakımından c uygulaması ön plana çıksa da uygulamalar ve kontrol arasında istatistiksel önemli bir fark belirlenmemiştir. C ve d uygulamaları kontrol ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde yüksek bakla sayısı sağlarken, e uygulaması kontrol ile aynı sınıfta yer almıştır. İkinci çalışmada ise 6 konu (a- kontrol (sadece saf su), b- P içermeyen besin çözeltisi, c- hidroksiapatit (15 mg P kg^{-1}), d- nano hidroksiapatit (15 mg P kg^{-1}), e- nano hidroksiapatit ($56.5 \text{ mg P kg}^{-1}$), f- pozitif P kontrolü) yer almış ve çalışma 12 hafta boyunca yürütülmüştür. Hidroksiapatit ve nano hidroksiapatit yetiştirme ortamına uygulanmış, ayrıca kontrol ve pozitif kontrol dışındaki uygulamalara 14-0-14 kompoze gübresi çimlenmeden 1 hafta sonra haftalık uygulanmıştır. Pozitif kontrol uygulaması ise sadece ikinci denemede yer almış olup, bitkiler 20-20-20 gübresi ile haftalık olarak gübrenmiştir. Haftalık uygulanan çözeltiler ve saf su 350 ml düzeyinde uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde nano hidroksiapatit uygulamaları ile kontrol arasında bitki gelişimi bakımından bir fark görülmemiştir. Bununla birlikte pozitif kontrol ile bitkilerde biyokütlenin ve bitki başına bakla sayısının diğer uygulamalardan önemli oranda yüksek olduğu belirlenmiştir. Haftalık olarak kaydedilen bitki boyları kontrol ve nano hidroksiapatitin yüksek dozu arasında benzer (ortalama 38.2 cm) bulunurken, pozitif kontrol (143 cm) bunlardan önemli oranda yüksek belirlenmiştir. 12 haftada kontrol ve nano hidroksiapatitin yüksek dozu arasında ortalama biyokütle bakımından bir fark olmazken, pozitif kontrol diğer uygulamalardan önemli oranda yüksek olmuştur. Nano hidroksiapatit uygulamalarının bitki biyokütlesi ve verimi bakımından kontrol uygulamaları ile karşılaştırıldığında bir fark yaratmadığı görülmüştür. Bitki P konsantrasyonu da biyokütle sonuçlarına benzer olmuştur. Kontrol ve nano hidroksiapatitin yüksek dozu pozitif kontrole göre daha yüksek P konsantrasyonu belirlenmiştir. Bu sonuçlar nano hidroksiapatitin bitki P içeriği bakımından hidroksiapatit ya da kontrol uygulamalarına göre bir fark yaratmadığını göstermektedir. Bu çalışmanın sonucunda araştırmacılar nano

hidroksiapatitin bitkinin ihtiyacı olan P'ü karşılamada yeterli olmadığını bildirmişlerdir.

Pradhan vd. (2020) yürüttükleri bir çalışmada; üre katkılı hidroksiapatit nano partüküllerinin çeltik tohumlarının çimlenmesi ile yaş ve kuru ağırlıkları üzerine etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışmada çimlenme testi 3 tekerrürlü olarak 20 çeltik tohumu ile kurulmuş ve kontrol (saf su) dışındaki kaynaklar (üre, kalsiyum dihidrojen fosfat, nano hidroksiapatit ve üre katkılı nanohidroksiapatit) 3 farklı dozdaki (10, 50 ve 100 mg kg⁻¹ P) uygulama çözeltilerinde 4-6 saat süreyle bekletilmiştir. Tohumlardaki değişimler 5 gün boyunca incelenmiş ve 5 günün sonunda çimlenme ile yaş ve kuru ağırlık değerleri belirlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde çimlenme bakımından nano hidroksiapatit uygulamalarının ticari gübrelere göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. Üre katkılı nano hidroksiapatit partüküllerinin bitki yetiştiriciliğinde besin maddelerinin kontrollü salınımını sağladığı belirlenmiştir. Üre katkılı nano hidroksiapatit kontrolle karşılaştırıldığında bitki yaş ve kuru ağırlığını önemli düzeyde artmıştır. Üre hidroksiapatit uygulamasının diğer N ve P'lu gübrelere göre bitki gelişimi bakımından iki kat etkili olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda nano hidroksiapatit uygulamalarının yavaş salımlı olmaları nedeniyle bitkiler üzerinde önemli etkilere sahip olabileceği araştırmacılarca ifade edilmiştir.

Yoon vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada hümitik maddeler ve fenolik polimerlerle kaplanmış nano hidroksiapatitin mısır bitkisinin gelişimine etkisi 3 ay boyunca sera denemesi şeklinde yapılan bir çalışmada araştırılmıştır. Çalışmada 7 farklı konu (1-Kontrol (NPK); 2- Hidroksiapatit nano partikülü; 3- Hümitik asit ile kaplı (0.01 g ml⁻¹) hidroksiapatit nano partikülü; 4- Hümitik asit ile kaplı (0.1 g ml⁻¹) hidroksiapatit nano partikülü; 5- Hümitik asit ile kaplı (0.05 g ml⁻¹) hidroksiapatit nano partikülü; 6- Kateşol/gallik asit kaplı (0.1+ 0.1 g) hidroksiapatit nano partikülü; 7- Kateşol/ ferulik asit kaplı (0.1+ 0.1 g) hidroksiapatit nano partikülü) yer almıştır. Sonuçlar incelendiğinde, çözünebilir P konsantrasyonu bakımından hümitik asit kaplı gübreler kendi içerisinde değerlendirildiğinde en başarılı uygulamanın hidroksiapatit nanopartikülü ile kaplı uygulama olduğu belirlenmiştir. Çözünebilir P konsantrasyonu bakımından fenolik polimer kaplı gübreler kendi içerisinde değerlendirildiğinde ise Kateşol/ ferulik asit kaplı hidroksiapatit nano partikülünün ön plana çıktığı

belirlenmiştir. Bitki yaş ağırlığı bakımından humik asit kaplı uygulamaların diğer uygulamalara göre daha yüksek değerler sağladığı belirlenmişken, diğer uygulamalar arasında istatistiksel bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. Bitki kuru ağırlığı bakımından 1 ve 2 numaralı uygulamalar aynı sınıfta yer alırken, 3 ve 5 numaralı uygulamaların kuru ağırlık bakımından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bitki P, K, Ca ve Fe konsantrasyonları bakımından uygulamalar arasında bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında, ilk kısımda ön plana çıkan humik asit (5 numaralı uygulama) ve fenolik polimer (7 numaralı uygulama) kaplı hidroksiapatit nano partikülleri saf hidroksiapatit ile P'lu ve P'suz kontrol uygulamaları ile mısır verimi ve farklı bitki aksamalarında (tane ve yaprak) P alımı bakımından test edilmiştir. Mısırdaki tane verimi bakımından 5 numaralı uygulama ile en yüksek değere ulaşılmış, P'suz kontrole göre tüm uygulamalar ile tane verimi artmıştır. Tane ve yaprakta P alımı bakımından 5 ve 7 numaralı uygulamaların diğer uygulamalara göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Hüyük maddelerle kaplanmış hidroksiapatit nanopartiküllerin mısır bitkisinin gelişimi, P alımı ve verimine önemli düzeyde etki ettiği araştırmacılarca ortaya konmuştur.

2.7 Biyokömür ile Kaplı Fosforlu Gübreler

Fosforlu gübreler tarım topraklarına uygulandıklarında toprakla temas ettikleri ilk saat içerisinde %90 oranında fikse olarak yarıyışsız hale dönüşmektedir (Novais vd. 2007). Bu nedenle P gibi besin maddelerinin daha etkin kullanılabilmesi için kimyasal gübrelerin daha stabil formlarda üretilmesi konusunda çalışmalar yürütülmektedir (Ceulemans vd. 2011).

Fosforlu gübreler kullanım etkinliğinin artırılması amacıyla biyokömür gibi toprakta uzun süre stabil kalabilen materyallerle muamele edilmektedir. Biyokömür aslında yeni bir uygulama değildir. Uzun yıllar Amazonlardaki yerliler tarafından uygulanmış, son zamanlarda da araştırmacıların dikkat ve ilgisini Terra Preta toprakları çekmiştir (Glaser vd. 2002).

Biyokömür besin maddelerinin topraklarda tutunmasını (Glaser vd. 2002, Lehmann vd. 2003), toprakların KDK' sını (Liang vd. 2006), su tutma kapasitesini (Glaser vd. 2002), su kullanım etkinliğini (Uzoma vd. 2011), toprakta mikroorganizma ve mikoriza

aktivitesini artıran (Laird vd. 2010) dolayısıyla toprak verimliliğini iyileştiren (Lehmann vd. 2011) ve ağır metallerin toksisitesini azaltan (Mohan vd. 2007, Cao vd. 2009, Park vd. 2011) bir uygulamadır. Biyokömürün etkinliği elde edildiği materyal ve piroliz sıcaklığı gibi faktörlere bağlıdır.

Piroliz, her türlü organik atığın inert, vakum veya indirgen (oksijensiz) ortamda, katalizörlü ya da katalizörsüz, yüksek sıcaklıkta ısıtılarak katı, sıvı ve gaz ürünlere dönüşmesi işlemidir. Elde edilen katı ürün BK olarak değerlendirilirken, açığa çıkan biyoyakıt ve metan gibi gazlar alternatif enerji kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir (Mullen vd. 2010, Husk ve Major 2012, Akgül 2017). Piroliz işleminde organik maddenin bileşimde bulunan C'un yarısı BK'nın bileşimde yarısı da elde edilen metan gibi uçucu gazların bileşiminde bulunmaktadır yani CO₂ salınımı neredeyse sıfıra yakındır. Ayrıca elde edilen C kaynağı daha stabil yapıdadır (Lehmann vd. 2006).

Hayvan gübrelerinin piroliz işlemi ile BK'e dönüştürülmesinin doğrudan uygulamaya göre pek çok avantajı bulunmaktadır. Et ve yumurta tavukçuluğu ülkemizde hızla gelişen bir sektördür ve oldukça yüksek miktarlarda atık ortaya çıkmaktadır. Bu hayvansal atıkların piroliziyle hacimleri azalmakta ve uygulama kolaylığı sağlanmakta (Cantrell vd. 2007), patojen riskleri azalmakta, koku ve atmosfere gaz salınımları minimuma inmektedir (Gunes, 2012; Wang vd. 2012). Tavuk gübresinin besin maddesi kapsamı piroliz esnasında daha konsantre bir hale geldiğinden bitkiler için yavaş çözünen bitki besin maddesi kaynağı haline gelmektedir (Agblevor vd. 2010).

Daha stabil formdaki BK'ün hızlı etki gösteren kimyasal gübreler ile birlikte kullanılması yavaş etki gösteren ve toprakta hemen fıkse olmayan gübrelerin geliştirilmesi fikrini ortaya çıkarmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalar toprağın katı fazı ile doğrudan etkileşime girmeyen P'un etkinliğinin arttığını ortaya koymuştur (Geng vd. 2015, Pogorzelski vd. 2020). Fosforlu gübrenin BK ile kaplanması kil kolloidleri ile P'un etkileşimini azaltmaktadır.

Biyokömürün avantajları ile mineral gübrelerin etkinliği bir araya getirilirken polimer bazlı kaynakların kaplama materyali olarak kullanılması son yıllarda önem kazanmaktadır. Pauly vd. (2002) yaptıkları çalışmada granül MAP'ı ince bir polimer film ile kaplamış ve daha yavaş salınan bu gübrenin P alımını ve P kullanım etkinliğini

artırdığını, ayrıca bitkisel üretimde geleneksel gübrelere göre daha etkili olduğunu belirlemişlerdir. González vd. (2015) gübre kaplama işleminin gübrelere besin maddesi salınımını senkronize ederek, kayıpları önleyebileceğini ve P verimliliğini artırabilecek iyi bir potansiyele sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan diğer çalışmalar bu bilgileri destekler niteliktedir ve kaplanmış gübrelere yavaş ve kademeli salınımı nedeniyle verimi artırma ve uygulama sıklığını azaltma özelliklerine sahip olduklarını bildirmişlerdir (Zahrani 2000, Hopkins vd. 2008). Teixeira vd. (2016) göre kaplı gübreler, farklı çevre koşullarına göre besinlerin salınım oranını kontrol etmeli, toprakta istenmeyen sentetik kalıntıların birikmesini önlemeli ve gübre uygulamalarının sıklığını ve dozunu en aza indirmelidir.

Biyokömürün kimyasal gübrelere birlikte veya kaplanarak uygulanmasının bitki gelişimine etkisinin araştırıldığı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Biyokömür ile kaplı fosforlu gübreler konusunda yapılan çalışmalar

Wang vd. (2015) yaptıkları çalışmada tavuk gübresi ile tavuk gübresinden elde edilen BK'nın suda ekstrakte edilebilir P kaynakları ve P salınım kinetikleri üzerine etkisini laboratuvar koşullarında ortaya koymuşlardır. Tavuk gübresi BK'sı 400 °C piroliz işlemi sonucunda elde edilmiş ve suda ekstrakte edilebilir P içerikleri belirlenmiştir. Materyaller 20 g kg⁻¹ düzeyinde kumlu tınlı (pH 6.5) bir toprağa uygulanmış ve 30 gün süreyle inkübasyona bırakılmıştır. Tavuk gübresi uygulanan topraklarda sırasıyla 13.7 g kg⁻¹ ve 2.95 g kg⁻¹; tavuk gübresi BK'sı uygulanan topraklarda ise 27.1 g kg⁻¹ ve 0.17 g kg⁻¹ toplam P ve suda çözünebilir P belirlenmiştir. Biyokömür uygulaması yapılan saksılarda P formlarından ortofosfatlar çok, pirofosfatlar az; organik fosfatlar ise oldukça düşük düzeyde bulunmuştur. Suya ve toprağa BK'dan salınan P yavaş, uzun süreli ve kararlı olurken, ham tavuk gübresinden salınan P tam tersi özellik göstermiştir. Bu çalışmanın sonucunda araştırmacılar tavuk gübresinden elde edilen BK'nın sürdürülebilir, uzun süreli ve toprağa faydalı bir P kaynağı olduğunu ve sucul ekosistemler üzerine P'lu gübrelere yarattığı olumsuz etkilerin bu materyallerin uygulanmasıyla azaltılabileceğini bildirmişlerdir.

Teixeira vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada farklı asitlerle kaplanmış MAP gübrelere etkinliği sera denemesinde araştırılmıştır. Denemede saksılara mısır

tohumu ekilmiş ve bitkiler 35 gün sonra hasat edilerek kuru madde miktarı, agronomik etkinlik, bitkiye P alımı, P'un geri kazanımı gibi parametreler belirlenmiştir. Deneme sonunda, MAP uygulaması en fazla kuru madde birikimine neden olurken, bunu kaplı gübreler izlemiştir. Kaplı gübrelerde agronomik etkinlik MAP'a göre daha fazla bulunmuş ve hümitik asit ile kaplama uygulamasında en fazla agronomik etkinlik belirlenmiştir. Hümitik asit ile kaplama uygulaması mısırdaki P alımını en fazla artıran uygulama olurken, bunu sırasıyla doğal ve sentetik organik asit ile kaplama uygulamaları izlemiştir. Sentetik organik asit ile kaplama uygulaması mısırdaki P'un geri kazanımını MAP uygulamasına göre %49 artırmış ve en yüksek değere bu uygulama ile ulaşılmıştır. Çalışma sonucunda, kaplanmış MAP'ın düşük dozlarının toprağa daha kademeli P salınımı sağladığı ve böylece bitkiler tarafından P'un daha verimli bir şekilde kullanıldığı araştırmacılarca ifade edilmiştir.

Ali vd. (2017) buğdayda gelişim, verim ve P kullanım etkinliği bakımından polimer kaplı diamonyum fosfatın (DAP) etkisini incelemişlerdir. Polimer, poliakrilamid ve poliakrilnitrit karıştırılarak hazırlanmış ve DAP granülleri üzerine püskürtülerek kaplanmışdır. Bu işlem iki defa tekrarlanmış ve elde edilen kaplı gübreler ile tesadüf blokları deneme deseninde 3 tekerrürlü bir deneme sulu koşullarda yürütülmüştür. Denemeyi kontrol ile tavsiye (NPK, 120-90-60 kg ha⁻¹) edilen P'un (90 kg ha⁻¹) %100'ü DAP ve sırasıyla %50, 75 ve 100'ü polimer kaplı DAP konuları oluşturmuştur. Polimer kaplı DAP uygulamalarının %100 ve %75 konularında 1000 tane ağırlığı diğer uygulamalardan daha yüksek olmuştur. Tane verimi tüm polimer kaplı P uygulamalarında daha fazla belirlenmiştir. Sap ve tane P konsantrasyonu tüm uygulamalarda kontrole ve birbirlerine göre önemli derecede yüksek olmuş, düzenli artış göstermiş ve en yüksek değerlere %100 polimer kaplı DAP uygulamasında ulaşılmıştır. Araştırmacılar deneme sonucunda %50 ve %100 polimer kaplı DAP'ın buğday gelişimi, verimi ve P kullanım etkinliğini artırdığı için buğdayda kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Lustosa Filho vd. (2017) yaptıkları çalışmada, BK kökenli P'lu gübreleri kullanarak asit topraklarda P kullanım etkinliğini artırmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla MgO ilave edilmiş edilmemiş MAP, TSP ve fosforik aside (H₃PO₄) kanatlı altlığı (PL) katılarak elde edilen karışım piroliz işlemine tabi tutularak biyokömür kökenli gübreler (BKG)

elde edilmiştir. BKG için fosfat ve Mg kaynakları 1:1 oranında; kanatlı altlığı/fosfat kaynakları 1:0.5 oranında karıştırılmıştır. Hazırlanan BKG'lerin P salınım kinetikleri belirlenmiştir. Çalışmada 1.5 L toprak alan saksılara killi ve asit pH'lı bir toprak konmuş ve elde edilen BKG'ler 200 mg kg⁻¹ P olacak şekilde saksılara uygulanmıştır. Karşılaştırma yapabilmek için TSP gübresi ile kontrol uygulamaları da çalışmada yer almıştır. Tüm saksılara temel gübreleme amacıyla P dışındaki besin elementleri verilmiştir. Çalışma 4 tekerrürlü olarak kurulmuş ve tüm saksılara 3 adet mısır tohumu ekilerek 40 gün sonra bitkiler hasat edilmiştir. Deneme sonunda BKG'lerin özellikleri ile uygulamaların toprak pH'sı ile bitkinin kuru ağırlığı ve P alımına etkileri incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; FTIR spektrumlarında P-O-P ve P=O gerilmesi ile desteklenen düşük çözünürlüklü Ca₂P₂O₇ ve Mg₂P₂O₇ bileşiklerinin oluşumu gözlenmiş ve bundan dolayı MgO ilavesi ile tüm BK bazlı gübrelerde P salınımının düştüğü belirlenmiştir. En yüksek P salınımı TSP uygulamasında gerçekleşmiş, bunu sırasıyla H₃PO₄+BKG ve MAP+BKG uygulamaları izlemiştir. Sera denemesinden elde edilen sonuçlara göre; incelenen parametreler bakımından kontrole göre tüm uygulamalarla önemli düzeyde artışlar sağlanmıştır. MgO ile muamele edilmiş BK bazlı gübrelerin kontrole kıyasla bitki kuru madde miktarını arttırdığı, ancak bu artışın TSP'den daha düşük olduğu belirlenmiştir. Uygulamalar ile toprak pH'sı kontrole göre artarken, en fazla artışın MgO ile muamele edilmiş BKG uygulamaları ile olduğu belirlenmiştir. Bitkiye P alımı değerlendirildiğinde ise, TSP uygulamasının diğer P kaynaklarına göre ön plana çıktığı, bunun da H₃PO₄+ BKG +MgO uygulamasının izlediği tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda araştırmacılar, P kökenli BK'nın MgO ile zenginleştirilmesi sonucunda elde edilen gübrelerin asit özelliğinin düşebileceğini ve yavaş salınımlı bir P kaynağı olan bu gübrelerin asit topraklarda yetiştirilen bitkilere uygulanmasıyla P alımının ve bitkisel gelişimin artabileceğini ifade etmişlerdir.

Sahin vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, 2 farklı asitle (H₃PO₄, ve HNO₃, 0.25 cmol kg⁻¹) piroliz öncesinde ve sonrasında muamele edilmiş tavuk gübresi BK'sı ile bunların kombine formlarının alkali karakterli bir toprakta yetiştirilen mısır bitkisinin gelişimine ve besin elementi içeriklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada modifiye edilen BK'lar %0.5 (w/w) oranında 2 kg toprak alan saksılara uygulanmış ve çalışma 4 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülmüştür. Çalışmadan

elde edilen sonuçlar incelendiğinde; pirolizden sonra BK'ya HNO_3 ilave edilmesi ve $\text{HNO}_3+\text{H}_3\text{PO}_4$ ilave edilmesi sonucunda BK'da suda çözünür P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonlarının arttığı ve elde edilen bu BK'ların bitkilere uygulanması sonucunda bitki gelişimi ile birlikte mısır bitkisinin toplam besin elementi içeriklerinin de kontrole göre önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. En yüksek bitki kuru ağırlığına BK'ya ilave edilen $\text{HNO}_3+\text{H}_3\text{PO}_4$ ile ulaşılmış, bunu BK+ HNO_3 ve BK+ H_3PO_4 uygulamaları izlemiştir. Bu çalışmanın sonuçları, HNO_3 ve H_3PO_4 ile modifiye edilmiş tavuk gübresi BK'sının alkali karakterli topraklarda bitkilerin beslemesinde etkili bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Ahmad vd. (2018) yaptıkları bir çalışmada BK ve P yüklü biyokömürün (PBK) mısır bitkisinin gelişimi ile ağır metal konsantrasyonu ve P yarayışlılığına etkisini kontamine olmuş maden topraklarında (Pb, Cd, Cu ve Zn ile kirlenmiş alan) değerlendirmişlerdir. Denemede kullanılan BK, hurma yaprağının 600 °C'de 3 saat piroliz edilmesi sonucu üretilmiş olup daha sonra P yüklemesi (200 mg P L⁻¹ içeren çözeltiye 10 g L⁻¹ düzeyinde BK katılmış, 24 saat çalkalanmış, süzölmüş, yıkanmış ve kurutulmuştur) yapılmıştır. Deneme sera koşullarında, 11 konu (1- kontrol; 2- NK (60-45 kg ha⁻¹); 3- NPK (60-60-45 kg ha⁻¹); 4- %0.5 BK; 5- %1 BK; 6- %2 BK; 7- %3 BK; 8- %0.5 PBK; 9- %1 PBK; 10- %2 PBK; 11- %3 PBK) ile 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Materyaller 1 kg toprağa karıştırıldıktan sonra 45 gün boyunca inkübasyon işlemi gerçekleşmiş ve bu sürenin sonunda saksılara 10 adet mısır tohumu ekilmiştir. Ekimden 30 gün sonra bitkiler hasat edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; %0.5 dışındaki PBK uygulamaları toprakta yarayışlı P'ü kontrole göre arttırırken, en fazla artışın %2 ve %3 PBK uygulamalarında olduğu belirlenmiştir. PBK uygulamalarının tamamı ile kontrole göre pH önemli oranda düşmüştür. BK ve PBK uygulamalarıyla ağır metaller daha stabil formlara dönüştüğü için toprakta ekstrakte edilebilir ağır metal konsantrasyonu kontrole göre önemli oranda azalmıştır. Kontrol ile karşılaştırıldığında, BK ve PBK uygulamalarının kök-gövde yaş ve kuru ağırlığını, kök ve gövde uzunluğunu önemli oranda artırdığı ve araştırılan bu parametreler bakımından en başarılı uygulamanın %3 PBK olduğu saptanmıştır. %2 ve %3 PBK uygulamaları bitki ve kök P konsantrasyonunu en fazla artıran uygulamalar olurken, %3 PBK uygulaması ile bitki ve kök P birikiminin en yüksek düzeyde olduğu bulunmuştur. Mısır bitkisinde

belirlenen Cu, Fe, Mn, Pb, Zn ve Cd konsantrasyonları bakımından kontrol ile uygulamalar arasında istatistiki anlamda bir fark oluşmamıştır. %3 PBK uygulaması bitki köklerindeki Cu, Mn ve Pb konsantrasyonlarını önemli düzeyde düşürmüş, Fe, Zn ve Cd konsantrasyonları ise uygulamalardan etkilenmemiştir. Sonuçlar %3 PBK uygulamasının topraktaki ağır metalleri bağladığını yani immobilize ettiğini, bu şekilde de bitki gelişiminin arttığını göstermektedir. Bu çalışmanın sonucunda araştırmacılar P yüklü biyokömürün özellikle kontamine olmuş maden alanlarına uygulanması ile ağır metallerin immobilize olduğunu ve bu alanlarda bitkisel gelişimin artması sonucunda rüzgar ve su erozyonuna dayanımın da artabileceğini bildirmişlerdir.

Chen vd. (2018) asitli ve kumlu toprağa yapılan BK uygulamasının P adsorbsiyonu, toprakta yarayışlı P içeriği, organik karbon miktarı, toprak nemi, pH'sı, tohum çimlenme oranı, bitki P konsantrasyonu ve verime etkisini incelemişlerdir. Denemede, sığır gübresine MgO ilave edilerek üretilen biyokömür (normal biyokömür, NK) ve sığır gübresine KH_2PO_4 ilave ederek üretilen biyokömür (P yüklü biyokömür, PNK) laboratuvar koşullarında üretilmiştir. Çalışma iki aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada tohum çimlenme oranının belirlenmesi için petri kaplarına 0.1 g biyokömür (NK ve PNK) ve saf su eklenerek filtre kağıdına 100 marul tohumu ekilmiştir. Tohum çimlenme oranının belirlenmesi için 4. gün sayım yapılmıştır. Çimlenen tohumlar 7. gün fide olarak kullanılmış ve çalışmanın ikinci aşaması olan sera denemesi kurulmuştur. Sera denemesinde 300 g toprak alan saksılara marul 3 tekerrürlü olarak dikilmiştir. Deneme konuları; kontrol, NK ve PNK şeklindedir. Materyaller %2 P içerecek şekilde saksılara uygulanmıştır. Deneme 60 gün boyunca yürütülmüş ve marullar hasat edilmiştir. Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, biyokömür uygulamalarının çimlenme oranı, toprakta yarayışlı P konsantrasyonu, toprak nemi, toprak pH'sı, bitki P konsantrasyonu ve bitki yaş ağırlığı gibi parametreleri kontrole göre önemli oranda artırdığı saptanmıştır. İncelenen tüm parametreler bakımından PNK uygulamasının, NK'ya göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. Toprakta organik C miktarı, bitki boyu ve kuru ağırlık bakımından NK ile kontrol arasında bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Çalışmada PNK gübresi ile mevcut P konsantrasyonunun önemli ölçüde artması, asit kumlu toprakta pH, nem ve organik karbon içeriklerinin daha iyi seviyelere gelmesi nedeniyle elde edilen bu gübrenin yavaş salınımlı bir gübre

olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda araştırmacılar geliştirilen yavaş salınlı gübrelerin tarla koşullarında konvansiyonel gübreler ile kıyaslanmasının gerektiğini ifade etmişlerdir.

El Sharkawi vd. (2018) çeltik kavuzu BK'sına fosforik asit ve amonyak ilave ederek elde ettikleri yavaş salınlı gübrelerin kumlu topraktaki etkisini incelemişlerdir. Yavaş piroliz yöntemiyle elde edilen BK'dan iki tip BK'lı amonyum fosfat elde edilmiştir. Birincisinde 1.5 mol amonyak, 0.76 mol fosforik asit ve 150 g BK kullanılmış ve buna BAP1 denilmiştir. İkincisinde 1.5 mol amonyak, 0.76 mol fosforik asit ve 220 g BK kullanılmış ve buna da BAP2 denilmiştir. BAP1 ve BAP2 granül hale getirilmiş ve daha sonra bu gübrelerin, azot kullanım etkinliği ile azot kayıplarına etkisi amonyum fosfat gübresi ile sera koşullarında karşılaştırılmıştır. Sera denemesi, ıspanak bitkisiyle 2.1 kg toprak alan saksılarda, kum tekstürlü iki farklı toprakta 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Saksılara 17.21 g BAP1, 14.41 g BAP 2 ve 14.40 g amonyum fosfat verilmiştir. Çalışma tohum ekiminden 45 gün sonra sonlandırılmıştır. Toprakta toplam azot konsantrasyonu ve bitki klorofil içeriği bakımından bu iki uygulama arasındaki farklar önemsiz olmuştur. Benzer sonuçlar azot kullanım etkinliğinde de bulunmuştur. Yaprak alanı ve bitki yaş ağırlığı bakımından BAP2 uygulaması ile en yüksek değerler elde edilmiştir. Çeltik kabuğundan elde edilen BK kullanılarak üretilen bu yavaş salınlı gübrelerin kumlu topraklara uygulanmasıyla mineral gübrelerde görülen azot kayıplarının azaldığı ve azot kullanımı etkinliğinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca bu yavaş salınlı gübrelerin kumlu topraklara uygulanması sonucunda önemli miktarda organik karbon sağlandığı ve amonyum fosfat yüklü BK'nın yavaş salınlı bir gübre olmasının yanında azotlu gübrelerden yararlanmayı kumlu topraklarda arttırabilecek ve çevre kirliliği riskini azaltabilecek bir kaynak olduğunu belirtilmiştir.

Imran vd. (2018) DAP gübresinin etkinliğini değerlendirmek ve buğday gelişimini, tane verimini, P kullanım etkinliğini iyileştirmek için polimer veya gliserin kaplı DAP'ın etkisini değerlendirmişlerdir. Deneme 9 konu (T1- kontrol; T2- %100 DAP (önerilen 90 kg P ha⁻¹ tamamı); T3- %100 gliserin kaplı DAP; T4- %100 polimer kaplı DAP; T5- %75 polimer kaplı DAP; T6-%50 polimer kaplı DAP; T7- %100 gliserin+polimer kaplı DAP; T8- %75 gliserin+polimer kaplı DAP; T9- %50 gliserin+polimer kaplı DAP) ve 3 tekerrürlü olarak tesadüf blokları deneme deseninde yürütülmüştür. Tüm parsellere

temel gübreleme amaçlı 120 kg N ha⁻¹ ve 60 kg K ha⁻¹ uygulanmıştır. Kaplı gübreler; DAP gübresine [(NH₄)₂HPO₄, %46 P₂O₅ +%18 N] %10 gliserin (%99 ekstra saf) ve %1 suda çözünür polimerin [karbonil poliakrilamid (C₃H₅NO) n] püskürtülmesi ile elde edilmiştir. Deneme verileri; %100 DAP gübresi ile göre %100 gliserin+polimer kaplı DAP gübresinin bitki boyunu, kardeş sayısını, 1000 tane ağırlığını, tane verimini ve P alımını önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur. Polimer kaplı DAP uygulamaları tek başına gliserin kaplı DAP uygulamalarından daha iyi sonuçlar vermiştir. Verim indeksi ve P kullanım etkinliğinin %100 gliserin+polimer kaplı DAP uygulaması ile daha fazla arttığı ve kaplı gübrelerin tamamı ile buğday veriminin arttığı belirlenmiştir. Genel olarak %75 gliserin+polimer kaplı DAP uygulamasının %100 DAP uygulaması ile istatistiksel anlamda benzer sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Araştırmacılar çalışma sonunda buğday yetiştiriciliğinde önerilen P miktarının %75'ini içerecek şekilde kaplanmış gübrenin kullanımı ile P gübre kullanım etkinliğinin artabileceğini böylece P'lu gübre tüketiminin azaltılabileceğini ifade etmişlerdir.

Kamau vd. (2019) yabani bir bitkinin yaprak artıklarından elde edilen BK ve çeşitli kimyasal gübrelerin mısır bitkisinin verimi ile bazı toprak özelliklerine (pH, toplam C ve N, NO₃-N ve NH₄-N, yarayırlı P ve değişebilir potasyum) etkisini 2 yıllık tarla denemesi (4 sezon) ile belirlemişlerdir. Tarla denemesi asit karakterli (pH: 5.5) bir toprakta 4 tekerrürlü olarak tesadüf blokları deneme desenine göre yürütülmüştür. Çalışmada 12 uygulama (1-Kontrol, 2- 5 ton ha⁻¹ BK, 3- 10 ton ha⁻¹ BK, 4-DAP (18-46-0; 75 kg ha⁻¹), 5-Üre (46-0-0; 100 kg ha⁻¹), 6-Kompoze gübre (23-23-0; 150 kg ha⁻¹), 7-DAP+0.05 ton ha⁻¹ BK, 8-Üre+0.05 ton ha⁻¹ BK, 9-Kompoze gübre+0.05 ton ha⁻¹ BK, 10-DAP+0.1 ton ha⁻¹ BK, 11-Üre+0.1 ton ha⁻¹ BK, 12-Kompoze gübre+0.1 ton ha⁻¹ BK) yer almıştır. Çalışmada uygulamalar ilk iki sezonda yapılmış, 3. ve 4. sezonlarda uygulamaların bakiye etkisi incelenmiştir. İlk iki dönemin sonunda toplam N, NO₃-N ve NH₄-N ile yarayırlı P ve değişebilir potasyum içerikleri kontrol ile karşılaştırıldığında BK ve BK+kimyasal gübre uygulamalarıyla önemli oranda artmıştır. Kompoze gübre+0.1 ton ha⁻¹ BK uygulaması dışındaki uygulamalar ile kontrol arasında toplam C bakımından ve tüm uygulamalar arasında toprak pH'sı bakımından bir fark 2. yılın sonunda belirlenmemiştir. Dördüncü dönemin sonunda uygulamaların yalnızca NO₃-N'una etkisi önemli olurken, tüm uygulamalarda belirlenen NO₃-N'unun kontrolden

yüksek olduğu bulunmuştur. İkinci dönemde incelenen diğer parametreler bakımından uygulamaların önemli bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Verim değerleri incelendiğinde, 4 üretim sezonunda da kontrole göre uygulamalar ile önemli artışlar sağladığı belirlenmiştir. Birinci ve ikinci sezonda kimyasal gübre uygulamadan verilen BK ile verim 5.6 ton ha⁻¹ bulunmuşken, kontrolde 0.9 ton ha⁻¹ bulunmuştur. Üçüncü ve 4. sezonda verim değerleri sırasıyla 3.2 ton ha⁻¹ ve 1.5 ton ha⁻¹ olarak uygulamaya bakılmaksızın ilk 2 sezona göre düşmüştür. Bu çalışmada kimyasal gübreler ile kimyasal gübreler + BK uygulamaları arasında verim bakımından bir fark 4 sezonda da belirlenmemiştir. Bu çalışmanın sonucunda BK'nın toprak verimliliğini artırmada ıslah materyali olarak kullanılabilirliğinin uzun vadede takip edilmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Lustosa Filho vd. (2019) yaptıkları çalışmada, magnezyum oksidi (MgO) TSP veya fosforik asit (H₃PO₄) ve kümes hayvanları altlığı (PL) ile karıştırıp BK elde etmişler ve elde edilen BK ile TSP'yi P salınım oranı, toprak pH'sı, Mg konsantrasyonu, bitki biyokütlesi, agronomik etkinlik gibi özellikler bakımından karşılaştırmışlardır. Biyokömürde P/Mg oranı 1/1, tavuk gübresi/P oranı 1/0.5 olacak şekilde hazırlanmıştır. Piroliz işlemi 500 °C'de yapılmıştır. Çalışma sera koşullarında, Oxisol (asit) toprakta ve mısır bitkisi ile 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Sera denemesinde 1.5 kg toprak alan saksılara 3 P kaynağı (PL+ MgO+ H₃PO₄, PL+TSP+MgO ve TSP), 2 P dozu (150 ve 300 mg kg⁻¹ P) hem granüler hem de toz formda uygulanmıştır. Sera denemesi öncesinde topraklara gübreler uygulanmış ve 30 gün süreyle inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra saksılara temel gübreleme yapılmış ve mısır tohumu ekilerek 35 gün boyunca bitki yetiştirilmiştir. Çalışma sonucunda araştırmacılar BK kökenli gübrelerde suda çözünür P içeriğinin oldukça düşük olduğunu (TSP ve H₃PO₄ sırasıyla %2 ve %1), TSP'de ise oldukça yüksek (%86) olduğunu bu haliyle BK'lı gübrelerin yavaş salınımlı olduğunu belirlemişlerdir. Biyokömürün toz halinde toprağa karıştırılarak uygulanması ile toprak pH'sı ve Mg seviyesi iyileşmiş ve TSP'ye benzer şekilde bitkilere P sağlanmıştır. Fosfor ve Mg ile zenginleştirilmiş BK'nın granüler formu mısırın gelişim döneminde P salımı için TSP'ye benzer etki göstermiş ve hasada doğru daha fazla P salınımına neden olmuştur. Kaynağına bakılmaksızın artan dozlarda uygulanan gübrelerle; bitki biyokütlesi artarken, BK'lı gübrelerin toz halinin ve TSP'nin granül

halinin bitki gelişimi açısından daha etkili olduğu belirlenmiştir. Agronomik etkinlik bakımından BK içerikli gübreler karşılaştırıldığında; granül formu gübrelerde H_3PO_4 daha etkili olurken, toz formu gübrelerde bir farklılığın olmadığı bulunmuştur. Çalışma sonucunda araştırmacılar, biyokütlenin P ve Mg ile pirolizinin, özellikle yüksek P fikse eden topraklarda gübrelerden P kullanım etkinliğini artırmak için iyi bir seçenek olabileceğini ifade etmişlerdir.

Santos vd. (2019) P'lu gübreye ilave edilen BK'nın granülasyonu sonucunda elde edilen organomineral gübrenin sera koşullarında P noksan bir toprakta etkinliğini araştırmışlardır. Şeker kamışı küspesi ile odun talaşının iki farklı sıcaklıktaki (350 °C ve 700 °C) piroliz işlemi sonucunda BK elde edilmiştir. TSP'ye BK 3/1 (TSP/BK) oranında eklenmiş ve granülasyon işlemi yapılmıştır. Denemede 4 kg toprak alan saksılara pH'sı 5 olan toprak doldurulmuş ve 4 tekerrürlü olarak mısır bitkisi yetiştirilmiştir. Birinci ürün 40 gün, bakiye etkisinin belirlenmesi amacıyla ikinci ürün 30 gün süreyle yetiştirilmiştir. Çalışmada 5 P'lu gübre (1-TSP+350 °C odun talaşı BK'sı, 2-TSP+700 °C odun talaşı BK'sı, 3- TSP+350 °C şeker kamışı küspesi BK'sı, 4-TSP+700 °C şeker kamışı küspesi BK'sı, 5-TSP), 3 P dozu (100, 200 ve 400 mg kg⁻¹) kullanılmıştır. Kuru madde miktarı, P alımı, topraktaki yarayışlı P miktarı ve P geri kazanım oranı değerlendirilmiştir. Bitki kuru madde miktarı bakımından her iki BK'lı gübrede de 400 mg kg⁻¹ P düzeyi en yüksek sonucu verirken, uygulanan P kaynakları arasında birinci ve ikinci üründe bir fark olmamıştır. Uygulanan P miktarı arttıkça yarayışlı P miktarı da önemli düzeyde artmıştır. Yarayışlı P miktarı TSP uygulamasına göre TSP+350 °C şeker kamışı küspesi uygulamasında daha yüksek olmuş, diğer uygulamalar arasında bir fark belirlenmemiştir. Bitki P alımı uygulanan P miktarı ile artarken, en yüksek değerlere 1. ve 2. üründe 400 mg kg⁻¹ P uygulamaları ile ulaşılmıştır. Bitki P alımı bakımından P kaynakları karşılaştırıldığında uygulanan P'lu gübreler 1. üründe bir fark yaratmamıştır. Bununla birlikte TSP uygulamasıyla karşılaştırıldığında iki üründe de bitkiler hem TSP+350 °C odun talaşı hem de TSP+700 °C şeker kamışı küspesi uygulamalarında daha fazla P almıştır. Çalışma sonucunda P'un geri kazanımının artan P dozuyla önemli oranda azaldığı, uygulanan P kaynaklarının P geri kazanım oranına benzer etkide bulunduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar yüksek P fiksasyon kapasitesine sahip topraklarda gübreleme yoluyla

uygulanan P'un fiksasyonunu azaltmak ve bitkiler tarafından alımını artırmak için farklı stratejilerin denenmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Borges vd. (2020) yürüttükleri çalışmada stabilize edilmiş BK'nın toprakta kararlı C'u artırma ve bitki besin maddesi kaynağı olarak kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Bu amaçla şeker kamışı samanına KOH ve H₃PO₄ ilave ederek %8.6 P içeren biyokömür (BP) elde edilmiştir. Fosfor içeriği düşük 3 farklı topraktan (killi, tınlı, kumlu) 7 kg tartılmış ve 87 kg ha⁻¹ P olacak şekilde gübreler uygulanmıştır. Deneme 120 gün boyunca yürütülmüş ve sonuçta kontrol, BP ve TSP, biyokütle verimi ile bitki ve toprak P konsantrasyonları bakımından karşılaştırılmıştır. Deneme sonucunda killi topraklarda BP uygulaması ile bitki P konsantrasyonunun TSP'ye göre önemli oranda arttığı belirlenmiştir. Killi toprakta BP uygulaması ile TSP'ye göre biyokütle verimi %15, P kullanım etkinliği %10 artmıştır. Kumlu ve tınlı topraklarda biyokütle verimleri karşılaştırıldığında BP ve TSP gübrelerinin benzer sonuçlar verdiği, fakat killi toprakta BP'nin ön plana çıktığı belirlenmiştir. Çalışmada TSP uygulaması ile toprakta P konsantrasyonu BP'den daha düşük bulunmuştur ve araştırmacılar bu durumu TSP'den P'un ilk 7 günde salınmasına bağlamıştır. Çalışma sonucunda araştırmacılar, zenginleştirilmiş BK içerikli gübrelerin yaygınlaşmasıyla bitkisel üretimin artabileceğini ifade etmişlerdir.

Li vd. 2020'de laboratuvar koşullarında 70 gün süreyle yaptıkları bir inkübasyon denemesinde BK ve P yüklü BK'nın toprakta P yarayırlılığı ve fraksiyonlarına etkisini araştırmışlardır. Mısır saplarının 350 °C ve 600 °C'de pirolizi sonucunda 2 farklı BK elde edilmiştir. Biyokömüre P yüklemesi (PBK) %5'lik KH₂PO₄ çözeltisinde 24 saat bekletilerek yapılmıştır. Inkübasyon denemesinde 8 farklı uygulama (1- kontrol, 2- TSP, 3- 350 °C BK, 4- 600 °C BK, 5- TSP+350 °C BK, 6- TSP+600 °C BK, 7- 350°C PBK, 8- 600°C PBK) bulunmaktadır. Çalışmada saksılara 500 g toprak ve 5 g BK ilave edilmiş ve BK uygulanmayan saksılara BK'dan gelen P'a eşdeğer olacak şekilde TSP (2.03 g saksı⁻¹) ve PBK (5.77g saksı⁻¹) eklenmiştir. Sonuçta sadece BK yüksek P adsorpsiyonu nedeniyle topraktaki yarayırlı P miktarını azalmıştır. Toprakta P fraksiyonları bakımından P'lu gübreler ile PBK arasında bir fark belirlenmemiştir. Fosforlu gübreler ile karşılaştırıldığında PBK'nın (özellikle 600 °C) toprakta yarayırlı P içeriğini en yüksek seviyeye ulaştırdığı belirlenmiştir. Bunun nedeni yavaş salınımlı

P'un oldukça homojen bir yapı göstermesidir. Araştırmacılar inkübasyon sonuçlarının, düşük ya da yüksek sıcaklıkta piroliz edilen BK'nın P'lu gübrelere ilave edilmesiyle elde edilen gübrelere TSP'ye göre daha az tüketim sağlayarak toprakta P kullanımı etkinliğini artıracak olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir.

Pogorzelski vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada TSP ve BK+TSP içerikli organomineral gübre 2 farklı formda (harmanlanmış ve kaplanmış) ve 3 farklı dozda (%5, %15 ve %25) uygulanmış ve bu uygulamaların P salınım oranı ile bitki gelişimine etkisi araştırılmıştır. Biyokömür kaynağı olarak odun talaşı kullanılmıştır. Geliştirilen organomineral gübrede toz TSP üç farklı dozda (%5, %15 ve 25) BK ile harmanlanmış (B) ya da kaplanmış (C). Salınım testi sonuçlarına göre; ilk 1.5 saat sonunda TSP, B ve C uygulamalarından P salınımı sırasıyla %92, %82, %36 olmuştur. TSP'ye BK ilavesi sonucunda özellikle kaplama işlemi ile P salınım oranı düşmüştür. Biyokömür ile %15 ve %25 oranında kaplanan gübrelere daha yavaş P salınımı gösterdiği belirlenmiş ve %15 BK ile kaplanan gübrenin daha az BK kullanımı sağlaması nedeniyle saksı denemesinde kullanılmıştır. Saksı denemesi 1 kg toprak alan saksılarda, asit karakterli killi ve kumlu tınlı topraklarda darı ve mısır bitkileriyle 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede 5 farklı P dozu (0, 20, 40, 80 ve 120 mg kg⁻¹) uygulanmıştır. Saksılara 20 adet darı tohumu ekilmiş ve 60 gün sonra hasat edilmiştir. İkinci deneme içinde aynı saksılara 6 adet mısır tohumu ekilmiş ve bitkiler çimlenmeden 30 gün sonra hasat edilmiştir. Sonuçlara göre özellikle yüksek P tamponlama kapasitesine sahip toprakta (killi) %15 BK ile kaplama darı bitkisine daha fazla P sağlamıştır. TSP ile karşılaştırıldığında %15 BK ile kaplanmış gübrenin P alımını %10, P geri kazanımını %20 artırdığı belirlenmiştir. Kumlu toprakta TSP ve %15 BK ile kaplanmış gübre verim, P alımı ve P geri kazanımı bakımından benzer performans göstermişlerdir. Mısır bitkisinde toprak tipine bakılmaksızın %15 BK ile kaplanmış gübre ya da TSP arasında verim, P alımı ve P kazanımı bakımından bir fark gözlenmemiştir. Ayrıca BK kökenli organomineral P'lu gübreler, killi topraklarda P'un geri kazanımını ve bitki alımını TSP'ye göre daha fazla artırmıştır. Sonuç olarak odun talaşından elde edilen BK'lı P'lu gübrelere, özellikle tropik topraklarda P'lu gübrelere etkinliğini artıracak önemli bir kaynak olduğu ifade edilmiştir.

Wali vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, P'lu gübrenin sürdürülebilir kullanımının sağlanabilmesi için BK kökenli formlarının tasarlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla buğday samanı 350-400 °C'de piroliz edilmiş ve DAP gübresi elde edilen bu BK'la farklı oranlarda (0:100, 25:75, 50:50, 75:25 ve 100:0) zenginleştirme işlemine, sıcak (PEP1) ve soğuk (PEP2) metot ile tabi tutulmuştur. Her BK'nın toprağın seçilen özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için öncelikle inkübasyon denemesi kurulmuştur. Deneme 3 tekerrürlü olarak %1 düzeyinde materyal uygulaması ile planlanmıştır. İnkübasyon denemesinde, 50:50 BK-DAP uygulaması kontrole göre ekstrakte edilebilir P, toplam N ve organik madde içeriğini önemli düzeyde artırmıştır. İnkübasyon denemesi sonrasında kurulan sera denemesinde bu uygulama seçilmiştir ve buna ilave olarak nohut yetiştiriciliğinde önerilen P (60 kg ha⁻¹), %0, %25, %50 ve %100 olacak şekilde uygulanmıştır. PEP1 ve PEP2 metotları ile önerilen P'un %50 si ile birlikte uygulanması durumunda bitki boyu, dal sayısı kök uzunluğu, yaş ve kuru kök ile bitki ağırlığı, klorofil içeriği, N ve P konsantrasyonları bakımından en yüksek değerlere ulaşılmıştır. Hasat sonrası toprak örneklerinde ekstrakte edilebilir P, toplam N ve organik madde bakımından aynı uygulamalar en yüksek değerleri vermiştir. Bu uygulamalar ile pH'ında önemli oranda düştüğü belirlenmiştir. Çalışma sonuçları P ile zenginleştirilmiş BK ve kimyasal gübrelerin birlikte uygulanmasının nohut üretimi ve toprak özelliklerinin geliştirilmesi bakımından etkili bir uygulama olduğunu göstermiştir.

Silva Carneiro vd. (2021) tarafından yürütülen çalışmanın amacı, fosforik asit ve magnezyum oksit ile zenginleştirilmiş kümes hayvanı altlığı (PLB) ile kahve kabuğundan (CHB) üretilen BKG'ler TSP ile birlikte bitki gelişimi ve toprakta P yararışlılığına etkisini değerlendirmektir. Çalışmada BK'lar 500 °C 2 saat süreyle piroliz işlemine tabi tutularak hazırlanmıştır. Çalışma, 7 deneme konusu ile (1-TSP, 2-kahve kabuğu biyokömürü (CHB), 3- fosforik asit ve magnezyum oksit ile zenginleştirilmiş kümes hayvanı altlığı biyokömürü (PLB), 4- CHB+TSP [1:1], 5- CHB+TSP [3:1], 6- PLB+TSP [1:1] ve 7- PLB+TSP [3:1]), 3 kg toprak alan saksılarda ve 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Fosforlu gübreler 240 mg kg⁻¹ P düzeyinde yukarıdaki deneme planına göre ilk ürün yetiştirilmeden önce 1 defa da saksılara uygulanmıştır. Deneme de çim bitkisi (3 dönemde toplam 100 gün), mısır (45 gün) ve

fasulye (70 gün) sırasıyla yetiştirilmiştir. Deneme sonunda farklı P formlarını belirlemek üzere ardışık ekstraksiyon yapılmıştır. İlk saatte TSP'deki toplam P'un yaklaşık %90'ı salınırken, BKG'li gübrelerden ise %10'dan daha azının salındığı belirlenmiştir. Tek başına veya TSP ile birlikte uygulanan BKG'ler, TSP ile karşılaştırıldığında daha yüksek veya benzer biyokütle verimi, agronomik etkinlik ve P alımı sağlamıştır. Toprakta BKG'ler piroliz sırasında oluşan pirofosfatlara bağlanarak kararsız P fraksiyonlarını artırmıştır. Çalışma sonucunda araştırmacılar, BK kökenli P'lu gübrelerin ürün kayıplarına neden olmaksızın geleneksel P'lu gübrelerin yerini alabileceğini ifade etmişlerdir.

2.8 Geç Dönemde Yapraktan Fosforlu Gübreleme

Toprağa uygulanan P'lu gübreler, yüksek düzeyde Ca, Al ve Fe içeren topraklarda çözünmez bileşikler oluşturarak gübrelerin etkinliğini sınırlandırmaktadır (Hedley ve McLaughlin 2005). Bitki gelişimi için önemli bir besin elementi olan P'un bitki gelişiminin erken dönemlerinde toprağa uygulanması gereklidir (Noack vd. 2011). Fakat tahıllarda ihtiyaç duyulan P'un, ekimle uygulanması halinde vejetatif gelişme süresince yeterli olacağı bilinmektedir. Yeterli yağış alan bölgelerde ve verim potansiyelinin yüksek olduğu çeşitlerde yaprak gübrelemesi tamamlayıcı uygulama olabilmektedir (Gooding ve Davies 1992, Elliott vd. 1997, Angus 2001). Bitkilerin P ihtiyacının arttığı bu gibi durumlarda P'nin yapraklara uygulanması ile bitki büyümesinin ve gübre kullanım etkinliğinin artırılacağı bildirilmiştir (Dixon 2003, Girma vd. 2007).

Bitkiler vejetatif aşamadan generatif aşamaya geçerken kök büyümesi durmakta ve besin maddelerinin alımı azalmaktadır. Kök büyümesi durduğunda, tohum olgunlaşması için gerekli olan besinlerin bitkinin diğer kısımlarından tohum taşınması gerekmektedir (Gray 1977). Bu süreçte yapraklara P uygulaması fotosentez süresini uzatıp, yaprakların erken yaşlanmasını geciktirerek tohum olgunlaşması için daha fazla kaynak sağlamaktadır (Noack vd. 2011).

Yapraklara uygulanan P'lu gübre çözeltisinin pH'sı düşük (2-3) olduğunda yapraklardan P'un daha hızlı alındığı bildirilmiştir (Noack vd. 2011). Fasulyede yapılan bir çalışmada yaprakta uygulanan yüksek pH'lı (4-5) H_3PO_4 'e göre düşük pH'lı (2-3)

H₃PO₄'ın daha iyi alındığı ifade edilmiştir (Tukey vd. 1961). Bununla birlikte düşük pH düzeyine sahip çözeltilerin yapraklara uygulanması ile yapraklarda yanma meydana gelebilmekte ve sonuçta bitkisel üretim azalabilmektedir (Fageria vd. 2009).

Yaprak gübresinin etkinliği üzerine yaprağın özellikleri de etkilidir. Yapraktan uygulanan besin maddelerinin alımı kütikula, stoma, yaprak tüyleri ve diğer özel epidermal hücreler aracılığıyla gerçekleşmektedir. Bu alım yollarından hangisinin daha önemli olduğu tartışılmaktadır (Eichert ve Burkhardt 2001, Fernandez ve Eichert 2009, Oosterhuis 2009). Bitki yapraklarının kütikula tabakasının kalın ve mumsu bir tabaka ile kaplanmış olması, iyonların alımını zorlaştırmaktadır. Yaprak uygulamasının başarısı stoma boşluklarından geçişe de bağlıdır. Yaprak yüzeyine püskürtülerek uygulanan nano boyuttaki besin maddeleri de stomalardan ya da yaprak tüylerinin kökünden girerek değişik organlara taşınabilmektedir. Eichert vd. (2008), iki farklı boyuttaki (43 nm ve 1,1 µm) çözeltinin fasulye yapraklarından alımını incelemiş ve 2 ila 9 gün arasında nano partiküllerin yapraktan daha rahat bir şekilde alındığını belirlemişlerdir. Pérez- Álvarez vd. (2021) nano boyutlu gübrelerin yapraklardan alımı daha fazla olacağından uygulanan gübre miktarının azalabileceğini ifade etmişlerdir.

Yaprak gübresinin etkinliği üzerine uygulama zamanı da önem arz etmektedir. Sezon içinde P'ü tamamlamak için en iyi uygulama zamanının çiçeklenmeden önceki dönem olduğu yapılan araştırmalarda belirtilmiştir. Başaklanma öncesinde yapılan yapraktan P uygulamalarının, olgunlaşma döneminde yapılan uygulamalara göre daha yüksek tane verimi sağladığı bildirilmiştir (Noack vd. 2011). Yapılan çalışmalar, P alımı ve tane verimini artırmak için en uygun yapraktan P uygulama zamanının başaklanma başlangıcı (Zadoks 32) olduğunu göstermektedir (Mosali vd. 2006, Rose vd. 2007). Çiçeklenme sonrasında yapılan P uygulamalarından tane verimi ve tane P konsantrasyonu önemli düzeyde etkilenmemiştir. Bazı durumlarda ise çiçeklenme sonrasında yapılan yapraktan P uygulamalarının tane dolum süresini uzatarak verim ve kaliteyi artırdığı ortaya konmuştur (Benbella ve Paulsen 1998).

Yapraktan fosforlu gübreleme konusunda yapılan çalışmalar

Mosali vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, topraktan ve yapraktan uygulanan P'un kışlık buğdayda (*Triticum aestivum* L.) tane verimi ile P alımı ve P kullanım etkinliğine

etkisi araştırılmıştır. Ekimle birlikte topraktan P'lu gübreler uygulanmış, ayrıca 3 farklı gelişim döneminde (Feekes 7, Feekes 10.1 ve Feekes 10.54) ve 4 farklı dozda (0, 1, 2, 4 kg ha⁻¹ P) yapraktan P uygulamaları da yapılmıştır. Uygulamalar; 1- tabandan ve yapraktan 0 kg ha⁻¹ P, 2- tabandan 0 kg ha⁻¹ P ile yapraktan 1. gelişim döneminde 1 kg ha⁻¹ P, 3- tabandan 0 kg ha⁻¹ P ile yapraktan 1. gelişim döneminde 2 kg ha⁻¹ P, 4- tabandan 0 kg ha⁻¹ P ile yapraktan 1. gelişim döneminde 4 kg ha⁻¹ P, 5- tabandan 30 kg ha⁻¹ P ile yapraktan 0 kg ha⁻¹, 6- tabandan 30 kg ha⁻¹ P ile yapraktan 1. gelişim döneminde 1 kg ha⁻¹ P, 7- tabandan 30 kg ha⁻¹ P ile yapraktan 1. gelişim döneminde 2 kg ha⁻¹ P, 8- tabandan 30 kg ha⁻¹ P ile yapraktan 1. gelişim döneminde 4 kg ha⁻¹ P, 9- tabandan 0 kg ha⁻¹ P ile yapraktan 2. gelişim döneminde 2 kg ha⁻¹ P, 10- tabandan 30 kg ha⁻¹ P ile yapraktan 2. gelişim döneminde 2 kg ha⁻¹ P, 11- tabandan 0 kg ha⁻¹ P ile yapraktan 3. gelişim döneminde 2 kg ha⁻¹ P, 12- tabandan 30 kg ha⁻¹ P ile yapraktan 3. gelişim döneminde 2 kg ha⁻¹ P şeklinde yapılmıştır. Deneme P bakımında noksan 3 farklı asit karakterli alanda 3 yıl boyunca tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüş ve P kaynağı olarak TSP kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, ilk gelişim döneminde yapraktan uygulanan P ile tane verimi ve bitki P alımının yapraktan P uygulanmayan bitkilere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Fosfor kullanım etkinliği bakımından 3 gelişim döneminde yapılan uygulamalar ön plana çıkmıştır. Araştırmacılar düşük dozlarda yapraktan uygulanan P'un kışlık buğdayda P noksanlığına bağlı olarak ortaya çıkan semptomları giderdiğini ve P kullanım etkinliğini artırdığını bildirmişlerdir.

Girma vd. (2007) yaptıkları bir çalışmada, mısır bitkisinde optimum gelişim için yapraktan uygulanan P'un doz ve zamanını araştırmışlardır. Fosfor bitkilere 0, 2, 4 ve 8 kg P ha⁻¹ (KH₂PO₄) düzeylerinde ve bitkiler 4 yapraklıyken, 8 yapraklıyken ve püskül oluşumu öncesi olmak üzere 3 farklı zamanda yapraktan uygulanmıştır. Bitkilere ekimle birlikte 25 ve 50 kg P ha⁻¹ olacak şekilde TSP gübresi uygulanmıştır. Deneme sonucunda, yapraktan uygulanan fosforun tane verimine etkisinin önemli olduğu ve 8 kg P ha⁻¹ uygulamasıyla %34 daha fazla verim alındığı belirlenmiştir. Bitki 8 yapraklıyken yapraktan yapılan P uygulaması ile tane verimi en yüksek değere ulaşmıştır. Püskül oluşum öncesi 4 ve 8 kg ha⁻¹ düzeyinde uygulanan P ile en yüksek silaj verimi alındığı belirlenmiştir. Hem 4 hem de 8 kg ha⁻¹ yapraktan P uygulaması, 2

kg ha⁻¹ yapraktan P uygulamasına göre daha fazla tane P konsantrasyonuna ulaşılmasını sağlamıştır. Yapraktan püskül oluşumu öncesi 4 ve 8 kg ha⁻¹ dozunda yapılan P uygulaması ile tane ve silaj P konsantrasyonu kontrole göre önemli düzeyde artmıştır. Fosfor kullanım etkinliği bakımından ise püskül oluşumu öncesi uygulanan en düşük P dozunun en yüksek P kullanım etkinliği sağladığı tespit edilmiştir. Deneme sonucunda araştırmacılar, V8 dönemi ve sonrasında yapılacak yapraktan P uygulamaları ile mısır bitkisinde gelişimin artabileceğini ifade etmişlerdir.

Torres (2011) tarafından yapılan çalışmada; topraktan uygulanan P ile yapraklara uygulanan P ve yayıcı-yapıştırıcının kışlık buğdayda tane verimi, P kullanım etkinliği ve tane P içeriği üzerine etkisi 2 yıllık (2008-2009, 2009-2010) tarla denemesi yürütülerek araştırılmıştır. İki farklı asit toprakta tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülen çalışmada ekimle birlikte 0, 10, 20, 40 kg P ha⁻¹ düzeyinde ve yapraktan Feekes 7 gelişim döneminde 0, 5, 10 kg P ha⁻¹ olacak şekilde TSP gübresi yayıcı-yapıştırıcılı ve yapıştırıcısız olarak uygulamıştır. 2008-2009 üretim sezonu sonuçlarına göre uygulamaların tane verimi ve P kullanım etkinliği üzerine etkisi önemli olmuştur. Kontrole karşılaştırıldığında yapraktan yayıcı-yapıştırıcılı P uygulamalarının daha yüksek tane verimi alınmasını sağladığı belirlenmiştir. Fosfor kullanım etkinliği bakımından ise en yüksek değere taban gübresiz yapraktan 10 kg P ha⁻¹ uygulaması ile ulaşılmıştır. Uygulamaların aynı bölgede 2. yıl tane verimi, tane P konsantrasyonu ve P kullanım etkinliği üzerine etkileri önemsiz bulunmuştur. 2009-2010 üretim sezonunda uygulamaların sadece P kullanım etkinliği üzerine etkisi önemli bulunmuştur ve en yüksek değere taban gübresiz yapraktan 5 kg P ha⁻¹ yayıcı-yapıştırıcılı uygulamada ulaşılmıştır. Çalışma sonucunda araştırmacılar yapraktan uygulanan P'un yetiştirme periyodunda bitkilerde gözlemlenen hafif P eksikliğini gidermede etkili bir gübreleme yöntemi olabileceğini bildirmişlerdir. Diğer taraftan tabandan ve yapraktan P'un birlikte uygulanmasının buğday bitkisinin P ihtiyacını karşılamada daha etkili bir yöntem olduğunu da belirtmişlerdir.

Al-Harbi vd. (2013) kireçli topraklarda yetiştirilen buğdaya topraktan 0, 150 ve 450 kg ha⁻¹ DAP ve yapraktan 0, 3, 6 ve 12 kg P ha⁻¹ düzeyinde P uygulamalarına verdiği tepkiyi incelemişlerdir. Deneme Suudi Arabistan'da tarla koşullarında tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüş ve uygulamaların bitki P

konsantrasyonu ile tane verimi üzerine etkisi belirlenmiştir. Toprakdan P ekimden önce DAP gübresinden uygulanmış, yaprakdan P ise Feekes 7 ve Feekes 10.5 gelişim dönemlerinde MAP'tan uygulanmıştır. Deneme sonucunda, 150 kg DAP ha⁻¹ uygulaması ile en yüksek buğday verimi elde edildiği ve Feekes 7 döneminde yaprakdan uygulanan P'un buğday verimini ve P alımını arttırdığı belirlenmiştir. Yapraktan P uygulamalarının tamamı 0 kg P ha⁻¹ uygulamasına göre tane verimini önemli oranda artırmıştır. Özellikle topraktan uygulama yapılmadığında yaprakdan P uygulamasının yararlı olduğu tespit edilmiştir. Yetiştirme periyodu sonunda artan P dozlarıyla toprakta bitkiye yarıyışlı P değerleri de önemli ölçüde artmıştır. Deneme sonucunda buğdayda yaprakdan P gübrelemesinin, özellikle orta oranlarda topraktan uygulanan P ile (150 kg ha⁻¹) birleştirildiğinde faydalı olduğu belirlenmiş ve optimum dozların ortaya konulması için daha fazla çalışma yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Fernández vd. (2014) buğdayda yaprakdan P uygulamalarının toplam bitki ağırlığı, yaprak yüzey alanı, üst ve alt yaprak kenarlarının trikom ve stoma yoğunluklarına etkisini sera koşullarında yaptıkları bir çalışma ile ortaya koymuşlardır. Sera denemesi 1.5 kg toprak alan saksılarda 49 gün boyunca tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülmüştür. Denemede temel gübreleme için makro ve mikro elementler uygulanmış ayrıca P; 0, 8 ve 24 kg P ha⁻¹ düzeyinde fosforik asitten uygulanmıştır. Yapraktan P uygulamalarında %2'lik NH₄H₂PO₄ çözeltisi yaprakların iç ve dış yüzeylerine yayıcı-yapıştırıcı ile birlikte başaklanma başlangıcında uygulanmıştır. Uygulamalardan sonra 2 kez (çiçeklenme ve hamur olumu dönemlerinde) yaprak örneği alınmıştır. Sonuçlar incelendiğinde artan P dozu ile bitki kuru ağırlığı, yaprak yüzey alanı, üst ve alt yaprak kenarlarındaki trikom ve stoma yoğunlukları önemli düzeyde artmıştır. Toprakdan uygulanan P ile birlikte yapraklara uygulanan P sonucunda; uygulama yapılan yapraklarda, yapılmayan yapraklarda ve gövdede P konsantrasyonları kontrole göre önemli düzeyde artmıştır. Ayrıca artan P dozlarıyla yaprakdan P alımı ve P'un ksilem özsuğu ile taşınımı da artmıştır. Araştırmacılar buğday yapraklarının kolay ıslanabilir bir özellikte olmadığını ve yaprakların alt yüzeylerinin üst yüzeylere göre suyu daha fazla ittiğini bildirmişlerdir. Ayrıca P eksikliğinde toplam yaprak alanı, stoma ve trikom yoğunluğu ile kutikula kalınlığının azaldığını ve sonuçta P'un yapraklardan alımının

düşüğünü ifade etmişlerdir. Bu nedenle yaprak gübresinin etkinliğinin artırılabilmesi için bitkinin P durumunun da yeterli olmasının gerekli olduğu belirlenmiştir.

Peirce vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, buğdaya yapraktan farklı gelişim dönemlerinde uygulanan P'un bitki gelişimi üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada temel gübreleme amacıyla tüm saksılara 8 kg P ha⁻¹, yapraktan ise başaklanma döneminde 3 doz (0.6, 1 ve 2.6 kg P ha⁻¹), çiçeklenme döneminde 2 doz (0.6 ve 2.6 kg P ha⁻¹) H₃PO₄ uygulaması yapılmıştır. Yaprak uygulamaları yaprağın alt ve üst yüzeyine eşit miktarda uygulanmıştır. Deneme 3 kg toprak alan saksılarda tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüş ve ekimden 88 gün sonra bitkiler hasat edilmiştir. Deneme sonucunda, toplam kuru ağırlık ve P alımı üzerine uygulamaların etkisinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Başaklanma döneminde düşük düzeyde uygulanan P'un yapraklardan P taşınımı üzerine etkisi, diğer uygulama dönem ve dozlarına göre daha yüksek bulunmuştur. Bu çalışmanın sonuçları uygulama yapılan yaprak yüzeyine bakılmaksızın yapraktan uygulanan P'un büyük çoğunluğunun başaklara taşındığını göstermektedir. Bununla birlikte, yaprağın üst yüzeyine yapılan uygulamaların alt yüzeyine yapılan uygulamalara göre daha etkili olduğu çünkü yaprağın üst yüzeyinde altına göre daha fazla stoma ve trikoma bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca yapraklara uygulanan P'un büyük çoğunluğu başaklara taşınsa da, başaklarda belirlenen P'un büyük çoğunluğunun toprak kökenli olduğu da saptanmıştır. Bu nedenle yaprak gübrelemesinden beklentinin, topraktan gübrelemeye alternatif bir gübreleme metodu olması yerine tamamlayıcı bir etki göstermesi olduğu araştırmacılarca ifade edilmiştir.

Waraich vd. (2015) Pakistan'da yürüttükleri bir çalışmada; buğdaya topraktan ve yapraktan uygulanan P'un bitki gelişimi, klorofil içeriği, gaz değişim parametreleri ve P kullanım etkinliği (PUE) üzerine etkilerini araştırmışlardır. Denemede 2 buğday çeşidi (AARI 2011 ve FSD 2008) ile 2 toprak (0 ve 50 kg P ha⁻¹; K₂H₂PO₄) ve 5 yaprak (0, 2, 4, 6, 8 kg P ha⁻¹; K₂H₂PO₄) uygulamasının etkinliği sera koşullarında tesadüf parselleri deneme desenine göre test edilmiştir. Yaprak uygulamaları kardeşlenme döneminde yapılmış ve deneme ekimden 40 gün sonra hasat edilmiştir. Deneme sonucunda; genel olarak taban gübrelemesi ile birlikte yapılan yaprak uygulamalarının taban gübresi yapılmaksızın yapılan yaprak uygulamaları ile kontrole göre daha etkili olduğu

belirlenmiştir. Toprakta 50 kg P ha⁻¹ ile birlikte yaprakta 6 kg P ha⁻¹ uygulaması bitki boyu, kök boyu, bitki yaş ağırlığı, kök yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı ve kök kuru ağırlığını arttırmıştır. Bu uygulamayı topraktan 50 kg P ha⁻¹ ile birlikte 8 kg P ha⁻¹ uygulaması takip etmiştir. Yapraklara 6 kg P ha⁻¹ uygulamasıyla klorofil içerikleri (Klo a ve b), CO₂ asimilasyon oranı, transpirasyon oranı ve stoma geçirgenliği artarken, yine bu uygulama ile en yüksek PUE, bitki ve kök P konsantrasyonları da belirlenmiştir. Ayrıca incelenen tüm parametreler bakımından AARI 2011 çeşidinin FSD 2008'e göre daha etkili olduğu saptanmıştır. Çalışma sonucunda araştırmacılar; erken dönemde ihtiyaç duyulan P'ü sağlamak için tabandan P'lu gübre verilmesinin gerekli olduğunu, ilerleyen gelişim dönemlerinde buğdayın ihtiyaç duyduğu P'ü sağlamak için yaprakta P uygulanması ile PUE'nin de artıracaklarını ifade etmişlerdir.

Zambrosi vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada noksan ve yeterli P varlığında yetiştirilen şeker kamışı bitkilerinin, yaprakta P uygulamalarına verdikleri tepkileri incelemişlerdir. Çalışmada besin çözeltisi ortamına yetersiz ve yeterli (0.02 mol P L⁻¹ ve 0.5 mol P L⁻¹) P uygulamaları ile temel makro ve mikro besin elementi uygulamaları yapılmıştır. Yaprakta ise 0 ve 0.16 mol P L⁻¹ uygulaması amonyum fosfat formunda uygulanmıştır. Yaprakta P uygulamaları 3 gelişim döneminde (ilki besin çözeltisine P katıldıktan 15 gün sonra, ikincisi 30 gün sonra üçüncüsü de 45 gün sonra) yapılmıştır. Besin çözeltisine ilk defa P uygulanmasından 60 gün sonra ise bitkiler hasat edilmiştir. Deneme sonucunda P yeterli ortamda gelişen bitkilerin P noksan ortamda yetişen bitkilere göre yaprak uygulamasına bakılmaksızın daha fazla gelişim gösterdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte yaprakta P uygulaması ile yaprak alanında %158, bitki kuru ağırlığında %156 artış gözlenmiştir ve bu artış sadece P noksan durumda önemli bulunmuştur. Kök gelişimi üzerine yaprak uygulamaları ile iki durumda da (P noksan ve P yeterli) artış gözlenmiştir. Yaprakta P uygulaması hem P noksan hem de P yeterli bitkilerde bitki P konsantrasyonunu arttırmıştır. Besin çözeltisinde yeterli P varlığında yetiştirilen bitkilerin P konsantrasyonu, yaprakta P uygulamasına bakılmaksızın daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bitki N konsantrasyonu, P yeterli ortamda P noksan duruma göre %18-29 azalmış, yaprakta P uygulaması ile P noksan bitkilerde N konsantrasyonunu %20 arttırmıştır. Bitki Mg konsantrasyonu, yaprakta P uygulamalarından etkilenmemiştir ve P yeterli ortamda P noksan ortama göre bitki Mg

konsantrasyonu %15 daha yüksek bulunmuştur. Yapraktan P uygulaması ile P noksan koşullarda yetiştirilen bitkilerde bitki Mn konsantrasyonu yapraktan P uygulanmadığı koşullara göre %26 azalırken, yeterli P varlığında %12 artmıştır. Sonuç olarak araştırmacılar, yapraktan P uygulamasının bitkilerde besin dengesini ve yaprak alanı oluşumunu iyileştirerek şeker kamışı bitkisinde erken büyümeyi teşvik edebileceğini fakat elde edilen sonuçların arazi çalışmalarıyla desteklenmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Gonçalves vd. (2017) yaptıkları bir çalışmada; fasulye bitkilerinin gelişimi ile bitki ve tane P konsantrasyonları üzerine ekimle birlikte uygulanan P'lu gübrelere tamamlayıcı olarak farklı büyüme aşamalarında yapraktan uygulanan P'un etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışma ekimle birlikte 2 uygulama (60 ve 120 kg P₂O₅ ha⁻¹; MAP) ve yapraktan 7 uygulamanın (1- 1 kg P₂O₅ ha⁻¹ V3 döneminde, 2- 0.5 kg P₂O₅ ha⁻¹ V3 döneminde, 3- yapraktan 1 kg P₂O₅ ha⁻¹ uygulamasının %20'si V3 döneminde, %40'ı R5 döneminde ve %40'ı R6 döneminde, 4- yapraktan 0.5 kg P₂O₅ ha⁻¹ uygulamasının %20'si V3 döneminde, %40'ı R5 döneminde ve %40'ı R6 döneminde, 5- yapraktan 1 kg P₂O₅ ha⁻¹ uygulamasının %50'si R5 döneminde ve %50'si R6 döneminde, 6- yapraktan 0.5 kg P₂O₅ ha⁻¹ uygulamasının %50'si R5 döneminde ve %50'si R6 döneminde, 7- Kontrol, 0 kg P₂O₅ ha⁻¹) kombinasyonları olacak şekilde tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Deneme sonuçları değerlendirildiğinde; bitki P konsantrasyonu ile bitki başına bakla sayısı, bakladaki tane sayısı ve 100 tane ağırlığı bakımından uygulamalar arasında bir fark belirlenmemiştir. Tane P konsantrasyonu bakımından; topraktan yüksek dozda P ile birlikte yapılan yaprak uygulamaları düşük dozdakilere göre daha yüksek P konsantrasyonlarına neden olmuş ve topraktan 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ ile birlikte yapraktan yapılan 4 numaralı uygulamanın kontrole göre önemli düzeyde artış sağladığı belirlenmiştir. Toplam P akümüasyonu, topraktan 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ uygulaması ile birlikte yapraktan yapılan 1 numaralı uygulama ve topraktan 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ ile birlikte yapılan 6 numaralı uygulamalar ile kontrole göre önemli oranda düşmüştür. Bitki biyokütlesini; topraktan 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ ile birlikte yapraktan yapılan 1 numaralı uygulama kontrole göre önemli oranda düşürürken, topraktan 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ ile birlikte yapılan tüm yaprak uygulamaları kontrolle aynı sınıfta yer almıştır. Topraktan 120 kg

P_2O_5 ha⁻¹ ile birlikte yapılan yaprak uygulamaları ile 60 kg P_2O_5 ha⁻¹ ile birlikte yapılan uygulamalara göre daha yüksek tane verimi belirlenmişse de, yaprakdan P uygulamaları ile kontrol arasında her 2 toprak uygulama dozunda da bir fark belirlenmemiştir. Çalışma sonucunda araştırmacılar tarafından, yeterli P varlığına sahip topraklarda yetiştirilen bitkilere yapılan yaprakdan P uygulamaları ile tane P içeriğinin artırılabilceği fakat toprakta P'un yeterli olmadığı durumlarda yapılan yaprakdan P uygulamalarıyla verimin istenilen düzeyde artırılamayacağı ifade edilmiştir. Ayrıca topraktan 60 kg P_2O_5 ha⁻¹ ile birlikte yaprakdan 1 kg P_2O_5 ha⁻¹ (%50'si R5 döneminde ve %50'si R6 döneminde) ya da topraktan 120 kg P_2O_5 ha⁻¹ ile birlikte yapılan 0.5 kg P_2O_5 ha⁻¹ (V3 döneminde) uygulamalarının fasulye yetiştiriciliğinde optimum tane verimi açısından önemli olduğu bildirilmiştir.

Nour El-Din vd. (2019) Mısır'da 2015 ve 2017 yıllarında yaptıkları bir çalışmada yaprakdan uygulanan hidroksiapatit nano partiküllerinin soya fasulyesinde bazı büyüme parametrelerine (bitki boyu, bitki başına dal sayısı, bitkideki dal sayısı, yaprak alan indeksi, bitki başına köklerdeki nodül sayısı, bitki başına bakla sayısı, kök, gövde, yaprak ve bakla ağırlığı) etkisini araştırmışlardır. Denemede hidroksiapatit nano partikülleri yaprakdan 0, 0.6 ve 1.2 kg da⁻¹ dozlarında ekimden 25, 45 ve 65 gün sonra uygulanmıştır. Deneme 4 tekerrürlü ve bölünmüş parseller deneme desenine göre yürütülmüştür. Deneme sonucunda yaprakdan P uygulamasına bağlı olarak bitki boyu, bitki başına dal sayısı, bitkideki dal sayısı, yaprak alan indeksi, bitki başına köklerdeki nodül sayısı, bitki başına bakla sayısı kontrole göre önemli düzeyde artmıştır. Yine kök, gövde, yaprak ve bakla ağırlığı bakımından kontrole göre P uygulamaları ile önemli düzeyde artış sağlandığı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

Peirce vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada buğdaya yaprakdan yayıcı-yapıştırıcı ile birlikte uygulanan fosforik asitin (H_3PO_4) ve uygulama zamanının; yaprakdan P alımı ve translokasyonu ile tane verimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla buğday yapraklarına Zadoks 21 veya 39 dönemlerinde 5 farklı yayıcı-yapıştırıcı (griserol, LI 700, Triton, Agral, Genapol) ile fosforik asit (1.9 kg P ha⁻¹) uygulanmıştır. Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre 5 tekerrürlü olarak 3 kg toprak alan saksılarda yürütülmüştür. Çalışma sonucunda; tüm bitki kuru ağırlığı üzerine uygulanan yayıcı-yapıştırıcıların etkisi önemsiz olurken, uygulama zamanları önemli düzeyde etki

etmiştir. Zadoks 39'da uygulanan fosforik asit bitki kuru ağırlığı bakımından kontrolle aynı sınıfta yer almış, Zadoks 21'de yapılan yaprak uygulamaları ise bu uygulamalardan önemli düzeyde düşük bulunmuştur. Tane ağırlığı bakımından uygulanan yayıcı-yapıştırıcıların etkisi önemli olurken, uygulama zamanlarının etkisi önemsiz bulunmuştur. Kontrolle karşılaştırıldığında, Zadoks 21'de LI 700 ve Genapol uygulamaları sonucunda tane ağırlığı önemli düzeyde düşerken, Zadoks 39'da LI 700 uygulaması ile önemli düzeyde artmıştır. Gübre uygulama zamanı ve yayıcı-yapıştırıcıların saksıdaki tane sayısı, tane P akümüasyonu ve tane P konsantrasyonu üzerine etkilerinin önemsiz olduğu bulunmuştur. Toplam P alımı bakımından Zadoks 21'de yapılan uygulamalar ile Zadoks 39'a oranla daha fazla P konsantrasyonu tespit edilmiştir, ayrıca taneye taşınan toplam P konsantrasyonu kontrole göre tüm yayıcı-yapıştırıcı uygulamaları ile artmıştır. Tüm yayıcı-yapıştırıcıların kontrole göre yakma etkisi olsa da bu etkinin Zadoks 21'de daha düşük olduğu ifade edilmiştir. Çalışma sonucunda, yayıcı-yapıştırıcı seçiminden ziyade yaprak yüzeyinde tutulan gübre formülasyonlarının P'un yapraklardan alımı ve taşınımını olumlu etkileyebileceği araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

Shaoxia vd. (2019) tarafından Çin'de yürütülen çalışmada; yaprak ve topraktan uygulanan P'un kışlık buğdayın çeşitli aksamlarındaki Zn ve P konsantrasyonları ile verime etkisi incelenmiştir. Çalışma topraksız ortamda (hidroponik) ve tarla koşullarında olmak üzere 2 aşamada yürütülmüştür. İlk çalışma için hidroponik ortama 3 farklı dozda P (0.3, 1 ve 2 mM; KH_2PO_4) uygulanmış ayrıca yapraklara da 3 farklı kaynaktan (1- kontrol, 2- %0.3 ZnSO_4 , 3- %0.3 ZnSO_4 +%0.2 KH_2PO_4) süt olum döneminde uygulamalar yapılmış ve çalışma 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Tarla denemesinde alkali karakterli bir toprağa erken süt olum döneminde yaprak 4 uygulama (1-kontrol, 2- %0.2 KH_2PO_4 çözeltisi; 3- %0.3 ZnSO_4 ; 4- %0.3 ZnSO_4 +%0.2 KH_2PO_4) olacak şekilde tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak 2 yıl boyunca yürütülmüştür. Ekimden önce temel gübreleme (120 kg N ha^{-1} üre; 100 kg P_2O_5 ha^{-1} süperfosfat) tüm parsellere uygulanmıştır. Yaprak uygulamaları süt olum döneminde 7 gün arayla 3 defa yapılmıştır. Hidroponik ortamda P ve Zn uygulamalarının buğdayın çeşitli aksamlarındaki (tane ve yaprak) kuru ağırlık ve P konsantrasyonlarına etkisinin önemsiz olduğu bulunmuştur. Tane ve yaprak Zn

konsantrasyonları üzerine yaprak uygulamaları önemli düzeyde etki ederken, P uygulamalarının etkisi yalnızca yaprak için önemli bulunmuştur. Yaprak Zn konsantrasyonu yetiştirme ortamına ilave edilen P ile kontrole göre artmış ve yüksek P uygulaması ile en yüksek değere ulaşılmıştır. Tane ve yaprak Zn konsantrasyonlarının yaprak uygulamaları ile kontrole göre önemli düzeyde arttığı belirlenmiştir. Tarla denemesinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde; yapraktan P uygulamalarının tane verimi ve protein içeriğine etkisi 2 yılda da önemsiz olmuştur. Tane P ve fitik asit konsantrasyonları üzerine yaprak uygulamaları 2 yılda da önemli düzeyde etki etmiştir ve 4 numaralı uygulama ile kontrole göre artışlar sağlanmıştır. Tane ve yaprak Zn konsantrasyonları üzerine yaprak uygulamalarının etkisi 2 yılda da önemli olurken, 3 numaralı uygulamanın diğer uygulamalardan önemli oranda yüksek Zn konsantrasyonlarına neden olduğu saptanmıştır. Çalışma sonucunda araştırmacılar; yapraktan P uygulamasının tanede Zn konsantrasyonlarını düşürdüğünü fakat yapraktan P ile birlikte uygulanan Zn'nun tanede meydana gelen Zn eksikliğini giderebildiğini, dolayısıyla buğday yetiştiriciliği yapan çiftçilerin bu kolay uygulama yöntemini kullanarak insan popülasyonlarının Zn ile yeterli düzeyde beslenebileceğini ifade etmişlerdir.

Zambrosi (2019) tarafından yapılan çalışmada generatif dönemde yapılan yapraktan P uygulamalarının buğdayda verim ve verim öğeleri ile P konsantrasyonuna etkisi incelenmiştir. Denemede temel gübreleme olarak tüm parsellere; 50 kg P_2O_5 ha⁻¹, 25 kg N ha⁻¹ ve 45 kg K_2O ha⁻¹ uygulanmıştır. Yapraktan P, Pi veya Phi şeklinde 0, 1.0, 2.0 ve 4.0 kg ha⁻¹ dozlarında çiçeklenme ve tane dolumu dönemlerinde uygulanmıştır. Yaprak uygulamalarında kaynak olarak KH_2PO_4 (Pi) ve KH_2PO_3 (Phi) kullanılmış ve yayıcı-yapıştırıcı olarak da %0.5 mineral yağ uygulanmıştır. Deneme sonucunda; Pi uygulamalarının tane verimini daha fazla artırdığı ve dozlar arasında bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, Phi uygulamasının yüksek dozları ile tane veriminin düştüğü saptanmıştır. Bitki kuru ağırlığı bakımından; Pi uygulaması kontrole göre artış sağlarken, Phi uygulamasının 2 ve 4 kg ha⁻¹ dozları ile kontrole göre düşüş belirlenmiştir. Hasat indeksi bakımından ise uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bin tane ağırlığı değerlendirildiğinde Pi uygulamaları ile bin tane ağırlığı artmış, dozlar arasında fark belirlenmemiştir. Phi uygulamasının yüksek

dozları ile bin tane ağırlığı azalırken, 1 kg ha⁻¹ uygulaması ile kontrole göre bin tane ağırlığı artmıştır. Tane P konsantrasyonu bakımından yapraktan P uygulamalarının etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Tane P alımı bakımından da diğer parametrelere benzer olarak; Pi uygulamaları ve Phi uygulamasının düşük dozu ile tane P alımı artmış, yüksek Phi dozları ile kontrole göre tane P alımı düşmüştür. Araştırmacı çalışma sonucunda; çiçeklenme sonrası dönemde kök aktivitesi gerilediği için, bu dönemde yapılacak yapraktan P uygulamalarının bitkideki P eksikliğini gidermede daha etkili olduğunu ifade etmiştir.

Froese vd. (2020) tarafından 2016 ve 2017 yıllarında Kanada’da yürütülen çalışmada kanola, bezelye ve buğdaya topraktan ve yapraktan uygulanan P’un tane verimi ile tane P, Fe, Zn ve fitat konsantrasyonları üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada 5 farklı konu (1- Tabandan: 0 kg P₂O₅ ha⁻¹, yapraktan: 0 kg P₂O₅ ha⁻¹ (Kontrol), 2- Tabandan: 20 kg P₂O₅ ha⁻¹, yapraktan: 0 kg P₂O₅ ha⁻¹, 3- Tabandan: 15 kg P₂O₅ ha⁻¹, yapraktan: 5 kg P₂O₅ ha⁻¹, 4- Tabandan: 10 kg P₂O₅ ha⁻¹ yapraktan: 10 kg P₂O₅ ha⁻¹, 5- Tabandan: 0 kg P₂O₅ ha⁻¹, yapraktan: 20 kg P₂O₅ ha⁻¹) olarak uygulanmıştır. Denemede taban gübresi olarak MAP (11-52-0) ve yaprak gübresi olarak KH₂PO₄ kullanılmıştır. Yapraktan P uygulamaları; bezelyede bitki 6-9 boğumlu olduğu dönemde, kanola 5-8 yapraklıyken ve buğdayda bayrak yaprak oluşumundan hemen önce yapılmıştır. Deneme sonucunda: uygulamaların kanola tane P konsantrasyonu üzerine etkileri 1. yıl önemli, 2. yıl önemsiz bulunmuştur. Birinci yılda kontrole göre 2 ve 5 numaralı uygulamalar ile daha düşük tane P konsantrasyonu belirlenmiştir. Bezelyede ise P uygulamalarının tane P konsantrasyonları üzerine etkisi 1. yıl önemsiz, 2. yıl önemli bulunmuştur. İkinci yılda kontrole göre uygulamaların tamamı ile tane P konsantrasyonları önemli düzeyde artmıştır. Buğdayda ise tane P konsantrasyonu üzerine uygulamaların etkisi önemsiz olmuştur. Tane verimi değerlendirildiğinde; buğday dışındaki bitkilere 1. ve 2. yılda yapılan uygulamaların etkisi önemli bulunmuştur. Kanola bitkisinde 1. ve 2. yıl uygulamalarla kontrole göre verim artmıştır. Birinci yıl en yüksek değere 2 numaralı uygulama ile ulaşılırken, 2. yıl 2 ve 3 numaralı uygulamalar ile kontrole göre önemli artışlar sağlanmıştır. Bezelyede tane verimi bakımından 1. yıl kontrol ve uygulamalar aynı sınıfta yer alırken, 2. yıl kontrole göre sadece 2 numaralı uygulama daha yüksek bulunmuştur. Birinci yıl kanola tane Zn konsantrasyonu uygulamalarla önemli düzeyde

azalsa da, bu düşüş sadece 2 numaralı uygulama ile önemli olmuştur. Kanola 2. yıl tane Zn konsantrasyonu uygulamalardan etkilenmemiştir. Kanola 1. yıl tane Fe konsantrasyonu bakımından kontrole göre sadece 4 numaralı uygulama ile artış belirlenmiştir. Kanola 2. yıl tane Fe konsantrasyonları ise uygulamalardan etkilenmemiştir. Birinci yıl bezelye tane Zn konsantrasyonları P uygulamaları ile kontrole göre düşmüştür ve bu düşüş 2 ve 3 numaralı uygulamalar için önemli olmuştur. İkinci yıl bezelye tane Zn konsantrasyonu uygulamalardan etkilenmemiştir. Birinci yıl bezelye tane Fe konsantrasyonu kontrole göre sadece 3 numaralı uygulama ile kontrole göre artarken, 2. yıl yapılan uygulamalar tane Fe konsantrasyonlarını kontrole göre önemli oranda düşürmüştür. Buğday Fe ve Zn konsantrasyonları üzerine uygulamaların etkisinin önemsiz olduğu bulunmuştur. Bezelye ve buğday tanelerindeki fitat konsantrasyonları uygulamalardan etkilenmemiştir. Araştırma sonucunda toprakta mevcut bulunan bitkiye yarayışlı P ile ekimle topraktan uygulanan P'un, yapraklara uygulanan P'a göre bitki büyümesini daha fazla etkilediği araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir.

Pérez- Álvarez vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, yapraktan uygulanan üre yüklü amorf kalsiyum fosfat nanopartiküllerinin asmada gelişim ve şarap kalitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada yer alan uygulama konuları sırasıyla; 1- üre yüklü amorf kalsiyum fosfat nanopartiküllü (0.4 kg N ha^{-1}), 2- üre (3 kg N ha^{-1}), 3- üre (6 kg N ha^{-1}), 4- kontrol (saf su) şeklindedir. Çalışma 3 tekerrürlü olarak planlanmış ve 2 yaprak uygulaması (ben düşme ve bundan 1 hafta sonra) yapılmıştır. Deneme sonucunda; nanoteknolojik gübrelerin asmaya yapraktan uygulanması ile elde edilen üründe kalite ve verimin ticari gübrelerdeki benzer olduğu, ayrıca nano teknolojik yöntemlerle üretilen gübrelerin uygulanması ile N'lu gübre dozlarının azaltılabileceğini ve gübre kaynaklı çevre kirliliği risklerinin azaltılabileceğini araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

Etkin kullanılamayan ve tükenen fosforlu gübre kaynaklarına alternatif olabilecek nitelikte yeni gübrelerin geliştirilebilmesi için son yıllarda çalışmalar hızla artmaktadır. Bu amaçla geliştirilen nano-P'lu gübreler konusunda yapılan çalışmaların genellikle P salınımı üzerine olduğu mevcut literatür bilgilerinde görülmektedir. Dünyada yapılan çalışmaların nano-P'un bitki gelişimi üzerine etkilerini ortaya koymada yetersiz kalması

ve ülkemizde nano-P'un bitki gelişimi üzerine arazi koşullarında henüz bir çalışmanın yapılmamış olması bu konunun özgün tarafını oluşturmaktadır. Ayrıca bu çalışma ile nano-P'lu gübrenin hem bitki gelişimine etkisi hem de azalan dozlarının DAP gübresine göre etkisi ortaya konulmuştur. Çalışmamızın 2. stratejisinde ülkemizde biyokömürün kaplama materyali olarak değerlendirildiği bir çalışmaya rastlanılmaması ve dünyada biyokömür ile kaplı yavaş salınımlı gübrelerin bitki gelişimi üzerine etkilerinin tam olarak ortaya konulmaması çalışmamızın özgün tarafını oluşturmaktadır. Bu çalışma ile biyokömür ile kaplamanın P'lu gübre kullanımını nasıl etkileyeceği ve azalan dozlarda yapılan uygulamaların etkinliği ortaya konulmuştur. Ayrıca ülkemizde toprak düzenleyici olarak etkinliği birçok çalışmada ortaya konulan biyokömürün kaplama materyali olarak değerlendirilmesi de arazi koşullarında bu çalışma ile ilk defa denenmiştir. Çalışmamızın 3. stratejisinde ise literatür bilgilerinde de yer alan yapraktan P uygulamalarının buğday verim ve kalitesi üzerine etkileri ülkemiz koşullarında ortaya konulmuştur. Bu çalışma ile hem H_3PO_4 'in hem de yeni bir teknoloji olan nano-P'un yapraktan uygulanmasının etkileri ülkemizde ilk defa değerlendirilmiştir.

3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Tarla denemelerinin yürütüldüğü yerler

Orta Anadolu koşullarında buğday yetiştiriciliği yapılan alanlarda taban gübrelemesi amacıyla yoğun olarak kullanılan DAP gübresine alternatif nitelikte P'lu gübrelerin geliştirilebilmesi amacıyla 2 yıl (2017-2018 ve 2018-2019) denizden ortalama yüksekliği 1055 metre olan ve Ankara Haymana karayolunun 45. kilometresinde bulunan Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi (AÜZF) Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde tarla denemeleri yürütülmüştür (Şekil 3.1). Tarla denemeleri 5 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme deseninde kurulmuştur. Deneme 1. yıl 1057 m yüksekliğinde ve 324120D-393647K koordinatlarında, 2. yıl 1056 m yüksekliğinde ve 324119D-393644K koordinatlarındadır.



Şekil 3.1 AÜZF Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği arazisinin ve deneme alanlarının uydu görüntüsü

3.1.2 Deneme alanlarına ait meteorolojik veriler

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nin bulunduğu Ankara ili Haymana ilçesi İkizce bölgesinde karasal iklim hakimdir.

Denemenin yürütüldüğü dönemlere ait yağış ve sıcaklık verileri ile uzun yıllar ortalamaları çizelge 3.1’de verilmiştir. Buğday yetiştiriciliği yapılan ayların uzun yıllar yağış ortalamasına göre en yüksek yağış Mart, en düşük yağış Temmuz ayında gözlenmiş ve ortalama yıllık yağış miktarı 348.5 mm olmuştur. Denemenin yürütüldüğü; birinci yıl en yüksek yağış Mayıs ayında (152 mm), en düşük yağış Nisan ayında (4 mm) gözlenmiştir. Yağış rejiminde aylara göre dalgalanmanın yaşandığı birinci yılda yıllık yağış miktarının uzun yıllar ortalamasından yüksek (465.5 mm) olduğu belirlenmiştir. İkinci yılda ise yıllık toplam yağış miktarı 353.8 mm olmuş ve en yüksek yağış Ekim (73.6 mm), en düşük yağış Kasım ayında (17.8 mm) gözlenmiştir. Buğday yetiştiriciliği yapılan döneme ait uzun yıllar sıcaklık ortalaması 10.1 °C olup, en sıcak ay Temmuz (23.3 °C), en soğuk ay ise Ocak (0.3 °C) olarak belirlenmiştir. Denemenin yürütüldüğü birinci yılda uzun yıllar ortalamasına paralel olarak en düşük ortalama sıcaklık Ocak ayında 1.5 °C olurken, en yüksek ortalama sıcaklık Temmuz ayında 22.1 °C olmuştur. İkinci yılda da en düşük ortalama sıcaklık Ocak ayında (1 °C) belirlenirken, uzun yıllar ortalamasından farklı olarak en yüksek ortalama sıcaklık Haziran ayında (20.1 °C) belirlenmiştir.

Çizelge 3.1 Tarla denemelerine ait meteorolojik veriler

Aylar	1. Yıl		2. Yıl		Uzun Yıllar Ortalaması*	
	Sıcaklık (°C)	Yağış (mm)	Sıcaklık (°C)	Yağış (mm)	Sıcaklık (°C)	Yağış (mm)
Ekim	10.3	15.5	12.0	73.6	13.2	29.6
Kasım	4.9	27.1	6.3	17.8	7.1	29.7
Aralık	2.1	34.3	2.8	36.0	2.5	36.9
Ocak	1.5	45.6	1.0	30.8	0.3	35.9
Şubat	4.2	54.6	2.3	47.4	1.9	30.7
Mart	8.1	68.0	4.8	24.6	6.1	47.0
Nisan	11.3	4.0	8.1	27.0	11.2	40.6
Mayıs	15.6	152	15.1	18.6	15.8	45.9
Haziran	18.8	47.6	20.1	43.6	19.8	40.4
Temmuz	22.1	16.8	19.9	34.4	23.3	11.8
Toplam		465.5		353.8		348.5

*Uzun yıllar ortalaması son 10 yılın verilerinden elde edilmiştir.

3.1.3 Toprak örneklerinin alınması ve analize hazırlanması

Deneme kurulumu öncesinde deneme alanlarından her 2 yılda da deneme alanını temsil edecek şekilde 0-20 cm derinlikten Alpaslan vd. (2013)'nin bildirdiği şekilde toprak örnekleri alınmıştır. Alınan toprak örnekleri laboratuvarda hava kuru duruma getirilip 2 mm'lik elekten elenmiş ve alınan topraklar bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi için saklanmıştır.

3.1.4 Tarla denemelerinde kullanılan bitki materyali

İki yıl yürütülen denemede, AÜZF Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nden tedarik edilen Bezostaja-1 sertifikalı ekmeklik buğday tohumu kullanılmıştır. Eskişehir Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından 1970 yılında tescil ettirilen Bezostaja-1 sertifikalı ekmeklik buğday tohumu; kısa boylu, gri yeşil renkli ve yaprakları tüysüzdür. Sert-kırmızı taneli olup, bin tane ağırlığı 40–44 gramdır. Başak yapısı kılçıksız, beyaz kavuzlu, orta uzun, orta sık ve dikdir. Sarı pasa dayanıklı, kara ve kahverengi pasa orta derecede dayanıklı, sürme ve راستیға ise orta hassastır. Kök ve kök boğazı çürüklüklerinden önemli derecede etkilenir. Erkenciliği orta olup, yatmaya dayanıklıdır. Az kardeşlenir, gübreye reaksiyonu iyidir. Kardeşlenmenin düşük olmasından dolayı verim potansiyeli tane ve başak büyüklüğünden kaynaklanır. Kışlık bir çeşit olup, ilkbahar geç donlarından zarar görmez, soğuğa dayanıklıdır fakat kuraklığa dayanıksızdır. Yaz kuraklıklarından fazlaca etkilendiği için kır-bayır tarlalar ve yeterli yağış almayan yörelerdeki alanlar için uygun değildir. Birinci sınıf bir ekmeklik çeşidi olan Bezostaja-1; Kuzey ve Batı Geçit bölgeleriyle, Orta Anadolu'nun taban ve sulanabilen alanlara ve Trakya'da tavsiye edilmektedir (Anonim 2003).

3.1.5 Tarla denemelerinde kullanılan gübre materyalleri

Tarla denemelerinde, Orta Anadolu koşullarında en fazla kullanılan taban gübresi olan DAP ve DAP'a alternatif olabilecek nitelikte laboratuvar koşullarında hazırlanan nano hidroksiapatit [$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$] ile BK kaplı DAP sırasıyla 1. ve 2. stratejilerde ekimle birlikte kullanılmıştır. Üçüncü strateji olan yaprak uygulamalarında ise analitik saflıkta fosforik asit (H_3PO_4 , K%=85, $d=1.71 \text{ g cm}^{-3}$) ile laboratuvar koşullarında hazırlanan nano hidroksiapatit [$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$] deneme planına göre uygulanmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal analizlerinde kullanılan yöntemler

Tekstür (Bünye): Toprak örneklerinin kum, silt ve kil fraksiyonları Bouyoucos (1951) tarafından bildirildiği şekilde Hidrometre yöntemine göre belirlenmiş, tekstür sınıfları ise Soil Survey Manual (Anonymous 1951)'e göre saptanmıştır.

Toprak reaksiyonu (pH): Toprak reaksiyonu 1:2.5 toprak:saf su karışımında cam elektrotlu pH metre ile belirlenmiştir (Jackson 1958).

Elektriksel iletkenlik (EC): Elektriksel iletkenlik değeri 1:2.5 oranında toprak:saf su karışımında EC metre ile belirlenmiştir (Richards 1954).

Organik madde (OM): Jackson (1958) tarafından bildirildiği şekilde değiştirilmiş Walkley-Black yaş yakma yöntemine göre belirlenmiştir.

Kalsiyum karbonat (CaCO₃): Hızalan ve Ünal (1966) tarafından açıklandığı şekilde Scheibler kalsimetresiyle belirlenmiştir.

Toplam azot (N): Bremner (1965) tarafından bildirildiği şekilde Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir.

Bitkiye yarayışlı fosfor (P): Toprak örneklerinde P, Olsen vd. (1954) tarafından bildirildiği şekilde, 0.5 M NaHCO₃ (pH: 8.5) ile ekstrakte edilerek çözeltiye geçen P, molibdofosforik mavi renk yöntemine göre Shimadzu model UV 1210 spektrofotometresinde belirlenmiştir.

Değişebilir potasyum (K): Pratt (1965) tarafından bildirildiği şekilde, toprak örnekleri 1.0 N nötr (pH: 7.0) amonyum asetat (CH₃COONH₄) ile ekstrakte edilmiş ve süzükteki K miktarı Jenway model PFP7 fleymfotometresi ile belirlenmiştir.

Değişebilir kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg): Pratt (1965) tarafından bildirildiği şekilde, toprak örnekleri 1.0 N nötr (pH: 7.0) amonyum asetat (CH₃COONH₄) ile ekstrakte edilmiş, süzükteki Ca ve Mg miktarları Perkin Elmer Optima 2100 DV ICP-OES cihazı ile belirlenmiştir.

Yarayırlı demir (Fe), inko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn): Lindsay ve Norvell (1978) tarafından açıklandığı gibi, toprak-çözelti oranı 1:2 olacak şekilde 0.005 M DTPA (dietilen triamin penta asetik asit) + 0.01 M CaCl₂ + 0.1 M TEA (trietanolamin) karışım çözeltisi (pH: 7.3) ile 2 saat çalkalanarak ekstrakte edilen süzükte Fe, Zn, Cu ve Mn miktarları Perkin Elmer Optima 2100 DV ICP-OES cihazı ile belirlenmiştir.

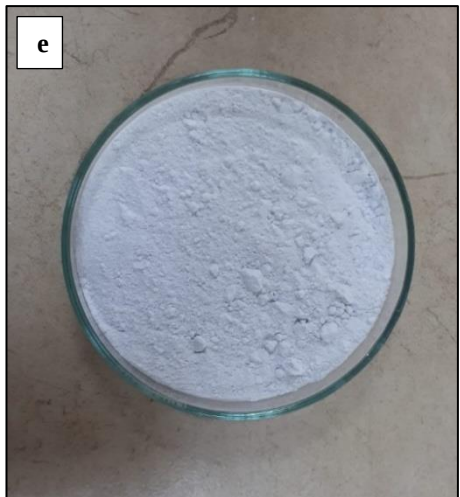
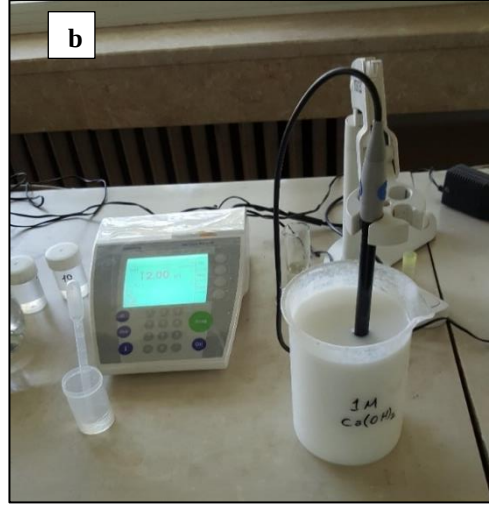
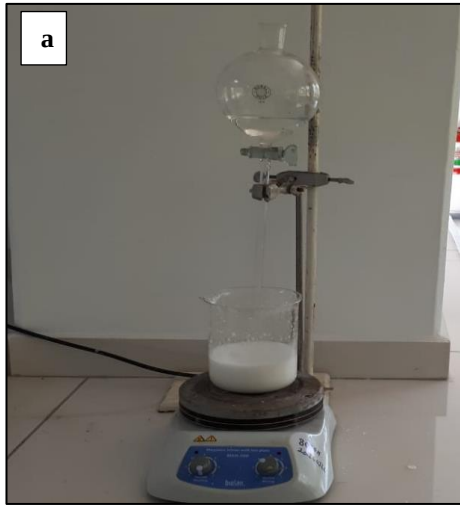
Deneme alanlarından alınan toprak örneklerinde yapılan verimlilik analizleri sonucunda elde edilen değerler, izelge 3.2 ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Çizelge 3.2 Toprak analizlerinin değerlendirilmesinde kullanılan sınır değerler (N g kg⁻¹ diğerleri elementler mg kg⁻¹ olarak ifade edilmiştir). (Follet 1969, Lindsay ve Norwell 1978, Anonymous 1990, Güneş vd. 1996)

Besin maddesi	Yöntem	çok az	Az	Yeterli	Fazla	çok fazla
N	Kjeldahl	<0.45	0.45-0.90	0.90-1.70	1.70-3.20	>3.20
P	NaHCO ₃	<2.5	2.5-8.0	8.0-25.0	25.0-80.0	>80.0
K	CH ₃ COONH ₄	<50	50-140	140-370	370-1000	>1000
Ca	CH ₃ COONH ₄	0-380	380-1150	1150-3500	3500-10000	>10000
Mg	CH ₃ COONH ₄	0-50	50-160	160-480	480-1500	>1500
Mn	DTPA	<4	4-14	14-50	50-170	>170
Zn	DTPA	<0.2	0.2-0.7	0.7-2.4	2.4-8.0	>8.0
Fe	DTPA	Yetersiz <4.5			Yeterli >4.5	
Cu	DTPA	Yetersiz <0.2			Yeterli >0.2	
Kireç	Scheibler	Az Kireçli 0-1	Kireçli 1-5	Orta Kireçli 5-15	Fazla Kireçli 15-25	ok Fazla Kireçli >25
Tuz	1:2.5 Su	Tuzsuz 0-2	Hafif Tuzlu 2-4	Orta Tuzlu 4-8	ok Tuzlu 8-16	Aşırı Tuzlu >16
O.M.	Walkley-Black	ok Az 0-1	Az 1-2	Orta 2-3	İyi 3-4	Yüksek >4
pH	1:2.5 Su	Kuvvetli Asit <4.5	Orta Asit 4.5-5.5	Hafif Asit 5.5-6.5	Nötr 6.5-7.5	Hafif Alkali 7.5-8.5
						Kuvvetli Alkali >8.5

3.2.2 Nano boyutlu gübrenin hazırlanması

Nano-P Liu ve Lal (2014) tarafından bildirildiği şekilde hazırlanmıştır. Öncelikle, 0.6 M 500 ml H_3PO_4 ile 1 M 500 ml $Ca(OH)_2$ çözeltileri hazırlanmıştır. Daha sonra H_3PO_4 çözeltisi ayırma hunisine konulmuş ve saniyede 1 damla olacak şekilde $Ca(OH)_2$ çözeltisinin üstüne damlatılmıştır (Şekil 3.2a). Oda sıcaklığındaki bu çözeltiler 5-6 cm boyunda bir magnet yardımıyla sürekli karıştırılmıştır. Reaksiyon sonunda birbirine karışan iki çözeltinin pH değeri 12.00'ye 10 N NaOH ile ayarlanmıştır (Şekil 3.2b). Çözelti daha sonra Bouyoucos silindirine aktarılıp, katı kısmı oluşturan nano hidroksiapatit kristallerinin dibe çökmesi beklenmiştir (Şekil 3.2c). Çökme sonunda üstteki berrak kısım dökülmüş ve katı kısım en az 5 kere saf su ile yıkanarak çökmeden kalan maddelerin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Temiz ve geniş bir tepsiye yayılan katı kısım (nano hidroksiapatit) 65 °C sıcaklığa ayarlanmış hava sirkülasyonlu kurutma dolabında kurutulmuş (Şekil 3.2d) ve homojen hale getirmek için çelik iç aksama sahip öğütücüyle toz hale getirilmiştir (Şekil 3.2e). Toz hale getirilen nano hidroksiapatit parsel mibzeri ile uygulanabilmesi için pelet hale getirilmiştir. Pelet oluşturmak için hidroksiapatite %1 oranında kaolin katılıp karıştırılmış ve 100 ml saf su ile hamur kıvamına getirilmiştir. Hamur kıvamındaki karışım, basınçlı bir pelet sisteminden geçirilerek 3-5 cm boyunda ve yaklaşık 0.5 cm çapında peletler elde edilmiştir. Elde edilen peletler 65 °C sıcaklığa sahip hava sirkülasyonlu kurutma dolabında kurutulmuş ve temiz bir makas yardımıyla yaklaşık 0.5 cm boy, 0.5 cm çap olacak şekilde kesilmiştir (Şekil 3.2f). Üretilen pelet nano hidroksiapatitin parsel mibzeri ile araziye uygulanabilirliği denemelerin kurulumu öncesinde Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü'nde parsel mibzeri ile test edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.2 Nano hidroksiapatitin hazırlanması (a-nano hidroksiapatitin sentezlenmesi, b-NaOH ile pH ayarı, c-nano hidroksiapatitin çöktürülmesi, d-nano hidroksiapatitin kurutulması, e-toz nano hidroksiapatit ve f-nano hidroksiapatit peleti)



Şekil 3.3 Pelet nano hidroksiapatitin parsel mibzeri ile araziye uygulanabilirliğinin test edilmesi

3.2.3 Biyokömür ve biyokömür ile kaplı fosforlu gübrenin (BK-DAP) hazırlanması

Özel bir firmadan temin edilen pelet tavuk gübresi paslanmaz çelikten yapılmış değirmenlerde öğütülmüş ve 2 mm'lik elekten elenmiştir. Elenen materyal havasız koşullarda Gunes vd. (2014) tarafından belirtildiği şekilde 300 °C'de 3 saat piroliz işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen biyokömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan tavuk gübresinin (TG) peletlenmiş (a), öğütülmüş (b) ve piroliz işlemi sonrasındaki hali (c) şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.4 Pelet tavuk gübresi (a), öğütülmüş tavuk gübresi (b) ve piroliz sonucu elde edilen BK'nın (c) görünümü

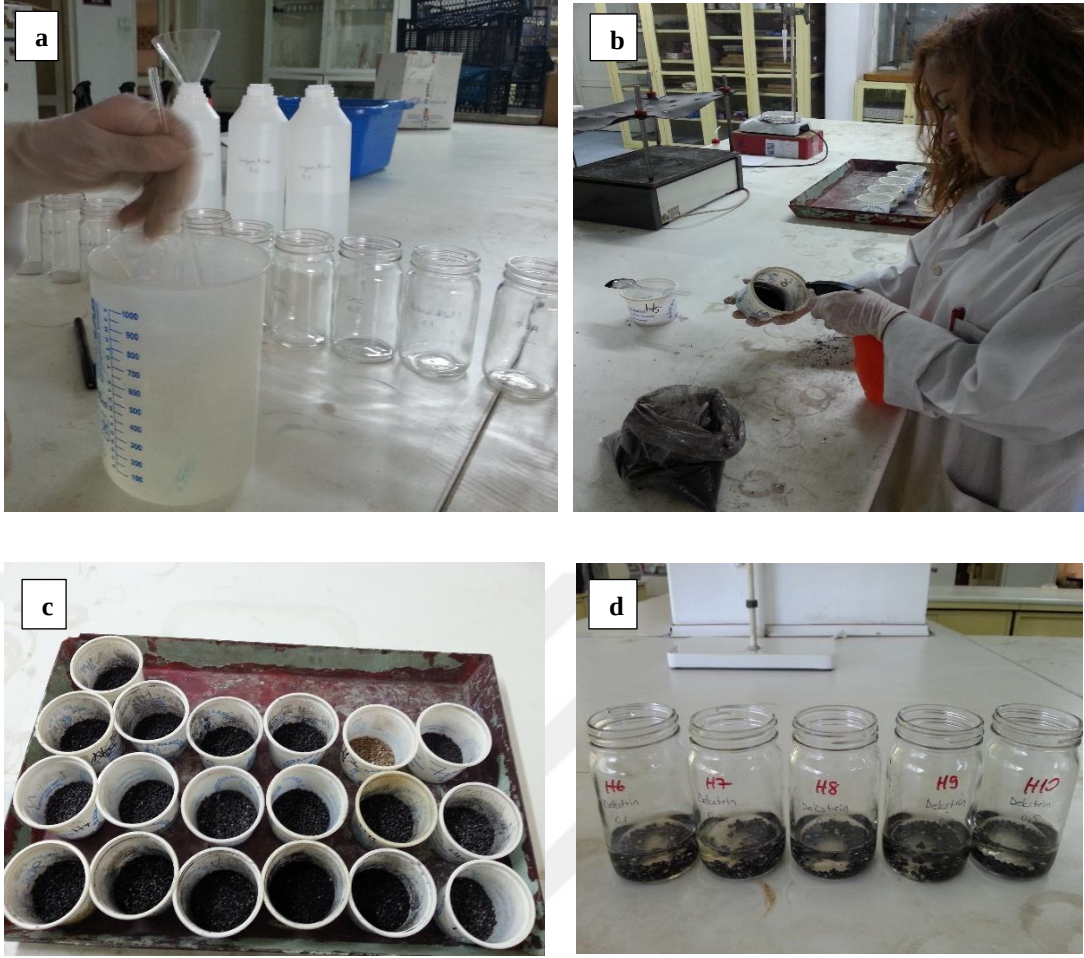
Elde edilen BK'nın DAP gübresini daha iyi kaplaması için çeşitli suda çözünen polimer bazlı yapıştırıcıların (polivinil alkol, dekstrin, karboksimetil selüloz, sodyum aljinat) etkinliği kaplama işlemi öncesinde laboratuvar koşullarında test edilmiştir. Bu amaçla

50 g DAP gübresi tartılmış ve üzerine 10 g BK ilave edilmiştir. Polimer bazlı yapıştırıcılardan polivinil alkol ve dekstrinin %0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ve 0.5'lik çözeltileri hazırlanmıştır. Karboksimetil selüloz ve sodyum aljinatın yüksek dozları (%0.4 ve 0.5) jel haline geldiğinden spreyleme işlemi yapılamamıştır. Karşılaştırma amacıyla sadece DAP ile DAP+BK'ya eşme suyu ve silikon bazlı yapıştırıcı da uygulanmıştır. Spreyleme işlemi sonrasında kaplı gübreler oda sıcaklığında kurutulmuştur (şekil 3.5). Daha sonra kaplı gübrelerden 5 g tartılarak cam kavanozlara konmuş ve üzerine 100 ml eşme suyu konularak gübrenin üzerinde dağılmadan kalabilme özelliğİ 24 saat süre ile izlenmiştir (şekil 3.6). Döngüsel olarak yapılan gözlemler sonucunda gübrenin üzerinde dağılmadan kalabilme özelliğİ diğeri yapıştırıcılara göre daha iyi olduğu gözlemlenen %0.3'lk dekstrin çözeltisinin yapıştırıcı olarak kullanılmasına karar verilmiştir.



şekil 3.5 Biyokömür kaplı DAP gübresinin hazırlanması

Çalışmada yapıştırıcı olarak kullanılmasına karar verilen dekstrin, nişasta ya da glikojenin hidrolizi ile üretilen kk molekül ağırlıklı bir karbonhidrat grubudur ve kısmen ya da tamamen suda çözünür özelliktedir. Dekstrin suda çözünür tutkal olarak kullanılabileceğİ gibi kaplamalarda kıvamlaştırıcı ve bağılayıcı olarak da kullanılabilmektedir (Anonim 2021b).



Şekil 3.6 Biyokömürün; çeşitli suda çözünen polimer bazlı yapıştırıcılar ile gübrenin üstünde dağılmadan kalabilme testi (a- polimer bazlı yapıştırıcıların farklı yoğunluklarda çözeltilerinin hazırlanması, b- DAP+BK üzerine yapıştırıcı püskürtülerek kaplama işlemi, c- kaplı gübrenin kurutulması, d- kaplamanın test edilmesi)

DAP gübresinden 500 g tartılmış ve geniş bir plastik kaba alınarak üzerine 50 g BK eklenmiştir. Gübrenin BK ile homojen bir şekilde kaplanabilmesi için %0.3'lük dekstrin çözeltisi uygulanırken plastik kap sürekli çalkalanmıştır. Elde edilen kaplı gübre laboratuvar koşullarında kurutulmuştur. Daha sonra 2 mm'lik elekten elenerek yapışmayan BK ayrılmıştır. (Şekil 3.7). Elde edilen BK kaplı DAP'ın kaplanmasında kullanılan BK miktarı ağırlık artışı esasına göre belirlenmiştir. Kaplanan DAP gübresinde %4.43'lük bir ağırlık artışı saptanmıştır. Bu miktardaki (4.81 g) BK 2. stratejide kaplama işleminin etkisini görebilmek amacıyla DAP+BK uygulamalarında kullanılmıştır.



Şekil 3.7 Biyokömür ile kaplanmış DAP (BK-DAP) gübresi

3.2.4 Nano P ve BK-DAP'ın yapısal özelliklerinin belirlenmesi

3.2.4.1 Nano-P'un taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile boyutunun belirlenmesi

Hazırlanan nano-P'da boyut analizi için Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde bulunan Zeiss EVO 40 marka 30 kV'lık taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. SEM cihazı elektronları kullanarak numune yüzeyinden üç boyutlu görüntü elde edilmesini sağlar. Numunelerin görüntü analizinde kullanılan SEM cihazının çözünürlüğü 3 nm, hızlanan gerilimi 0.2-30 kV, dedektörleri ise SE ve EDX özelliklerine sahiptir. Cihazda çapı 9-15 mm, kalınlığı 0.1-30 mm arasında olan katı veya toz numuneler incelenebilmektedir (Hayat 1974).

3.2.4.2 Nano-P'un X-ışını kırınım cihazı (XRD) ile kristal yapısının belirlenmesi

X ışınları kırınımı yöntemi kristal yapıdaki maddeleri tanımlayıp, teşhis edebilmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem sayesinde maddelerde meydana gelebilecek kristal değişimler net olarak tanımlanabilmektedir. XRD analizi doğal veya yapay materyallerin kristalografik yapısının yanı sıra elementel bileşimi hakkında da bilgi verebilmektedir. Hazırlanan nano-P'a ait difraktogramlar, Ankara Üniversitesi Yer

Bilimleri Araştırma Merkezi'nde bulunan EQUINOX marka XRD cihazı kullanılarak (Cu X-Işın Tüplü) Moosavi vd. (2017) tarafından bildirildiği gibi alınmıştır.

3.2.4.3 Biyokömürün termogravimetrik (TGA) özelliklerinin belirlenmesi

DAP gübresinin kaplanması için kullanılan tavuk gübresi biyokömürünün piroliz özelliklerini belirlemek için TGA (Termo gravimetrik) analizi Shimadzu DTG-60H cihazı kullanılarak 30-600 °C arasında yapılmıştır. Bu analizler N₂ gazı atmosferinde 6 mm çapında Pt kaplarda 10 °C dak⁻¹ aralıklarla yapılmıştır. Cihazın kalibrasyonu saf metalik In, Pb ve Zn telleriyle işlemin 20 kez tekrarlanmasıyla yapılmıştır (Gunes vd. 2015).

3.2.4.4 Nano-P ve BK-DAP'ta FTIR yöntemiyle spektrum belirlemesi

Bu yöntem üst üste birkaç spektrumu hızlıca alarak standart sapmayı düşüren ve ortalama bir spektrumu çıktı olarak veren faydalı bir moleküler spektroskopi yöntemidir. Yöntemin çalışma prensibi, moleküllerde birbirlerine kimyasal olarak bağlı atomlar arasındaki titreşim enerjisine sahip ışıkların absorbe edilerek, moleküler maddelerdeki fonksiyonel grupların teşhis edilmesi şeklindedir (Skoog vd. 1998).

3.2.4.5 Nano-P ve BK-DAP'ın toplam fosfor konsantrasyonu

Yaş yakma yöntemine göre hazırlanan nano-P ve BK-DAP örneklerindeki toplam P konsantrasyonu, vanadomolibdofosforik sarı renk yöntemine göre Shimadzu model UV 1210 spektrofotometresinde belirlenmiştir (Barton 1948).

3.2.5 Tarla denemelerinin kurulması ve yürütülmesi

Tarla denemeleri iki yıl tekrarlamalı ve 5 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre AÜZF Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde kurulmuştur. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen parsel mibzeri ile Bezostaja-1 ekmeklik buğday çeşidi, 5.30 m uzunluğundaki ve 1.20 m genişliğindeki parsellere 15 cm sıra aralığında ve her parselde 6 sıra olacak şekilde, 22 kg da⁻¹ ekim sıklığında ekilmiştir (Şekil 3.8). Çalışmada 3 ayrı strateji için 3 ayrı deneme 2 yılda da aşağıdaki deneme planına göre birinci yıl 03.11.2017, ikinci yıl 04.11.2018 tarihlerinde kurulmuştur.



Şekil 3.8 Denemenin kurulumu birinci (a), ikinci (b) yıl

Denemelerde Yapılan Uygulamalar:

Uygulamalarda yörede buğdaya uygulanan $8 \text{ kg da}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ baz alınmış ve oluşturulan stratejilerin P ihtiyacını azaltacağı varsayılarak nano-P ve BK-DAP ile azaltılarak uygulanmıştır. Baz alınan $8 \text{ kg da}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ DAP gübresinden uygulanmış ve bu uygulama aynı zamanda referans uygulama olarak kabul edilmiştir.

Deneme 1 (Nano-P Denemesi; Strateji 1):

- 1) $8 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ DAP
- 2) $8 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ Nano-P+AN (1. uygulamada DAP'tan gelen miktarda N amonyum nitrat formunda taban gübresi olarak uygulanmıştır)
- 3) $6 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ Nano-P+AN (1. uygulamada DAP'tan gelen miktarda N amonyum nitrat formunda taban gübresi olarak uygulanmıştır)
- 4) $4 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ Nano-P+AN (1. uygulamada DAP'tan gelen miktarda N amonyum nitrat formunda taban gübresi olarak uygulanmıştır)

Deneme 2 (BK-DAP; Strateji 2):

- 1) $8 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ DAP
- 2) $8 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ DAP+BK (1. uygulama+3. uygulamada DAP'ın kaplanmasında kullanılabilecek eşit miktarda BK. Burada kaplama yoktur. DAP ve BK kaplamasız olarak uygulanmıştır)
- 3) $8 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ BK-DAP
- 4) $6 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ BK-DAP
- 5) $4 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ BK-DAP

Deneme 3 (Geç Dönemde Yapraktan Fosfor Uygulaması; Strateji 3):

- 1) Kontrol
- 2) %0.2 P H_3PO_4 (1 defa yapraktan uygulama)
- 3) %0.2 P Nano-P (1 defa yapraktan uygulama)
- 4) %0.2 P H_3PO_4 (2 defa yapraktan uygulama)
- 5) %0.2 P Nano-P (2 defa yapraktan uygulama)

Deneme 1 ve 2’de sırası ile nano-P (nano hidroksi apatit) ve BK kaplı DAP (BK-DAP) deneme planında belirtildiği gibi taban gübresi olarak kullanılmıştır. Deneme 3’te ise tüm parsellere taban gübresi olarak 20 kg DAP da^{-1} uygulanmıştır.

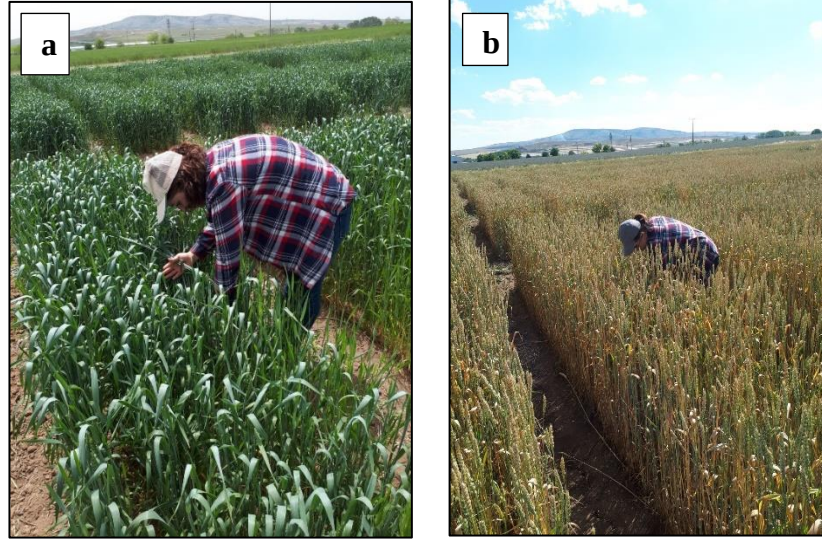
Üst gübre olarak parsellerin tamamına 6 kg N da^{-1} olacak şekilde Amonyum nitrat (%33 N) gübresi 1. ve 2. yıl sırasıyla 27.03.2018 ve 20.03.2019 tarihlerinde verilmiştir (Şekil 3.9).

Deneme parselleri, yabancı ota karşı Buctril (35 ml da^{-1}), Atlantis (30 g da^{-1}) ve Biopower (100 ml da^{-1}) ile 1. yıl 04.04.2018 ve 2. yıl 05.04.2019 tarihlerinde ilaçlanmıştır.



Şekil 3.9 Parsellere üst gübre uygulaması

Başaklanma başlangıcında 1. yıl (16.05.2018) ve 2. yıl (23.05.2019) parsellerin tamamından gübre uygulamalarının etkisini görebilmek ve homojenliği kontrol edebilmek amacıyla her parselden 10 bitki örneği (tüm bitki) alınmıştır (Şekil 3.10a).



Şekil 3.10 Başaklanma başlangıcında (a) ve sonunda (b) deneme parsellerinden bitki örneklerin alınması

Deneme 3'te 2 farklı P kaynağı (H_3PO_4 ve nano-P) 2 ayrı dönemde (başaklanma başlangıcı ve sonu 1 ve 2 defa olmak üzere) yapraklara püskürtülerek uygulamıştır (Şekil 3.11). Başaklanma başlangıcında yapraklara %0.2 P içeren H_3PO_4 ve nano-P çözeltilerinden her parsele 300 mL birinci yıl sırasıyla 16.05.2018 ve 23.05.2019 tarihlerinde uygulanmıştır. Birinci gübrelemeden yaklaşık 2 hafta sonra (04.06.2018 ve 11.06.2019) uygulamaların etkisini belirleyebilmek için her parselden 10 adet tüm bitki örneği alınmıştır (Şekil 3.10a). Başaklanma sonu (2. gübreleme) dönemine denk gelen aynı tarihlerde yapraklara 400 mL'lik çözelti (w/v) uygulanmıştır. Uygulamaların etkisini belirleyebilmek için 13.06.2018 ve 27.06.2019 tarihlerinde her parselden 10 adet olacak şekilde tüm bitki örneği alınmıştır (Şekil 3.10b). Yapraktan gübre uygulamalarımızın etkinliğini artırmak amacıyla yayıcı-yapıştırıcı (%0.01 v/v) iki yılda da kullanılmıştır. Kontrol parsellerine uygulamada kullanılan çözelti miktarı kadar saf su verilmiştir.



Şekil 3.11 Başaklanma başlangıcında (a) ve başaklanma sonunda (b) yapraktan P uygulanması

Hasat indeksinin belirlenmesi amacıyla hasat olgunluğuna erişen bitkilerde şablon örneklemeleri birinci ve ikinci yıl sırasıyla 16.07.2018 ve 21.07.2019 tarihlerinde yapılmıştır. Bu amaçla 0.25 m² alana sahip şablonlar parsel içerisine rastgele bırakılmış ve şablon içerisinde kalan bitkiler temiz bir çim biçme makasıyla toprak yüzeyinden kesilmiştir (Şekil 3.12a). Parsellerden alınan bitkiler demet haline getirilip bağlanmış ve laboratuvara nakledilmiştir (Şekil 3.12b). Laboratuvara getirilen demetler hassas terazide tartılarak şablon biyolojik verimi (Şekil 3.12c) ve harman makinası ile taneler ayrılarak (Şekil 3.12d) şablon tane verimi belirlenmiştir (Şekil 3.12e). Burada belirlenen bu değerler kullanılarak hasat indeksi hesaplanmıştır.



Şekil 3.12 Hasat indeksinin belirlenmesi için şablonla örnekleme yapılması (a), örneklerin demet haline getirilip bağlanması (b), şablon veriminin belirlenmesi (c), tanelerin kavuzlarından ayrılması (d), şablon tane veriminin belirlenmesi (e)



Şekil 3.13 Parsel hasatlarının yapılması (a), tane veriminin belirlenmesi (b), tanelerin analizlerde kullanılmak üzere öğütülmesi (c) ve bin tane ağırlıklarının belirlenmesi (d)

Şablon ile örnekleme yapılan parsellerin geri kalan kısımları parsel biçerdöveri ile (16.07.2018 ve 06.08.2019) hasat edilmiştir (Şekil 3.13a). Her parselde ait taneler kese kağıtlarına konularak laboratuvara nakledilmiştir. Parsel biçerdöveri ile hasat edilen taneler hassas terazide tartılarak tane verimi belirlenmiştir (Şekil 3.13b), her parselde ait kese kağıdından tesadüfi olarak alınan yaklaşık 100 g tane örneklerinin bir kısmı besin elementi analizleri için öğütülmüş (Şekil 3.13c), diğer kısmında 1000 tane ağırlığının belirlenmesi amacıyla sayım işlemleri yapılmıştır (Şekil 3.13d).

3.2.6 Bitki ve tane örneklerinde yapılan analizler ve ölçümler

3.2.6.1 Bitki örneklerinin analize hazırlanması

Örnekleme dönemlerinde alınan bitki örnekleri ile hasat döneminde alınan tanelerde başta P olmak üzere, makro (N, K, Ca ve Mg) ve mikro (Fe, Zn, Cu ve Mn) besin elementleri belirlenmiştir. Birinci ve ikinci deneme için başaklanma öncesinde alınan bitki örnekleri 2 kez çeşme suyu ve 2 kez saf su ile yıkandıktan sonra 65 °C’de havalı

kurutma dolabında sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Üçüncü denemede alınan bitki örnekleri ise özellikle P bulaşmasını engellemek amacıyla 0.2 N HCl ile yıkanmış (Ulrich 1948), daha sonra 2 kez çeşme suyu ve 2 kez saf su ile yıkandıktan sonra 65 °C’de havalı kurutma dolabında sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan bitki örnekleri ile hasat edilen tane örnekleri çelik iç aksamaya sahip öğütücüler ile öğütülerek analize hazır hale getirilmiş ve nem almayacak şekilde saklanmıştır. Besin elementi konsantrasyonlarının belirlenmesi amacı ile öğütülen bitki ve tane örnekleri HNO₃-HClO₄ (4:1) ile yaş yakma işlemine tabi tutulmuş, 50 ml son hacme saf su ile tamamlanmış (Jones 2001) ve mavi bant filtre kağıdından süzölmüştür.

3.2.6.2 Bitki ve tane örneklerinde yapılan analizler

Toplam azot (N) ve tane protein oranı: Bitki ve tane örneklerinde toplam N, Nelson ve Sommers (1980) tarafından bildirildiği şekilde Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir. Tane protein oranı toplam N konsantrasyonunun 6.25 faktörü ile çarpılmasıyla bulunmuştur.

Toplam fosfor (P): Bitki ve tane örneklerinin yaş yakma yöntemine göre yakılmasıyla elde edilen çözeltideki toplam P konsantrasyonu, vanadomolibdofosforik sarı renk yöntemine göre Shimadzu model UV 1210 spektrofotometresinde belirlenmiştir (Barton 1948).

Toplam potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg): Bitki ve tane örneklerinin yaş yakma yöntemine göre yakılmasıyla elde edilen çözeltideki toplam K, Ca ve Mg konsantrasyonları Perkin Elmer Optima 2100 DV ICP-OES cihazı ile belirlenmiştir (Temminghoff ve Houba 2004).

Toplam demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn): Bitki ve tane örneklerinin yaş yakma yöntemine göre yakılmasıyla elde edilen çözeltideki toplam Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları Perkin Elmer Optima 2100 DV ICP-OES cihazı ile belirlenmiştir (Temminghoff ve Houba 2004).

Yapılan analizler sonucunda elde edilen değerler çizelge 3.3’de verilmiş olan Jones vd. (1991) tarafından belirlenen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.3 Buğdaydan başaklanma öncesinde alınan yaprak örneklerinde bitki besin maddelerinin kritik düzeyleri (Jones vd. 1991)

Bitki Bitki Kısım Örnekleme Zamanı	Buğday Vejetatif aksam Başaklanma		
Element	Noksan	Yeterli	Fazla
N, g kg ⁻¹	10-19.9	20-30	>30
P, g kg ⁻¹	1.5-1.9	2-5	>5
K, g kg ⁻¹	12.5-14.9	15-30	>30
Ca, g kg ⁻¹	<2	2-5	>5
Mg, g kg ⁻¹	<1.5	1.5-5	>5
Cu, mg kg ⁻¹	<5	5-25	>25
Fe, mg kg ⁻¹	<25	25-100	>100
Mn, mg kg ⁻¹	5-24	25-100	>100
Zn, mg kg ⁻¹	<15	15-70	>70

3.2.6.3 Verim öğeleri

Tane verimi: Parsel biçerdöveri ile hasat edilen taneler tartılmış ve bulunan sonuçlar kg da⁻¹ olarak ifade edilmiştir (Adak 1994).

Şablon biyolojik verim: Hasat öncesinde parsellere konulan 0.25 m² lik şablonların içinde kalan bitkilerin (sap+başak) toprak yüzeyinden bir makas yardımıyla kesilip tartılmasıyla bulunmuş ve g 0.25 m⁻² olarak ifade edilmiştir (Adak 1994).

Şablon tane verimi: Hasat öncesinde parsellere konulan 0.25 m² lik şablonların içinde kalan bitkilerde harman işlemi yapılmış ve elde edilen taneler tartılarak bulunan sonuçlar g 0.25 m⁻² olarak ifade edilmiştir (Adak 1994).

Hasat indeksi: Şablon tane veriminin, şablon biyolojik verimine bölünmesi ve bulunan değer 100 ile çarpılması sonucunda % olarak belirlenmiştir (Adak 1994).

1000 tane ağırlığı: Her parselden alınan tanelerden 4 adet 100 tane sayılmış ve tartılmış, bunların ortalaması 10 ile çarpılıp, bulunan sonuç g olarak ifade edilmiştir (Adak 1994).

3.2.7 İstatistik analizler

Araştırma sonunda elde edilen verilere uygulamaların etkisinin önemliliği, tesadüf parselleri deneme desenine göre MINITAB 17 paket programı kullanılarak tek yönlü ANOVA testi ile belirlenmiştir. Ortalamalar arasındaki farkın önemlilik durumu MSTAT paket programı kullanılarak, Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile belirlenmiştir (Düzgüneş 1963).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Deneme Alanlarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Yapılan tez çalışmasında tarla denemeleri 2 yıl süre ile (1. yıl: 2017-2018 ve 2. yıl: 2018-2019) A.Ü.Z.F Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde farklı yerlerde kurulmuştur. Çalışmanın yapıldığı yıllarda deneme alanlarının bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri çizelge 4.1’de verilmiştir.

Birinci yıl deneme toprağının; killi tın bünyeli, tuzsuz, hafif alkali, fazla kireçli; organik madde ve bitkiye yarayışlı çinko içeriklerinin yetersiz; toplam N ile bitkiye yarayışlı Fe, Cu ve Mn içeriklerinin yeterli, değişebilir K, Mg ve Ca içeriklerinin ise fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca deneme alanının bitkiye yarayışlı P içeriğinin yeterlilik seviyesinin alt sınırında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.1 Çalışmanın yapıldığı yıllarda deneme alanı toprağının bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri

Toprak Özelliği	Birim	Miktar	
		1. Yıl	2. Yıl
Tekstür Sınıfı	% Kil	31.9	62.9
(1. yıl killi tın)	% Silt	27.8	12.5
(2. yıl kil)	% Kum	40.3	24.6
pH	1:2.5 (toprak:su)	7.96	7.86
Elektriksel İletkenlik (EC)	dS m ⁻¹	0.30	0.19
Kireç (CaCO₃)	g kg ⁻¹	194	218
Organik Madde	g kg ⁻¹	17.8	17.1
Toplam Azot (N)	g kg ⁻¹	0.90	1.50
Bitkiye Yarayışlı Fosfor (P)	mg kg ⁻¹	8.47	8.17
Değişebilir Potasyum (K)	mg kg ⁻¹	845	455
Değişebilir Kalsiyum (Ca)	mg kg ⁻¹	10849	8973
Değişebilir Magnezyum (Mg)	mg kg ⁻¹	1024	1278
Bitkiye Yarayışlı Demir (Fe)	mg kg ⁻¹	4.78	8.56
Bitkiye Yarayışlı Çinko (Zn)	mg kg ⁻¹	0.27	0.46
Bitkiye Yarayışlı Bakır (Cu)	mg kg ⁻¹	1.68	1.22
Bitkiye Yarayışlı Mangan (Mn)	mg kg ⁻¹	14.6	12.2

İkinci yıl deneme toprağının ise; kil bünyeli, hafif alkali, tuzsuz, fazla kireçli olduğu, organik madde, bitkiye yarayışlı Zn ve Mn içeriklerinin yetersiz, toplam N, bitkiye

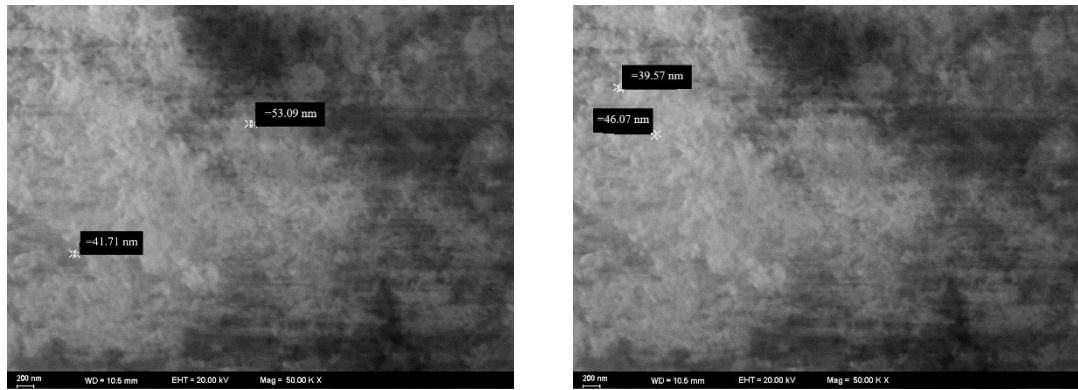
yarayışlı Cu içeriklerinin yeterli, değışebilir K, Ca, Mg ve bitkiye yarayışlı Fe içeriklerinin fazla olduğu bulunmuştur. Bitkiye yarayışlı P içeriğinin ise yeterlilik seviyesinin alt sınırında olduğu tespit edilmiştir.

4.2 Denemede Kullanılan Gübre Materyallerinin Yapısal Özellikleri

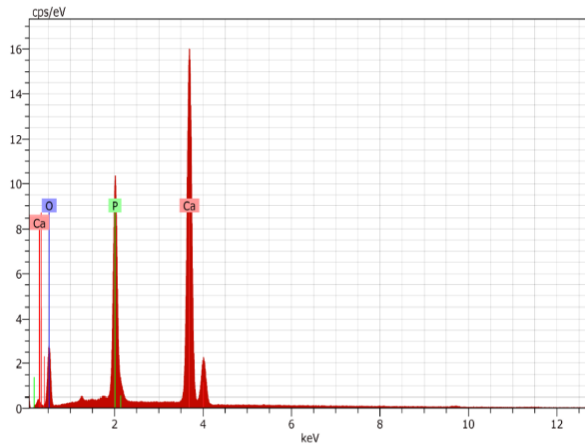
4.2.1 Nano P'un bazı yapısal özellikleri

4.2.1.1 SEM cihazı ile boyut analizi

Laboratuvar koşullarında elde edilen nano-P'un SEM cihazı ile yapılan boyut analizi sonucunda, materyalin farklı bölgelerindeki (10 farklı bölgeden alınan görüntü sonucunda) parçacık boyutlarının 100 nm'den küçük olduğu belirlenmiştir. Bu görüntülerden bazıları şekil 4.1 a ve b'de görölmektedir. Boyutları ve şekilleri incelendiğinde nano-P'un bir arada bulunma eğiliminde olan nanometrik parçacıklar olduğu ve parçacık boyutlarının 39-53 nm arasında değışim gösterdiğı belirlenmiştir. SEM analizi ile birlikte yapılan EDX analizi sonucunda elde edilen nano-P görüntüsünün literatürlerdeki çalışmalara (Chandrasekar vd. 2013, Watanabe vd. 2014) benzer olduğu, Ca/P oranının (2.00) ise Trommer vd. (2007) tarafından bildirilen insan kemiğindeki orana (1.68) yakın olduğu saptanmıştır. Ayrıca elementel analiz sonucunda bulunan değerin (%12.94 P) EDX sonucunda bulunan P konsantrasyonuna (%13.84 P) yakın olduğu da tespit edilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.1 Laboratuvar koşullarında elde edilen nano-P'un farklı noktalarına ait SEM görüntüleri

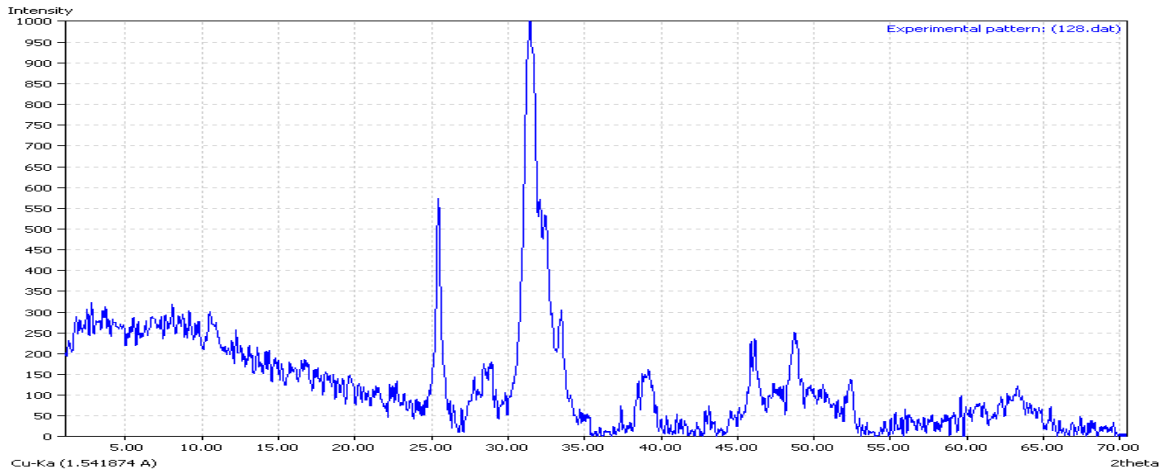


Spectrum: Acquisition					
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]
					Error [%]
Ca	20	K-series	44.10	44.93	27.75
O	8	K-series	37.06	37.75	58.41
P	15	K-series	16.99	17.31	13.84
Total:			98.15	100.00	100.00

Şekil 4.2 Laboratuvar koşullarında elde edilen nano-P'un SEM ile birlikte belirlenen EDX görüntüsü ve içerdiği element konsantrasyonları (%)

4.2.1.2 XRD analizi

XRD verileri oda sıcaklığında ve 20-80 (2 θ) aralığında alınmıştır. Sentezlenen nano-P'un XRD deseni şekil 4.3'de verilmiştir. Nano-P'un XRD deseni incelendiğinde gözlenebilen pik değerlerinin (25.5, 31.5, 31.7, 32.1 ve 32.5) çeşitli araştırmacılarca (Chen vd. 2018, Thanh vd. 2018) bildirilen hidroksiapatite ait karakteristik pik değerleri (25.9, 31.8, 32.2 ve 32.9) ile uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.3 Sentezlenen nano-P'a ait XRD deseni

XRD yöntemi ile sentezlenen partiküllerin ortalama büyüklüğü hakkında da bilgi edinilmektedir. Aşağıda verilen Scherer denklemi yardımıyla partiküllerin ortalama çapı hesaplanabilmektedir.

$$d = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta}$$

d: Ortalama partikül çapı (nm)

λ : XRD cihazındaki lambanın dalga boyu (Cu tüp için 0.154056 nm ve Co tüp için 0.178897nm)

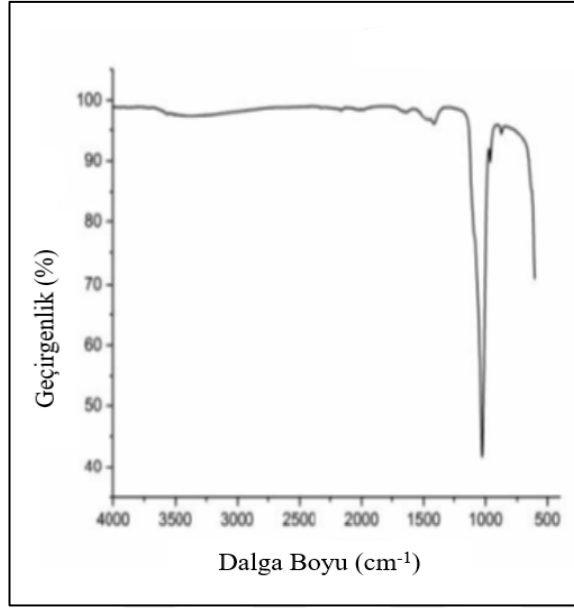
β : En geniş pikin yarı yüksekliğindeki 2 theta genişliğinin radyan karşılığı

θ : Bragg açısı

Bu denklem kullanılarak, sentezlenen nano-P'un ortalama partikül çapının 39.87 nm olduğu hesaplanmıştır.

4.2.1.3 FTIR analizi

Laboratuvar koşullarında üretilen sentetik nano-P'a ait fonksiyonel gruplar FTIR spektrometresiyle belirlenmiştir. Bu yöntemle göre FTIR spektrumları 500-4000 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında incelenmiştir (Şekil 4.4). Spektrum taramasında 1000 cm⁻¹ civarında belirlenen en belirgin pikin asimetrik gerilme piki olduğu ve bu pikin PO₄⁻³ gruplarına ait karakteristik pikler arasında olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da (Kottegoda vd. 2011, Guo vd. 2017, Okur ve Koyuncu 2020) bildirilmiştir. 1400 ve 1600 cm⁻¹ civarlarında zayıf piklerle karşılaşılmış ve bu durum sentezlenen hidroksiapatitteki CO₃⁻² gruplarının asimetrik gerilmeleri nedeniyle oluşmuştur. 3500 cm⁻¹ civarında belirlenen zayıf ama geniş pikler ise OH⁻ gruplarının bükülme titreşimleri nedeniyle meydana gelmiştir. 570 cm⁻¹ civarında belirlenen keskin pikin PO₄⁻³ gruplarının asimetrik bükülme titreşimi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada sentezlenen hidroksiapatitin pH değeri 12 olduğundan, elde edilen FTIR spektrumları sonucunda hidroksiapatit piklerinin oldukça belirgin olduğu ve hidroksiapatit yapısının oluştuğu belirlenmiştir. Çeşitli araştırmacılar pH 9'un altında sentezlenen hidroksiapatitlerde yapının tam olarak oluşmadığını, 9 ve üzeri pH değerlerinde ise yapının iyi bir şekilde gözlemlenebildiğini bildirmişlerdir (Narendran vd. 2018, Wolff vd. 2018, Bensalah vd. 2018).



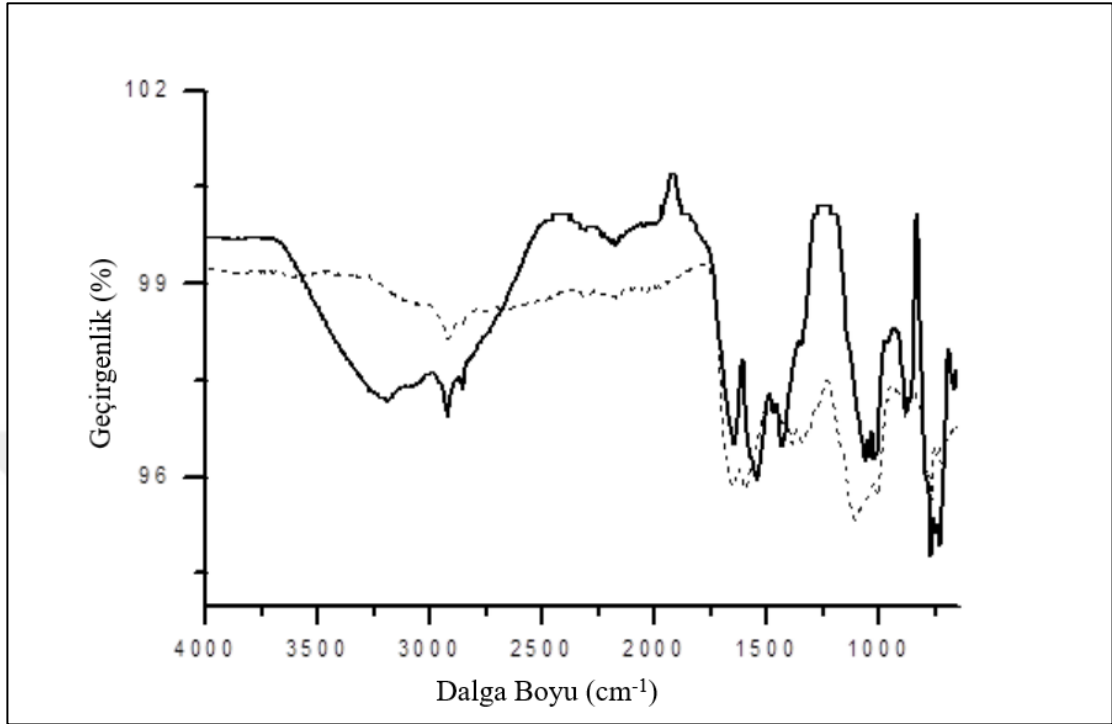
Şekil 4.4 Nano-P'a ait FTIR spektrumu

4.2.2 Biyokömürün bazı yapısal özellikleri

4.2.2.1 FTIR analizi

Bu tezde ikinci strateji olarak ele alınan ve DAP gübresinin kaplanmasında kullanılan BK ve ham maddesi olan tavuk gübresine ait FTIR spektrumu Şekil 4.5’de verilmiştir. Şekil 4.5’de düz çizgi ile gösterilen curve tavuk gübresinin, kesikli çizgi ise BK’nın FTIR spektrumlarını göstermektedir. FTIR spektrumları 700-4000 cm^{-1} dalga sayısı aralığında incelenmiştir. FTIR analizi öncesinde numuneler sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulduğu için 3440 cm^{-1} civarında görülen geniş bandın tavuk gübresindeki bağlı su ve O-H/N-H bağlarından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bu bant tarafından örtülen 2940-2860 cm^{-1} civarındaki keskin pik tavuk gübresinde ve BK’da alifatik hidrokarbonların bulunduğunu göstermiştir. Diğer taraftan BK’ya ait spektrum düzeyleri nemin tükendiğini açık bir şekilde göstermiştir. Biyokömürde gözlemlenen alifatik hidrokarbonların sinyal düzeylerindeki azalma muhtemelen C-OH gruplarının dehidrasyonu ve hidrokarbon bağlarının kırılmasından kaynaklanmıştır. Biyokömürde C=O fonksiyonel grupları 1660-1655 cm^{-1} arasında kuvvetli pikler göstermiştir. Bu durumun alifatik C-H ve C-OH gruplarının parçalanması nedeniyle C=O (karbonil) gruplarının artışından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Glaser vd. (2002) düşük sıcaklıkta elde edilen BK’nın (250-400 °C) C=O ve C-H fonksiyonel grupları

bakımından zengin olduğunu ve bu durumun bol miktarda besin maddesi değişim yüzeyi sağladığını bildirmişlerdir.

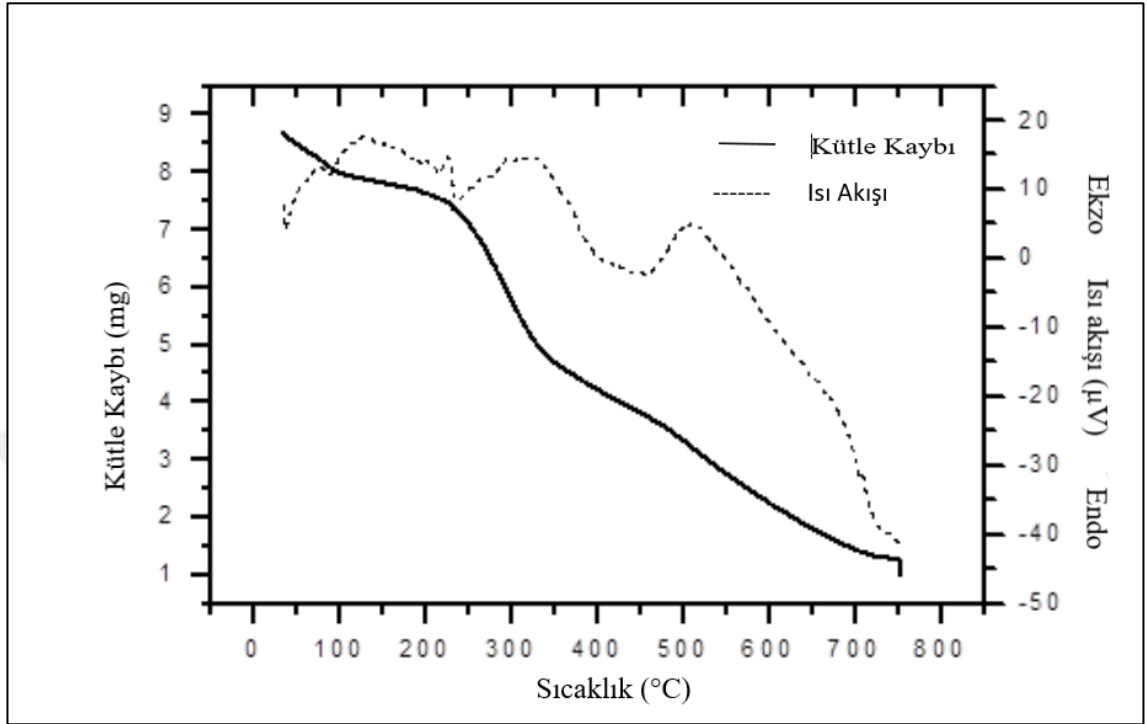


Şekil 4.5 Tavuk gübresi ve tavuk gübresinden elde edilen BK'ya (tavuk gübresi ve BK) ait FTIR spektrumu

4.2.2.2 TGA analizi

Bu tezde ikinci strateji olarak ele alınan ve DAP gübresinin kaplanmasında kullanılan BK'nın elde edilmesinde ham madde olarak kullanılan tavuk gübresinde meydana gelen kütle kayıplarına ilişkin TGA ve DTA kurveleri şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6'dan görüldüğü gibi 238 °C'de başlayan piroliz işlemi 340 °C sıcaklığa yakın değerlere ulaşıldığında yavaşlamıştır. Şekil 4.6'da kesikli çizgilerle gösterilen DTA (Diferansiyel Termal Analiz) eğrisi, reaksiyonun yönünü (ekzotermik ya da endotermik) belirlemede yardımcı olmuştur. Tavuk gübresi pirolizin başlangıcında zayıf bir endotermik piki takiben kuvvetli bir ekzotermik pik oluşturmuştur. Bu durum tavuk gübresindeki NO₃ gibi oksidatif grupların tersine 230 °C'de endotermik parçalanmanın CO₂ ve SO₂ gibi bileşiklerin oluşumuna benzer tepkimelerin oluştuğunu göstermektedir. Bu yüzden sıcaklık arttıkça tepkime ekzotermik yöne dönmüştür. Gabbott (2008) tarafından da

belirtildiği gibi endotermiye yol açan sıcaklıklar nitrat tuzlarının parçalanma sıcaklıklarıdır.



Şekil 4.6 Tavuk gübresine ait TGA ve DTA eğrileri

4.2.2.3 Biyokömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Gübrenin kaplanmasında kullanılan biyokömürde pH 10.1, EC 12.3 dS m⁻¹, toplam N 36.1 g kg⁻¹, toplam P 20.6 g kg⁻¹, toplam K 53.5 g kg⁻¹, toplam Ca 65.3 g kg⁻¹, toplam Mg 12.3 g kg⁻¹, toplam Fe 2200 mg kg⁻¹, toplam Zn 950 mg kg⁻¹, toplam Mn 1200 mg kg⁻¹ ve toplam Cu 1000 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Ayrıca kaplama işlemi sonrasında elde edilen gübrenin toplam P içeriği %19.6 olarak belirlenmiştir.

4.3 Buğday Bitkisine Ait Bulgular

Buğday yetiştiriciliği yapılan alanlarda 3 farklı strateji ile tabandan ve yapraktan uygulanan P'un verim öğelerinin yanı sıra tüm bitki örnekleri ile tanede makro ve mikro element konsantrasyonlarına etkisi belirlenmiş ve sonuçlar değerlendirilerek aşağıda her strateji için ayrı olarak verilmiştir.

4.3.1 Nano fosforlu gübre denemesi

4.3.1.1 Nano fosforlu gübre uygulamalarının verim öğeleri üzerine etkisi

Çalışmanın yapıldığı iki üretim sezonunda (sırasıyla 2017-2018 ve 2018-2019) nano-P uygulamalarının buğdayda verim öğelerine (tane verimi, bin tane ağırlığı, şablon biyolojik verim, şablon tane verimi, hasat indeksi ve tane protein oranı) etkisi çizelge 4.2 ve şekil 4.7’de verilmiştir.

Uygulamaların birinci yıl tane verimi, bin tane ağırlığı, şablon tane verimi ve şablon biyolojik verimi üzerine etkisi önemli olurken ($p<0.05$), hasat indeksi ve tane protein oranı üzerine etkisinin istatistiki açıdan önemsiz ($p>0.05$) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Birinci yıl tane verimi incelendiğinde; en yüksek değere referans ($8 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ DAP) uygulama (497 kg da^{-1}) ile ulaşıldığı, nano-P uygulamaları sonucunda elde edilen verimlerinin ise bu uygulamadan önemli oranda düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca nano-P uygulamaları ile elde edilen verimler arasında istatistiksel anlamda önemli bir fark belirlenmemiştir.

Verimi doğrudan etkileyen en önemli verim öğelerinden biri olan bin tane ağırlığı 2017-2018 üretim sezonunda yapılan P uygulamalarına bağlı olarak $50.2\text{-}54.2 \text{ g}$ arasında değişim göstermiştir. Referans uygulama tane veriminde olduğu gibi bin tane ağırlığını da en fazla artıran uygulama olurken, nano-P uygulamaları ile elde edilen 1000 tane ağırlıkları arasında istatistiki açıdan önemli bir fark saptanmamıştır.

Hasat indeksinin hesaplanmasında kullanılan şablon tane verimi ve şablon biyolojik verim değerleri üzerine 1. yıl P uygulamalarının etkisi incelendiğinde referans uygulamanın ön plana çıktığı görülmektedir. Bununla birlikte, şablon biyolojik verim değerleri bakımından referans uygulama ile $6 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ nano-P uygulaması aynı sınıfta yer alırken, 8 ve $4 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ nano-P uygulamaları referans uygulamadan daha düşük şablon biyolojik verimine neden olmuştur. Referans uygulama ile elde edilen şablon tane veriminin ($183 \text{ g } 0.25 \text{ m}^{-2}$) nano-P uygulamalarından elde edilen değerlere göre ($8, 6, 4 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ sırasıyla $134, 155, 142 \text{ g } 0.25 \text{ m}^{-2}$) önemli oranda yüksek

olduğu, nano-P dozları arasında ise şablon tane verimi açısından bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir.

Birinci yıl P uygulamalarına bağılı olarak hasat indeksi değęerlerinin %38.3-39.5 ve tane protein oranı değęerlerinin ise %15.1-16.1 arasında değışim gösterdiği ve bu farkların istatistiki anlamda önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan P'lu gübrelerin ikinci yılda (2018-2019 üretim sezonu) şablon tane verimi, şablon biyolojik verimi ve hasat indeksi üzerine etkisi önemli olurken ($p<0.05$), tane verimi, bin tane ağırlığı ve tane protein oranına etkisi önemsiz ($p>0.05$) olmuştur (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).

İkinci yılda referans uygulamaya göre 8 ve 4 kg P_2O_5 da⁻¹ nano-P uygulamaları ile daha fazla şablon biyolojik verim elde edilirken, nano-P dozları arasında istatistiksel manada bir fark bulunmamıştır. Şablon tane verimi bakımından nano-P uygulamalarının 2. yılda ön plana çıktığı ve referans uygulamayla karşılaştırıldıklarında bu uygulamalar ile daha fazla şablon tane verimi elde edildiği belirlenmiştir. Diğer taraftan nano-P dozları arasında şablon tane verimi bakımından önemli bir fark saptanmamıştır.

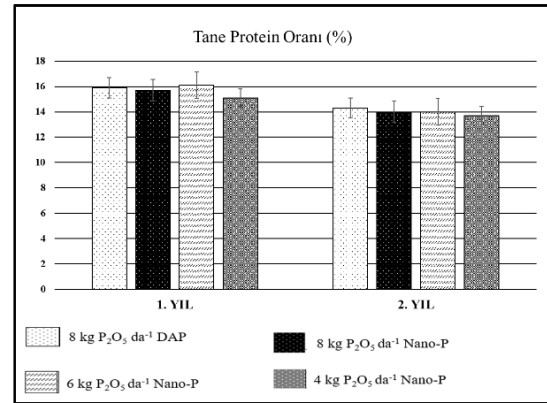
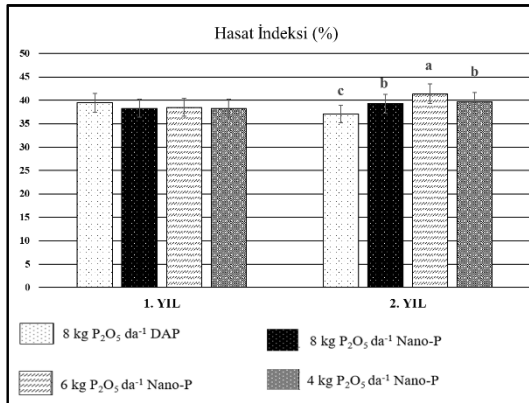
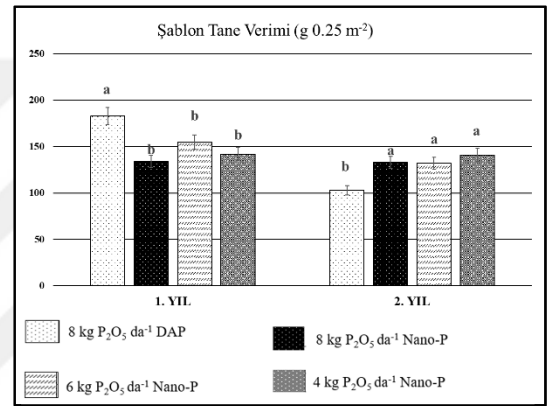
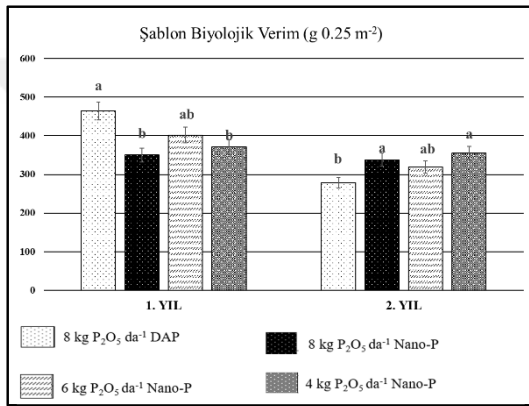
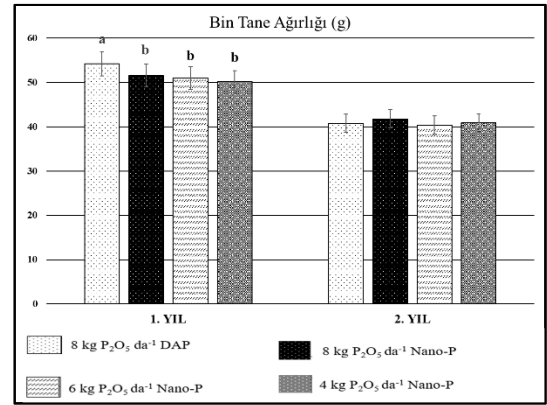
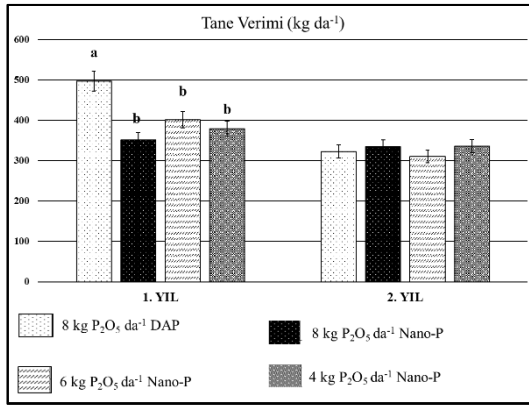
İkinci yıl hasat indeksi değęerleri incelendiğinde, en yüksek değęere 6 kg P_2O_5 da⁻¹ nano-P (%41.4), en düşük değęere ise referans uygulama ile (%37.1) ulaşıldığı belirlenmiştir. Uygulanan nano-P dozlarının tamamı ile elde edilen hasat indeksi değęerleri referans uygulamadan daha yüksek olurken, 8 ve 4 kg P_2O_5 da⁻¹ nano-P dozları arasında ise istatistiksel önemli bir fark bulunmamıştır.

2018-2019 üretim sezonunda buğdaya uygulanan P'lu gübrelerin tane verimi (310-336 kg da⁻¹), bin tane ağırlığı (40.4-41.8 g) ve tane protein oranında (%13.7-14.3) meydana getirdiği değışimler istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.2 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl verim öğeleri üzerine etkisi

Uygulamalar	Tane Verimi (kg da ⁻¹)	Bin Tane Ağırlığı (g)	Şablon Biyolojik Verimi (g 0.25 m ⁻²)	Şablon Tane Verimi (g 0.25 m ⁻²)	Hasat İndeksi (%)	Tane Protein Oranı (%)
I. YIL (2017-2018)						
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	497±20.8 a	54.2±0.32 a	464±27.9 a	183±11.1 a	39.5±0.75	15.9±0.23
8 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	352±16.7 b	51.6±0.85 b	350±23.0 b	134±9.05 b	38.3±0.76	15.7±0.49
6 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	401±36.9 b	51.0±0.59 b	402±21.9 ab	155±8.23 b	38.5±0.48	16.1±0.35
4 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	379±8.82 b	50.2±0.87 b	371±9.91 b	142±2.38 b	38.3±0.66	15.1±0.09
F değeri	7.43**	6.10**	5.31**	6.79**	0.77 ^{öd.}	1.49 ^{öd.}
LSD değeri	69.5	2.08	65.1	25.1	-	-
II. YIL (2018-2019)						
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	323±12.1	40.8±0.41	279±20.0 b	103±7.09 b	37.1±0.37 c	14.3±0.33
8 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	335±19.6	41.8±0.45	338±17.2 a	133±7.44 a	39.3±0.34 b	14.0±0.10
6 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	310±16.6	40.4±0.83	319±14.7 ab	132±7.02 a	41.4±0.46 a	14.0±0.16
4 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	336±16.8	40.9±0.25	355±12.2 a	141±5.36 a	39.7±0.48 b	13.7±0.18
F değeri	0.55 ^{öd.}	1.27 ^{öd.}	4.07*	6.05**	18.7**	1.54 ^{öd.}
LSD değeri	-	-	48.8	20.3	1.24	-

*: p<0.05; **: p<0.01; öd: önemli değil



Şekil 4.7 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl verim öğeleri üzerine etkisi

4.3.1.2 Nano fosforlu gübre uygulamalarının bitki ve tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi

Nano-P uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki ve tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkisi sırasıyla çizelge 4.3 ve 4.4 ile şekil 4.8 ve 4.9’da verilmiştir.

2017-2018 üretim sezonunda buğdaya uygulanan P’lu gübrelerin bitki P konsantrasyonlarına etkisi önemli olurken ($p<0.05$), tane P konsantrasyonlarına etkisi ise önemsiz ($p>0.05$) olmuştur (Çizelge 4.3).

İlk yılda nano-P uygulamalarının tamamı ile elde edilen bitki P konsantrasyonlarının referans uygulamaya göre daha yüksek olduğu ve nano-P dozları arasında önemli bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Çalışmada 1. yıl tane P konsantrasyonlarının 3.64-3.84 g kg⁻¹ arasında değiştiği fakat bu değişimin istatistiki açıdan önemli olmadığı bulunmuştur.

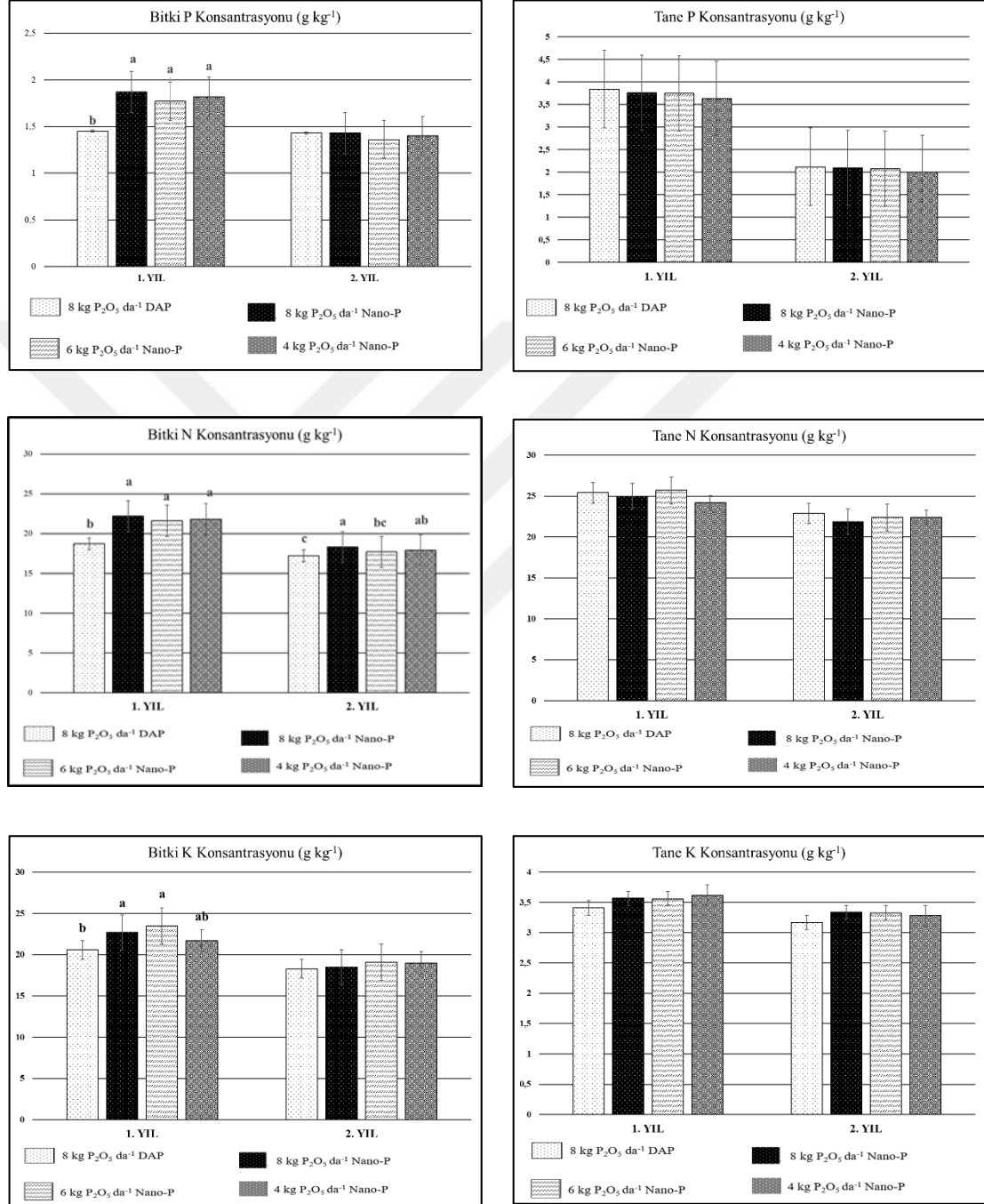
Birinci yıl yapılan P uygulamalarının bitki N konsantrasyonlarına etkisi önemli ($p<0.05$), tane N konsantrasyonlarına etkisi ise önemsiz ($p>0.05$) olmuştur (Çizelge 4.3).

Fosfor uygulamaları sonucunda 1. yılda belirlenen bitki N konsantrasyonlarının referans uygulamada en düşük (18.7 g kg⁻¹) olduğu ve nano-P uygulamalarının tamamı ile elde edilen değerlerin bu uygulamadan önemli oranda yüksek olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan nano-P dozları bitki N konsantrasyonu bakımından aynı sınıfta yer almıştır. Uygulamalar sonrasında ilk yıl tane N konsantrasyonlarının 24.2 - 25.7 g kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği fakat bu değişimin önemli olmadığı bulunmuştur.

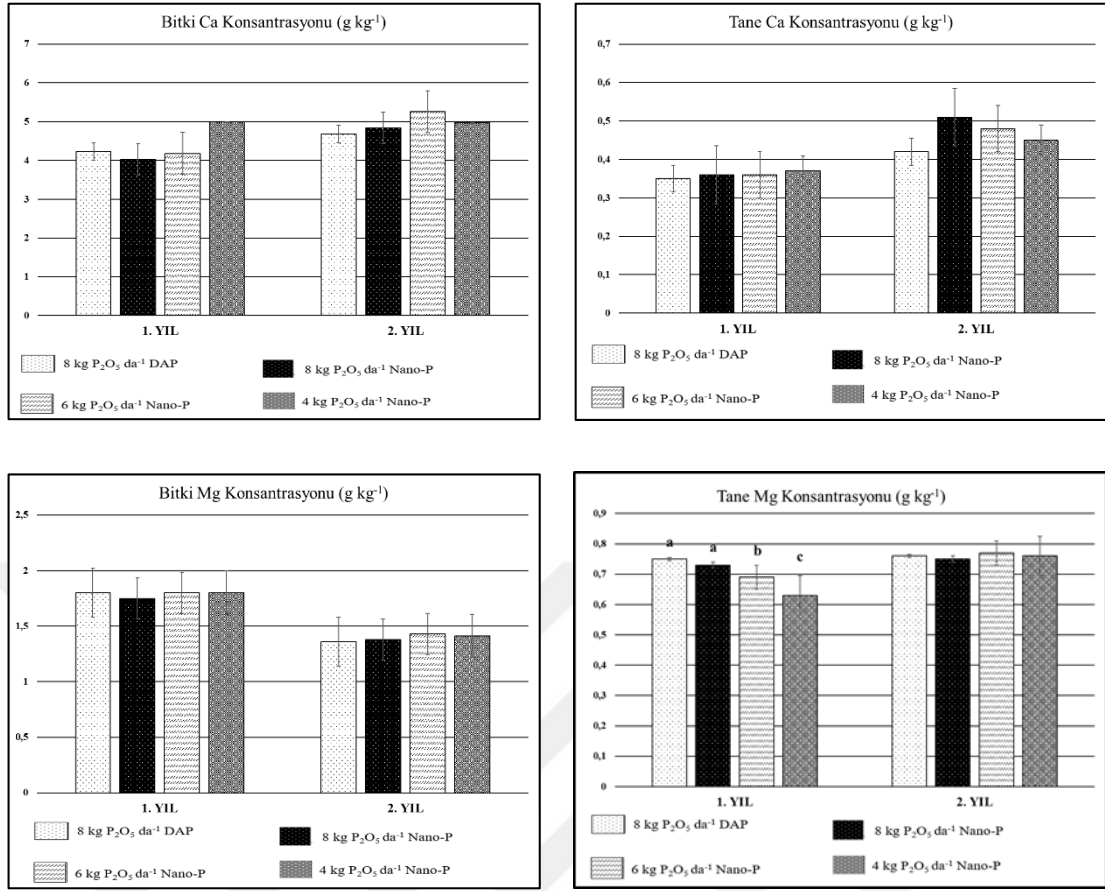
Bitki P ve N konsantrasyonlarında olduğu gibi K konsantrasyonu da ilk yılda yapılan P uygulamalarından önemli düzeyde etkilenirken ($p<0.05$), tane K konsantrasyonu üzerine uygulamaların etkisinin önemsiz olduğu ($p>0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.3).

İlk yıl sonuçlarına göre; referans uygulamanın bitki K konsantrasyonu üzerine etkisinin, 4 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P uygulaması ile aynı olduğu; 8 ve 6 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P uygulamalarından ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. Nano-P uygulamaları arasında ise istatistiksel manada bir fark bulunamamıştır.

Birinci yıl yapılan P uygulamalarına bağlı olarak bitki ($4.02-4.99 \text{ g kg}^{-1}$) ve tane ($0.35-0.37 \text{ g kg}^{-1}$) Ca konsantrasyonlarında meydana gelen değişimlerin önemsiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.3, $p>0.05$).



Şekil 4.8 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane P, N ve K konsantrasyonları üzerine etkisi



Şekil 4.9 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi

2017-2018 üretim sezonunda buğdaya uygulanan P'lu gübrelerin bitki Mg konsantrasyonu üzerine etkisi önemsiz olurken ($p>0.05$), tane Mg konsantrasyonu uygulamalardan önemli düzeyde etkilenmiştir (Çizelge 4.3, $p<0.05$).

Birinci yıl tane Mg konsantrasyonu bakımından referans uygulama (0.75 g kg^{-1}) ile $8 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ nano-P uygulaması (0.73 g kg^{-1}) istatistiksel anlamda aynı sınıfta yer alırken, diğer uygulamalara göre daha yüksek tane Mg konsantrasyonuna da neden olmuşlardır. Tane Mg konsantrasyonu bakımından bu uygulamaları sırasıyla $6 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ nano-P (0.69 g kg^{-1}) ve $4 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$ nano-P (0.63 g kg^{-1}) uygulamaları takip etmiştir.

Çizelge 4.3 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. yıl bitki-tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	P (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
Bitki					
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	1.45±0.04 b	18.7±0.82 b	20.6±0.71 b	4.23±0.20	1.80±0.03
8 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	1.87±0.09 a	22.2±0.59 a	22.7±0.29 a	4.02±0.34	1.75±0.04
6 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	1.77±0.07 a	21.6±0.22 a	23.5±0.86 a	4.18±0.38	1.80±0.07
4 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	1.82±0.05 a	21.8±0.36 a	21.7±0.57 ab	4.99±0.24	1.80±0.05
F değeri	8.62**	8.51**	3.92 *	2.15 ^{öd.}	0.27 ^{öd.}
LSD değeri	0.19	1.65	1.92	-	-
Tane					
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	3.84±0.06	25.4±0.37	3.41±0.09	0.35±0.01	0.75±0.01 a
8 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	3.76±0.09	25.0±0.79	3.57±0.09	0.36±0.01	0.73±0.01 a
6 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	3.75±0.07	25.7±0.55	3.56±0.05	0.36±0.01	0.69±0.01 b
4 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	3.64±0.08	24.2±0.15	3.62±0.07	0.37±0.01	0.63±0.01 c
F değeri	1.11 ^{öd.}	1.49 ^{öd.}	1.45 ^{öd.}	2.05 ^{öd.}	19.49**
LSD değeri	-	-	-	-	0.03

** : p<0.01; * : p<0.05; öd: önemli değil

Çalışmanın 2. yılında (2018-2019) uygulanan P'lu gübrelerin bitki ve tane P konsantrasyonları üzerine etkisinin önemsiz olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.4, p>0.05).

Fosfor uygulamalarına bağlı olarak 2. yıl bitki N konsantrasyonlarında meydana gelen değişimin önemli (p<0.05), tane N konsantrasyonlarında meydana gelen değişiminse (21.9- 22.9 g kg⁻¹) önemsiz (p>0.05) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

İkinci yıl referans uygulamaya göre 8 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P (18.3 g kg⁻¹) ve 4 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P (17.9 g kg⁻¹) uygulamaları ile daha yüksek bitki N konsantrasyonları belirlenirken, 6 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P uygulaması bitki N konsantrasyonu bakımından referans uygulama ile aynı sınıfta yer almıştır.

Buğdaya 2018-2019 üretim yılında uygulanan P'lu gübrelerin bitki ile tane K, Ca ve Mg konsantrasyonlarında meydana getirdiği değişimlerin istatistiki açıdan önemsiz olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.4, p>0.05).

Çizelge 4.4 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 2. yıl bitki-tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	P (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
Bitki					
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	1.43±0.01	17.2±0.28 c	18.3±0.20	4.68±0.3 6	1.36±0.04
8 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	1.43±0.04	18.3±0.16 a	18.5±0.41	4.84±0.0 6	1.38±0.07
6 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	1.36±0.01	17.7±0.17 bc	19.1±0.40	5.26±0.2 0	1.43±0.10
4 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	1.40±0.05	17.9±0.07 ab	19.0±0.39	4.97±0.2 4	1.41±0.05
F değeri	1.02 ^{öd.}	7.18**	1.03 ^{öd.}	1.04 ^{öd.}	0.20 ^{öd.}
LSD değeri	-	0.55	-	-	-
Tane					
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	2.12±0.05	22.9±0.52	3.17±0.04	0.42±0.01	0.76±0.01
8 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	2.10±0.02	21.9±0.29	3.34±0.06	0.51±0.02	0.75±0.02
6 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	2.08±0.11	22.4±0.26	3.33±0.08	0.48±0.04	0.77±0.03
4 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	2.00±0.11	22.4±0.16	3.28±0.06	0.45±0.02	0.76±0.01
F değeri	0.39 ^{öd.}	1.54 ^{öd.}	1.58 ^{öd.}	2.16 ^{öd.}	0.15 ^{öd.}
LSD değeri	-	-	-	-	-

** : p<0.01; öd: önemli değil

4.3.1.3 Nano fosforlu gübre uygulamalarının bitki ve tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi

Nano-P uygulamalarının 1. ve 2. yılda bitki ve tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonlarına etkisi sırasıyla çizelge 4.5 ve 4.6 ile şekil 4.10 ve 4.11'de verilmiştir.

Birinci yıl bitki ve tane Fe konsantrasyonları üzerine P uygulamalarının etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.5, p<0.05). İlk yıl sonuçlarına göre, 8 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P uygulamasının 72.2 mg kg⁻¹ Fe konsantrasyonu ile referans ve diğer nano-P uygulama dozlarından daha fazla bitki Fe konsantrasyonu sağladığı saptanmıştır.

Referans uygulama ile 6 ve 4 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P uygulamaları arasında bitki Fe konsantrasyonu bakımından istatistiksel bir fark belirlenmemiştir. Birinci yıl tane Fe konsantrasyonları incelendiğinde görüleceği üzere; referans uygulamaya göre 6 ve 4 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P uygulamaları ile artış sağlanmış, 8 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P uygulaması ise referans uygulama ile aynı sınıfta yer almıştır.

Çizelge 4.5 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. yıl bitki-tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)
Bitki				
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	55.5±3.19 b	17.9±0.23	7.05±0.54	76.0±2.40
8 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	72.2±3.51 a	18.6±0.70	7.18±0.74	78.3±3.95
6 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	61.2±4.61 b	20.2±1.50	8.04±0.27	85.6±5.38
4 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	61.3±0.81 b	19.8±1.22	8.37±0.44	86.3±5.40
F değeri	4.38*	1.01 ^{öd.}	1.51 ^{öd.}	1.35 ^{öd.}
LSD değeri	9.98	-	-	-
Tane				
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	23.4±0.71 c	18.5±0.86 b	4.91±0.19	31.6±1.04
8 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	28.8±2.18 bc	22.8±1.20 a	4.97±0.24	31.6±0.87
6 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	38.8±2.59 a	19.8±0.60 ab	5.80±0.26	32.8±0.59
4 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	35.2±4.36 ab	21.0±1.24 ab	5.11±0.24	30.1±0.55
F değeri	6.03**	3.28*	3.17 ^{öd.}	1.90 ^{öd.}
LSD değeri	8.35	3.03	-	-

** : p<0.01; * : p<0.05; öd: önemli değil

2017-2018 buğday üretim sezonunda uygulanan P'lu gübrelerin bitki Zn konsantrasyonları üzerine etkisi önemsiz olurken (p>0.05), tane Zn konsantrasyonları üzerine etkisinin önemli (p<0.05) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.5).

Fosfor uygulamaları sonrasında 1. yıl bitki Zn konsantrasyonlarının 17.9-20.2 mg kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği ve bu değişimin istatistiki açıdan önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Tane Zn konsantrasyonu bakımından 8 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P uygulaması ile referans uygulamaya göre önemli düzeyde artış sağlanmış fakat diğer nano-P dozları

referans uygulama ile aynı sınıfta yer almıştır. Nano-P uygulama dozları arasında tane Zn konsantrasyonu bakımından istatistiksel manada bir fark belirlenmemiştir.

Birinci yıl uygulanan P'a bağlı olarak bitki ve tane Cu ve Mn konsantrasyonlarında meydana gelen değişimlerin istatistiksel açıdan önemli olmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.5, $p>0.05$).

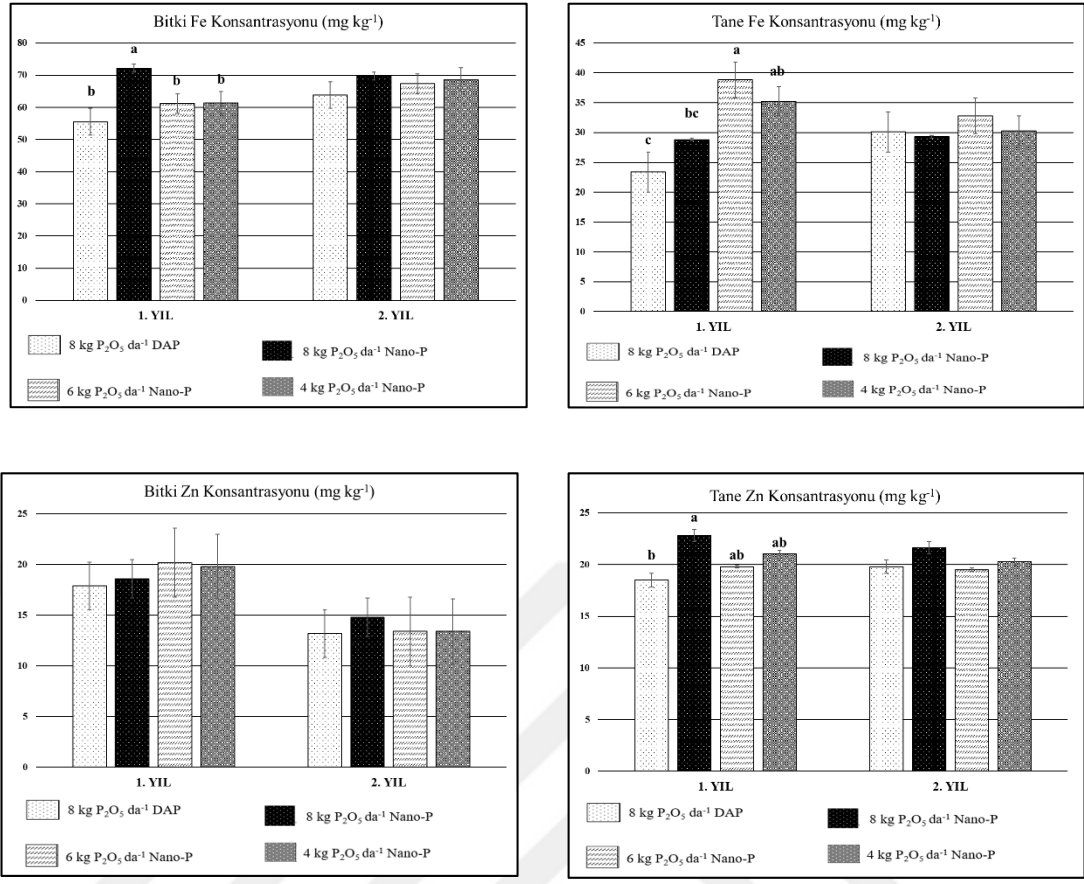
İkinci yıl taban gübresi olarak kullanılan P'lu gübrelerin bitki ve tane Fe konsantrasyonları üzerine etkisinin önemsiz olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.6, $p>0.05$).

2018-2019 üretim sezonunda bitki örneklerinde belirlenen Zn konsantrasyonlarının 13.2-14.8 mg kg⁻¹, tane örneklerinde belirlenen Zn konsantrasyonlarının ise 19.5-21.6 mg kg⁻¹ olduğu ve uygulamalar neticesinde bitki ve tane örneklerinde meydana gelen bu değişimlerin istatistiksel manada önemli olmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.6, $p>0.05$).

Çizelge 4.6 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 2. yıl bitki-tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)
Bitki				
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	63.8±3.60	13.2±0.99	5.30±0.22 b	60.7±0.65
8 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	69.7±7.30	14.8±0.31	5.16±0.50 b	60.6±1.39
6 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	67.3±5.61	13.4±0.85	5.80±0.51 ab	60.2±0.30
4 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	68.6±3.74	13.4±0.89	6.06±0.59 a	62.4±2.59
F değeri	0.24 ^{öd.}	0.87 ^{öd.}	3.93*	0.40 ^{öd.}
LSD değeri	-	-	0.64	-
Tane				
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	30.1±5.41	19.8±0.47	7.04±1.36	30.9±0.51 b
8 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	29.3±4.18	21.6±0.77	7.08±0.62	34.2±0.68 a
6 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	32.8±1.10	19.5±1.23	7.51±0.48	32.8±0.90 ab
4 kg P₂O₅ da⁻¹ Nano-P	30.3±0.56	20.3±1.36	7.72±1.27	31.3±0.50 b
F değeri	0.19 ^{öd.}	0.84 ^{öd.}	0.11 ^{öd.}	5.12*
LSD değeri	-	-	-	1.99

*: $p<0.05$; öd: önemli değil



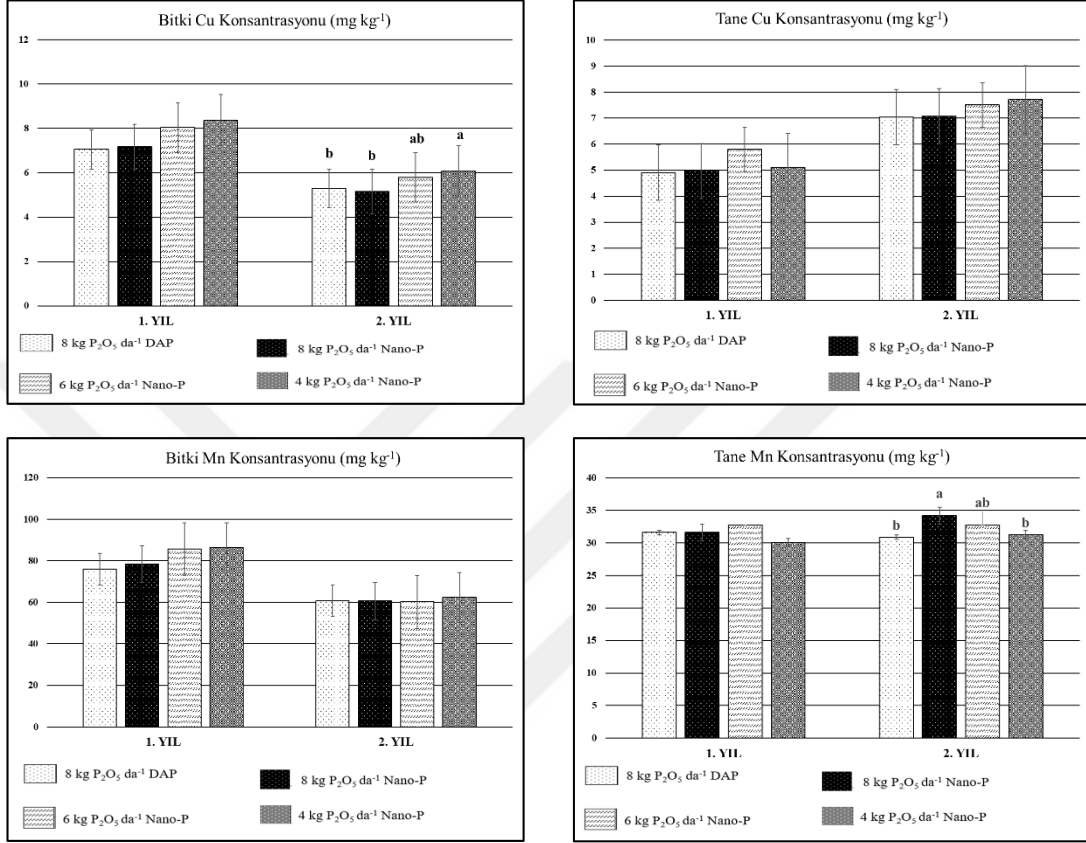
Şekil 4.10 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Fe ve Zn konsantrasyonları üzerine etkisi

Farklı oranlarda uygulanan P'lu gübrelerin ikinci yılda bitki Cu konsantrasyonları üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$), tane Cu konsantrasyonları üzerine etkisi ise önemsiz ($p > 0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.6).

İkinci yıl bitki Cu konsantrasyonları bakımından uygulamalar değerlendirildiğinde; 4 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P uygulaması referans ve 8 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P uygulamalarına göre önemli oranda yüksek Cu konsantrasyonuna neden olurken, 6 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P uygulaması ile aynı sınıfta yer almıştır.

Fosfor uygulamalarına bağlı olarak 2. yılda belirlenen bitki Mn konsantrasyonlarının 60.2-62.4 mg kg⁻¹ düzeyinde değiştiği ve bu değişimin önemsiz ($p > 0.05$) olduğu, tane Mn konsantrasyonlarında uygulamalara bağlı olarak meydana gelen değişimlerin ise önemli ($p < 0.05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

2018-2019 yılında tane örneklerinin Mn konsantrasyonları incelendiğinde; referans ve 4 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P uygulamalarına göre 8 kg P₂O₅ da⁻¹ nano-P uygulamasının tane Mn konsantrasyonunu daha fazla artırdığı belirlenmiştir.



Şekil 4.11 Nano-P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi

4.3.2 Biyokömür kaplı fosforlu gübre denemesi

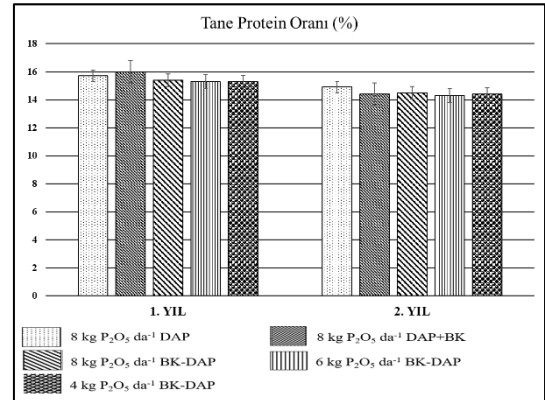
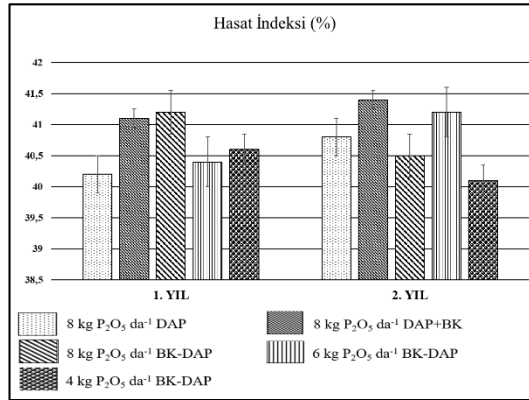
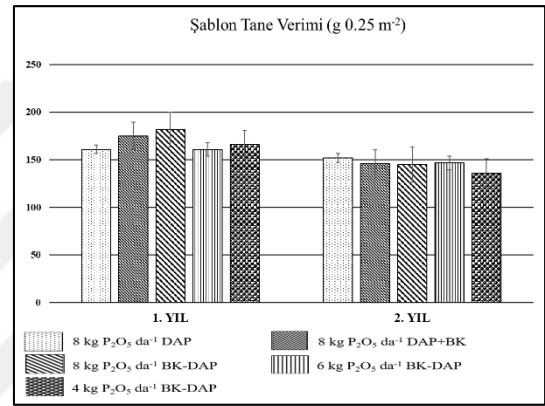
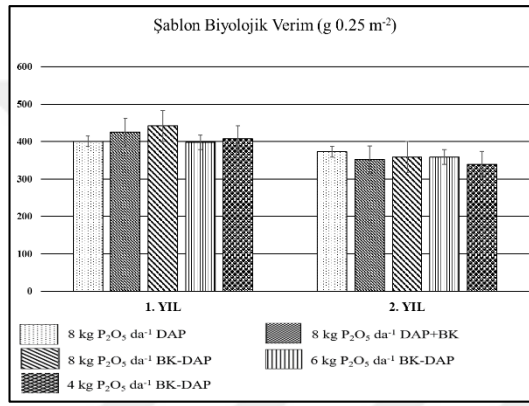
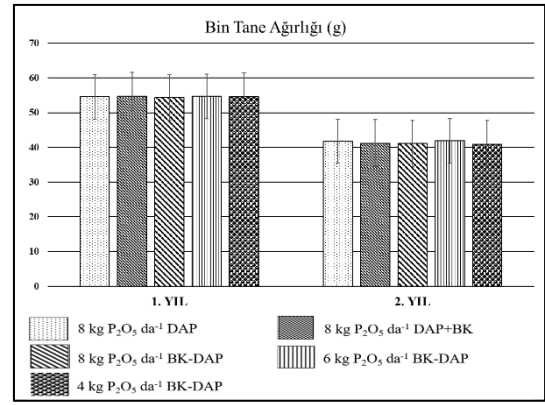
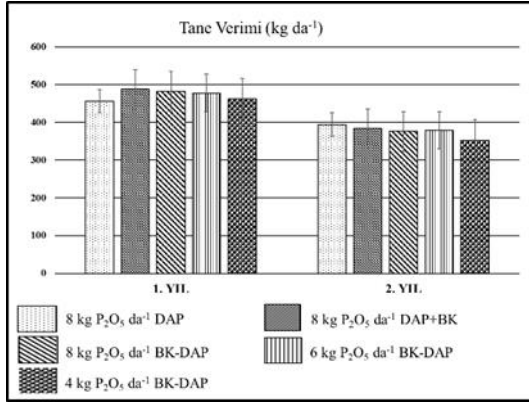
4.3.2.1 Biyokömür kaplı fosforlu gübre uygulamalarının verim öğeleri üzerine etkisi

Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulanan parsellerden alınan 1. ve 2. yıl tane örneklerinde uygulamaların verim öğelerine (tane verimi, bin tane ağırlığı, şablon biyolojik verim, şablon tane verimi, hasat indeksi ve tane protein oranı) etkisi çizelge 4.7 ve şekil 4.12'de verilmiştir. Gübre uygulamalarının denemenin yürütüldüğü iki yılda da incelenen verim öğeleri üzerine önemli bir etkide bulunmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Bununla birlikte çalışmanın yapıldığı 2 yılda da azalan BK kaplı P uygulamaları ile istatistiki anlamda önemli olmasa da DAP gübresi ile elde edilen verime yakın değerler elde edilmesi kaplı gübrelerin P etkinliğini artırmış olabileceğini düşündürmektedir.

Çizelge 4.7 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl verim öğeleri üzerine etkisi

Uygulamalar	Tane Verimi (kg da ⁻¹)	Bin Tane Ağırlığı (g)	Şablon Biyolojik Verim (g 0.25 m ⁻²)	Şablon Tane Verimi (g 0.25 m ⁻²)	Hasat İndeksi (%)	Tane Protein Oranı (%)
I. YIL (2017-2018)						
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	456±22.1	54.6±0.20	401±9.67	161±2.27	40.2±1.01	15.7±0.33
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP+BK	488±22.8	54.8±0.65	426±17.8	175±8.92	41.1±0.96	16.0±0.41
8 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP	482±11.4	54.4±0.46	442±19.6	182±9.40	41.2±0.79	15.4±0.13
6 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP	478±12.8	54.7±0.32	398±15.4	161±7.28	40.4±0.39	15.3±0.13
4 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP	462±6.48	54.6±0.36	408±16.8	166±5.94	40.6±0.48	15.3±0.03
F değeri	0.69 ^{öd.}	0.10 ^{öd.}	1.32 ^{öd.}	1.73 ^{öd.}	0.35 ^{öd.}	1.49 ^{öd.}
LSD değeri	-	-	-	-	-	-
II. YIL (2018-2019)						
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	394±11.9	41.8±0.27	373±13.7	152±7.04	40.8±0.53	14.9±0.12
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP+BK	385±22.3	41.2±0.40	352±13.6	146±8.12	41.4±0.75	14.4±0.28
8 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP	376±4.84	41.2±0.51	359±13.0	145±5.12	40.5±0.89	14.5±0.31
6 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP	379±15.6	41.9±0.31	359±28.1	147±9.88	41.2±1.22	14.3±0.18
4 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP	352±1.17	40.9±0.19	339±22.9	136±11.6	40.1±0.93	14.4±0.13
F değeri	1.39 ^{öd.}	1.62 ^{öd.}	0.42 ^{öd.}	0.46 ^{öd.}	0.38 ^{öd.}	1.00 ^{öd.}
LSD değeri	-	-	-	-	-	-

öd: önemli değil



Şekil 4.12 Biyokömür kaplı fosforlu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl verim öğeleri üzerine etkisi

4.3.2.2 Biyokömür kaplı fosforlu gübre uygulamalarının bitki ve tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi

Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının birinci yıl bitki ve tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkisi çizelge 4.8 ile şekil 4.13 ve 4.14'de verilmiştir. Uygulamaların ilk yıl bitki ve tane örneklerinde makro element konsantrasyonlarına etkisi istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

Çizelge 4.8 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. yıl bitki-tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	P (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
Bitki					
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ DAP	1.70±0.05	19.0±0.36	23.7±0.22	3.72±0.25	1.79±0.04
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ DAP+BK	1.65±0.06	19.0±0.30	24.3±0.35	3.55±0.10	1.65±0.03
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	1.60±0.02	19.9±0.22	23.8±0.68	3.81±0.34	1.76±0.05
6 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	1.74±0.07	20.4±1.18	23.7±1.07	3.56±0.34	1.63±0.12
4 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	1.73±0.06	19.1±0.42	24.0±0.40	3.88±0.14	1.83±0.06
F değeri	1.31 ^{öd.}	1.11 ^{öd.}	0.14 ^{öd.}	0.33 ^{öd.}	1.64 ^{öd.}
LSD değeri	-	-	-	-	-
Tane					
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ DAP	3.85±0.05	25.1±0.53	3.42±0.03	0.36±0.01	0.56±0.01
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ DAP+BK	3.58±0.06	26.4±1.05	3.26±0.07	0.38±0.01	0.55±0.01
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	3.76±0.11	24.7±0.21	3.44±0.12	0.38±0.01	0.58±0.02
6 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	3.72±0.08	24.4±0.20	3.49±0.10	0.38±0.00	0.57±0.01
4 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	3.60±0.05	24.8±0.25	3.38±0.05	0.37±0.01	0.54±0.01
F değeri	2.29 ^{öd.}	2.06 ^{öd.}	1.07 ^{öd.}	1.71 ^{öd.}	2.52 ^{öd.}
LSD değeri	-	-	-	-	-

öd: önemli değil

2018-2019 üretim sezonunda buğdaya uygulanan BK kaplı P'lu gübrelerin bitki ve tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkisi çizelge 4.9 ve şekil 4.13 ve 4.14'de görülmektedir.

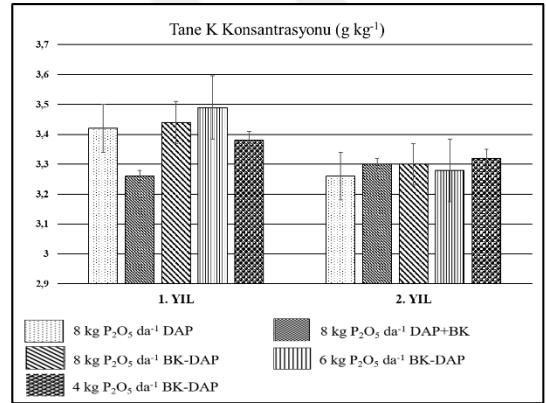
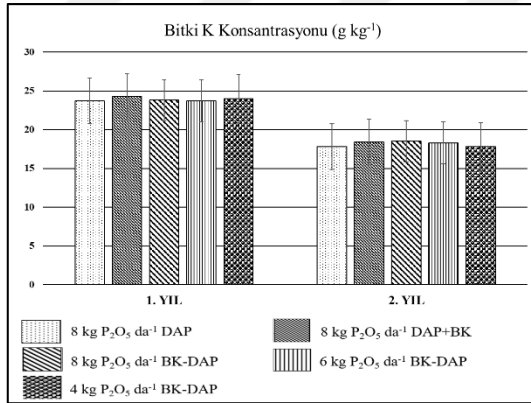
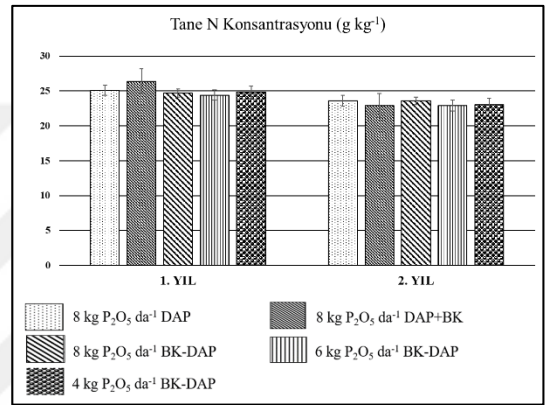
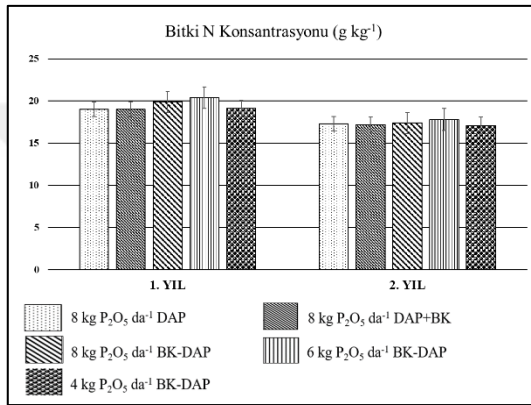
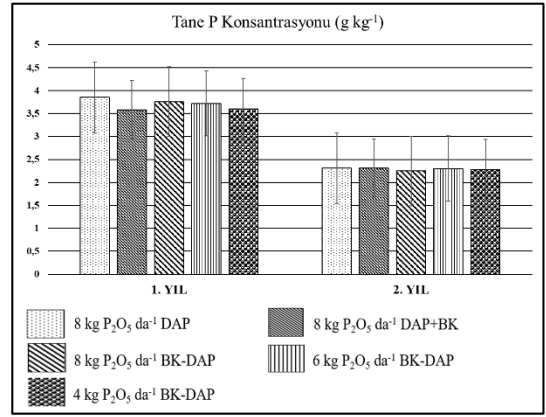
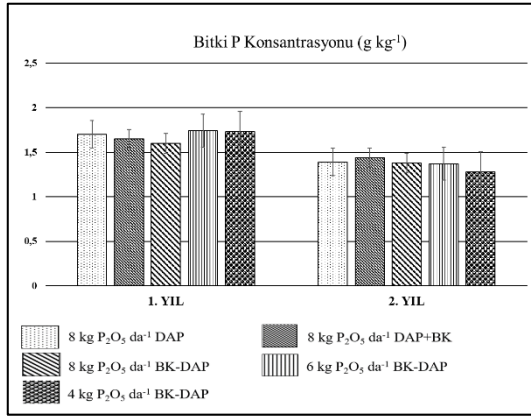
Çizelge 4.19'dan görüldüğü gibi, uygulamaların sadece bitki ve tane Ca konsantrasyonuna etkisi önemli olmuştur ($p<0.05$). 6 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP uygulaması

ile elde edilen bitki Ca konsantrasyonunun, referans (8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP), 8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP+BK ve 4 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP uygulamalarına göre önemli oranda düşük olduğu, 8 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP uygulaması ile de aynı sınıfta yer aldığı saptanmıştır. Tanede ise BK kaplı DAP uygulamalarının tamamı referans uygulamaya (8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP) göre Ca konsantrasyonunu önemli oranda artırırken, kaplı gübre dozları arasında istatistiksel önemli bir farklılık ortaya çıkmamıştır. Ayrıca 8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP+BK uygulaması BK kaplanan uygulamalar ve referans ile aynı sınıfta yer almıştır.

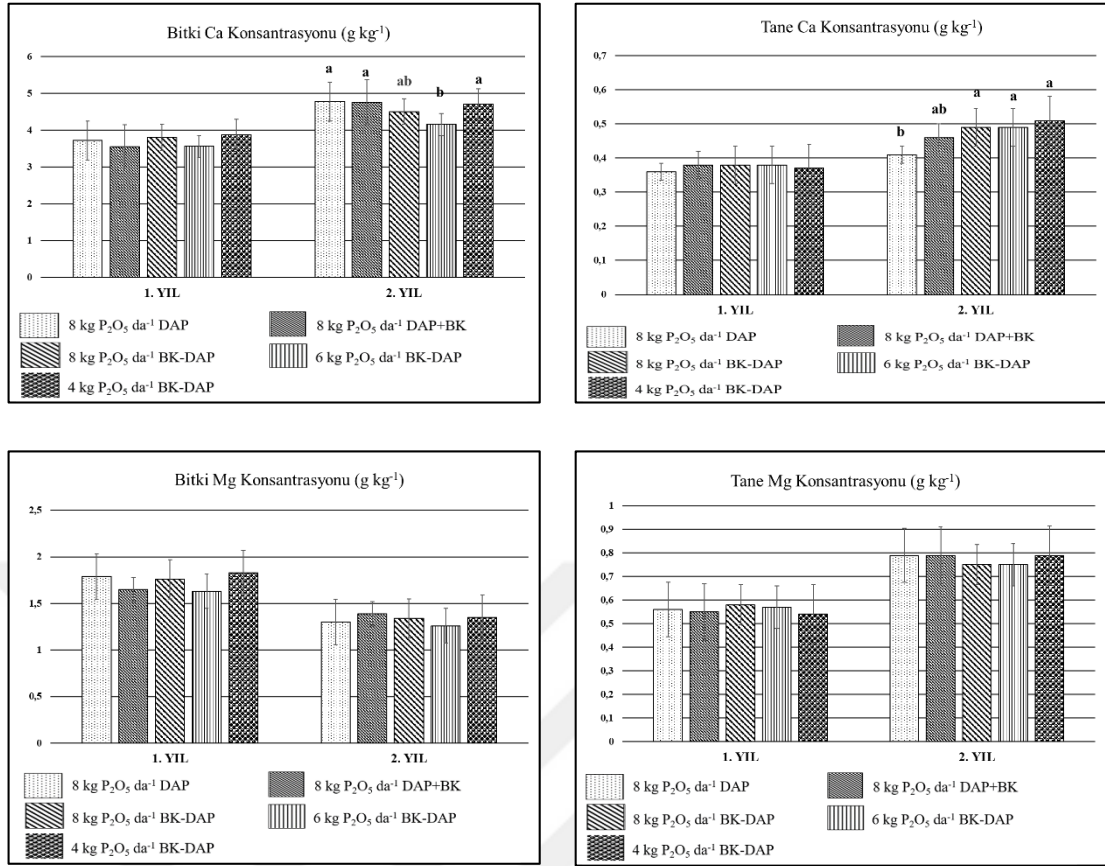
Çizelge 4.9 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 2. yıl bitki-tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	P (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
Bitki					
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ DAP	1.39±0.03	17.3±0.16	17.8±0.53	4.78±0.22 a	1.30±0.02
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ DAP+BK	1.44±0.06	17.2±0.36	18.4±0.45	4.76±0.17 a	1.39±0.05
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	1.38±0.03	17.4±0.29	18.5±0.32	4.51±0.13 ab	1.34±0.03
6 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	1.37±0.06	17.8±0.47	18.3±0.51	4.16±0.02 b	1.26±0.02
4 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	1.28±0.05	17.1±0.48	17.8±0.24	4.71±0.09 a	1.35±0.04
F değeri	1.58 ^{öd.}	0.42 ^{öd.}	0.52 ^{öd.}	3.27*	1.95 ^{öd.}
LSD değeri	-	-	-	0.42	-
Tane					
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ DAP	2.31±0.03	23.6±0.14	3.26±0.04	0.41±0.02 b	0.79±0.01
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ DAP+BK	2.31±0.03	22.9±0.41	3.30±0.04	0.46±0.01 ab	0.79±0.01
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	2.25±0.07	23.6±0.39	3.30±0.07	0.49±0.03 a	0.75±0.01
6 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	2.30±0.06	22.9±0.29	3.28±0.08	0.49±0.03 a	0.75±0.02
4 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	2.28±0.12	23.0±0.21	3.32±0.05	0.51±0.01 a	0.79±0.02
F değeri	0.15 ^{öd.}	1.29 ^{öd.}	0.15 ^{öd.}	3.15*	1.78 ^{öd.}
LSD değeri	-	-	-	0.06	-

*: p<0.05; öd: önemli değil



Şekil 4.13 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane P, N ve K konsantrasyonları üzerine etkisi



Şekil 4.14 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi

4.3.2.3 Biyokömür kaplı fosforlu gübre uygulamalarının bitki ve tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi

Farklı oranlarda uygulanan BK kaplı DAP'ın bitki ve tanede birinci yıl Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonuna etkisi çizelge 4.10'da ve şekil 4. 15 ve 4.16'da verilmiştir.

2017-2018 üretim sezonunda yapılan uygulamalara bağlı olarak bitki Fe konsantrasyonlarının 59.1-63.8 mg kg⁻¹ arasında değiştiği ve bu değişimin önemsiz ($p>0.05$) olduğu, tane Fe konsantrasyonlarının ise uygulamalardan önemli düzeyde ($p<0.05$) etkilendiği belirlenmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. yıl bitki-tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)
Bitki				
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ DAP	62.7±0.93	19.7±0.30	7.72±0.14	78.6±3.51
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ DAP+BK	60.7±1.81	21.9±0.34	7.62±0.12	76.5±0.95
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	59.1±2.59	19.0±1.81	6.97±0.54	73.9±3.53
6 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	59.8±1.87	18.9±1.05	7.24±0.60	75.5±6.42
4 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	63.8±2.55	21.1±0.67	7.61±0.23	83.8±1.94
F değeri	0.93 ^{öd.}	1.73 ^{öd.}	0.68 ^{öd.}	1.04 ^{öd.}
LSD değeri	-	-	-	-
Tane				
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ DAP	26.8±5.57 bc	23.8±0.71	7.51±0.13 a	30.6±0.43
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ DAP+BK	33.7±2.10 ab	22.6±1.47	6.06±0.21 b	29.1±0.35
8 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	36.0±0.89 a	22.4±0.95	6.37±0.47 b	30.7±0.86
6 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	24.2±1.59 c	23.1±0.71	6.98±0.23 ab	30.0±1.01
4 kg P ₂ O ₅ da ⁻¹ BK-DAP	29.5±1.06 abc	23.6±0.70	6.33±0.33 b	27.9±0.76
F değeri	2.94*	0.41 ^{öd.}	3.88*	2.64 ^{öd.}
LSD değeri	8.33	-	0.88	-

*: p<0.05; öd: önemli değil

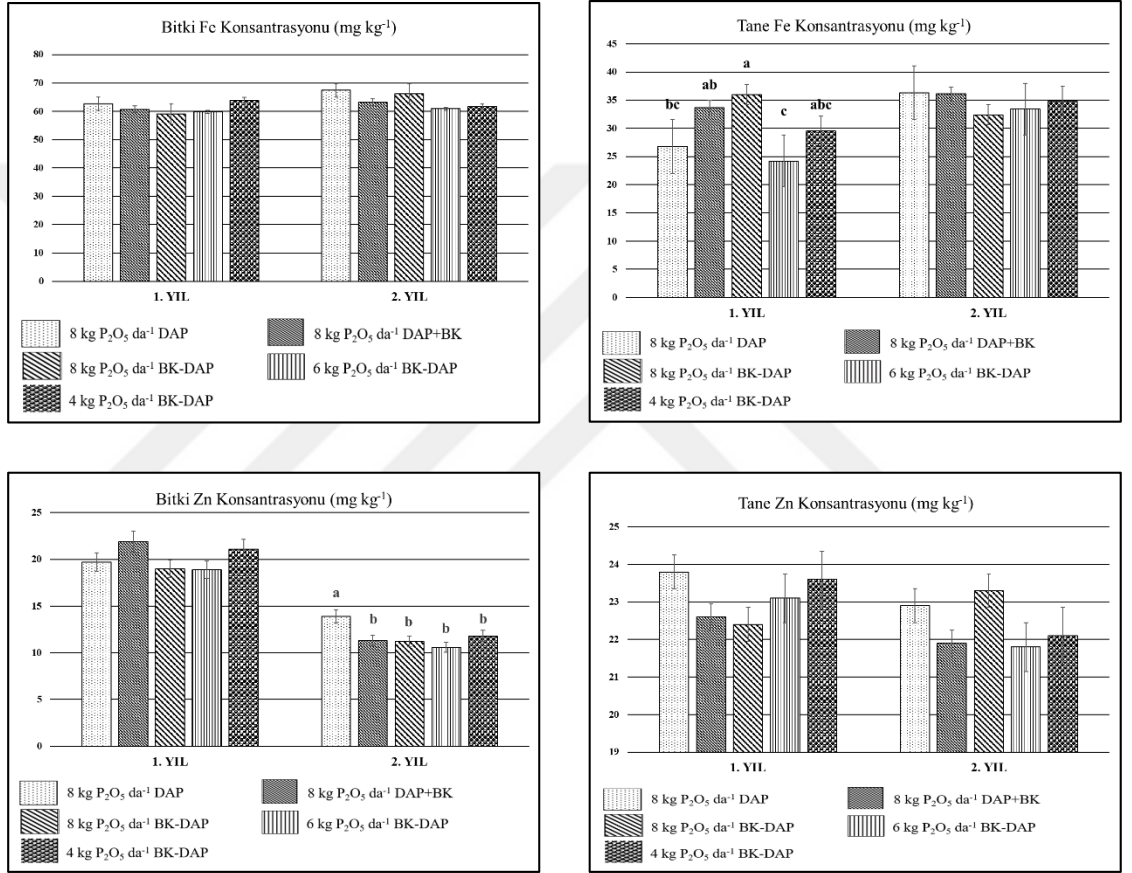
Birinci yıl tane örneklerinde 8 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP uygulaması ile referans uygulama ve 6 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP uygulamalarına göre daha fazla Fe konsantrasyonu elde edilmiştir.

İlk yıl uygulamalara bağlı olarak bitki ve tane örneklerinde Zn konsantrasyonları sırasıyla 18.9-21.9 mg kg⁻¹ ve 22.4-23.8 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiş fakat uygulamalara bağlı olarak ortaya çıkan bu farklar istatistiki anlamda önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.10, p>0.05).

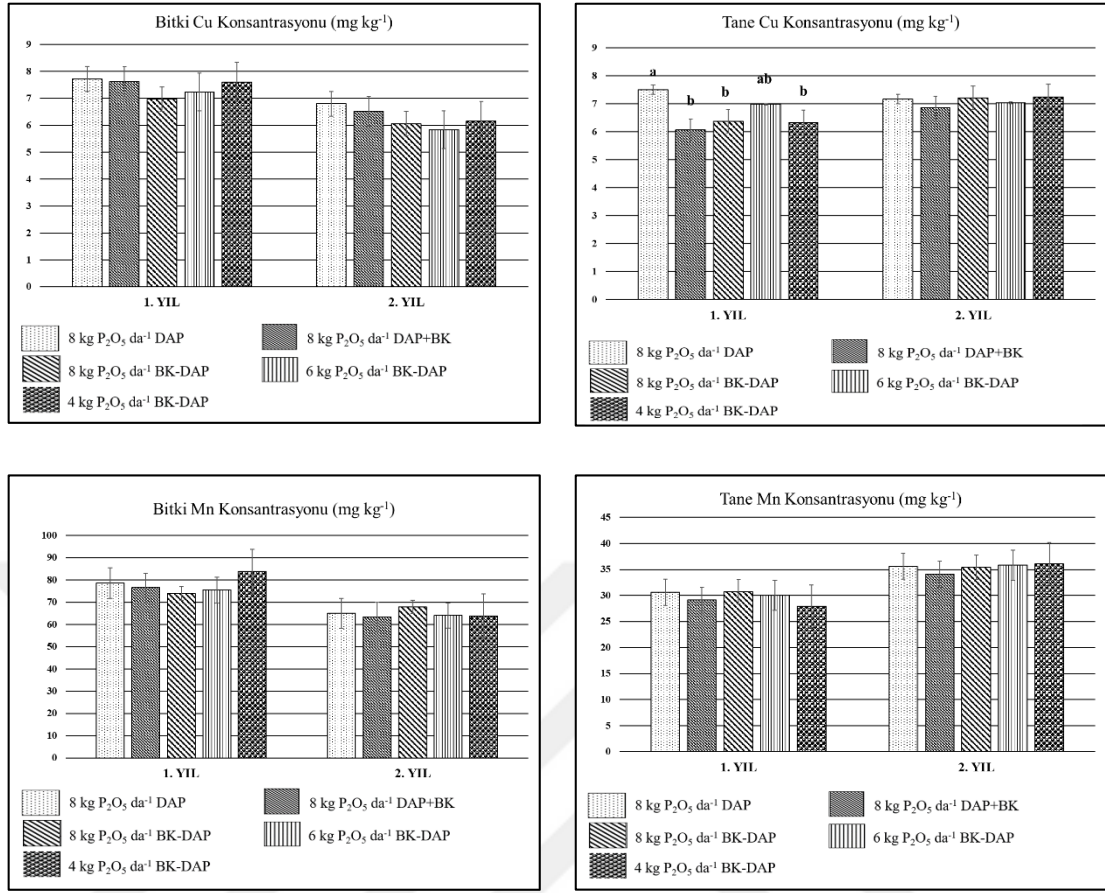
Birinci yılda yapılan BK kaplı P'lu gübre uygulamalarının bitki Cu konsantrasyonlarına etkisi önemsiz (p>0.05) olurken, tane Cu konsantrasyonuna etkisi önemli (p<0.05) olmuştur (Çizelge 4.10).

Tane Cu konsantrasyonu bakımından referans uygulama ile 6 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP uygulamaları aynı sınıfta yer almıştır. Biyokömür ile kaplama ya da gübreye BK ilave etme işlemleri tane Cu konsantrasyonu bakımından istatistiksel bir fark oluşturmamıştır.

Çalışmanın yapıldığı ilk yılda uygulanan BK kaplı P'lu gübrenin bitki ve tane Mn konsantrasyonları üzerine önemli düzeyde bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.10, p>0.05).



Şekil 4.15 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Fe ve Zn konsantrasyonları üzerine etkisi



Şekil 4.16 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi

Farklı oranlarda uygulanan BK kaplı P'lu gübrenin bitki ve tanede ikinci yıl mikro element (Fe, Zn, Cu ve Mn) konsantrasyonlarına etkisi çizelge 4.11 ile şekil 4.15 ve 4.16'da verilmiştir.

2018-2019 üretim sezonunda buğdaya yapılan BK kaplı P'lu gübre uygulamalarının bitki Fe, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi önemsiz ($p>0.05$) olurken, sadece bitki Zn konsantrasyonuna etkisi önemli ($p<0.05$) olmuştur (Çizelge 4.11).

İkinci yıl bitki Zn konsantrasyonları incelendiğinde en yüksek değere referans uygulama (13.9 mg kg^{-1}) ile ulaşıldığı görülmüştür. Biyokömürün DAP'a ilave edilmesi veya kaplanması bitki Zn konsantrasyonunu referans uygulamaya göre önemli düzeyde azaltmıştır. Biyokömür kaplı DAP dozları arasında istatistiksel önemli bir fark belirlenmemiştir.

Çalışmanın 2. yılında DAP gübresine BK ilave edilmesinin veya BK ile DAP gübresinin kaplanması tane mikro element konsantrasyonları üzerine istatistiksel manada bir etkisi olmamıştır (Çizelge 4.11, $p>0.05$).

Çizelge 4.11 Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının 2. yıl bitki-tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	Fe	Zn	Cu	Mn
	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)
Bitki				
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	67.4±5.66	13.9±0.88 a	6.80±0.26	65.0±1.21
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP+BK	63.2±2.33	11.3±0.21 b	6.52±0.34	63.5±2.07
8 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP	66.2±7.96	11.2±0.51 b	6.06±0.20	67.8±1.12
6 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP	60.9±0.46	10.6±0.45 b	5.84±0.46	64.1±0.68
4 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP	61.7±8.61	11.8±0.57 b	6.16±0.39	63.9±2.90
F değeri	0.23 ^{öd.}	5.02**	1.24 ^{öd.}	0.92 ^{öd.}
LSD değeri	-	1.66	-	-
Tane				
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP	36.3±2.92	22.9±0.93	7.17±0.43	35.6±0.67
8 kg P₂O₅ da⁻¹ DAP+BK	36.1±2.92	21.9±0.71	6.86±0.16	34.1±0.83
8 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP	32.4±7.44	23.3±0.86	7.21±0.93	35.4±0.82
6 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP	33.4±1.54	21.8±3.67	7.04±0.32	35.8±0.86
4 kg P₂O₅ da⁻¹ BK-DAP	34.8±3.05	22.1±0.86	7.24±1.23	36.1±0.73
F değeri	0.18 ^{öd.}	0.13 ^{öd.}	0.05 ^{öd.}	0.96 ^{öd.}
LSD değeri	-	-	-	-

** : $p<0.01$; öd: önemli değil

4.3.3 Geç dönemde yapraktan fosforlu gübre denemesi

4.3.3.1 Geç dönemde yapraktan fosforlu gübre uygulamalarının verim öğeleri üzerine etkisi

Araştırmanın yürütüldüğü iki yılda da başaklanma başlangıcı ve sonunda yapraktan 1 veya 2 defa uygulanan P'lu gübrelerin verim öğelerine (tane verimi, bin tane ağırlığı, şablon biyolojik verim, şablon tane verimi, hasat indeksi ve tane protein oranı) etkisi çizelge 4.12 ve şekil 4.17'de verilmiştir.

Verim öğeleri arasında sadece tane protein oranı üzerine 1. ve 2. yılda yapılan yaprakdan P uygulamalarının etkisinin önemli olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.12, $p<0.05$).

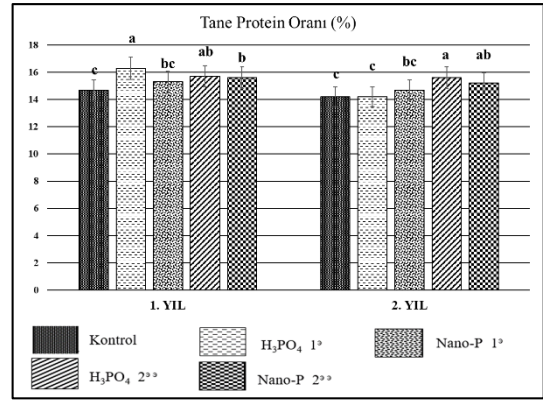
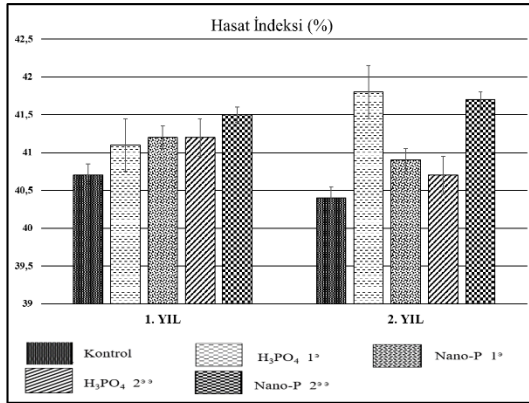
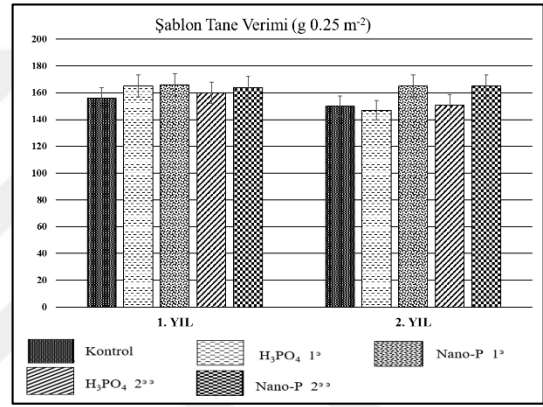
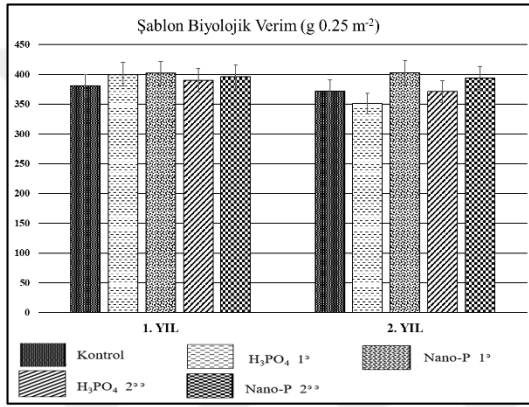
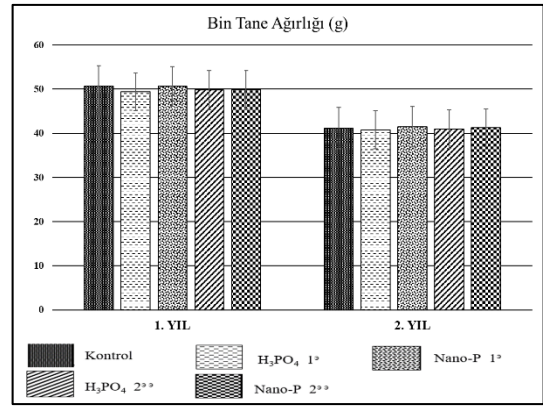
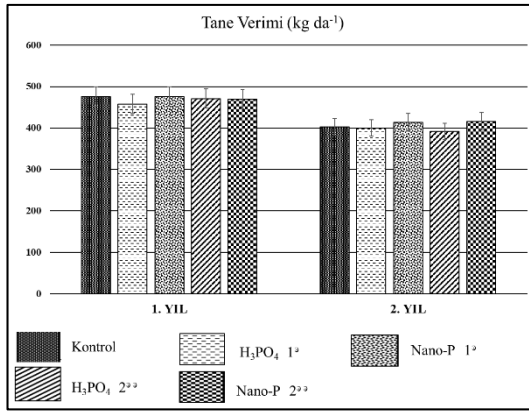
Birinci yıl (2017-2018) tane protein oranları incelendiğinde, kontrole göre başaklanma başlangıcı ve sonunda 1 ve 2 defa uygulanan H_3PO_4 ile 2 defa uygulanan nano-P'un tane protein oranını önemli oranda artırdığı belirlenmiştir. Fosfor kaynakları uygulama sayılarına göre değerlendirildiğinde ise istatistiksel bir fark tespit edilmemiştir.

2018-2019 üretim sezonunda buğdaya yaprakdan uygulanan P'lu gübrelerin tane protein oranına etkisi incelendiğinde; 2 defa P'lu gübre uygulanan bitkilerde kontrole göre tane protein oranının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Uygulama sayıları dikkate alındığında H_3PO_4 'in 2 defa uygulanması 1 defa uygulamaya göre daha fazla tane protein oranı sağlarken, 1 ve 2 defa nano-P uygulaması arasında önemli bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl verim öğeleri üzerine etkisi

Uygulamalar	Uygulama Sayısı	Tane Verimi (kg da ⁻¹)	Bin Tane Ağırlığı (g)	Şablon Biyolojik Verim (g 0.25 m ⁻²)	Şablon Tane Verimi (g 0.25 m ⁻²)	Hasat İndeksi (%)	Tane Protein Oranı (%)
I. YIL (2017-2018)							
Kontrol	-	476±3.86	50.6±0.39	381±19.4	156±9.32	40.7±0.62	14.7±0.16 c
H₃PO₄	1 ^³	458±13.0	49.4±0.68	400±30.3	165±15.3	41.1±1.48	16.3±0.17 a
Nano-P	1 ^³	476±11.9	50.6±0.67	402±19.6	166±9.28	41.2±0.81	15.3±0.31 bc
H₃PO₄	2 ^{³³}	471±7.61	49.8±0.28	390±23.5	160±8.15	41.2±0.71	15.7±0.10 ab
Nano-P	2 ^{³³}	470±4.13	49.9±0.54	396±7.70	164±2.37	41.5±0.70	15.6±0.27 b
F değeri		0.71 ^{öd.}	1.02 ^{öd.}	0.15 ^{öd.}	0.19 ^{öd.}	0.10 ^{öd.}	7.36**
LSD değeri		-	-	-	-	-	0.63
II. YIL (2018-2019)							
Kontrol	-	403±25.2	41.2±0.28	372±8.88	150±5.57	40.4±0.92	14.2±0.30 c
H₃PO₄	1 ^³	400±23.3	40.8±0.50	351±15.8	147±5.55	41.8±0.31	14.2±0.06 c
Nano-P	1 ^³	414±46.6	41.5±0.92	403±11.2	165±4.22	40.9±0.73	14.7±0.22 bc
H₃PO₄	2 ^{³³}	392±28.5	41.0±0.89	371±19.2	151±7.86	40.7±0.41	15.6±0.04 a
Nano-P	2 ^{³³}	416±39.1	41.3±1.26	394±11.9	165±5.20	41.7±0.23	15.2±0.22 ab
F değeri		0.08 ^{öd.}	0.11 ^{öd.}	2.25 ^{öd.}	2.20 ^{öd.}	1.22 ^{öd.}	9.17**
LSD değeri		-	-	-	-	-	0.58

** : p<0.01; öd: önemli değil; ^³ Başaklanma başlangıcı; ^{³³} Başaklanma başlangıcı ve sonu



Şekil 4.17 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl verim öğeleri üzerine etkisi

4.3.3.2 Geç dönemde yapraktan fosforlu gübre uygulamalarının bitki ve tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi

Yapraktan P uygulamaları öncesinde alınan bitki örneklerinin P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları ile 1 ve 2 defa yapraktan P uygulamaları sonrası alınan bitki örneklerinde ve hasat döneminde alınan tane örneklerinde belirlenen makro element konsantrasyonları üzerine uygulamaların etkisi 1. ve 2. yıl sırasıyla çizelge 4.13 ve 4.14 ile şekil 4.18- 4.22’de verilmiştir.

Birinci yıl (2017-2018) yapraktan P uygulamaları öncesinde alınan bitki örneklerinde belirlenen P konsantrasyonlarının değişimi istatistiki anlamda önemsiz ($p>0.05$) bulunmuştur. Hasatta alınan tane örneklerinin P konsantrasyonlarında uygulamalara bağlı olarak meydana gelen değişimler de önemsiz ($p>0.05$) olurken, 1. ve 2. gübre uygulamaları sonrasında alınan bitki örneklerinde belirlenen P konsantrasyonları üzerine uygulamalar önemli ($p<0.05$) düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.13, Şekil 4.18). Yaprak gübresinin kaynağına ve uygulama sayısına bakılmaksızın 1. ve 2. gübreleme sonrasında alınan örneklerde kontrole göre önemli oranda yüksek P konsantrasyonlarına ulaşılmıştır. Fosforlu gübre kaynakları uygulama sayılarına göre değerlendirildiğinde ise aralarında önemli istatistiksel bir fark saptanmamıştır.

2018-2019 üretim sezonunda uygulamalar öncesinde alınan örneklerde meydana gelen değişimler ile uygulama sonrası alınan örneklerin P konsantrasyonu üzerine uygulamaların etkisi önemsiz bulunmuşken ($p>0.05$), tane P konsantrasyonu uygulamalardan önemli ($p<0.05$) düzeyde etkilenmiştir (Çizelge 4.14). Nano-P ile kontrole göre tane P konsantrasyonu önemli oranda artarken, kaynakların uygulama sayıları arasında istatistiksel önemli bir fark bulunmamıştır.

Çizelge 4.13 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. yıl bitki-tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi

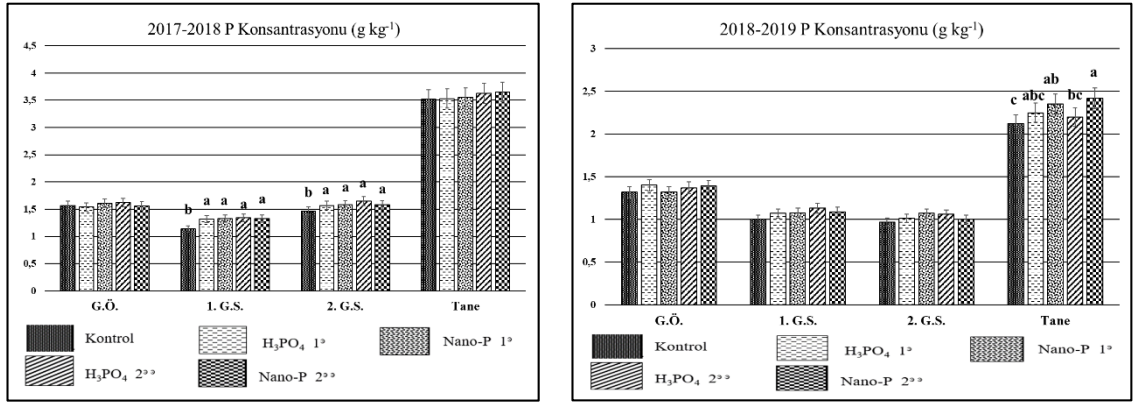
Uygulamalar	Uygulama Sayısı	P (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
Gübreleme Öncesi							I. Gübreleme Sonrası				
Kontrol	-	1.57±0.11	18.1±0.54 c	20.7±0.77	3.56±0.17	1.62±0.04	1.14±0.02 b	12.8±0.21	10.6±0.38	3.03±0.35	1.36±0.08 ab
H₃PO₄	1 [°]	1.54±0.07	18.6±0.36 bc	20.3±0.62	3.62±0.23	1.60±0.07	1.32±0.03 a	12.8±0.42	10.3±0.53	2.99±0.26	1.41±0.02 a
Nano-P	1 [°]	1.61±0.04	19.8±0.79 ab	21.5±1.23	3.70±0.16	1.59±0.03	1.33±0.09 a	12.8±0.49	10.0±0.38	2.68±0.11	1.26±0.02 b
H₃PO₄	2 ^{°°}	1.62±0.04	19.7±0.46 ab	21.0±0.51	3.54±0.45	1.61±0.06	1.34±0.03 a	12.6±0.22	10.0±0.54	2.87±0.16	1.48±0.02 a
Nano-P	2 ^{°°}	1.56±0.04	20.9±0.17 a	20.6±0.54	3.60±0.26	1.57±0.04	1.33±0.02 a	12.9±0.24	10.2±0.36	2.55±0.26	1.36±0.05 ab
F değeri		0.22 ^{öd.}	4.60**	0.31 ^{öd.}	0.05 ^{öd.}	0.16 ^{öd.}	3.56*	0.12 ^{öd.}	0.29 ^{öd.}	0.72 ^{öd.}	2.89*
LSD değeri		-	1.50	-	-	-	0.13	-	-	-	0.14
II. Gübreleme Sonrası							Tane				
Kontrol	-	1.47±0.02 b	14.5±0.29	7.03±0.28	1.22±0.05 a	1.04±0.07	3.52±0.03	23.6±0.25 c	3.21±0.04	0.37±0.01	0.56±0.01
H₃PO₄	1 [°]	1.57±0.05 a	15.6±0.46	7.29±0.31	1.11±0.02 a	1.16±0.04	3.53±0.04	26.1±0.27 a	3.29±0.07	0.38±0.01	0.56±0.01
Nano-P	1 [°]	1.58±0.02 a	14.4±0.31	6.99±0.21	1.06±0.26 a	1.08±0.02	3.55±0.03	25.1±0.16 ab	3.20±0.08	0.36±0.00	0.55±0.01
H₃PO₄	2 ^{°°}	1.65±0.01 a	14.5±0.27	6.73±0.11	0.93±0.04 ab	1.00±0.02	3.63±0.07	24.5±0.49 bc	3.33±0.09	0.37±0.01	0.55±0.01
Nano-P	2 ^{°°}	1.58±0.02 a	15.5±0.81	6.89±0.08	0.65±0.05 b	1.01±0.01	3.65±0.08	24.9±0.43 b	3.34±0.13	0.38±0.01	0.58±0.01
F değeri		4.96**	1.55 ^{öd.}	0.89 ^{öd.}	3.18*	2.29 ^{öd.}	1.24 ^{öd.}	7.36**	0.55 ^{öd.}	1.00 ^{öd.}	2.41 ^{öd.}
LSD değeri		0.08	-	-	0.36	-	-	1.01	-	-	-

*: p<0.05; **: p<0.01; öd: önemli değil; ° Başaklanma başlangıcı; °° Başaklanma başlangıcı ve sonu

Çizelge 4.14 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 2. yıl bitki-tane P, N, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	Uygulama Sayısı	P (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
Gübreleme Öncesi							I. Gübreleme Sonrası				
Kontrol	-	1.32±0.08	16.9±0.29	18.9±0.79	4.77±0.23	1.38±0.03	1.00±0.04	12.4±0.12	9.46±0.29	3.58±0.04	1.26±0.02
H₃PO₄	1 [°]	1.40±0.03	16.4±0.41	19.0±0.48	4.78±0.10	1.38±0.03	1.07±0.03	12.7±0.27	9.51±0.47	3.50±0.08	1.28±0.03
Nano-P	1 [°]	1.32±0.07	17.4±0.65	19.8±0.64	4.60±0.08	1.35±0.04	1.08±0.02	12.9±0.17	10.1±0.58	3.58±0.04	1.33±0.04
H₃PO₄	2 ^{°°}	1.37±0.06	16.5±0.42	18.1±0.26	4.68±0.16	1.33±0.02	1.13±0.02	12.6±0.60	9.29±0.11	3.47±0.09	1.26±0.01
Nano-P	2 ^{°°}	1.39±0.08	17.8±0.29	19.4±0.19	4.49±0.07	1.39±0.03	1.09±0.06	12.6±0.41	9.81±0.49	3.77±0.08	1.27±0.03
F değeri		0.41 ^{öd.}	1.97 ^{öd.}	1.52 ^{öd.}	0.73 ^{öd.}	0.64 ^{öd.}	1.45 ^{öd.}	0.30 ^{öd.}	0.62 ^{öd.}	2.76 ^{öd.}	1.06 ^{öd.}
LSD değeri		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II. Gübreleme Sonrası							Tane				
Kontrol	-	0.97±0.04	12.7±0.25	7.10±0.21	1.65±0.08 a	1.14±0.01 a	2.12±0.06 c	22.8±0.49 c	3.34±0.07	0.46±0.01	0.75±0.01 t
H₃PO₄	1 [°]	1.01±0.06	13.0±0.24	6.84±0.24	1.40±0.08 b	1.07±0.02 b	2.25±0.02 abc	22.8±0.10 c	3.41±0.10	0.47±0.01	0.76±0.02 ab
Nano-P	1 [°]	1.07±0.03	12.5±0.15	7.12±0.23	1.34±0.05 b	1.11±0.01 ab	2.35±0.06 ab	24.9±0.06 a	3.41±0.06	0.44±0.01	0.75±0.01 t
H₃PO₄	2 ^{°°}	1.06±0.04	12.3±0.28	6.68±0.29	1.33±0.04 b	1.01±0.03 c	2.20±0.05 bc	23.5±0.35 bc	3.36±0.05	0.41±0.05	0.72±0.01 t
Nano-P	2 ^{°°}	1.00±0.05	12.8±0.23	7.27±0.18	1.44±0.03 b	1.13±0.02 ab	2.42±0.09 a	24.4±0.35 ab	3.40±0.01	0.49±0.01	0.80±0.01 a
F değeri		0.91 ^{öd.}	1.35 ^{öd.}	1.05 ^{öd.}	4.79**	8.00**	3.83*	9.17**	0.27 ^{öd.}	1.68 ^{öd.}	4.46**
LSD değeri		-	-	-	0.18	0.06	0.18	0.93	-	-	0.04

*: p<0.05; **: p<0.01; öd: önemli değil; ° Başaklanma başlangıcı; °° Başaklanma başlangıcı ve sonu

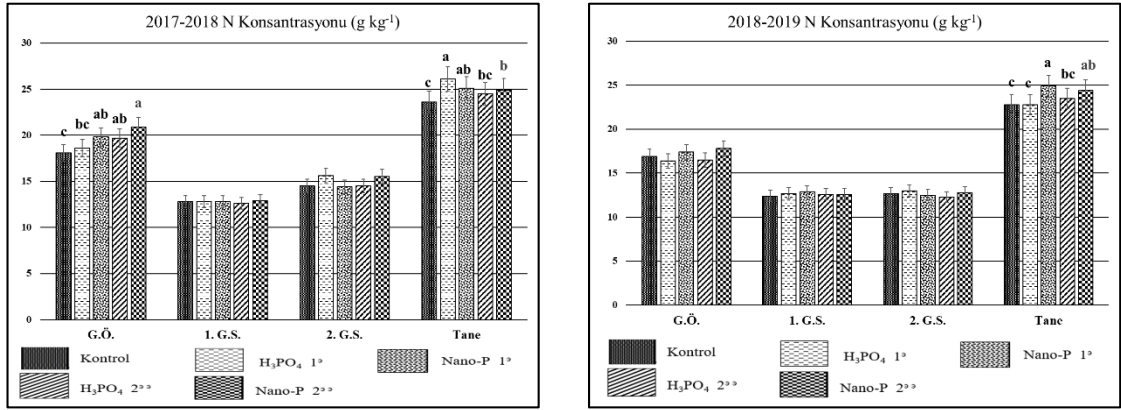


Şekil 4.18 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane P konsantrasyonları üzerine etkisi

2017-2018 üretim sezonunda uygulamalar öncesinde alınan bitki örneklerinin 18.1-20.9 g kg⁻¹ düzeyinde N içerdiği ve bu değişimin önemli ($p < 0.05$) olduğu belirlenmiştir. Birinci ve 2. gübre uygulamaları sonrasında alınan bitki örneklerinde belirlenen N konsantrasyonları üzerine uygulamaların etkisinin önemsiz ($p > 0.05$) olduğu bulunmuştur. Ancak tane örneklerinin N konsantrasyonları üzerine yaprak uygulamaları önemli ($p < 0.05$) düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.13).

Birinci yıl gübreleme öncesi alınan bitki örneklerinin N konsantrasyonları incelendiğinde; geç dönemde yapraktan 2 defa uygulama yapılacak bitkiler ile 1 defa nano-P uygulanacak bitkilerde kontrole oranla daha fazla N bulunduğu saptanmıştır. Tane örneklerinde ise 1 ve 2 defa uygulanan nano-P ile 1 defa uygulanan H₃PO₄'in kontrole göre bitkilerin N konsantrasyonlarında önemli oranda artış sağladığı belirlenmiştir. Uygulama sayısı bakımından P kaynakları karşılaştırıldığında nano-P uygulamaları arasında tane N konsantrasyonu bakımından istatistiksel bir fark belirlenmezken, 1 defa H₃PO₄ uygulanan tane örneklerinde 2 defa uygulama yapılan örneklere göre N konsantrasyonunun daha fazla olduğu belirlenmiştir.

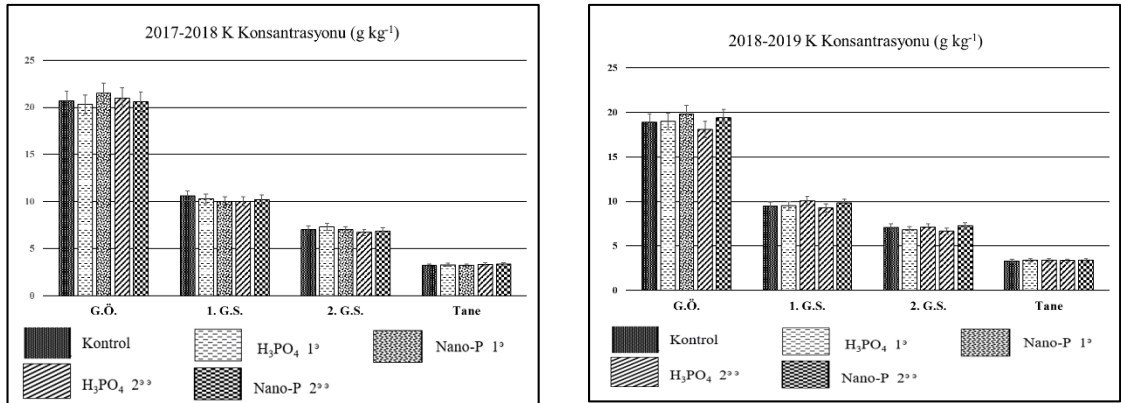
İkinci yıl uygulamalar öncesinde alınan bitki örnekleri ile uygulama sonrası alınan bitki örneklerinin N konsantrasyonları uygulamalardan etkilenmemişken ($p > 0.05$), tane N konsantrasyonu uygulamalardan önemli ($p < 0.05$) düzeyde etkilenmiştir (Çizelge 4.14). Nano-P uygulamaları kontrole göre tane N konsantrasyonunu önemli oranda artırmış, 1 ve 2 defa uygulanan P kaynakları arasında istatistiksel bir fark bulunmamıştır.



Şekil 4.19 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane N konsantrasyonları üzerine etkisi

Birinci yıl gübreleme öncesi alınan bitki örneklerinin K konsantrasyonlarında önemli bir fark saptanmamıştır. Ayrıca 1. ve 2. gübreleme sonrası alınan bitki örnekleri ile hasatta alınan tane örneklerinde bulunan K konsantrasyonlarının yapraktan P uygulamalarından etkilenmediği belirlenmiştir (Çizelge 4.13, Şekil 4.20, $p>0.05$).

Çalışmanın 2. yılında, ilk yılda olduğu gibi farklı dönemlerde (gübreleme öncesi, 1. ve 2. gübre sonrası ve hasat dönemi) alınan çeşitli bitki aksamlarındaki (tüm bitki ve tane) K konsantrasyonları üzerine yapraktan P uygulamalarının etkisinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.14, $p>0.05$).

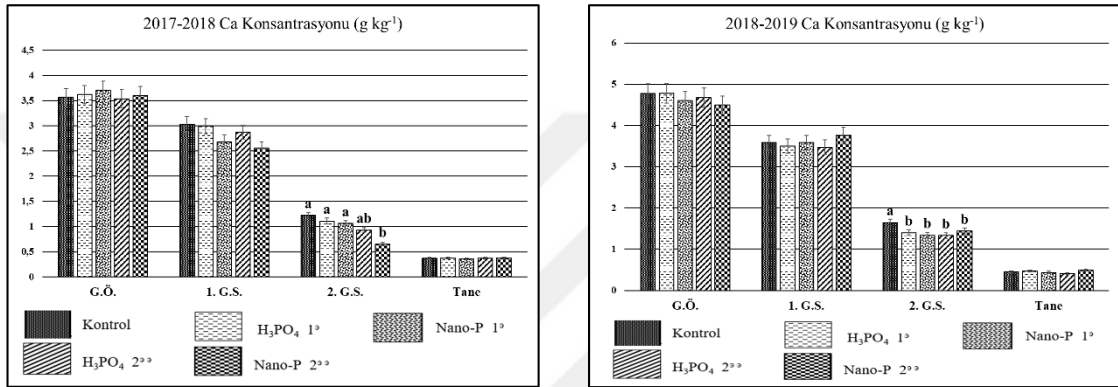


Şekil 4.20 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane K konsantrasyonları üzerine etkisi

2017-2018 üretim sezonunda uygulamalar öncesinde bitkilerin Ca konsantrasyonları 3.54-3.70 g kg⁻¹ arasında değişmiş ve bu değişim önemli bulunmamıştır ($p>0.05$).

Birinci gübre sonrası alınan bitki örnekleri ile hasat döneminde alınan tane örneklerinde belirlenen Ca konsantrasyonları üzerine uygulamaların etkisi önemsiz ($p>0.05$) olurken, 2. gübre sonrası alınan bitki örneklerinin Ca konsantrasyonu üzerine yaprakтан P uygulamaları önemli ($p<0.05$) etkide bulunmuştur (Çizelge 4.13, Şekil 4.21).

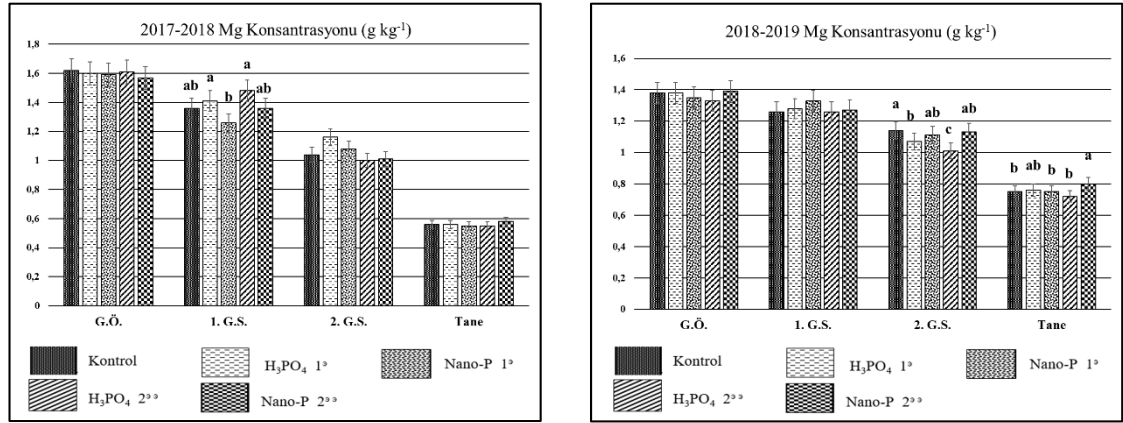
Birinci yıl 2. gübre uygulamaları sonrası bitkilerin Ca konsantrasyonlarının yaprak uygulamaları ile kontrole göre düştüğü ve bu düşüşün 2 defa nano-P uygulanan bitkilerde istatistiki anlamda önemli olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.21 Geç dönemde yaprakтан P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Ca konsantrasyonları üzerine etkisi

2018-2019 üretim sezonunda Ca konsantrasyonları incelendiğinde; 2. yaprakтан P uygulamasının bitki Ca konsantrasyonuna önemli ($p<0.05$) düzeyde etki ettiği görülmektedir (Çizelge 4.14). Yaprak gübresi uygulamalarının tamamı kontrole göre bitki Ca konsantrasyonunu azaltırken, P kaynakları ve uygulama sayıları arasında istatistiksel önemli bir fark belirlenmemiştir.

Gübre uygulamaları öncesinde belirlenen Mg konsantrasyonlarındaki değişim önemsiz olmuştur. Diğer taraftan 2. gübre sonrası bitki örnekleri ile hasat edilen tane örneklerinde belirlenen Mg konsantrasyonlarının uygulamalardan etkilenmediği ($p>0.05$), 1. gübre sonrası Mg konsantrasyonlarının ise uygulamalardan önemli ($p<0.05$) düzeyde etkilendiği belirlenmiştir. Bu dönemde H₃PO₄ uygulanan bitkilerin tamamı ile 1 defa nano-P uygulanan bitkilere göre daha yüksek Mg konsantrasyonu belirlenmiştir (Çizelge 4.13, Şekil 4.22).



Şekil 4.22 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Mg konsantrasyonları üzerine etkisi

İkinci yıl gübreleme öncesinde ve 1. gübre sonrasında bitki Mg konsantrasyonlarında meydana gelen değişimlerin önemsiz ($p>0.05$) olduğu bulunmuştur. İkinci gübre sonrası alınan bitki örnekleri ile tane Mg konsantrasyonları yaprak uygulamalarından önemli ($p<0.05$) düzeyde etkilenmiştir (Çizelge 4.14).

İkinci gübre sonrası bitki Mg konsantrasyonları değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasındaki bitki Mg konsantrasyonunun H₃PO₄ uygulamalarına göre önemli oranda yüksek olduğu belirlenmiştir. Uygulama sayıları bakımından nano-P uygulamaları arasında bir fark belirlenmezken, H₃PO₄ uygulama sayısının artışı ile bitki Mg konsantrasyonu önemli oranda düşmüştür.

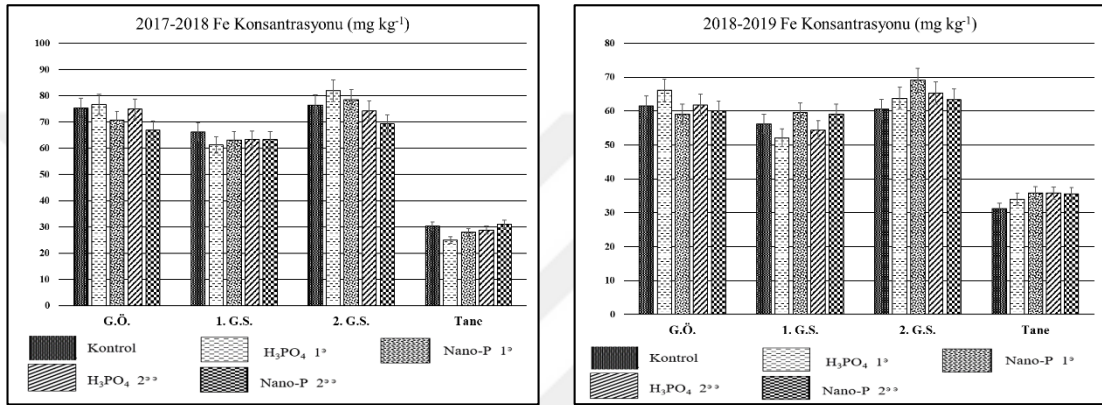
Tane Mg konsantrasyonu bakımından 2 defa nano-P uygulaması ile kontrol, 1 defa nano-P ve 2 defa H₃PO₄ uygulamaları arasındaki fark önemli olurken, 1 defa H₃PO₄ uygulaması arasındaki fark önemsiz olmuştur.

4.3.3.3 Geç dönemde yapraktan fosforlu gübre uygulamalarının bitki ve tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi

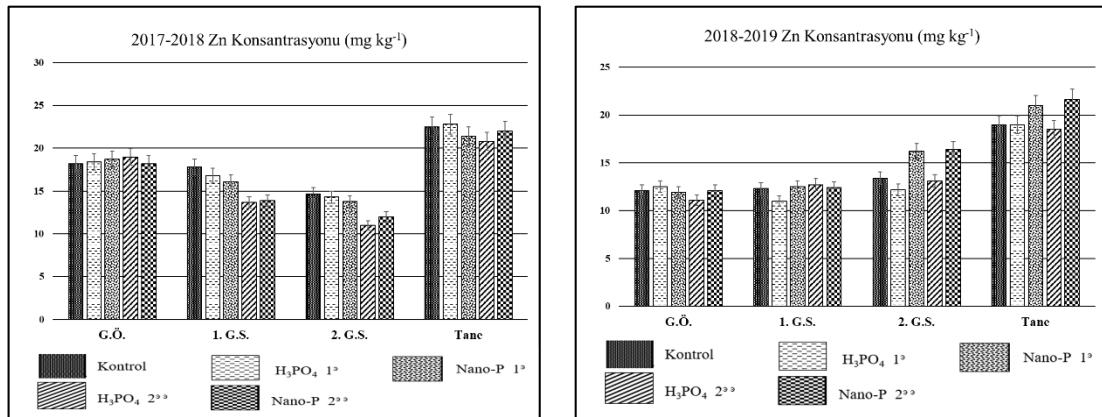
Buğdaya geç dönemde yapraktan nano-P ve H₃PO₄ formunda 1 ve 2 defa uygulanan P'lu gübrelerin etkisini belirlemek için uygulama öncesi ve sonrası alınan bitki örnekleri ile tanede toplam Fe, Cu, Zn ve Mn konsantrasyonları 1.ve 2. yıl sırasıyla çizelge 4.15 ve 4.16 ile şekil 4.23-4.26'da verilmiştir.

Birinci yıl başaklanma başlangıcında gübre uygulamalarının etkisini belirleyebilmek için alınan örnekler ile 1. ve 2. gübre uygulamaları sonrası alınan tüm bitki ve tane örneklerinde yapılan analizler neticesinde uygulamaların Fe konsantrasyonu üzerine önemli bir etki yapmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.15, Şekil 4.23, $p>0.05$).

İkinci yılda birinci yıl sonuçlarına benzer şekilde alınan tüm bitki ve tane örneklerinde uygulamaların Fe konsantrasyonu üzerine önemli bir etkide bulunmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.16, Şekil 4.23, $p>0.05$).



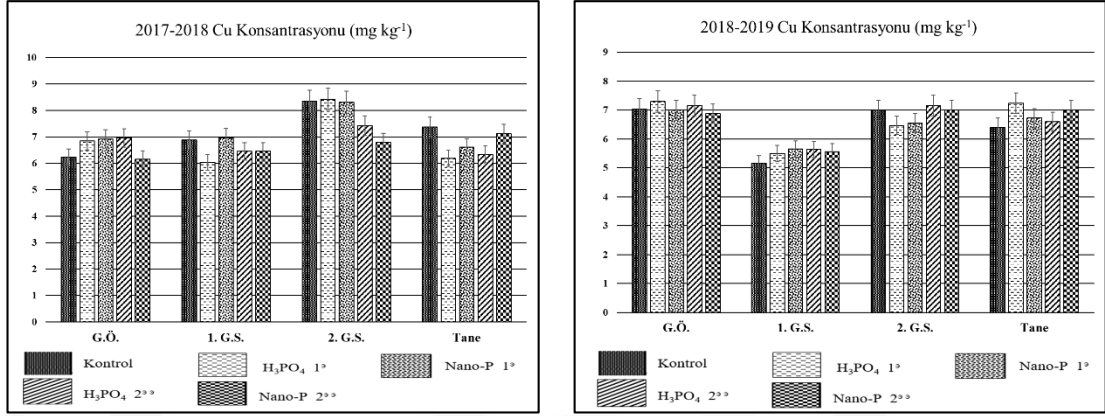
Şekil 4.23 Geç dönemde yaprakтан P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Fe konsantrasyonları üzerine etkisi



Şekil 4.24 Geç dönemde yaprakтан P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Zn konsantrasyonları üzerine etkisi

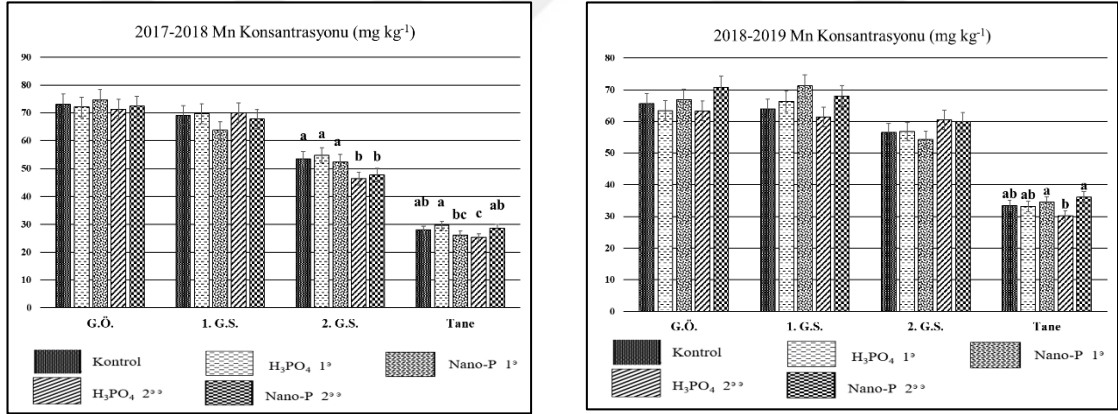
2017-2018 ve 2018-2019 buğday üretim sezonu başlangıcında yaprakтан gübre uygulaması yapılmadan ve uygulama yapıldıktan sonra alınan tüm bitki ve tanenin Zn konsantrasyonu belirlenmiştir. Yaprakтан P uygulamalarının Zn konsantrasyonu üzerine

uygulamaların önemli bir etki yapmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.15 ve 4.16, Şekil 4.24, $p>0.05$).



Şekil 4.25 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Cu konsantrasyonları üzerine etkisi

Birinci ve 2. yıl yapraktan P uygulamalarının bitki ve tane Cu konsantrasyonlarına etkisi önemsiz olmuştur. (Çizelge 4.15 ve 4.16, Şekil 4.25, $p>0.05$).



Şekil 4.26 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. ve 2. yıl bitki-tane Mn konsantrasyonları üzerine etkisi

Birinci yıl başaklanma başlangıcında gübre uygulamalarının etkisini belirleyebilmek için alınan örneklerde Mn konsantrasyonu bakımından parsellerin homojen olduğu ve aralarında istatistiksel bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.15, Şekil 4.26, $p>0.05$).

Çizelge 4.15 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 1. yıl bitki-tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	Uygulama Sayısı	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn
		(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)
Gübreleme Öncesi						I. Gübreleme Sonrası			
Kontrol	-	75.3±5.68	18.2±1.36	6.23±0.95	73.1±0.47	66.3±2.87	17.8±0.79	6.88±0.46	69.1±2.16
H ₃ PO ₄	1 [°]	76.7±6.06	18.4±2.15	6.85±0.88	72.1±3.83	61.2±8.43	16.8±1.90	6.03±0.54	69.7±3.43
Nano-P	1 [°]	70.6±6.11	18.7±2.02	6.92±0.63	74.7±2.07	63.2±9.00	16.1±0.48	6.97±0.20	63.7±1.79
H ₃ PO ₄	2 ^{°°}	74.9±5.00	19.0±1.15	6.96±1.74	71.3±2.55	63.4±15.6	13.7±2.00	6.45±1.29	70.1±2.36
Nano-P	2 ^{°°}	66.9±1.82	18.2±1.97	6.16±0.59	72.4±5.12	63.3±4.21	13.9±1.73	6.45±0.68	67.8±1.98
F değeri		0.61 ^{öd.}	0.04 ^{öd.}	0.14 ^{öd.}	0.15 ^{öd.}	0.04 ^{öd.}	1.44 ^{öd.}	0.27 ^{öd.}	1.15 ^{öd.}
LSD değeri		-	-	-	-	-	-	-	-
II. Gübreleme Sonrası						Tane			
Kontrol	-	76.5±4.53	14.7±0.29	8.35±1.05	53.4±1.71 a	30.3±3.79	22.5±1.44	7.37±0.15	28.0±0.86 ab
H ₃ PO ₄	1 [°]	82.0±3.49	14.3±1.08	8.43±0.78	54.8±1.66 a	25.0±2.24	22.8±0.79	6.19±0.13	29.6±1.07 a
Nano-P	1 [°]	78.5±6.64	13.8±1.37	8.31±0.14	52.4±1.72 a	27.9±2.31	21.4±1.27	6.61±0.26	26.2±0.47 bc
H ₃ PO ₄	2 ^{°°}	74.3±2.94	11.0±0.83	7.42±0.28	46.4±0.41 b	28.9±2.79	20.8±1.76	6.34±0.65	25.3±0.45 c
Nano-P	2 ^{°°}	69.3±4.71	12.0±0.85	6.79±0.24	47.7±1.28 b	31.1±1.88	22.0±0.47	7.12±0.35	28.5±1.08 ab
F değeri		1.06 ^{öd.}	2.71 ^{öd.}	1.41 ^{öd.}	6.48**	0.78 ^{öd.}	0.43 ^{öd.}	1.92 ^{öd.}	4.42*
LSD değeri		-	-	-	4.27	-	-	-	2.46

*: p<0.05; **: p<0.01; öd: önemli değil; ° Başaklanma başlangıcı; °° Başaklanma başlangıcı ve sonu

Çizelge 4.16 Geç dönemde yapraktan P'lu gübre uygulamalarının 2. yıl bitki-tane Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi

Uygulamalar	Uygulama Sayısı	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)
		Gübreleme Öncesi				I. Gübreleme Sonrası			
Kontrol	-	61.5±6.44	12.1±0.20	7.04±0.65	65.6±2.28	56.2±11.4	12.3±0.30	5.16±0.26	63.9±3.97
H₃PO₄	1 [°]	66.1±3.74	12.5±1.02	7.30±0.75	63.4±2.53	52.1±2.80	11.0±0.68	5.50±0.10	66.3±4.17
Nano-P	1 [°]	59.1±1.90	11.9±0.21	7.00±0.23	66.9±2.48	59.5±2.69	12.5±0.52	5.66±0.12	71.2±5.92
H₃PO₄	2 ^{°°}	61.8±3.47	11.1±0.28	7.16±0.38	63.3±0.97	54.4±9.04	12.7±3.13	5.64±1.29	61.4±4.11
Nano-P	2 ^{°°}	60.0±4.62	12.1±0.75	6.88±0.37	70.8±0.92	59.1±3.62	12.4±0.62	5.56±0.10	68.0±4.09
F değeri		0.39 ^{öd.}	0.72 ^{öd.}	0.10 ^{öd.}	2.45 ^{öd.}	0.21 ^{öd.}	0.20 ^{öd.}	0.12 ^{öd.}	0.69 ^{öd.}
LSD değeri		-	-	-	-	-	-	-	-
II. Gübreleme Sonrası						Tane			
Kontrol	-	60.5±3.60	13.4±0.34	7.00±1.14	56.5±1.72	31.2±2.31	19.0±0.60	6.40±0.11	33.5±2.04 ab
H₃PO₄	1 [°]	63.8±4.10	12.2±1.56	6.47±1.22	56.8±3.59	34.0±2.10	19.0±0.81	7.24±0.29	33.2±1.01 ab
Nano-P	1 [°]	69.1±1.86	16.2±1.61	6.56±0.88	54.3±3.93	35.9±1.73	21.0±1.64	6.72±0.95	34.5±0.45 a
H₃PO₄	2 ^{°°}	65.3±15.8	13.1±1.20	7.16±1.43	60.5±3.50	35.8±6.53	18.5±0.60	6.60±0.73	30.2±1.13 b
Nano-P	2 ^{°°}	63.4±8.53	16.4±1.31	7.00±1.31	59.9±3.05	35.6±4.35	21.6±1.28	7.00±0.45	36.1±1.20 a
F değeri		0.14 ^{öd.}	2.19 ^{öd.}	0.06 ^{öd.}	0.63 ^{öd.}	0.27 ^{öd.}	1.69 ^{öd.}	0.32 ^{öd.}	2.87*
LSD değeri		-	-	-	-	-	-	-	3.75

*: p<0.05; öd: önemli değil; ° Başaklanma başlangıcı; °° Başaklanma başlangıcı ve sonu

Birinci gübre uygulaması sonrası alınan örneklerde de uygulamaların bitki Mn konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). İkinci gübreleme sonrasında alınan örneklerde 2 defa yapılan uygulamaların, kontrol ve 1 defa yapılan uygulamalara göre daha düşük Mn konsantrasyonuna neden olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.15, Şekil 4.26, $p<0.05$). Birinci yıl yapraktan 2 defa H_3PO_4 uygulaması ile kontrole göre tanede daha düşük Mn konsantrasyonlarına ulaşılmıştır. Uygulama sayıları bakımından H_3PO_4 uygulamaları arasındaki fark önemli olurken, nano-P uygulamaları arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$).

İkinci yıl başaklanma başlangıcında gübre uygulamalarının etkisini belirleyebilmek için alınan örnekler ile 1. ve 2. gübre uygulamaları sonrası alınan tüm bitki örneklerinde uygulamaların Mn konsantrasyonu üzerine önemli bir etki yapmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.16, Şekil 4.26, $p>0.05$). İkinci yıl alınan tane örneklerinde uygulamaların Mn konsantrasyonunda önemli farklara neden olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.16, $p<0.05$). Yapraktan 1 ve 2 defa nano-P uygulamasına göre 2 defa H_3PO_4 uygulaması tane Mn konsantrasyonunu önemli düzeyde azaltmıştır.

5. TARTIŞMA

5.1 Nano Fosforlu Gübre Denemesi

Bitkisel üretimde eksikliği en fazla hissedilen besin elementlerinden biri olan P'un ülkemiz topraklarının genelinde yüksek pH, kil ve kireç içeriği ile düşük organik madde ve toprak nemi gibi özellikleri nedeniyle kolaylıkla yarayıssız forma geçtiği bilinmektedir. Üretimin artırılması için dünyada yoğun bir şekilde P'lu gübre tüketilmektedir. Yoğun P'lu gübre kullanımı hem çevre sorunlarına neden olmakta hem de yakın gelecekte P kaynaklarının tükenmesi nedeniyle üretimde sorunlara yol açacağı tahmin edilmektedir. Fosforun toprakta fiksasyon riskini azaltarak sürdürülebilir bir üretim sağlamak ve tükenen kaynaklara alternatif bulmak amacıyla bu çalışmada nano-P'lu gübrelerin kullanım olanakları araştırılmıştır. 2017-2018 ve 2018-2019 buğday üretim sezonlarında Ankara Üniversitesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde kurulan tarla denemelerinde buğday bitkisinde DAP gübresine alternatif olması amacıyla 4, 6 ve 8 kg da⁻¹ düzeyinde nano-P uygulanmış ve uygulamaların bazı verim öğelerinde (tane verimi, bin tane ağırlığı, hasat indeksi ve tane protein oranı) yarattığı değişimler tespit edilmiştir. Ayrıca buğday bitkisinin başta P olmak üzere makro (N, K, Ca ve Mg) ve mikro (Fe, Zn, Cu ve Mn) besin elementi konsantrasyonlarına etkisi belirlenmiştir.

Araştırmanın yürütüldüğü birinci yıl uygulamaların verime etkisi önemli olurken ikinci yıl önemsiz olmuştur(Çizelge 4.2). Yapılan çalışmada uygulamalara bağlı olarak 1. yıl ortalama tane veriminin 407 kg da⁻¹, 2. yıl ortalama tane veriminin 326 kg da⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde ortalama tane verimleri ise 1. ve 2. yıl sırasıyla 380 ve 330 kg da⁻¹ olmuştur. Bu veriden de görüldüğü üzere çalışma sonucunda elde edilen verim değerleri Haymana koşullarını yansıtmaktadır. Tez çalışmasının ilk yılında toplam yağış miktarı 465.5 mm iken, 2. yıl toplam yağış miktarının 353.8 mm olması nedeniyle, ilk yılda elde edilen toplam verim değerleri 2. yıldan daha yüksek olmuştur. İlk yıl referans uygulama ile karşılaştırıldığında nano-P uygulamalarında tane veriminin daha düşük olduğu, fakat dozlar arasında istatistiksel bir fark olmadığı belirlenmiştir. Montalvo vd. (2015) yaptıkları bir çalışmada, DAP ve MAP gibi P'lu gübrelerin TSP'ye göre kuru madde miktarı bakımından daha etkili olduğunu ifade etmişlerdir. McKnight vd. (2020) yaptıkları çalışmada toplam biyokütle,

toprak üstü biyokütle, toprak altı biyokütle ve soya fasulyesi verimi bakımından nano hidroksiapatit uygulamalarına göre P'lu gübrenin daha yüksek sonuçlar verdiğini belirterek bu durumu nano hidroksiapatitten P salınımının yavaş olması nedeniyle bitkinin ihtiyaç duyduğu dönemde yeterli P'u sağlayamamasına bağlamışlardır. Borm vd (2006) bitkide kuru madde bakımından, yüksek P fiksasyon kapasitesine sahip topraklara uygulanan nano hidroksiapatitin kümeleşme sonucu nano parçacıkların hareket ve çözünürlüklerinin sınırlanması nedeniyle, suda çözünebilir P içeriği yüksek olan TSP gübresinden daha az etkili olurken hidroksiapatitten daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Adhikari vd. (2014) ise mısır bitkisine uygulanan nano hidroksiapatit ile alınan tane veriminin süper fosfat gübresiyle alınan tane veriminden daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Samavini vd. (2018) mısır bitkisiyle yürüttüğü çalışmada TSP uygulaması ile nano hidroksiapatit uygulamasına göre daha fazla bitki kuru ağırlığı elde ettiklerini belirtmişlerdir. Tez çalışmasının 2. yılında verimler arasında uygulamalara bağlı olarak önemli bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Xiong vd. (2018a) yaptığı çalışmada alkali karakterli vertisol toprağa uygulanan farklı yüzey yüküne sahip hidroksiapatit nano partiküllerinin yüksek pH'lı topraklarda hidroksiapatitin çözünürlüğünün önemli derecede azalması nedeniyle yaş ağırlık bakımından kontrolle aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Mikhak vd. (2017) papatya bitkisine uygulanan nano hidroksiapatit ile TSP gübrelerinin yaş ağırlık bakımından benzer etkiye sahip olduğunu, kuru ağırlık bakımından ise nano hidroksiapatitin TSP'nin biraz daha yüksek etkili olduğunu belirlemişlerdir. Rajonee vd (2017), Su ıspanağı bitkisinde yaş ve kuru ağırlık, Miranda-Villagómez vd. (2019) çeltik bitkisinde kuru ağırlık ve Yoon vd. (2020) mısır bitkisinde yaş ve kuru ağırlık üzerine nano-P ve geleneksel P'lu gübrelerin benzer etkide bulunduklarını belirtmişlerdir. Madanayake vd. (2021) turp bitkisine uygulanan hidroksiapatit nano partiküllerinin bitkide kuru madde miktarı bakımından çok yüksek dozlar haricinde kontrolle aynı sınıfta yer aldığını belirlemişlerdir.

Tane verimine benzer şekilde referans uygulama 1. yıl nano-P uygulamalarından daha yüksek bin tane ağırlığı sağlarken, 2. yıl uygulamalar arasında bir fark tespit edilmemiştir (Çizelge 4.2). Denemede kullanılan Bezostaja-1 ekmeklik buğday çeşidinin ortalama bin tane ağırlığı 40-44 g arasındadır (Anonim 2003). Çeşitli araştırmacıların ekmeklik buğday çeşit ve hatları üzerinde yapmış oldukları çalışmalarda bin tane ağırlığının 29.9-49.7 g arasında olduğu belirlenmiştir (Şahin vd.

2005, Yıldırım vd. 2005). Çeşitlerin bin tane ağırlığında görülen farkta genetik yapı kadar çevre koşulları da etkilidir (Doğan ve Kendal 2012, Naneli vd. 2015). Denemenin yürütüldüğü yıllarda yağış miktarına bağlı olarak ortalama 1000 tane ağırlığının 1. yıl 52 g, 2. yıl 41 g olduğu belirlenmiştir. Başaklanma dönemine kadar yeterli yağış alan buğdayda bin tane ağırlığının yüksek olduğu bilinmektedir (Yıldırım vd. 2005). Birinci yıl belirlenen bin tane ağırlığının çeşit ortalamasından yüksek olması da ilk yıl düşen yağış miktarının uzun yıllar ortalamasından (348.5 mm) yüksek olmasına atfedilmiştir. Birinci yıl referans uygulama ile nano-P uygulamalarından daha yüksek bin tane ağırlığı elde edilmiştir. Sakin (2015) buğdayda başaklanma başlangıcında düşen yağışın bin tane ağırlığını önemli düzeyde etkilediğini bildirmiştir. İkinci yıl başaklanma başlangıcında (Nisan ayı) düşen yağışın (27.0 mm) uzun yıllar ortalamasına göre (40.6 mm) %66.5 oranında azalması buğdayın su ihtiyacını karşılayamamasına ve bin tane ağırlığının ilk yıla göre azalmasına neden olmuş olabilir. İkinci yıl elde edilen verilere paralel olarak Adhikari vd. (2014) kompoze gübre ile 2 farklı nano kaya fosfatı karşılaştırdıkları çalışmalarında mısır bitkisinin bin tane ağırlığı üzerine uygulamaların etkisinin önemli olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Elde edilen sonuçlardan farklı olarak Seleiman ve Kheir (2018) mısırdaki 100 tane ağırlığını nano hidroksiapatit uygulamalarının kontrole göre önemli düzeyde artırdığını belirlemişlerdir.

Hasat indeksi bakımından uygulamaların etkisinin 1. yılda önemsiz, 2. yılda önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Şablon tane veriminin şablon biyolojik verime oranı olan hasat indeksinin ekmeklik buğdayda ortalama %22.6-42.6 arasında değiştiği bazı araştırmacılarca ifade edilmiştir (Ayter 2010, Özen 2014, Sakin vd. 2015). Denemenin yürütüldüğü 1. yıl hasat indeksi %38.7, 2. yıl %39.4 olarak belirlenmiş ve yukarıda bildirilen araştırma sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Adhikari vd. (2014) yürüttükleri bir çalışmada kompoze gübre ve nano kaya fosfat uygulamalarının mısır bitkisinin hasat indeksi üzerine önemli bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Denemenin 2. yılında 6 kg da^{-1} nano-P uygulaması ile en yüksek ve referans uygulama ile en düşük hasat indeksi belirlenmiştir. Çeşitli araştırmacılar P'un bitkide kök büyümesini ve metabolik aktiviteyi iyileştirdiğini, protein sentezinde etkili olduğunu ve sulama suyundan tasarruf sağladığını dolayısıyla hasat indeksini de artırdığını bildirmişlerdir (War ve Shaktawat 2003, Li vd. 2005, Kumar vd. 2006, Zhang vd.

2010). Bu sonuçlara benzer şekilde Seleiman ve Kheir (2018) mısır bitkisine uygulanan nano hidroksiapatit ile kontrole göre hasat indeksinin arttığını belirlemişlerdir.

Buğdayda önemli bir kalite parametresi olan ve ekmek yapılabilme özelliğini belirleyen tane protein oranı üzerine uygulamaların etkisi iki yılda da önemli olmamıştır (Çizelge 4.2). Fakat çalışma sonucunda belirlenen tane protein oranı değerlerinin (1. yıl %15.7 ve 2. yıl %14) Sade (1997) tarafından bildirilen ve ekmek yapımı için kritik olan protein oranının (> %11) üzerinde olduğu belirlenmiştir. Tane protein oranı bakımından iki yılda da referans uygulama ve nano-P'un düşük dozunun yakın sonuçlar vermesi alternatif P'lu gübrelerin geliştirilmesi bakımından umut verici bir sonuç olarak göze çarpmaktadır. Drostar vd. (2016) yürüttükleri çalışmada yaprağa uygulanan nano boyutlu P'lu gübre ile kontrole göre protein oranının değişmediğini ifade etmişlerdir. Madanayake vd. (2021) turp bitkisine uygulanan nano hidroksiapatit ile yumru protein oranında meydana gelen değişimlerin önemsiz olduğunu belirlemişlerdir.

Başaklanma başlangıcında alınan tüm bitki örneklerinde P konsantrasyonlarının 1. yıl 1.45-1.87 g kg⁻¹ arasında, 2. yıl 1.36-1.43 g kg⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 4.3 ve 4.4). Jones vd. (1991) buğdayda başaklanma döneminde alınan örneklerde toplam P konsantrasyonunun 2-5 g kg⁻¹ değerleri arasında ise yeterli olduğunu bildirmişlerdir. Bu sınır değerlere göre; 2 yılda da bitki toplam P konsantrasyonlarının yeterli olmadığı belirlenmiştir. Alkali topraklarda P hızlı bir şekilde fikse olduğu için bitkiler tarafından alımı güçleşmektedir (Güneş vd. 2013). Birinci yıl nano-P uygulamaları ile referans uygulamadan daha yüksek bitki toplam P konsantrasyonu elde edilmiş ve nano-P dozları istatistiki anlamda aynı sınıfta yer almıştır. Miranda-Villagómez vd. (2019) çeltikte yaptıkları çalışmada nano KH₂PO₄ uygulamasının anlık su kullanım etkinliğini geleneksel P'lu gübrelerden daha fazla artırdığını ve nano KH₂PO₄ uygulamasının %50 dozunun bile geleneksel P'lu gübrelerin %100 dozuna göre P kullanım etkinliğini artırdığını bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında da nano-P'un düşük dozunda referans uygulamaya göre bitki P konsantrasyonunun daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Montalvo vd. (2015) hidroksiapatit nano partiküllerinin toprakta kısmen hareketli olabileceğini ve dolayısıyla bitkide kitle akışıyla köklere doğru taşınarak doğrudan alımının gerçekleşebileceğini ileri sürmüşlerdir. Bu şekilde, nanopartiküller, çok güçlü P fikse eden topraklarda suda

çözünür P içeriği yüksek olan gübrelere göre P fiksasyon riskini azalttığı için avantaja sahip olabileceklerdir. Borm vd. (2006) ise hidroksiapatit nano partiküllerinin boyutunun azalmasıyla bitkilere P yarayışlılığının arttığını ifade etmişlerdir. Sajadinia vd. (2021) mısır bitkisine uygulanan nano hidroksiapatitin kontrol, TSP ve süper fosfata göre bitki P içeriğini önemli düzeyde artırdığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar nano hidroksiapatit formunda uygulanan P'un fiksasyonunun azalarak bitkiye yarayışlılığın arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar nano hidroksiapatitten P'un yavaş bir şekilde salındığını ve bitkiler tarafından bu salınan P'un rahatlıkla alınarak yer altı kaynaklarına P'un taşınımının engellendiğini de tespit etmişlerdir. Rajonee vd. (2017) su ıspanağı bitkisinde ticari gübreye göre nano-P uygulaması ile bitki P konsantrasyonunun önemli düzeyde arttığını bildirmişlerdir. Mikhak vd. (2017) nano zeolit ve nano hidroksiapatitin ötrofikasyon riskini azalttığını ve nano hidroksiapatitin kireçli topraklarda bitkilerin beslenmesi açısından önemli bir P kaynağı olduğunu ortaya koymuşlardır. Taskin vd. (2018) marul bitkisine uygulanan nano hidroksiapatit ile yapraktan P konsantrasyonlarının kontrol ve H_3PO_4 'e göre önemli oranda arttığını ifade etmişlerdir. Xiong vd. (2018b) ayçiçeği bitkisi ile yaptıkları çalışmada asit karakterli toprağa uygulanan hidroksiapatit nano partiküllerinin TSP'ye göre bitkide P konsantrasyonunu önemli düzeyde artırdığını, alkali karakterli toprakta ise TSP'nin bitki P konsantrasyonu bakımından daha etkili olduğunu belirlemişlerdir. Mohamed vd. (2019) soya fasulyesine uygulanan balık kemiğinden elde edilen nano hidroksiapatitin TSP'ye göre P konsantrasyonunu artırdığını bildirmişlerdir. İkinci yıl bitki P konsantrasyonu bakımından uygulamaların etkisi önemli olmamıştır. Adhikari vd. (2014) mısır bitkisi P içeriği bakımından kompoze gübre ile nano kaya fosfat uygulamaları arasında bir fark olmadığını ifade etmiştir. Marchiol vd. (2019) domatese uygulanan nano hidroksiapatit ile kontrol ve hidroksiapatit arasında P konsantrasyonu bakımından bir fark olmadığı belirtilmiştir. Shams ve Abbas (2019) brokoli bitkisi P konsantrasyonu bakımından nano-P ve süper fosfat gübreleri arasında bir fark olmadığını ifade etmişlerdir. Ha vd. (2019) kahve bitkisine artan dozlarda uygulanan nano gübrelerin (NPK) yapraktan P konsantrasyonu üzerine önemli bir etki oluşturmadığını tespit etmişlerdir. Mahmoud ve Swaefy (2020) adaçayı bitkisine uygulanan nano-P ile bitki P konsantrasyonunun değişmediğini bildirmişlerdir.

Birinci ve ikinci yıl tane P konsantrasyonuna uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamış ve tane P konsantrasyonları 1. yıl 3.64-3.84 g kg⁻¹, 2. yıl 2.0-2.12 g kg⁻¹ aralığında değişmiştir (Çizelge 4.3 ve 4.4). Reuter vd. (1997)'ne göre buğday tanesinde P'un kritik değeri 2.7 g kg⁻¹ olarak ifade edilmiştir. Bu değere göre 1. yıl buğday tanesi P konsantrasyonunun yeterli, 2. yıl yetersiz olduğu gözlenmiştir. Birinci yıl başaklanma döneminde düşen yağış miktarı (156 mm) uzun yıllar ortalamasından (86.5 mm) yüksek olmuş ve yağışa bağlı olarak Fixen ve Grove (1990) tarafından bildirildiği şekilde P alımı artmıştır. Mikhak vd. (2017) papatya bitkisinde yürüttüğü çalışmada nano hidroksiapatit ve TSP'nin bitki P konsantrasyonu bakımından aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Shams ve Abbas (2019) brokoli çiçeğinde kontrole göre 2 yılda da P konsantrasyonunun nano-P ve süper fosfat gübreleri ile arttığını fakat gübreler arasında bir fark olmadığını ifade etmişlerdir. Merghany vd. (2019) hıyar bitkisinde yürüttükleri çalışmada ticari gübre ve artan dozlarda verilen nano gübrelerden meyve P konsantrasyonunun etkilenmediğini belirtmişlerdir.

Jones vd. (1991) buğdayda başaklanma döneminde bitki toplam N konsantrasyonunun 20-30 g kg⁻¹ değerleri arasında olması gerektiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada bitki N konsantrasyonunun 1. yıl 18.7-22.2 g kg⁻¹, 2. yıl 17.2-18.3 g kg⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 4.3 ve 4.4). Sonuçlar değerlendirildiğinde; 1. yıl bitki N konsantrasyonları referans uygulamaya göre nano-P uygulamaları ile artmış fakat artan nano-P dozları arasında istatistiksel bir fark belirlenmemiştir. İkinci yıl ise bitki N konsantrasyonu referans uygulamaya göre yalnızca yüksek ve düşük nano-P dozları ile artmıştır. Shams ve Abbas (2019) brokoli bitkisinde N konsantrasyonunun kontrole göre 2 yılda da nano-P ve süper fosfat gübreleri ile arttığını ve gübreler arasında bir farklılığın olmadığını ifade etmişlerdir. Mohamed vd. (2019) soya fasulyesine uygulanan balık kemiğinden elde edilen nano hidroksiapatitin TSP'ye göre N konsantrasyonunu artırdığı belirlenmiştir. Merghany vd. (2019)'ne göre hıyar bitkisine artan dozlarda uygulanan nano gübreler (NPK) ile çalışmanın yapıldığı 2 yılda da yaprak N konsantrasyonları ticari gübreye (NPK) göre önemli oranda artmıştır. Ha vd. (2019) kahve bitkisine artan dozlarda uygulanan nano gübreler (NPK) ile kontrole göre yaprak N konsantrasyonunun önemli düzeyde arttığını tespit etmişlerdir. Mahmoud ve Swaefy (2020) adaçayı bitkisine uygulanan ticari gübreye (NPK) göre nano-P uygulaması ile bitki N konsantrasyonunun arttığını bildirmişlerdir. El-Azizy vd. (2021)

bakla bitkisine artan dozlarda uygulanan nano-P ile kontrole göre bitki N konsantrasyonunun önemli düzeyde arttığını belirlemişlerdir.

Tane N konsantrasyonunun 1. yıl 24.2-25.7 g kg⁻¹, 2. yıl 21.9-22.9 g kg⁻¹ arasında değiştiği ve her iki yılda da uygulamaların etkisinin önemli olmadığı belirlenmiştir. Adhikari vd. (2014) mısır bitkisinde yürüttüğü çalışmada tane N içeriğinin uygulanan kompoze gübre ve 2 farklı nano kaya fosfat ile değişmediğini bildirmişlerdir. Mikhak vd. (2017) papatya bitkisinde toplam N konsantrasyonu bakımından nano hidroksiapatit ve TSP'nin aynı sınıfta yer aldığını ifade etmişlerdir. Bu tez çalışmasında elde edilen verilerin aksine Abdel-Salam (2018) ve El-Azizy vd. (2021) bakla bitkisinde yaptıkları çalışmalarda nano-P uygulamaları ile tane N konsantrasyonunun kontrole göre önemli düzeyde arttığını belirtmişlerdir.

Birinci yıl, bitki K konsantrasyonu bakımından 4 ve 6 kg da⁻¹ nano-P uygulaması ile 8 kg da⁻¹ nano-P ve referans uygulamaya göre daha yüksek değerler belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Shams ve Abbas (2019) brokoli bitkisinde iki yılda da kontrole göre nano-P ve süper fosfat gübreleri ile K konsantrasyonunun arttığını, gübreler arasında bir fark bulunmadığını belirlemişlerdir. Ha vd. (2019) kahve bitkisine artan dozlarda uygulanan nano gübrelerin (NPK) kontrole göre yaprak K konsantrasyonunu önemli düzeyde arttırdığını ifade etmişlerdir. El-Azizy vd. (2021) bakla bitkisine artan dozlarda uygulanan nano-P ile kontrole göre bitki K konsantrasyonunun önemli düzeyde arttığını bildirmişlerdir. Tez çalışmasının 2. yılında uygulamaların bitki K konsantrasyonu üzerine önemli bir etki yaratmadığı belirlenmiştir. Benzer şekilde Adhikari vd. (2014) bitki K konsantrasyonu bakımından kompoze gübre ve nano kaya fosfat uygulamaları arasında bir farklılığın olmadığını ifade etmişlerdir. Mohamed vd. (2019) soya fasulyesine uygulanan ve yumurta kabuğundan elde edilen nano hidroksiapatitin K konsantrasyonu bakımından TSP ile aynı sınıfta yer aldığını tespit etmişlerdir. Mahmoud ve Swaefy (2020) nano-P uygulamasının adaçayı bitkisinde K konsantrasyonu üzerine etkili olmadığını ifade etmişlerdir. Yoon vd. (2020) mısırdaki K konsantrasyonu bakımından kompoze gübre ile nano hidroksiapatit uygulamaları arasında bir farklılığın olmadığını belirlemişlerdir.

Reuter vd. (1997) tarafından tane K konsantrasyonu kritik değeri 5.0 g kg⁻¹ olarak bildirilmiştir. Bu kritik değere göre 1. yıl 3.41-3.62 g kg⁻¹ ve 2. yıl 3.17-3.34 g kg⁻¹

olarak belirlenen tane K konsantrasyonlarının yetersiz olduğu tespit edilmiş ayrıca her iki yılda da uygulamaların etkisi önemli olmamıştır. Adhikari vd. (2014) mısır bitkisine uygulanan kompoze gübre ve nano kaya fosfat ile tane K konsantrasyonunun değişmediğini ifade etmişlerdir. Merghany vd. (2019) hıyar bitkisinde yürüttükleri çalışmada ticari gübre (NPK) ve artan dozlarda verilen nano gübrelerden (NPK) meyve K konsantrasyonunun etkilenmediğini belirtmişlerdir. Bu tez çalışmasında elde edilen verilerin aksine; Shams ve Abbas (2019) yaptıkları bir çalışmanın ilk yılında brokoli çiçeğinde K konsantrasyonunun P'lu gübre uygulamaları ile kontrole göre arttığını, en yüksek değere süper fosfat gübresi ile ulaşıldığını bildirmişlerdir. İkinci yıl ise kontrole göre nano-P ve süper fosfat gübreleri ile K konsantrasyonunun arttığını, gübreler arasında ise bir fark olmadığını ortaya koymuşlardır.

Denemenin yürütüldüğü 2 yılda da uygulamaların bitki Ca konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisi olmamıştır (Çizelge 4.3 ve 4.4). Başaklanma başlangıcında alınan örneklerde, Ca konsantrasyonlarının Jones vd. (1991) tarafından belirtilen yeterlilik sınırlarının ($2-5 \text{ g kg}^{-1}$) içerisinde olduğu belirlenmiştir. Xiong vd. (2018b) ayçiçeği bitkisi ile yaptıkları çalışmada asit karakterli toprağa uygulanan hidroksiapatit nano partikülleri ile bitki Ca konsantrasyonunun TSP'ye göre önemli oranda arttığını, aynı uygulamaların alkali toprakta bir fark oluşturmadığını bildirmişlerdir. Marchiol vd. (2019) domates bitkisi Ca konsantrasyonu bakımından kontrol ile nano hidroksiapatit uygulamaları arasında bir fark olmadığını ifade etmişlerdir. Ha vd. (2019) kahve bitkisinde nano gübrelerin yaprak Ca konsantrasyonunu önemli düzeyde etkilemediğini tespit etmişlerdir. Yoon vd. (2020) mısırdaki Ca konsantrasyonu bakımından ticari gübre (NPK) ile nano-P kökenli gübreler arasında bir farklılığın olmadığını belirlemişlerdir.

Denemenin yürütüldüğü 2 yılda da uygulamaların tane Ca konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisi olmamıştır (Çizelge 4.3 ve 4.4). Denemenin yürütüldüğü ilk yıl tane Ca konsantrasyonu $0.35-0.37 \text{ g kg}^{-1}$ arasında ve 2. yıl $0.42-0.51 \text{ g kg}^{-1}$ arasında belirlenmiştir. Anonymous (2001) tarafından bildirilen kritik değere (0.43 g kg^{-1}) göre tane Ca konsantrasyonunun 1. yıl noksan, 2. yıl yeterli olduğu saptanmıştır.

Bitki Mg konsantrasyonu bakımından her iki yılda da P uygulamaları ile önemli bir değişim belirlenmemiştir (Çizelge 4.3 ve 4.4). Her iki yılda da deneme alanında değişebilir Mg konsantrasyonu fazla ve başaklanma döneminde alınan bitki

örneklerinde Mg konsantrasyonu yeterli düzeyde bulunmuştur. Ha vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada artan dozlarda uygulanan nano gübrelerin kahve bitkisi yaprak Mg konsantrasyonu üzerine önemli etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Mahmoud ve Swaefy (2020) adaçayı bitkisine uygulanan ticari gübre ve nano-P ile Mg konsantrasyonunda istatistiksel bir farklılığın oluşmadığını ifade etmişlerdir.

Tane Mg konsantrasyonuna uygulamaların etkisi 1. yıl önemli, 2. yıl önemsiz olmuştur (Çizelge 4.3 ve 4.4). Birinci yıl referans ve 8 kg da⁻¹ nano-P uygulamaları ile tane Mg konsantrasyonu önemli düzeyde artmıştır. Denemenin yürütüldüğü 2 yılda da tane Mg konsantrasyonunun Anonymous (2001) tarafından bildirilen 1.4 g kg⁻¹ kritik değerinden düşük olduğu (1. yıl; 0.63-0.75 g kg⁻¹, 2. yıl; 0.75-0.76 g kg⁻¹) gözlenmiştir.

Literatür bilgileri P uygulamalarının bitkide Fe alımını olumsuz etkilediğini göstermektedir (Anonymous 1988). Yapılan çalışmanın her iki yılında da literatür bilgilerinin aksine referans uygulamaya göre nano-P uygulamaları ile rakamsal olarak daha yüksek bitki Fe konsantrasyonu belirlenmiştir (Çizelge 4.5 ve 4.6). Birinci yıl bitki Fe konsantrasyonu uygulamalardan önemli oranda etkilenmiş ve 8 kg da⁻¹ nano-P uygulaması referans ve diğer nano-P uygulamalarından daha yüksek Fe konsantrasyonu sağlamıştır. Mahmoud ve Swaefy (2020) adaçayı bitkisine uygulanan ticari gübre (NPK) göre nano-P ile bitki Fe konsantrasyonunun 2 yılda da önemli oranda arttığını ifade etmişlerdir. İkinci yıl ise bitki Fe konsantrasyonuna uygulamaların etkisi önemli olmamıştır. Xiong vd. (2018b) ayçiçeği bitkisi ile yaptıkları çalışmada asit karakterli toprağa uygulanan hidroksiapatit nano partikülleri ile bitki Fe konsantrasyonunun TSP'ye göre daha düşük olduğunu fakat bu farklılığın alkali toprakta gözlenmediğini ifade etmişlerdir. Yoon vd. (2020) mısırdaki Fe konsantrasyonu bakımından ticari gübre (NPK) ile nano-P kökenli gübreler arasında bir farklılığın olmadığını belirlemişlerdir.

Birinci yıl tane Fe konsantrasyonu 23.4-38.8 mg kg⁻¹, 2. yıl 29.3-32.8 mg kg⁻¹ belirlenmiştir. İnsanlarda Fe eksikliğine bağlı sağlık sorunlarının azaltılabilmesi için buğday tanesi Fe konsantrasyonunun 50 mg kg⁻¹ düzeyinde olması gerekmektedir (Rengel vd. 1999, Cakmak 2010). Bu bilgiler ışığında denemenin yürütüldüğü 2 yılda da tane Fe konsantrasyonunun belirlenen kritik değerin altında olduğu gözlenmektedir. Birinci yıl tane Fe konsantrasyonu 6 ve 4 kg da⁻¹ nano-P uygulamaları ile referans uygulamadan daha yüksek belirlenmiştir (Çizelge 4.5 ve 4.6). Abdel-Salam (2018)

baklarda nano-P uygulamasının etkisini incelediği çalışmada tanede Fe alımı üzerine nano-P uygulamalarının kontrole göre artış sağladığı ve uygulama dozu artıkça tane Fe konsantrasyonunun arttığını belirlemiştir. İkinci yıl uygulamaların tane Fe konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisi tespit edilmemiştir.

Denemenin yürütüldüğü her iki yılda da deneme alanının Zn içeriğinin az olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.1). Jones vd. (1991) buğdayda başaklanma döneminde bitki Zn konsantrasyonunun 15-70 mg kg⁻¹ değerleri arasında ise yeterli olduğunu bildirmişlerdir. Bu verilere göre denemenin 1. yılında bitki Zn konsantrasyonunun yeterli (ortalama 19.1 mg kg⁻¹), 2. yıl bitki Zn konsantrasyonunun yetersiz (ortalama 13.7 mg kg⁻¹) olduğu tespit edilmiştir. Denemede bitki Zn konsantrasyonlarının her iki yılda da uygulanan P'lu gübrelerden önemli derecede etkilenmediği belirlenmiştir (Çizelge 4.5 ve 4.6). Literatürlerde P ve Zn arasındaki ilişki en fazla araştırılan interaksiyonlardan biri olmuştur (Loneragan ve Webb 1993, Wilkinson vd. 2000). Broadley vd. (2012) yürüttükleri çalışmada P-Zn etkileşimini incelemişler ve bitkilere yüksek oranda uygulanan P'lu gübre ile antagonistik etki oluştuğunu bildirmişlerdir. Bu antagonizmi ise toprakta Zn çözünürlüğünün azalması, kök büyümesinin azalması, arbüsküler mikoriza kolonisinin azalması, daha yüksek verim nedeniyle seyrelme etkisinin gözlenmesi, bitki dokularında Zn çözünürlüğü ve hareketliliğinin azalması ve P toksitesi ile açıklamışlardır. Fosfor çinko interaksiyonunda görülen bu bulguların aksine yapılan çalışmada referans uygulamaya göre uygulanan nano-P dozları Zn alımını azaltmamıştır. Ülkemizde konvensiyonel P'lu gübrelerin kullanımında noksanlığı sık görülen Zn'nun, nano-P uygulamalarında baskılanmaması nano-P alım mekanizmalarının daha detaylı çalışılması gerektiği görüşünü oluşturmuştur. Mahmoud ve Swaefy (2020) adaçayı bitkisine uygulanan ticari gübre (NPK) ve nano-P ile bitki Zn konsantrasyonunda önemli değişimler olmadığını belirtmişlerdir. Xiong vd. (2018b) ayçiçeği bitkisi ile yaptıkları çalışmada asit karakterli toprakta uygulanan hidroksiapatit nano partiküllerinin bitki Zn konsantrasyonunu TSP'ye göre azalttığını, alkali toprakta ise aynı kaynakların bitki Zn konsantrasyonunu TSP'ye göre artırdığını belirlemişlerdir.

Reuter vd. (1997) buğdayda tane Zn konsantrasyonu için kritik değerin 5-15 mg kg⁻¹ olduğunu ifade etmişlerdir. Denemenin her iki yılında da tane Zn konsantrasyonu kritik değerin üzerinde; 1. yıl 18.5-22.8 mg kg⁻¹, 2. yıl 19.5-21.6 mg kg⁻¹ olduğu

belirlenmiştir. Tez çalışmasının ilk yılında yüksek nano-P uygulaması ile referans uygulamadan daha fazla tane Zn konsantrasyonu belirlenmiş ve diğer nano-P uygulamaları referans ile aynı sınıfta yer almıştır. İkinci yıl ise tane Zn konsantrasyonu üzerine uygulamaların önemli bir etkisi tespit edilmemiştir (Çizelge 4.5 ve 4.6).

Nano-P uygulamalarının bitki Cu konsantrasyonu üzerine etkisinin 1. yıl önemli olmadığı, 2. yıl ise uygulamaların etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.5 ve 4.6). İkinci yıl düşük dozda uygulanan nano-P ile referans ve yüksek nano-P uygulamalarından daha yüksek Cu konsantrasyonu belirlenmiştir. Tane Cu konsantrasyonu bakımından 1. ve 2. yıl uygulamaların etkisi önemli olmamıştır. Her iki yılda deneme alanının Cu içeriğinin fazla olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Ayrıca tane Cu konsantrasyonunun her iki yılda da Reuter vd. (1997) tarafından bildirilen kritik değerlere ($1.0-2.5 \text{ mg kg}^{-1}$) göre yeterli olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak toprakta yeterli Cu konsantrasyonunun olması ile bitki ve taneye bakırın taşınabilmesi, uygulamaların Cu konsantrasyonu üzerine etkisinin önemli olmamasına neden olmuş olabilir.

Bitki Mn konsantrasyonuna uygulamaların etkisi iki yılda da önemli olmamıştır (Çizelge 4.5 ve 4.6). Bitkilerde iki yılda da Mn konsantrasyonu Jones vd. (1991) tarafından belirlenen yeterlilik sınırları ($25-100 \text{ mg kg}^{-1}$) içerisinde olmuştur. Mahmoud ve Swaefy (2020) ticari gübre ve nano-P uygulanan adaçayı bitkisinde uygulamaların bitki Mn konsantrasyonu üzerine etkisinin 1. yıl önemli olmadığını, 2. yıl ise nano-P uygulamaları ile bitki Mn konsantrasyonunun önemli oranda arttığını ifade etmişlerdir.

Tane Mn konsantrasyonu üzerine uygulamaların etkisi 1. yıl önemli olmazken, 2. yıl önemli olmuştur (Çizelge 4.5 ve 4.6). Tane Mn konsantrasyonları 1. yıl $30.1-32.8 \text{ mg kg}^{-1}$, 2. yıl $30.9-34.2 \text{ mg kg}^{-1}$ düzeyinde belirlenmiştir. Her iki yılda bulunan değerlerin Reuter vd. (1997) tarafından buğdayda Mn için bildirilen kritik seviyenin (20 mg kg^{-1}) üzerinde olduğu tespit edilmiştir. İkinci yıl yüksek dozda uygulanan nano-P ile referans uygulamasından daha yüksek Mn konsantrasyonu belirlenmiştir.

5.2 Biyokömür Kaplı Fosforlu Gübre Denemesi

Türkiye topraklarının karakteristik özellikleri toprak verimliliği için sınırlayıcı bir faktördür. Sürdürülebilir üretim için toprakta organik madde miktarının artırılması ve fiziksel, kimyasal, biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Eyüpoğlu (1999) Türkiye topraklarının yaklaşık %65’inde organik maddenin az ya da çok az düzeyde olduğunu bildirmiştir. Fosforlu gübre kaynakları tükenirken organik gübrelerin mineral P’lu gübrelerle kaynak olabileceği düşünülmektedir. Organik gübre kaynakları içerisinde ortalama %1.77 P içeren tavuk gübresi potansiyel bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır (Frazao vd. 2019). Tavuk gübresinin gelişigüzel toprak yüzeyine bırakılması birtakım çevre kirliliği problemleri yaratmakta ve bu durumun çözümüne yönelik yeni stratejiler geliştirilmektedir. Bu stratejilerden biri olan BK, başta tavuk gübresi olmak üzere çeşitli bitkisel ve hayvansal atıkların pirolizi ile elde edilmektedir ve elde edilen bu ürünün hacmi ve kütlesi azaldığından kullanım ve taşınım kolaylığı sağlanmakta (Cantrell vd. 2007), tarım topraklarına uygulanmasıyla toprak kalitesi ve verimliliği iyileşmekte, sera gazı salınımlarının azalmasıyla uygun bir toprak düzenleyicisi haline gelmektedir (Robert vd. 2010, Chintala vd. 2015). Topraklarda kolaylıkla fiks olan P’un kullanım etkinliğini artırmak için P’lu gübrelerle hümik maddelerin eklenmesi (Erro vd. 2016), polimerlerle kaplanması (Erro vd. 2016), peletleme veya BK ile granülasyon (Kim vd. 2014) gibi yöntemlerle yeni fosfatlı gübre teknolojileri geliştirilmektedir (Yao vd. 2015, Lustosa Filho vd. 2017, Santos vd. 2019). Polimerler ile kaplamanın en faydalı yanı, daha az miktarda P’lu gübre uygulamasının kullanımına katkı sağlamasıdır (Noor vd. 2017). Gübre granülleri üzerine kaplanan malzemenin kalınlığı besin salınımını etkilemektedir (Noor vd. 2017, Ali vd. 2017). Konvensiyonel granül gübrelerin çevresinde difüzyon kabuğu oluşturulması fiksasyon riskini azaltmaktadır (Cruz vd. 2017, Yaseen vd. 2017). Ayrıca polimer kaplı gübreler orijinal ağırlığının birkaç katı kadar suyu bünyesinde depolayabilir, buda P’un kullanım etkinliğini artırır (Jacobs 2005). Polimer kaplı gübrenin etkinliği kısacası uygulandığı toprağa, kaplama materyaline ve granül gübrenin özelliklerine bağlıdır. Fosfor kullanım etkinliğini artırmak için geliştirilen yöntemlerin uygulanabilirliği bu tez çalışmasının 2. kısmında araştırılmıştır. Üniversitemiz Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği’nde kurulan tarla denemelerinde 2017-2018 ve 2018-2019 buğday üretim sezonlarında P etkinliğinin artırılması amacıyla DAP gübresi tavuk gübresi BK’sı ile kaplanmış ve

kaplı gübreden 4, 6 ve 8 kg P_2O_5 da^{-1} düzeyinde uygulama yapılmıştır. Ayrıca kaplamanın etkinliğini gözlemlemek için 8 kg P_2O_5 da^{-1} DAP gübresi ve 8 kg P_2O_5 da^{-1} DAP gübresi ile birlikte bu gübrenin kaplanması kullanılan BK'da birbirinden bağımsız olarak çalışma konularına eklenmiştir. Uygulamaların buğday bitkisinde başta P olmak üzere makro (N, K, Ca ve Mg) ve mikro (Fe, Zn, Cu ve Mn) besin elementi konsantrasyonlarına etkisi başaklanma öncesi tüm bitki ve hasatta tane örneklerinde belirlenmiştir. Ayrıca uygulamaların bazı verim öğelerine (tane verimi, bin tane ağırlığı, hasat indeksi ve tane protein oranı) etkisi de hasat döneminde alınan örneklerde belirlenmiştir.

Denemenin yürütüldüğü 2 yılda da tane verimi BK kaplı P'lu gübre uygulamalarından önemli oranda etkilenmemiştir (Çizelge 4.7). Birinci yıl deneme alanlarında ortalama tane verimi 473 kg da^{-1} , Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nin ortalama tane verimi 380 kg da^{-1} , ikinci yıl deneme alanlarında ortalama tane verimi 377 kg da^{-1} ve Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nin ortalama tane verimi 330 kg da^{-1} olarak belirlenmiştir. Bu veriler elde edilen sonuçların çiftlik koşullarını yansıttığını göstermektedir. Ayrıca iki yılda da deneme kurulan alanlarda belirlenen bitkiye yarayışlı P konsantrasyonları yeterlilik sınırına yakın olduğu için uygulanan P'lu gübrelerin tane verimine önemli düzeyde etki etmediği düşünülmektedir. Tez çalışmasının yetiştiricilik yapılan döneminde ilk yıl toplam yağış miktarı 465.5 mm iken, 2. yıl toplam yağış miktarı 353.8 mm olmuştur ve uzun yıllar yağış ortalaması 348.5 mm'dir. Kamau vd. (2019) yetiştiricilik yapılan dönemlerde düşen yağış miktarının uzun yıllar yağış ortalamasına yakın ya da daha yüksek olduğu yıllarda bitkilerin BK uygulamasına daha fazla tepki verdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca sürdürülebilir verim artışı için BK'nın düzenli olarak uygulanması gerektiğini de ifade etmişlerdir. Pogorzelski vd. (2020)'nin münavebeli sistemde darı ve mısır yetiştirdikleri bir çalışmada 60 gün yetiştirilen 1. üründe kaplı gübre uygulamalarının verime etkisi önemli olurken, 2. üründe uygulamaların etkisi önemsiz olmuştur. Araştırmacılar birinci üründe elde edilen etkinin geçici olduğunu ifade etmişlerdir. Santos vd. (2019) mısır bitkisinde DAP ve DAP+BK uygulamalarının verim bakımından 4 yetiştiricilik sezonunda da bir fark oluşturmadığını ve BK'nın toprak verimliliğini artırmada ıslah materyali olarak kullanılabilirliğinin uzun vadede takip edilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Silva Carneiro vd. (2021) P ile zenginleştirilmiş tavuk gübresi BK'sı ve

TSP arasında bitki kuru madde ağırlığı bakımından istatistiksel anlamda farklar oluşmadığından BK bazlı gübrelerin kısa ve uzun vade de ürün veriminden ödün vermeden geleneksel çözünebilir P'lu gübrelerin yerini alabileceğini ifade etmişlerdir. Silva vd. (2012) mısır bitkisinde polimer ile kaplanmış MAP ve kaplanmamış MAP arasında bitki kuru ağırlığı bakımından fark olmadığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar verim üzerine kaplama malzemesi, başlangıçtaki toprak P seviyesi, gübre tipi ve toprak mineralojisinin etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Pauly vd. 2002 arpaya polimerle kaplanarak ya da kaplanmadan uygulanan MAP'ın kuru ağırlık bakımından bir fark yaratmadığını belirlemişlerdir. Cole vd. (2016) domatese artan dozlarda uyguladıkları yavaş salınımlı P'lu gübreler ile verimde önemli bir değişim olmadığını ifade etmişlerdir. Ehmann vd. (2017) fasulye bitkisinde BK'lı (%0.1 ve 0.2) ve BK'sız olarak uyguladıkları P'lu gübrenin kuru madde miktarı bakımından aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Lustosa Filho vd. (2017) tavuk gübresi BK'sı ile karıştırılan P'lu gübrelerin TSP ile benzer verim değerleri sağladığını belirlemişlerdir. Keteku vd. (2018) mısır bitkisinde verim bakımından kimyasal gübre ve organomineral gübre uygulamalarının aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Ali vd. (2019) nohutta yaptıkları çalışmada tane verimi bakımından organomineral gübreler ile kontrolün aynı sınıfta yer aldığını belirlemişlerdir. Borges vd. (2020) şeker kamışında yaptığı çalışmada; toplam biyokütle ve biyokütle verimi bakımından kumlu topraklarda TSP ve P'la zenginleştirilmiş BK uygulamaları arasında bir fark olmadığını, fakat killi topraklarda ve uzun vade de P'la zenginleştirilmiş BK uygulamalarının TSP'den daha yüksek değerler sağladığını belirtmişlerdir. Assainar vd. (2020) buğdaya uygulanan kaya fosfat, polimer kaplı kaya fosfat ve kimyasal gübrelerin tane verimi bakımından aynı sınıfta yer aldığını ifade etmişlerdir. Viandari vd. (2021) çeltiğe bitkisel artıksız veya artıklı uygulanan P'lu gübrelerin tane verimi üzerine etkisinin benzer bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Çeşitlerin bin tane ağırlığı üzerine genetik yapıların (Blue vd. 1990) etkisi olduğu kadar çevre koşullarının da etkisi vardır (Aydın vd. 2005, Doğan ve Kendal 2012, Naneli vd. 2015, Sakin vd. 2015). Başaklanma sonrası çevre koşullarını iyi değerlendiren çeşitlerin bin tane ağırlığı daha yüksek olmaktadır (Korkut ve Ünay 1987). Bin tane ağırlığı da tane verimini önemli derecede etkilemektedir (Peterson vd. 1992). Yapılan tez çalışmasında tane veriminde olduğu gibi bin tane ağırlıkları da P'lu gübre

uygulamalarından önemli düzeyde etkilenmemiştir (Çizelge 4.7). İlk yıl bin tane ağırlığı ortalama 54.6 g, 2. yıl ortalama 41.4 g belirlenmiş ve denemede kullanılan Bezostaja-1 ekmeklik buğday çeşidinin ortalama bin tane ağırlığı (40-44 g) ile uyumlu bulunmuştur. Dong vd. (2016) mısır bitkisinde PVA ile kaplanmış gübre ile kaplanmamış formu arasında bin tane ağırlığı bakımından fark olmadığını bildirmişlerdir. Arif vd. (2017) mısır ve buğdaya tavuk gübresi BK'sı ile birlikte artan dozlarda uygulanan DAP ve BK'sız DAP arasında bin tane ağırlığı bakımından fark olmadığını belirlemişlerdir. Cisse vd. (2019) buğdayda bin tane ağırlığı bakımından kimyasal gübrelerle ilave edilen organik gübrelerle %100 kimyasal gübre uygulamasının aynı sınıfta yer aldığını ifade etmişlerdir. Keteku vd. (2018) mısır bitkisine uygulanan organomineral ve kimyasal gübrelerin 100 tane ağırlığı bakımından aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Assainar vd. (2020) buğdaya uygulanan kaya fosfat, polimer kaplı kaya fosfat ve kimyasal gübrelerin bin tane ağırlığı bakımından aynı sınıfta yer aldığını ifade etmişlerdir.

Şablondan elde edilen tane ağırlığının, toprak üstü toplam kuru maddeye oranı olarak tanımlanan hasat indeksi BK kaplı P'lu gübre uygulamalarından denemenin yürütüldüğü 2 yılda da istatistiksel anlamda etkilenmemiştir (Çizelge 4.7). Bununla birlikte hasat indeksi değerleri ekmeklik buğday için Özen (2014) tarafından literatürde ifade edilen (%22.6-42.6) değerlerin arasında (ilk yıl %40.2-41.2 ve ikinci yıl %40.1-41.4) bulunmuştur. Aslam vd. (2010) maş fasulyesi bitkisinde hasat indeksi değerlerinin kimyasal gübre ve kimyasal gübre+ahır gübresi uygulamaları arasında benzer olduğunu ifade etmişlerdir. Zafar vd. (2013) mısır bitkisinde DAP ve DAP+tavuk gübresi uygulamalarının hasat indeksi üzerine etkisinin aynı sınıfta yer aldığını belirlemişlerdir. Arif vd. (2017) mısır bitkisine BK ile birlikte artan dozlarda uygulanan DAP'ın BK'sız DAP'a göre hasat indeksine etkisinin önemsiz olduğunu belirlemişlerdir. Aynı çalışmada buğdayda uygulamaların hasat indeksine üzerine etkisi ise önemli bulunmuş ve en yüksek hasat indeksi değeri veren uygulamanın %100 kimyasal gübre+BK olduğu bildirilmiştir. Assainar vd. (2020) buğdaya uygulanan kaya fosfat, polimer kaplı kaya fosfat ve kimyasal gübrelerin hasat indeksi bakımından aynı sınıfta yer aldığını ifade etmişlerdir. Sarkar vd. (2020) buğdaya uygulanan polimer kaplı ya da parafin kaplı gübrelerle, DAP arasında hasat indeksi bakımından fark olmadığını bildirmişlerdir.

Ekmek yapımında; unun yoğrulması, hamurun kalitesi ve buna bağlı olarak ekmeğin kabarması tane protein miktarına bağlıdır (Haglung vd. 1998). Sade (1997) buğdayda ekmek yapımı için kritik olan protein oranının %11'in üzerinde olduğunu belirlemiştir. Deneme de ise ilk yıl tane protein oranı %15.3-16.0, ikinci yıl tane protein oranı %14.3-14.9 olarak belirlenmiş ve kritik değerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Fosforlu gübre uygulamalarının tane protein oranı üzerine etkisi her iki yılda da önemli bulunmamıştır. Keteku vd. (2018) mısır bitkisi ile yürüttükleri çalışmada kimyasal gübre ve organomineral gübrelerin tane protein oranı üzerine benzer etkiler gösterdiğini belirlemişlerdir. Bulgularımızın aksine, Aslam vd. (2010) maş fasulyesi bitkisinde kimyasal gübreye (NPK) göre kimyasal gübre+ahır gübresi uygulamalarının tane protein oranını artırdığını ifade etmişlerdir. Zafar vd. (2013) mısır bitkisinde tane protein oranının DAP'a göre DAP+tavuk gübresi uygulamaları ile arttığını bildirmişlerdir. Alauddin (2020) ayçiçeğinde tavuk gübresi ile birlikte uygulanan kimyasal gübrelerin tane protein oranını kimyasal gübrelere göre daha fazla artırdığını ifade etmişlerdir.

Jones vd. (1991) buğdayda başaklanma döneminde alınan bitki örneklerinde toplam P konsantrasyonunun 2.0-5.0 g kg⁻¹ değerleri arasında ise yeterli olduğunu bildirmişlerdir. Yetiştiricilik yapılan 1. yılda bitki P konsantrasyonu 1.60-1.74 g kg⁻¹ arasında, 2. yıl bitki P konsantrasyonu 1.28-1.44 g kg⁻¹ arasında ve yetersiz olarak belirlenmiştir. Toprağa uygulanan P'un etkinliği toprak havası, toprak nemi, toprak sıcaklığı, organik madde ve toprak pH'sı gibi faktörlere bağlıdır (Stevenson ve Cole 1999). Toprağa uygulanan P'lu gübrelerin toprağın katı fazıyla etkileşime girmesi bitkiler tarafından alımını zorlaştırmaktadır (Benício vd. 2017). Bu nedenle P'lu gübrelerin BK ile kaplanmasıyla P'un toprak katı fazıyla direkt etkileşime girmesinin engelleneceği, yavaş bir salınım sağlayacağı ve bitkiler tarafından alımının kolaylaşacağı düşünülmektedir (Wang vd. 2015). Fakat denemenin yürütüldüğü 2 yılda da başaklanma başlangıcında bitkideki P'un yetersiz olması P fiksasyonunun istenilen düzeyde engellenememiş olabileceğini göstermektedir. Yang vd. (2016) P adsorpsiyonunun, topraktaki yarayışlı P miktarı, toprak pH'sı ve adsorban dozajı gibi bir dizi faktörden etkilenebileceğini ifade etmişlerdir. Denemenin yürütüldüğü 2 yılda toprakta bitkiye yarayışlı P konsantrasyonunun sırasıyla 8.47-8.17 mg kg⁻¹ ve toprak pH'sının 7.96-7.86 olarak belirlenmiş olması P'un toprakta fikse olmuş olabileceği görüşünü desteklemektedir.

Polimer kaplı P'lu gübrelerin, kaplanmamış gübrelere kıyasla daha yavaş P salınımı sağladığından erken bitki büyüme aşamalarında daha az etkili olduğu Pauly vd. (2002) tarafından bildirilmiştir. Cruz vd. (2017) kaplama kalınlığının P alımını etkilediğini; DAP granüllerinin kütlece %3.0 veya daha az kaplanmasının yetersiz olduğu için hiç kaplama yapılmayan uygulamaya benzer sonuç verdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca kütlece %4.5 ila 7.5'lik bir kaplamanın orta derecede çözünme gösterdiğini, kütlece %9.0 veya daha fazla uygulamanın ise yavaş salınım sağladığını ifade etmişlerdir. Shaviv vd. (2003) bu verilerle uyumlu bir şekilde %9.0 kaplama materyali kullanılması durumunda gübrenin P'u zamanla saldıgını belirlemişlerdir. Ayrıca Noor vd. (2017), Yaseen vd. (2017) ve Sharma (2006) DAP granüllerinden P salınımının, %1 polimer konsantrasyonunda maksimum olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar iki ve üç tabakalı kaplanmış malzemelerin daha yavaş salınım gösterdiğini de ifade etmişlerdir. Tez çalışmasında DAP gübresi kütlece %4.43 BK ile kaplanmış ve kaplama etkinliğini artırmak içinde %0.3'lük dekstrin (polimer bazlı yapıştırıcı) kullanılmıştır. Yapılan literatür çalışmaları bu kaplama oranının yetersiz kalmış olabileceğini göstermektedir. Bu görüşümüzü 8 kg da⁻¹ DAP+BK uygulamasının diğer uygulamalara benzer sonuçlar vermesi de desteklemektedir. Tez çalışmasında elde edilen verilere benzer şekilde; Khaliq vd. (2006) pamukta yürüttükleri çalışmada kimyasal gübre (NPK) ile organik gübrelerle birlikte uygulanan kimyasal gübrenin bitki P konsantrasyonu bakımından benzer etkiler sağladığını belirlemişlerdir. Cole vd. (2016) domatese artan dozlarda uyguladıkları yavaş salımlı P'lu gübre ile bitkide P konsantrasyonunun değişmediğini bildirmişlerdir. Ehmann vd. (2017) arpaya BK'lı (%0.1 ve 0.2) ve BK'sız olarak uyguladıkları P'lu gübrenin bitki P konsantrasyonu bakımından aynı sınıfta yer aldığını ifade etmişlerdir. Lustosa Filho vd. (2017) asit toprakta ve mısır bitkisinde yaptıkları çalışmada MgO ile muamele edilmiş BK içerikli gübrelerin kontrole oranla bitkide kuru madde miktarını arttırdığını, ancak kısa vadede bu artışın TSP'den düşük olduğunu belirlemişler ve bu durumu uygulanan BK içerikli gübrelerin P salınımına neden olmasına bağlamışlardır. Fosfor ve Mg ile zenginleştirilmiş BK içerikli gübrelerin mısırın ilk gelişim dönemlerinde P salımı bakımından TSP'ye benzer etki gösterdiği ve hasada doğru ise daha fazla P salınımına neden olduğu tespit edilmişlerdir. Frazão vd. (2019) killi bir toprakta tavuk gübresi ve TSP'nin karışımından oluşturulan organomineral gübrelerin, TSP gübresi kadar etkili olduğunu bildirmiştir. Santos vd.

(2019) mısır bitkisine P alımı bakımından P kaynakları ile birlikte uygulanan BK'nın etkisini karşılaştırdıklarında; BK'nın bitkiye P alımı ve kullanımının düşük P varlığında önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca granül gübreler ile karıştırılan BK'nın yarayışlı P miktarını düzenlemese de P salınımını azaltıcı bir etki gösterdiğini belirlemişlerdir. Pogorzelski vd. (2020) BK kaplı P'lu gübre ve TSP uygulamalarında belirlenen bitki P konsantrasyonlarının benzer olduğunu tespit etmişlerdir. Silva Carneiro vd. (2021) P ile zenginleştirilmiş tavuk gübresi BK'sı ve TSP gübresi arasında bitki P alımı bakımından bir fark olmadığını ifade etmişlerdir.

Denemenin 1. yılında tane P konsantrasyonu $3.58-3.85 \text{ g kg}^{-1}$ arasında, 2. yılı tane P konsantrasyonu ise $2.25-2.31 \text{ g kg}^{-1}$ arasında belirlenmiştir. Reuter vd. (1997) tarafından bildirilen buğday tanesi kritik P konsantrasyonu olan 2.7 g kg^{-1} göre denemenin 1. yılı tane P konsantrasyonu yeterli iken, 2. yıl tane P konsantrasyonu yetersiz bulunmuştur. Uygulamaların tane P konsantrasyonu üzerine etkisi her 2 yılda da önemli çıkmamıştır. Keteku vd. (2018) kimyasal gübre ve organomineral gübre uygulamalarının mısır bitkisinde tane P konsantrasyonu üzerine benzer sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Alauddin (2020) ayçiçeğine tavuk gübresi ile birlikte veya tek olarak uygulanan kimyasal gübrenin aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Viandari vd. (2021) bitkisel artıksız ve artıklı uygulanan P'lu gübrelerin çeltikte tane P alımına benzer etkiler sağladığını bildirmişlerdir. Bu bulguların aksine Melaku (2017) biber bitkisinde kahve kabuğu BK'sı ile zenginleştirilmiş DAP'ın, zenginleştirilme yapılmayan DAP'a göre daha düşük meyve P konsantrasyonu sağladığını bildirmiştir. Yaseen vd. (2017) mısır ve buğday bitkilerinde, Ali vd. (2017) ve Noor vd. (2017) buğday bitkilerinde azaltılmış dozlarda uygulanan kaplı DAP gübresinin konvansiyonel DAP gübresine göre tane P konsantrasyonunu artırdığını belirlemişlerdir.

Buğdayda başaklanma döneminde bitki toplam N konsantrasyonunun Jones vd. (1991) tarafından bildirildiği üzere $20-30 \text{ g kg}^{-1}$ değerleri arasında olmasının bitki gelişimi için yeterli olacağı bilinmektedir. Denemenin yürütüldüğü 1. yıl $19.0-20.4 \text{ g kg}^{-1}$, 2. yıl $17.1-17.8 \text{ g kg}^{-1}$ bitki N konsantrasyonu belirlenmiş ve buğdayda başaklanma döneminde N konsantrasyonunun yeterlilik sınırına yakın ya da altında olduğu gözlenmiştir. Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının bitki N konsantrasyonuna etkisi her iki yılda da önemli çıkmamıştır, fakat azalan dozda uygulanan BK kaplı P'lu gübreler ile

referans uygulamanın birbirine çok yakın olması umut vericidir. Khaliq vd. (2006) pamukta kimyasal gübre (NPK) ile organik gübrelerle birlikte uygulanan kimyasal gübrenin bitki N konsantrasyonuna etkisi önemsiz bulunmuştur. Cole vd. (2016) domatese artan dozlarda uyguladıkları yavaş salınımlı P'lu gübrelerin bitki N konsantrasyonunu önemli miktarda etkilemediğini tespit etmişlerdir. Noor vd. (2017) buğdayda DAP ile azaltılmış dozlarda uygulanan kaplı DAP gübrelerinin bitki N konsantrasyonu bakımından aynı sınıfta yer aldıklarını bildirmişlerdir. Alauddin (2020) ayçiçeğine önerilen dozlarda uygulanan kimyasal gübre (NPK) ve tavuk gübresi ile birlikte uygulanan kimyasal gübrelerin yaprak N konsantrasyonu bakımından aynı sınıfta olduğunu bildirmiştir. Assainar vd. (2020) buğdaya uygulanan kaya fosfat, polimer kaplı kaya fosfat ve kimyasal gübrelerin bitki N konsantrasyonu bakımından aynı sınıfta olduklarını belirlemişlerdir.

Hasat döneminde alınan tane örneklerinde N konsantrasyonu 1. yıl 24.4-26.4 g kg⁻¹, 2. yıl 22.9-23.6 g kg⁻¹ değerleri arasında belirlenmiştir. Bitki N konsantrasyonunda olduğu gibi tane N konsantrasyonu da uygulanan BK kaplı P'lu gübrelerden önemli düzeyde etkilenmemiştir. Bu bulguların aksine; Melaku (2017) biber bitkisine DAP ile birlikte uygulanan kahve kabuğu BK'sı ile DAP'a göre meyve N konsantrasyonunun düştüğünü belirlemiştir. Yaseen vd. (2017) azaltılmış dozlarda uygulanan kaplı DAP gübresi ile konvansiyonel DAP gübresini mısır ve buğday bitkilerine uygulamışlar ve mısır bitkisinde kaplı gübrelerin DAP'tan daha yüksek N konsantrasyonu sağladığını, kaplı gübreler arasında doz azaldıkça tane N konsantrasyonunun azaldığını tespit etmişlerdir. Buğdayda ise DAP'ın %50 kaplı gübreden daha yüksek tane N konsantrasyonu sağladığı ama diğer kaplı gübrelerden daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Alauddin (2020) ayçiçeğinde tane N konsantrasyonu bakımından tavuk gübresi ile birlikte uygulanan kimyasal gübrenin %100 dozunun tavuk gübresine göre daha yüksek belirlendiğini bildirmiştir.

Bitki K konsantrasyonu her iki yılda da (1. yıl 23.7-24.3 g kg⁻¹, 2. yıl 17.8-18.5 g kg⁻¹) Jones vd. (1991) tarafından bildirilen kritik değerin (15-30 g kg⁻¹) üzerinde belirlenmiştir. Bununla birlikte uygulanan gübrelerin bitki K konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisi olmamıştır. Khaliq vd. (2006) pamuğa uygulanan kimyasal gübre (NPK) ve organik gübrelerle birlikte uygulanan kimyasal gübrenin bitki K

konsantrasyonu üzerine istatistiksel anlamda bir etkisinin olmadığını belirlemişlerdir. Cole vd. (2016) artan dozlarda uygulanan yavaş salımlı P'lu gübrelerin domatest bitki K konsantrasyonunu önemli düzeyde etkilemediğini bildirmişlerdir. Alauddin (2020) ayçiçeğine önerilen dozlarda uygulanan kimyasal gübre (NPK) ve tavuk gübresi ile birlikte uygulanan kimyasal gübrelerin yaprak K konsantrasyonu bakımından aynı sınıfta olduğunu bildirmiştir. Bu bulguların aksine Gunes vd. (2014) marul bitkisinde, Sahin vd. (2017) ve Kamau vd. (2019) mısır bitkisinde, kontrole göre zenginleştirilmiş BK uygulamalarının bitki K konsantrasyonunu önemli oranda artırdığını bildirmişlerdir. Assainar vd. (2020) buğdayda bitki K konsantrasyonu bakımından polimer kaplı kaya fosfat ve kimyasal gübrelerin, kaya fosfattan daha fazla etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Tane K konsantrasyonunun ise Reuter vd. (1997) tarafından bildirilen kritik değerin (5.0 g kg^{-1}) altında olduğu belirlenmiştir. Uygulamalar tane K konsantrasyonu üzerine önemli bir etki oluşturmamıştır (Çizelge 4.8 ve 4.9). Alauddin (2020) ayçiçeğinde kimyasal gübre ve tavuk gübresi ile birlikte uygulanan kimyasal gübrelerin tane K konsantrasyonu bakımından aynı sınıfta olduğunu belirlemişlerdir. Bunun aksine Noor vd. (2017) buğdaya azaltılmış dozlarda uygulanan kaplı DAP gübrelerinin %50 dozunun konvansiyonel DAP'la aynı düzeyde tane K konsantrasyonu sağladığını, yüksek dozlarında ise daha yüksek tane K konsantrasyonu elde edildiğini ifade etmişlerdir. Yaseen vd. (2017) mısır bitkisine azaltılmış dozlarda kaplı DAP gübresi uygulamışlar ve bunun konvansiyonel DAP'a göre daha yüksek tane K konsantrasyonu sağladığını belirlemişlerdir. Assainar vd. (2020) buğdayda kimyasal gübrelerin polimer kaplı kaya fosfat ve kaya fosfattan daha fazla tane K konsantrasyonu sağladığını ifade etmişlerdir.

Denemenin yürütüldüğü 1. yıl uygulamaların bitki Ca konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisi olmamıştır (Çizelge 4.8). Başaklanma başlangıcında alınan örneklerde ortalama 3.70 g kg^{-1} Ca konsantrasyonu belirlenmiş ve bunun Jones vd. (1991) tarafından belirtilen yeterlilik sınırlarının ($2-5 \text{ g kg}^{-1}$) içerisinde olduğu gözlenmiştir. İkinci yıl ise bitki Ca konsantrasyonunun yine yeterlilik sınırları içerisinde ortalama 4.58 g kg^{-1} olduğu ve bitki Ca konsantrasyonu üzerine uygulamaların etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir. Referans uygulama ve BK kaplı P'lu gübre uygulamaları ile bitki Ca konsantrasyonu artmıştır ve BK kaplı P'lu gübrenin yüksek ve düşük dozu arasında

istatistiksel bir fark belirlenmemiştir. Silva Carneiro vd. (2021) mısır ve fasulye bitkilerinde bitki Ca konsantrasyonu bakımından BK'lı organomineral gübre ile TSP gübrelerinin benzer etkide bulunduğunu ifade etmişlerdir. Jensen vd. (2021) mısır bitkisine uygulanan P ile zenginleştirilmiş organik gübreler ve kompoze gübre arasında bitki Ca konsantrasyonu bakımından fark olmadığını bildirmişlerdir.

Denemenin yürütüldüğü ilk yıl tane Ca konsantrasyonu $0.36-0.38 \text{ g kg}^{-1}$ arasında ve 2. yıl $0.41-0.51 \text{ g kg}^{-1}$ arasında bulunmuş ve Anonymous (2001) tarafından bildirilen 0.43 g kg^{-1} kritik değere göre 1. yıl noksan, 2. yıl yeterli olduğu saptanmıştır. Uygulamaların 1. yıl tane Ca konsantrasyonu üzerine etkisi olmazken, 2. yıl tane Ca konsantrasyonu üzerine uygulamaların etkisi önemli olmuştur. Biyokömür kaplı P'lu gübreler ile referans uygulamaya göre tane Ca konsantrasyonu artmıştır. Biyokömür kaplı gübrelerin tamamı aynı sınıfta yer alırken, BK'nın DAP ile birlikte uygulanması referans ve kaplı gübrelerle aynı sınıfta yer almıştır. Bu bulgular BK'nın tane Ca konsantrasyonu üzerine önemli etkileri olduğunu ve kaplama ile bu etkinin daha da arttığını göstermektedir. Keteku vd. (2018) mısır bitkisine uygulanan kimyasal gübre ve organomineral gübrelerin tane Ca konsantrasyonları bakımından aynı sınıfta yer aldığını ifade etmişlerdir.

Denemenin yürütüldüğü her iki yılda da bitki Mg konsantrasyonu P uygulamalarından önemli düzeyde etkilenmemiştir (Çizelge 4.8 ve 4.9). Başaklanma döneminde alınan bitki örneklerinde (1. yıl $1.63-1.83 \text{ g kg}^{-1}$; 2. yıl $1.26-1.39 \text{ g kg}^{-1}$) Mg konsantrasyonu Jones vd. (1991) tarafından bildirilen aralığa ($1.5-5.0 \text{ g kg}^{-1}$) göre 1. yıl yeterli, 2. yıl noksan bulunmuştur. Silva Carneiro vd. (2021) yaptıkları çalışmada bitkiye Mg alımını değerlendirdiklerinde elde ettiğimiz bulguların aksine TSP'ye göre BK'lı organomineral gübrenin tek başına uygulanması ya da TSP ile kombine edilmesi sonucunda daha yüksek Mg konsantrasyonu belirlemişlerdir. Chew vd. (2020) yaptığı bir çalışmada da çeltikte BK'lı organomineral gübre uygulamalarının bitki Mg konsantrasyonunu kontrole göre artırdığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu asit koşullarda P ve Mg arasındaki sinerjistik etkiye bağlamış, P alımının Mg alımı arttıkça arttığını ve BK'lı organomineral gübrede var olan Mg'un bu koşulda etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan tez çalışmasında BK kaplama materyali olarak kullanılmış ve ağırlıkça %4.43 düzeyinde kullanılmıştır. Bu miktarın BK'nın yararlı etkisini görmede yeterli olmadığı

düşünülmüştür. Jensen vd. (2021) mısır bitkisine uygulanan P ile zenginleştirilmiş organik gübrelerin kompoze gübrelerle benzer bitki Mg konsantrasyonu sağladığını bildirmişlerdir.

Anonymous (2001) tane Mg konsantrasyonunda kritik değerin 1.4 g kg^{-1} olduğunu bildirmiştir. Denemede de bu kritik değere göre 1. yıl (ortalama 0.56 g kg^{-1}) ve 2. yıl (ortalama 0.77 g kg^{-1}) tane Mg konsantrasyonunun yeterli olmadığı gözlenmiştir. Her iki yılda BK kaplı P'lu gübre uygulamalarının tane Mg konsantrasyonu üzerine etkisi önemli olmamıştır. Keteku vd. (2018) mısır bitkisinde tane Mg konsantrasyonu bakımından kimyasal gübre ve organomineral gübrelerin aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir.

Deneme alanında bitkiye yarayışlı Fe konsantrasyonu 1. yıl yeterli, 2. yıl fazla olarak belirlenirken (Çizelge 4.1), başaklanma başlangıcında alınan bitki örneklerinde Fe konsantrasyonu 1. ve 2. yıl yeterli bulunmuştur. Fosforlu gübre uygulamaları ile bitki Fe konsantrasyonunda önemli bir artış veya azalış belirlenmezken, kaplı gübre dozları arasında da düşük rakamsal farklar olmuştur. Sahin vd. (2017) marul bitkisine uygulanan fosforik asit ile zenginleştirilmiş BK'nın fosforik ve nitrik asitle zenginleştirilmiş BK'ya göre bitki Fe konsantrasyonunu önemli düzeyde etkilemediğini ifade etmişlerdir. Ahmad vd. 2018 mısırdaki yürüttüğü çalışmada BK ve P yüklü BK uygulamalarının bitki Fe konsantrasyonları üzerine etkisinin önemli olmadığını bildirmişlerdir. Bu bulguların aksine, Gunes vd. (2014) yaptıkları bir çalışmada tavuk gübresi ve tavuk gübresinden elde edilen BK ile bunların P ile zenginleştirilmiş formlarının marul bitkisinin Fe alımı üzerine etkisini araştırmışlar ve BK uygulamalarının bitki Fe konsantrasyonunu azalttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar bu durumu BK uygulaması ile bitkiler tarafından alınabilir ağır metallerin daha stabil formlara dönüşmesine bağlamışlardır. Jensen vd. (2021) mısır bitkisine uygulanan P ile zenginleştirilmiş organik gübreler ve kompoze gübre arasında bitki Fe konsantrasyonu bakımından fark olmadığını bildirmişlerdir.

Hasat döneminde alınan tane örneklerinde Fe konsantrasyonu 1. yıl $24.2\text{-}36.0 \text{ mg kg}^{-1}$, 2. yıl $32.4\text{-}36.3 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında belirlenmiştir. Fosforlu gübre uygulamalarının tane P konsantrasyonu üzerine etkisinin 1. yıl önemli 2. yıl önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Birinci yıl referans uygulamaya göre 8 kg da⁻¹ BK-DAP uygulaması tane Fe konsantrasyonunu önemli düzeyde artırmıştır.

Denemenin yürütüldüğü iki yılda da deneme alanlarında bitkiye yarayışlı Zn içeriği yetersiz olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Başaklanma başlangıcında alınan tüm bitki örnekleri Jones vd. (1991) tarafından bildirilen kritik düzeylere (15-70 mg kg⁻¹) göre 1. yıl yeterli, 2. yıl yetersiz bulunmuştur. Fosforlu gübre uygulamalarının bitki Zn konsantrasyonu üzerine etkisi 1. yıl önemli olmamış, 2. yıl ise referans uygulamaya göre BK'nın kaplamadan veya kaplı uygulanması bitki Zn konsantrasyonunu azaltmıştır. Gunes vd. (2014) marulda P ile zenginleştirilmiş BK uygulamalarının kontrole göre bitki Zn konsantrasyonunu azalttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar bunu, BK uygulamalarının toprakta Zn'nun hareketliliğini ve alınabilirliğini azaltmasına bağlamışlardır. Benzer şekilde BK uygulamalarının toprakta Zn konsantrasyonunu azalttığını farklı araştırmacılar da ortaya koymuşlardır (Al-Wabel vd. 2015, Xu vd. 2014, Zhu vd. 2015, Fellet vd. 2011 ve Park vd. 2011). Cole vd. (2016) artan dozlarda uygulanan yavaş salınımlı P'lu gübrelerin domatestte bitki Zn konsantrasyonunu önemli düzeyde azalttığını bildirmişlerdir. Ahmad vd. (2018) P ile zenginleştirilmiş BK uygulamalarının mısır bitkisi Zn konsantrasyonunu etkilemediğini ifade etmişlerdir.

Reuter vd. (1997) buğdayda tane Zn konsantrasyonu için kritik düzeyin 5-15 mg kg⁻¹ olduğunu bildirmiştir. Buna göre tane Zn konsantrasyonları 1. yıl (22.4-23.8 mg kg⁻¹) ve 2. yıl fazla (21.8-23.3 mg kg⁻¹) olduğu saptanmıştır. Denemenin yürütüldüğü iki yılda tane Zn konsantrasyonu üzerine uygulamaların önemli bir etkisi tespit edilmemiştir (Çizelge 4.10 ve 4.11).

Bitkide Cu konsantrasyonun 5-25 mg kg⁻¹ düzeyinde olması durumunda yeterli olduğu Jones vd. (1991) tarafından bildirilmiş ve çalışmanın yürütüldüğü yıllarda bitki Cu konsantrasyonun yeterli olduğu gözlenmiştir. Ayrıca deneme alanlarında da yarayışlı Cu konsantrasyonunun yeterli olduğu belirlenmiştir. Biyokömür kaplı P'lu gübre uygulamalarının bitki Cu konsantrasyonu üzerine etkisi her iki yılda da önemli olmamıştır (Çizelge 4.10 ve 4.11). Sahin vd. (2017) mısır bitkisinde P'la zenginleştirilmiş BK uygulamalarının bitki Cu konsantrasyonu üzerine önemli bir etki yaratmadığını bildirmişlerdir. Ahmad vd. 2018 mısır bitkisinde yürüttüğü çalışmada bitki Cu konsantrasyonu bakımından kontrol ile P ile zenginleştirilmiş BK uygulamaları

arasında istatistiki anlamda bir fark olmadığını ifade etmişlerdir. Bu bulguların aksine Gunes vd. (2014) P'la zenginleştirilmiş BK uygulamalarının marulda Cu konsantrasyonunu azalttığını belirtmişlerdir.

Tane Cu konsantrasyonu üzerine uygulamaların etkisi 1. yıl önemli olurken, 2. yıl önemli olmamış ve her iki yılda tane Cu konsantrasyonunun kritik düzeyin ($1.0-2.5 \text{ mg kg}^{-1}$) üstünde olduğu belirlenmiştir. Birinci yıl referans uygulamaya göre BK'nın kaplanarak veya kaplanmadan uygulanması tane Cu konsantrasyonunu önemli düzeyde azaltmıştır.

Başaklanma başlangıcında alınan bitki örneklerinde 1. yıl bitki Mn konsantrasyonları $73.9-83.8 \text{ mg kg}^{-1}$, 2. yıl bitki Mn konsantrasyonları $63.5-67.8 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında belirlenmiştir (Çizelge 4.10 ve 4.11). Bitkilerde iki yılda da Mn konsantrasyonu Jones vd. (1991) tarafından belirlenen yeterlilik sınırları ($25-100 \text{ mg kg}^{-1}$) içerisinde olmuştur. Uygulamaların bitki Mn konsantrasyonu üzerine etkisi her iki yılda da önemli olmamıştır. Ahmad vd. (2018) mısırdaki yürüttüğü çalışmada P'la zenginleştirilmiş BK uygulamalarının bitki Mn konsantrasyonunda meydana getirdiği düşüşlerin önemli olmadığını belirlemişlerdir. Gunes vd. (2014) marulda yürüttükleri çalışmada P'la zenginleştirilmiş BK uygulamalarının kontrol ve tavuk gübresi uygulamalarına göre bitki Mn konsantrasyonunu azalttığını bildirmişlerdir. Jensen vd. (2021) mısır bitkisinde bitki Mn konsantrasyonu bakımından uygulanan P ile zenginleştirilmiş organik gübreler ve kompoze gübre arasında fark olmadığını ifade etmişlerdir.

Tane Mn konsantrasyonuna uygulamaların etkisi iki yılda da önemli olmamıştır (Çizelge 4.10 ve 4.11). Reuter vd. (1997) tarafından bildirilen buğday tane Mn konsantrasyonu kritik düzeyine (20 mg kg^{-1}) göre 1. yıl yeterli ($29.1-30.7 \text{ mg kg}^{-1}$), 2. yıl da yeterli ($34.1-36.1 \text{ mg kg}^{-1}$) belirlenmiştir.

5.3 Geç Dönemde Yapraktan Fosforlu Gübre Denemesi

İklim koşullarının değişmesi ile yağış rejimlerindeki tutarsızlıklar gübre kullanım etkinliğini büyük oranda etkilemektedir. Toprakta yüksek oranda fıkse olan P'lu gübrelerin hem kaynaklarının tükenmesi hem de iklim koşullarıyla etkinliğinin azalması farklı stratejilerin değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Buğdayda yüksek verim için ihtiyaç duyulan yağış miktarı kadar bu yağışın ne zaman düştüğü de önemlidir. Yağışın uygun mevsimde düştüğü durumda bile uygulanan P'lu gübrenin büyük bir miktarı toprakta fikse olmaktadır. Ekimle birlikte uygulanan P'un buğdayda generatif döneme kadar yeterli olduğu (Gooding ve Davies 1992, Angus 2001) ve verim potansiyelinin arttığı yeterli yağış alan mevsimlerde yaprak gübrelemesinin tamamlayıcı bir uygulama olabileceği çeşitli araştırmacılarca ortaya konmaktadır (Gooding ve Davies 1992, Elliott vd. 1997, Angus 2001, Noack vd. 2011). Diğer taraftan yapraktan P gübrelemesi ile P kullanım etkinliği de artmaktadır (Dixon 2003, Girma vd. 2007). Bitkinin vejetatif aşamadan generatif aşamaya geçişinde; kök büyümesi durmakta ve besin alımı azalmaktadır. Generatif aşamada tohum büyümesi için gerekli olan besinlerin bitkinin diğer kısımlarından tohuma taşınması gerekmektedir. Bu süreçte yapraktan P'lu gübreleme fotosentez süresini uzatabilmekte, yaprakların erken yaşlanmasını geciktirip tane dolumu için daha fazla kaynak sağlayabilmektedir. Yaprak gübrelemesinin etkinliği çözeltinin; pH'sı, tuz yükü ve besin çözeltisinin içeriği gibi faktörlere bağlıdır. Fosforlu gübre çözeltilerinin 2-3 gibi düşük pH değerinde yapraklardan daha hızlı alındığı belirlenmiştir (Noack vd. 2011). Tukey vd. (1961) fasulye bitkisinde yapılan bir çalışmada yapraktan uygulanan H_3PO_4 'in penetrasyon yeteneğinin diğer fosfat tuzlarından daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmalar, düşük pH'lı çözeltilerde yer alan P'un yaprağa daha fazla alındığını göstermektedir. Bu çözelti pH'larında ise en büyük sorunun yaprak yanması olduğu belirtilmiştir (Fageria vd. 2009). Yapraklardan boyutları nedeniyle daha kolay alınacağı ve yaprak yanma sorunu yaşanmayacağı düşünülen nano-P'lu gübreler geç dönemde (başaklanma başlangıcı ve sonunda) yapraktan bir ve iki defa uygulanarak bitki ve tane de P alımı ile verime etkisi bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Çalışmada ayrıca nano-P ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla önemli bir P kaynağı olan H_3PO_4 'te kullanılmıştır. Singh ve Singh (2008) silikon bazlı iyonik olmayan yüzey aktif maddelerin yüzey gerilimini ve püskürtme çözeltisinin temas açısını azaltarak gübrelemenin başarısını artırdığını bildirmişlerdir. Yaprak yüzeyinin hidrofobik özelliği gübrenin bitkiye alımını engellemektedir (Jenks ve Ashworth 1999). Kullanılan yayıcı-yapıştırıcılar gübrenin yaprak yüzeyinde kalma süresini arttırarak stomalardan bitkiye alımını kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle yapraktan P uygulamalarının etkinliğinin artırılması amacıyla yaprak çözeltilerine silikon bazlı yayıcı-yapıştırıcı %0.01 v/v

oranında eklenmiştir. Üniversitemiz Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde 2017-2018 ve 2018-2019 buğday üretim sezonlarında buğday bitkisinde ekimle birlikte 20 kg da⁻¹ DAP ve yapraktan H₃PO₄ ile nano-P (%0.2 P) başaklanma başlangıcında ve sonunda 1 ve 2 defa uygulanmıştır. Yapraktan P uygulamalarının bazı verim ögeleri (tane verimi, bin tane ağırlığı, hasat indeksi ve tane protein oranı) üzerine etkisi hasat döneminde alınan örneklerde tespit edilmiştir. Ayrıca buğday bitkisinin başta P olmak üzere makro (N, K, Ca ve Mg) ve mikro (Fe, Zn, Cu ve Mn) besin elementi konsantrasyonlarına etkisi gübreleme öncesi ile 1. ve 2. gübreleme sonrası alınan tüm bitki örnekleri ve hasatta alınan tane örneklerinde belirlenmiştir.

Yaprak gübrelerinin verime etkisi incelendiğinde 1. yıl verim ortalamasının 470 kg da⁻¹, 2. yıl verim ortalamasının 405 kg da⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nin ortalama tane verimleri ise 1. ve 2. yıl sırasıyla 380 ve 330 kg da⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu veriden de görüldüğü üzere bir tamamlayıcı olarak yapraktan P'lu gübre uygulamak Haymana koşullarında verim artışları sağlamaktadır. Bununla birlikte deneme sonuçları değerlendirildiğinde her iki yılda da yapraktan P uygulamalarının tane verimi üzerine etkisi önemli olmamıştır (Çizelge 4.12). Girma vd. (2007) yapraktan P uygulaması ile tane veriminin artmamasının nedenlerini; uygulama dozunun yetersiz olması, toprakta bitkiye yarayışlı P konsantrasyonunun yüksek olması, sıcaklık, nem gibi yetiştirme koşullarının iyi olmamasına bağlamışlardır. Bu verilere benzer şekilde Mosali vd. (2006) P noksan topraklarda yaprak uygulamasının verime etkisi olurken, P noksanlığı görülmeyen topraklarda bu etkinin oluşmadığını ifade etmişlerdir. Deneme alanında P konsantrasyonu 1. yıl 8.47 mg kg⁻¹, 2. yıl 8.17 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir ve toprak P konsantrasyonlarının yeterlilik sınırında olması uygulamalara verilen tepkinin düşük olmasının nedeni olarak düşünülmüştür. Batten vd. (1986) buğdayda başaklanmadan önce ki dönemde yeterli miktarda P uygulanırsa maksimum tane verimi elde edilebileceğini ifade etmişlerdir. Başaklanma öncesi alınan bitki örneklerinde P 1.54-1.62 g kg⁻¹ aralığında belirlenmiş ve Jones vd. (1991) tarafından bildirilen yeterlilik sınırının altında olduğu tespit edilmiştir. Ekimle birlikte tüm parsellere uygulanan 20 kg da⁻¹ DAP'ın yüksek kireçli çiftlik arazisinde fikse olmuş olabileceği ve bu nedenle bitkilerin bu dönemde ihtiyacı olan P'ü karşılamada yeterli olmadığı düşünülmektedir. Shaoxia vd. (2019) Çin'de yürüttükleri çalışmada buğdaya yapraktan uygulanan P'un tane verimi üzerine etkisinin 2 yılda da önemsiz olduğunu

bildirmişlerdir. Bu durumu araştırmacılar toprakta yeterli P beslenmesine ve yapraktan P'un geç dönemde uygulamasına bağlamışlardır. Ayrıca tane verimi üzerine uygulamaların önemli etkisi olmasa da tane P konsantrasyonunun arttığını belirlemişlerdir. McBeath vd. (2020) buğdayda topraktan ve yapraktan P uygulamalarında; toprağa uygulanan P'un tane verimini arttırdığını, yapraktan P uygulamalarının tane verimini değiştirmediğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar kurak bölgelerde yapraktan P uygulamasının tane verimini artırmak için uygun bir yöntem olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Contee ve Boareto (2001) fasulye bitkisine 3 dönemde yapraktan yapılan P uygulamasının ürün verimini etkilemediğini ifade etmişlerdir. Leach ve Hamelers (2001), yapraktan P uygulamalarına bağlı olarak mısır bitkisi kuru madde miktarında önemli bir değişimin olmadığını bildirmişlerdir. Mosali (2006), buğdaya yapraktan 2 ve 4 kg ha⁻¹ düzeyinde uygulanan P'un tane verimini artırmada yeterli olmadığını belirtmiştir. Hussein vd. (2010) sorgum bitkisine yapraktan uygulanan KH₂PO₄ ile verimin rakamsal olarak arttığını fakat bu artışların istatistiksel olarak önemli olmadığını bildirmişlerdir. Kubota (2006), Pela vd. (2009) ve Santos vd. (2008) yapraktan uygulanan P'un fasulye bitkisinde verimi etkilemediğini ifade etmişlerdir. Torres (2011) buğdaya topraktan ve yapraktan uygulanan P'la tane verimlerinin artsa da bu artışların önemli olmadığını tespit etmiştir. Peirce vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada buğdaya yapraktan farklı gelişim dönemlerinde uygulanan P'un kuru ağırlık üzerine önemli bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir. Benzon vd. (2015) çeltiğe yapraktan uygulanan kompoze formlu nano gübrelerin bitki kuru ağırlığı bakımından kontrol ile aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Bastani ve Hajiboland (2017) kolzada yeterli P varlığında ve vejetatif gelişim döneminde topraktan ve yapraktan uygulanan P'un kontrole göre bitki kuru ağırlığını etkilemediğini bildirmişlerdir. Gonçaves vd. (2017) fasulyede, topraktan ve yapraktan yapılan P uygulamaları ile verimde önemli değişimler belirlemişler, fakat kontrol ile uygulamalar arasında istatistiksel fark olmadığını bildirmişlerdir. Froese vd. (2020) buğdaya topraktan ve yapraktan uygulanan P'un tane verimi üzerine önemli bir etkisinin olmadığını belirlemişlerdir. Pérez- Álvarez vd. (2020) asmaya yapraktan uygulanan üre yüklü amorf kalsiyum fosfat nanopartiküllerinin verimde ticari gübrelere benzer tepkiler verdiğini, ayrıca nano teknolojik yöntemlerle üretilen gübrelerin uygulanması ile gübre

dozlarının azaltılabileceğini ve gübre kaynaklı çevre kirliliğinin azaltılabileceğini ifade etmişlerdir

Ekmeklik buğday çeşit ve hatları üzerinde yapılan araştırmalarda bin tane ağırlıklarının 29.9-49.7 g arasında olduğu tespit edilmiştir (Şahin vd. 2005, Yıldırım vd. 2005). Çevre koşullarını başaklanma sonrası iyi değerlendiren çeşitlerde bin tane ağırlığı daha yüksek olmaktadır (Korkut ve Ünay 1987). Yapraktan uygulanan P'lu gübrelerin etkisinin incelendiği 3. stratejimizde 1. yıl bin tane ağırlığı ortalama 50.1 g kg⁻¹, 2. yıl bin tane ağırlığı ortalama 41.2 g kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bezostaja-1 ekmeklik buğday çeşidinin ortalama bin tane ağırlığı 40–44 g arasındadır (Anonim 2003). Birinci yıl çeşit ortalamasının üstünde belirlenen bin tane ağırlığının yetiştirme döneminde düşen yüksek yağış miktarından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Elliott vd. (1997) buğdayın generatif döneme geçerken yüksek verim için başakta fazla tane oluşturmaları ve o dönemde yetersiz yağış düşmesi halinde tanelerin dolamayacağını, kalitesiz ve bin tane ağırlığı düşük ürün oluşacağını bildirmişlerdir. Yetiştiricilik yapılan 2. yılda yağış miktarının azalması ile bin tane ağırlığında da azalma belirlenmesi araştırmacıların bu bulgusu ile ilişkilendirilmiştir. Uygulamaların bin tane ağırlığı üzerine etkisi denemenin yürütüldüğü 2 yılda da istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır. Zucareli vd. (2006) fasulye bitkisine yapraktan uygulanan P dozlarının 100 tane ağırlığını etkilemediğini belirlemişlerdir. Santos vd. (2008) fasulye bitkisine artan dozlarda yapraktan uygulanan P'un 100 tane ağırlığı bakımından tabandan yapılan uygulamalara göre önemli bir fark yaratmadığını bildirmişlerdir. Ahmad vd. (2015) mısır bitkisine yapraktan uygulanan P'un kontrole göre bin tane ağırlığını etkilemediğini tespit etmişlerdir. Gonçalves vd. (2017) fasulye bitkisinde yaptıkları bir çalışmada; ekimle birlikte uygulanan P'lu gübrelerle farklı büyüme aşamalarında eklenen yapraktan P uygulamalarının 100 tane ağırlığı üzerine etkisinin önemli olmadığını ifade etmişlerdir. Taliman vd. (2019) soya fasulyesine artan dozlarda uygulanan P'un kontrole göre 100 tane ağırlığını etkilemediğini bildirmişlerdir.

Şablon tane veriminin şablon biyolojik verime oranı olarak tanımlanan hasat indeksi ekmeklik buğdayda ortalama %22.6-42.6 arasında değişmektedir (Ayter 2010, Özen 2014, Sakin vd. 2015). Denemenin yürütüldüğü 1. yıl hasat indeksi %40.7-41.5, 2. yıl %40.4-41.8 aralığında olduğu belirlenmiştir. Buna göre sonuçlar ekmeklik buğdayda

ortalama değerlerin içinde bulunmuş fakat uygulamaların hasat indeksi üzerine etkisi her iki yılda da önemli olmamıştır. Ahmad vd. (2015) mısır bitkisinde kuraklık stresinin olmadığı durumlarda yapraktan uygulanan P ile kontrol arasında hasat indeksi bakımından fark olmadığını belirlemişlerdir. Benzon vd. (2015) eltikte yapraktan uygulanan kompoze formlu nano gübrelerin hasat indeksi bakımından kontrol ile aynı sınıfta yer aldığını belirlemişlerdir. Garud vd. (2015) soya fasulyesinde yürüttükleri çalışmada hasat indeksinin yapraktan P uygulamalarından etkilenmediğini bildirmişlerdir. Zambrosi (2019) tarafından buğdayda generatif dönemde yapraktan P uygulamalarının hasat indeksi üzerine etkisi önemli bulunmamıştır. Elde edilen verilerin aksine Aziz vd. (2016) buğdaya yapraktan uygulanan gübrelerle oranla nano gübrelerin hasat indeksini önemli düzeyde artırdığını bildirmişlerdir. Drostar vd. (2016) yaprağa uygulanan nano formlu gübreler ile kontrole göre hasat indeksinin arttığını bulunmuştur.

Buğdayda bir kalite parametresi olan ve ekmek yapımında unun yoğrulması ve ekmeğin kabarmasını etkileyen tane protein oranının %11'in üzerinde olması istenmektedir (Sade 1997). Denemenin 1. yılında tane protein oranı %14.7-16.3, 2. yılında tane protein oranı %14.2-15.6 aralığında belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre tez çalışmasında yetiştirilen buğdayların ekmeklik kalitesinin uygun sınırlar içerisinde olduğu söylenebilmektedir. Yapraktan P uygulamalarının tane protein oranı üzerine etkisi incelendiğinde; denemenin yürütüldüğü her iki yılda da tane protein oranının önemli olduğu belirlenmiştir (izelge 4.12). Birinci yıl kontrole göre tüm uygulamalar tane protein oranını artırmış ve yapraktan uygulanan kaynaklar arasında H_3PO_4 ile daha fazla tane protein oranı belirlenmiştir. Uygulama sayıları bakımından ise bir fark belirlenmemiştir. İkinci yıl yapraktan iki defa yapılan uygulamalar kontrole ve 1 defa yapılan uygulamalarına göre tane protein oranını artırmıştır. Yadav ve Choudhary (2012) yapraktan uygulanan DAP ile kontrole göre tane proteinin arttığını belirlemişlerdir. Garud vd. (2015) soya fasulyesinde yapraktan P uygulamalarının kontrole göre tane protein oranını artırdığını bildirmişlerdir. Soliman vd. (2016) baobab bitkisine yapraktan uygulanan nano hidroksiapatit ile DAP'a göre daha yüksek tane protein oranı belirlediklerini ifade etmişlerdir. Taliman vd. (2019) soya fasulyesine uygulanan P ile çeşidin bir tanesinde tane proteinin arttığını, diğer çeşitlerde uygulamaların aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Abd Alqader vd. (2020) bakla bitkisine yapraktan

uygulanan üre ve üre katkılı nano hidroksiapatitin yüksek dozunun kontrole göre tane protein oranını arttırdığını bildirmişlerdir. Bazı araştırmacılar ise yapraktan P uygulamalarının tane protein oranı üzerine etkisinin önemli olmadığını belirlemişlerdir. Drostkar vd. (2016) yaprağa uygulanan nano formulu gübrelerin tane protein oranını etkilemediğini bildirmişlerdir. Shaoxia vd. (2019) Çin’de yürüttükleri bir tarla denemesinde buğdayda yapraktan P uygulamalarının tane protein oranına etkisinin 2 yılda da önemsiz olduğunu ifade etmişlerdir.

Başaklanma başlangıcında yaprak gübrelemesinden önce alınan bitki örneklerinde 1. ve 2. yıl bitki P konsantrasyonu belirlenmiş ve parseller arasında P konsantrasyonu bakımından istatistiksel bir fark olmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.13 ve 4.14). Başaklanma öncesi alınan örneklerin P konsantrasyonu 1. yıl 1.54-1.62 g kg⁻¹ arasında, 2. yıl 1.32-1.40 g kg⁻¹ arasında belirlenmiş ve Jones vd. (1991) tarafından bildirilen kritik düzeyin (2-5 g kg⁻¹) altında olduğu tespit edilmiştir. Noack vd. (2011) tarafından en uygun yaprak uygulaması zamanının çiçeklenme öncesi (başaklanma başlangıcı) olan dönem olduğu ifade edilmiştir. Raij vd. (1997) çiçeklenme sonrası dönemde kök aktivitesi geriliği için bu dönemde yapılacak yapraktan P uygulamalarının bitkideki P eksikliğini gidermede daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada da yapraktan P uygulamaları başaklanma başlangıcında ve sonrasında olmak üzere 2 dönemde yapılmıştır.

Denemenin yürütüldüğü 1. yıl; 1. gübreleme sonrası bitki P konsantrasyonu; 1.14-1.34 g kg⁻¹ aralığında, 2. gübreleme sonrası bitki P konsantrasyonu 1.47-1.65 g kg⁻¹ aralığında tespit edilmiştir. Birinci yıl 1. ve 2. gübreleme sonrası yapraktan P uygulamalarının bitki P konsantrasyonunu önemli oranda artırdığı ve tüm uygulamaların kontrole göre artış sağladığı belirlenmiştir. Yapraktan P uygulamasında kaynaklara ve uygulama sayılarına bağlı bir fark belirlenmemiştir. Denemenin yürütüldüğü 2. yıl ise 1. gübreleme sonrası bitki P konsantrasyonu 1.0-1.13 g kg⁻¹ aralığında, 2. gübreleme sonrası bitki P konsantrasyonu 0.97-1.07 aralığında olduğu belirlenmiştir. Yapraktan P uygulamaları kontrole göre bitki P konsantrasyonunu rakamsal olarak artırsa da uygulamalar arasında istatistiksel bir fark belirlenmemiştir. Malakondaiah vd. (1981) yaptıkları çalışmada, arpada yapraktan P içeriği bakımından iki kere yapraktan P uygulamasının kontrol ile aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar

yoncaya artan dozlarda yapraktan P uyguladıklarında kontrole göre bitki P konsantrasyonunun arttığını ifade etmişlerdir. Green ve Racz (1999) yapraktan uygulanan P içerikli kompoze gübrenin etkisini buğdayda incelemişler ve çalışma sonucunda yapraklarda belirlenen P'un kritik düzeyin üstünde olduğu durumda yapraktan P konsantrasyonunun uygulamalardan etkilenmediğini; P'un kritik düzeyin altında olduğu durumda ise yapraktan P konsantrasyonunun uygulamalardan önemli düzeyde etkilendiğini bildirmişlerdir. Amal vd. (2006) yapraktan uygulanan kompoze gübre ile kontrole göre bitki P konsantrasyonunun arttığını bildirmiştir. Mosali vd. (2006) buğdayda yapraktan P uygulamaları ile bitkiye P alımının, P uygulanmayan parsellere göre arttığını bildirmişlerdir. Al-Harbi vd. (2013) kireçli topraklarda yetiştirilen buğdaya, başaklanma başlangıcında P'un yapraktan uygulanması ile P alımının arttığını bildirmişlerdir. Aynı çalışmada başaklanma başlangıcında yapılan uygulamaların bitki P konsantrasyonunu başaklanma sonunda yapılan uygulamalardan daha fazla artırdığını belirlemişlerdir. Torres (2011) tarafından yapılan çalışmada; topraktan ve yapraktan birlikte uygulanan P'lu gübrelerin kışlık buğdayda bitkinin P ihtiyacını karşılamada daha etkili bir yöntem olduğunu ve yapraktan uygulanan P'un yetiştirme periyodunda gözlemlenen hafif P eksikliğini gidermede etkili bir gübreleme yöntemi olabileceğini bildirmiştir. Soliman vd. (2016) baobab bitkisine yapraktan uygulanan nano hidroksiapatit ile DAP'a göre bitki P konsantrasyonunun arttığını ve bu artışların 1. yıl anlamlı 2. yıl anlamsız olduğunu belirlemişlerdir. Zambrosi vd. (2016) tarafından şeker kamışında yapılan çalışmada yapraktan P uygulaması ile hem P noksan hem de P yeterli bitkilerde P konsantrasyonunu arttığını bildirmişlerdir. Rady vd. (2018) fasulye bitkisine yapraktan 10 ve 20 mM düzeyinde uygulanan MAP'ın bitki P konsantrasyonunu kontrole göre artırdığını fakat dozlar arasında fark olmadığını bildirmişlerdir.

Tane P konsantrasyonu denemenin yürütüldüğü 1. yıl 3.52-3.65 g kg⁻¹ aralığında, 2. yıl 2.12-2.42 g kg⁻¹ aralığında olduğu belirlenmiştir. Reuter vd. (1997)'ne göre buğday tanesinde P'un kritik değeri 2.7 g kg⁻¹ olarak ifade edilmiştir. Buna göre tane P konsantrasyonu denemenin yürütüldüğü 1. yıl yeterli, 2. yıl noksan olarak belirlenmiştir. Fakat Elliott vd. (1997), maksimum tane verimi için P tanesi kritik P konsantrasyonunun 2.1-2.4 g kg⁻¹ arasında olduğunu ifade etmişlerdir. Peirce vd. (2019) ise Reuter vd. (1997) tarafından kabul edilen kritik değerin yaprakta yanma etkisine

neden olduğunu ve bu kritik değerlerde yaprak gübrelemesi ile maksimum verimin elde edilemeyeceğini ifade etmişlerdir. Yürütülen tez çalışmasında ise 2 yılda da yaprak uygulamaları ile yanma etkisi tespit edilmemiştir. Denemenin yürütüldüğü 1. yıl kontrole göre tüm uygulamalar ile tane P konsantrasyonu rakamsal olarak artsa da istatistiksel olarak bir fark belirlenmemiştir. İkinci yıl ise yapraktan P uygulamalarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Nano-P uygulaması ile kontrole göre tane P konsantrasyonu artmış fakat kaynaklar ve uygulama sayıları arasında fark bulunmamıştır. Girma vd. (2007) tarafından mısır bitkisinde yapılan çalışmada P kullanım etkinliği ve tane P konsantrasyonu bakımından süt olum döneminde en düşük dozda yapraktan uygulanan P'un en yüksek P kullanım etkinliği ve tane P konsantrasyonuna neden olduğunu belirlemişlerdir. Deneme sonucunda araştırmacılar mısır bitkisinde yapraktan P'un uygun büyüme aşamasında ve oranında uygulanması halinde verimli bir P kullanımı sağlayacağını ifade etmişlerdir. Waraich vd. (2015) yürüttükleri denemede buğdaya topraktan ve yapraktan P uygulamışlar ve temel gübreleme ile birlikte yapraktan 6 kg P ha⁻¹ uygulanmasının P kullanım etkinliğini %15.4 artırdığını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda araştırmacılar erken dönemde gerekli P'u sağlamak için tabandan P verilmesinin gerekli olduğunu, fakat geç dönemde buğdayın ihtiyacı olan P'u yapraktan uygulamanın da P kullanım etkinliğini artıracağını ifade etmişlerdir. Peirce vd. (2019) farklı dönem ve farklı yayıcı-yapıştırıcıların buğdayda tane P konsantrasyonuna etkisini incelemişler ve başaklanma öncesinde yapılan P uygulamalarının tane P konsantrasyonu üzerine önemli etkisinin olmadığını belirlemişlerdir. Harder vd. (1982) buğdayda yaptıkları çalışmada, kontrole kıyasla yaprak gübrelemesiyle tane P'un %4.7 arttığını, fakat dozlar arasında istatistiksel farklar olmadığını tespit etmişlerdir. Sherchand ve Paulsen (1985) buğdaya çiçeklenmede uygulanan P'un tane P konsantrasyonunu iyileştirebileceğini bildirmişlerdir. Kubota (2006) yapraktan P uygulaması ile tanede P içeriğinde bir artış olduğunu fakat bu artışın genellikle önemsiz olduğunu bildirmiştir. Pela vd. (2009) fasulyede yapraktan uygulanan P ile tane P konsantrasyonunun arttığını bildirmişlerdir. Fasulye gibi geniş yapraklı bitkilerde yaprak alanının büyük olması nedeniyle P'un kolaylıkla alınabildiği ve yapraktan taneye taşınabildiği ifade edilmiştir. Hussein vd. (2010) sorgum bitkisinde yapraktan artan dozlarda uygulanan KH₂PO₄ ile tane P konsantrasyonunun kontrole göre arttığını bildirmişlerdir. Gonçalves vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada fasulye

bitkisinde kontrole göre topraktan 120 kg P_2O_5 ha⁻¹ uygulaması ile yapraktan 0.5 ve 1 kg P_2O_5 ha⁻¹ uygulamanın tane P konsantrasyonunu önemli düzeyde arttırdığı belirlenmiştir. Araştırmacılar ayrıca fasulye bitkisi için toprakta P miktarı arttıkça yapraktan P gübrelemesinin tane P konsantrasyonunda daha önemli artışlar sağladığını bildirmişlerdir. Froese vd. (2020) tarafından bezelyeye topraktan ve yapraktan uygulanan P'un tane P konsantrasyonuna etkisi 1. yıl önemsiz 2. yıl önemli olarak belirlenmiş ve 2. yılda kontrole göre uygulamaların tamamı ile tane P konsantrasyonu önemli düzeyde artmıştır. Yapılan bazı çalışmalarda ise yaprak uygulamaları ile tane P konsantrasyonunun değişmediği ifade edilmiştir. Conte ve Boareto (2001), yapraktan P gübrelemesinin fasulye tanelerindeki P içeriğini etkilemediğini belirlemişlerdir. Torres (2011) yapraktan P uygulamalarının tane P konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisinin olmadığını ifade etmiştir. Zambrosi (2019) buğdaya generatif dönemde yapraktan P uygulamalarının tane P konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisinin olmadığını ifade etmiştir. Froese vd. (2020) tarafından buğday bitkisinde yürütülen çalışmada topraktan ve yapraktan uygulanan P'un tane P konsantrasyonunu etkilemediği bildirilmiştir.

Bitki toplam N konsantrasyonunun buğdayda başaklanma döneminde Jones vd. (1991) tarafından bildirildiği üzere 20-30 g kg⁻¹ değerleri arasında olmasının bitki gelişimi için yeterli olacağı bilinmektedir. Denemenin yürütüldüğü 1. yıl gübreleme öncesi bitki N konsantrasyonunun ortalama 19.4 g kg⁻¹, 2. yıl gübreleme öncesi bitki N konsantrasyonunun ortalama 17.0 g kg⁻¹ olduğu (Çizelge 4.13 ve 4.14) ve parseller arası değişimin 1. yıl önemli 2. yıl önemsiz olduğu belirlenmiştir. Ling ve Silberbush (2002) mısır bitkisinde yaprak N konsantrasyonu bakımından yapraktan P uygulamalarının kontrol ile aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Davarpanah vd. (2017) nar bitkisine yapraktan uygulanan P'un bitki N konsantrasyonu bakımından kontrol ile aynı sınıfta yer aldığını ifade etmişlerdir.

Denemenin yürütüldüğü 1. yıl; 1. gübreleme sonrası N konsantrasyonu ortalama 12.8 g kg⁻¹, 2. gübreleme sonrası N konsantrasyonu ortalama 15.0 g kg⁻¹ iken; 2. yıl; 1. gübreleme sonrası N konsantrasyonu ortalama 12.6 g kg⁻¹, 2. gübreleme sonrası N konsantrasyonu ortalama 12.7 g kg⁻¹ belirlenmiştir (Çizelge 4.13 ve 4.14). Denemenin yürütüldüğü 2 yılda da 1. ve 2. gübreleme sonrası alınan bitki örneklerinde bitki N konsantrasyonu yapraktan P uygulamalarından önemli düzeyde etkilenmemiştir. Avila

vd. (2012) toprakta yeterli P varlığında fasulye bitkisinde 1 ve 2 defa yapraktan uygulanan P kaynakları arasında bitki N konsantrasyonu bakımından fark olmadığını bildirmişlerdir. Zambrosi vd. (2016) yeterli P varlığında yetiştirilen mısır bitkisinde yapraktan P uygulamasının kontrole göre bitki N konsantrasyonunu önemli düzeyde etkilemediğini ifade etmişlerdir. Tez çalışmasında elde edilen bulguların aksine yapılan çalışmalar yapraktan P uygulamaları ile bitki N konsantrasyonunun genellikle arttığını göstermektedir. Hussein vd. (2010) sorgum bitkisine yapraktan artan dozlarda uygulanan KH_2PO_4 ile yaprak N konsantrasyonunun arttığını belirlemişlerdir. Soliman vd. (2016) baobab bitkisine yapraktan uygulanan nano hidroksiapatit ile DAP'a göre bitki N konsantrasyonunda meydana gelen artışın 1. yıl önemli 2. yıl önemsiz olduğunu bildirmişlerdir. Rady vd. (2018) fasulye bitkisine yapraktan 2 farklı dozda uygulanan MAP'ın kontrole göre bitki N konsantrasyonunu artırdığını ve bu artışlarda dozlar arasında fark olmadığını tespit etmişlerdir.

Alınan tane örneklerinde N konsantrasyonu 1. yıl 23.6-26.1 g kg⁻¹ arasında, 2. yıl 22.8-24.9 g kg⁻¹ arasında belirlenmiş ve tane N konsantrasyonu bakımından her iki yılda da uygulamaların etkisi önemli olmuştur. Birinci yıl kontrole göre yapraktan P uygulamaları ile tane N konsantrasyonu artmıştır. Tane N konsantrasyonu bakımında kaynaklar ve uygulama sayıları arasında istatistiksel bir fark belirlenmemiştir. İkinci yıl ise kontrole göre yapraktan P uygulamaları ile tane N konsantrasyonu artmıştır. Tane N konsantrasyonu bakımında nano-P uygulamaları arasında istatistiksel bir fark belirlenmezken, nano-P'un H_3PO_4 uygulamasından daha yüksek tane N konsantrasyonu sağladığı tespit edilmiştir. Hussein vd. (2010) sorgum bitkisine yapraktan artan dozlarda uygulanan KH_2PO_4 ile tane N konsantrasyonunun arttığını bildirmişlerdir. Yadav ve Choudhary (2012) yapraktan uygulanan DAP ile kontrole göre tane N konsantrasyonunun arttığını ifade etmişlerdir.

Denemenin yürütüldüğü her iki yılda gübreleme öncesi alınan bitki örneklerinin K konsantrasyonlarında bir fark saptanmamıştır. Deneme alanında 1. yıl gübreleme öncesi K konsantrasyonu 20.3-21.6 g kg⁻¹ aralığında, 2. yıl gübreleme öncesi K konsantrasyonu 18.1-19.8 g kg⁻¹ aralığında belirlenmiş ve Jones vd. (1991) tarafından bildirilen kritik değer (15-30 g kg⁻¹) aralığında yer almıştır.

Birinci yıl 1. gübreleme sonrası bitki K konsantrasyonu ortalama 10.2 g kg^{-1} , 2. gübreleme sonrası bitki K konsantrasyonu ortalama 6.99 g kg^{-1} olarak belirlenmiştir. İkinci yıl ise 1. gübreleme sonrası bitki K konsantrasyonu ortalama 9.63 g kg^{-1} , 2. gübreleme sonrası bitki K konsantrasyonu ortalama 7.00 g kg^{-1} belirlenmiştir. Denemenin yürütüldüğü iki yılda yapraktan uygulanan P'un kaynak ve uygulama sayısı bakımından bitki K konsantrasyonunu önemli düzeyde etkilemediği belirlenmiştir. Avila vd. (2012) toprakta yeterli P varlığında fasulye bitkisinde 1 ve 2 defa yapraktan uygulanan P kaynakları arasında bitki K konsantrasyonu bakımından fark olmadığını bildirmişlerdir. Bizim bulgularımızın aksine Malakondaiah vd. (1981) yaptıkları çalışmada, yapraktan 1 ve 2 kere P uygulamasının arpada yaprak K konsantrasyonunu kontrole göre arttırdığını, 3 kere yapraktan P uygulamasının kontrole aynı olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmada artan dozlarda P uygulandığında ise yaprak K konsantrasyonunun kontrole göre azaldığı belirlenmiştir. Aynı araştırmacılar yoncaya artan dozlarda yapraktan P uyguladıklarında kontrole göre bitki K konsantrasyonunun artırdığını ifade etmişlerdir. Soliman vd. (2016) yapraktan uygulanan nano hidroksiapatit ve DAP'ın baobab bitkisinde bitki K konsantrasyonunu artırdığını ve bu artışın 1. yıl önemsiz 2. yıl önemli olduğunu bildirmişlerdir. Hussein vd. (2010) sorgum bitkisine yapraktan uygulanan KH_2PO_4 dozunun arttıkça bitki K konsantrasyonunun da arttığını tespit etmişlerdir. Rady vd. (2018) fasulye bitkisinde yapraktan uygulanan MAP'ın bitki K konsantrasyonunu kontrole ve uygulama dozlarına göre artırdığını bildirmişlerdir.

Tane K konsantrasyonunun Reuter vd. (1997) tarafından bildirilen kritik değerin (5.0 g kg^{-1}) altında (1. yıl ortalama 3.27 g kg^{-1} , 2. yıl ortalama 3.38 g kg^{-1}) olduğu belirlenmiştir. Tane K konsantrasyonu üzerine her iki yılda da kontrole göre uygulamalar ile rakamsal artış belirlense de bu artışlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Hussein vd. (2010) sorgum bitkisine yapraktan uygulanan KH_2PO_4 'ın dozunun arttıkça tane K konsantrasyonunun da arttığını bildirmişlerdir. . Yadav ve Choudhary (2012) yapraktan uygulanan DAP ile tane K konsantrasyonunun kontrole göre arttığını belirlemişlerdir.

Başaklanma başlangıcında gübreleme öncesi bitki örneklerinde 1. yıl gübreleme öncesi bitki Ca konsantrasyonu ortalama 3.60 g kg^{-1} , 2. yıl gübreleme öncesi bitki Ca

konsantrasyonu 4.66 g kg^{-1} belirlenmiştir. Denemenin yürütüldüğü 2 yılda da belirlenen bitki Ca konsantrasyonlarının Jones vd. (1991) tarafından bildirilen $2.0-5.0 \text{ g kg}^{-1}$ kritik düzeyin içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

Yapraktan P uygulamalarının denemenin yürütüldüğü 1. yıl 1. gübreleme sonrası bitki Ca konsantrasyonuna etkisi önemli olmamıştır fakat rakamsal olarak bitki Ca konsantrasyonu uygulamalar ile azalmış ve $2.55-3.03 \text{ g kg}^{-1}$ aralığında belirlenmiştir. İkinci gübreleme sonrası ise uygulamaların bitki Ca konsantrasyonu üzerine etkisi önemli bulunmuş, özellikle yapraktan 2 defa nano-P uygulamanın bitki Ca konsantrasyonunu önemli düzeyde düşürdüğü belirlenmiş ve bitki Ca konsantrasyonları $0.65-1.22 \text{ g kg}^{-1}$ aralığında tespit edilmiştir. Yapraktan 2 defa uygulama yapıldığında rakamsal olarak her iki kaynakta da bitki Ca konsantrasyonu azalmıştır. Bunun Ca ve P arasındaki ilişkiden kaynaklandığı düşünülmüştür. Denemenin yürütüldüğü 2. yıl 1. gübreleme sonrası bitki Ca konsantrasyonu yapraktan P uygulamalarından önemli düzeyde etkilenmemiş ve $3.47-3.77 \text{ g kg}^{-1}$ aralığında belirlenmiştir. İkinci gübreleme sonrası yapraktan P uygulamalarının etkisi önemli bulunmuş ve kontrole göre yapraktan P uygulamaları kaynak ve uygulama sayısına bakılmaksızın bitki Ca konsantrasyonunu önemli miktarda azaltmıştır. İkinci gübreleme sonrası bitki Ca konsantrasyonu $1.33-1.65 \text{ g kg}^{-1}$ aralığında belirlenmiştir. Malakondaiah vd. (1981) arpada yapraktan 3 defa da uygulanan P'un bitki Ca konsantrasyonunu önemli oranda etkilemediğini bildirmişlerdir. Araştırmacıların uygulama dozları bakımından yürüttüğü çalışmada ise yapraktan P uygulamasının dozu arttıkça yonca ve arpada bitki Ca konsantrasyonu azaldığı, dozlar arasında ise istatistiksel bir fark olmadığı ifade edilmiştir. Avila vd. (2012) toprakta yeterli P varlığında fasulye bitkisinde 1 ve 2 defa yapraktan uygulanan P ile bitki Ca konsantrasyonunun önemli düzeyde değişmediğini belirlemişlerdir. Rady vd. (2018) bu bulgulara benzer şekilde yapraktan artan dozlarda uygulanan MAP ile fasulye bitkisi Ca konsantrasyonunda dozları arasında fark olmadığını bildirmişlerdir.

Denemenin yürütüldüğü 1. yıl tane Ca konsantrasyonu ortalama 0.37 g kg^{-1} , 2. yıl tane Ca konsantrasyonu 0.45 g kg^{-1} olarak belirlenmiş ve Anonymous (2001) tarafından bildirilen kritik değere (0.43 g kg^{-1}) göre 1. yıl noksan, 2. yıl yeterli olduğu tespit edilmiştir. Denemenin yürütüldüğü 2 yılda da yapraktan uygulanan kaynaklara ve uygulama sayılarına bağlı olarak tane Ca konsantrasyonunda önemli değişiklikler

belirlenmemiştir (Çizelge 4.13 ve 4.14). Elde edilen bu verilerin aksine sorgum bitkisinde yapraktan artan dozlarda uygulanan KH_2PO_4 tane Ca konsantrasyonunu artırdığını Hussein vd. (2010) bildirmişlerdir.

Denemenin yürütüldüğü her iki yılda da yapraktan P uygulamaları öncesinde alınan örneklerde bitki Mg konsantrasyonu bakımından önemli farklar belirlenmemiştir. Gübreleme öncesinde alınan bitki örneklerinde (1. yıl 1.57-1.62 g kg⁻¹; 2. yıl 1.33-1.39 g kg⁻¹) Mg konsantrasyonu Jones vd. (1991) tarafından bildirilen aralığa (1.5-5.0 g kg⁻¹) göre 1. yıl yeterli, 2. yıl noksan bulunmuştur.

Denemenin 1. yılında 1. gübreleme sonrası alınan bitki örneklerinde bitki Mg konsantrasyonunun 1.26-1.48 g kg⁻¹ aralığında değiştiği ve bitki Mg konsantrasyonunun uygulamalardan önemli düzeyde etkilendiği belirlenmiştir. Bir defa uygulanan nano-P'un H_3PO_4 'e göre bitki Mg konsantrasyonunu azalttığı tespit edilmiştir. İkinci gübreleme sonrası ise uygulamalar arasında rakamsal olarak benzer sonuçlar izlense de istatistiksel olarak uygulamaların etkisi önemli olmamıştır. Denemenin 2. yılında ise 1. gübreleme sonrası alınan bitki örneklerinde bitki Mg konsantrasyonunun 1.26-1.33 g kg⁻¹ aralığında değiştiği ve bitki Mg konsantrasyonunun uygulamalardan önemli düzeyde etkilenmediği belirlenmiştir. İkinci gübreleme sonrası yapraktan P uygulamaları ile kontrole göre bitki Mg konsantrasyonu önemli oranda azalmış fakat uygulanan kaynak ve uygulama sayısına göre istatistiksel bir fark belirlenmemiştir. Malakondaiah vd. (1981) yapraktan artan dozlarda uygulanan P'un arpada bitki Mg konsantrasyonunu kontrole göre önemli oranda düşürdüğünü, yoncada ise bitki Mg konsantrasyonunun kontrole göre uygulamalarla arttığını fakat uygulama dozları arasında fark olmadığını bildirmişlerdir. Aynı araştırmacıların arpada Mg konsantrasyonu bakımından uygulama sayılarını incelediği çalışmada kontrolle uygulamaların aynı sınıfta yer aldığı ifade edilmiştir. Avila vd. (2012) toprakta yeterli P varlığında fasulye bitkisine yapraktan uygulanan P'un bitki Mg konsantrasyonu bakımından önemli etkileri olmadığını tespit etmişlerdir. Arshad vd. (2016) buğdaya yapraktan uygulanan P'un kontrole göre bitki Mg konsantrasyonunu etkilemediğini bildirmişlerdir. Zambrosi vd. (2016) yapraktan P uygulamalarının bitki Mg konsantrasyonunu etkilemediğini ve ortamda yeterli P bulunduğunda P noksan ortama göre bitki Mg konsantrasyonunun %15 daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Taliman

vd. (2019) soya fasulyesinde bitki Mg konsantrasyonu bakımından kontrolle yapraktan P uygulamasının aynı sınıfta yer aldığını belirlemişlerdir.

Anonymous (2001) tarafından tane Mg konsantrasyonu için bildirilen (1.4 g kg^{-1}) kritik düzeye göre denemenin 1. yılı tane Mg konsantrasyonu (ortalama 0.56 g kg^{-1}) noksan ve uygulamaların etkisi önemsiz bulunmuş, 2. yıl tane Mg konsantrasyonu noksan (ortalama 0.76 g kg^{-1}) ve uygulamaların etkisi önemli bulunmuştur. İkinci yıl yapraktan 2 defa uygulanan nano-P ile tane Mg konsantrasyonu kontrole ve diğer uygulamalara göre önemli miktarda artmıştır.

Yapraktan P uygulamaları öncesinde alınan bitki örneklerinde her iki yılda da bitki Fe konsantrasyonu bakımından parsellerin homojen olduğu ve 1. yıl gübreleme öncesi bitki Fe konsantrasyonunun $66.9\text{-}76.7 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında, 2. yıl gübreleme öncesi bitki Fe konsantrasyonunun $59.1\text{-}56.1 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında olduğu belirlenmiştir. Gübreleme öncesi belirlenen bitki Fe konsantrasyonlarının Jones vd. (1991) tarafından belirlenen bitki Fe konsantrasyonu kritik seviyesine ($25\text{-}100 \text{ mg kg}^{-1}$) göre yeterli olduğu tespit edilmiştir.

Denemenin yürütüldüğü 1. ve 2. yıl 1. gübreleme sonrası alınan bitkilerde Fe konsantrasyonu sırasıyla ortalama 63.5 ve 56.3 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir. Yapraktan 1 defa yapılan P uygulamalarının bitki Fe konsantrasyonunu her iki yılda da önemli düzeyde etkilemediği belirlenmiştir. İkinci gübreleme sonrası alınan bitki örneklerinde de bitki Fe konsantrasyonu kaynaklara ve uygulama sayısına bağlı olarak değişmemiştir. Bitkilerde Fe konsantrasyonu 1. ve 2. yıl sırasıyla ortalama 76.1 ve 64.4 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir. Malakondaiah vd. (1981) arpada uygulama sayıları bakımından yapraktan P uygulamaları ile kontrolün Fe konsantrasyonu bakımından aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Yonca bitkisinde ise Fe konsantrasyonu bakımından uygulama dozları arasında bir fark belirlenmediği araştırmacılarca ifade edilmiştir. Avila vd. (2012) toprakta yeterli P varlığında fasulye bitkisine yapraktan 1 ve 2 defa uygulanan P'un bitki Fe konsantrasyonunu etkilemediğini tespit etmişlerdir. Davarpanah vd. (2017) nar bitkisine yapraktan uygulanan P ile kontrole göre bitki Fe konsantrasyonunun etkilenmediğini bildirmişlerdir. Taliman vd. (2019) soya fasulyesine uygulanan P ile bitki Fe konsantrasyonunun çeşitlerin bir tanesinde kontrolle aynı sınıfta, diğer çeşitte yapraktan P uygulaması ile kontrole göre artış olduğu

belirlenmiştir. Froese vd. (2020) kanola, bezelye ve buğday bitkilerinde yapraktan uygulanan P'un kontrole göre tane Fe konsantrasyonunu etkilemediğini bildirmişlerdir.

Hasat döneminde alınan tane örneklerinde Fe konsantrasyonu 1. yıl 25.0-31.1 mg kg⁻¹, 2. yıl 31.2-35.9 mg kg⁻¹ aralığında belirlenmiştir. Yapraktan farklı kaynak ve sayılarda uygulanan P'lu gübrenin tane Fe konsantrasyonu üzerine etkisi denemenin yürütüldüğü 2 yılda da önemli bulunmamıştır. Zhang vd. (2017) mısır bitkisine yapraktan uygulanan P ile tane Fe konsantrasyonunun kontrol ile aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Froese vd. (2020) tarafından yapraktan ve topraktan uygulanan P'un buğday ve kanola bitkilerinde tane Fe konsantrasyonunu etkilemediği; bezelye bitkisinde tane Fe konsantrasyonunu azalttığı belirlenmiştir.

Başaklanma başlangıcında gübreleme öncesi alınan bitki örneklerinde bitki Zn konsantrasyonunun 1. yıl 18.2-19.0 mg kg⁻¹, 2. yıl 11.1-12.5 mg kg⁻¹ aralığında olduğu ve bu değerlerin Jones vd. (1991) tarafında bildirilen bitki Zn konsantrasyonu kritik seviyesine (15-70 mg kg⁻¹) göre 1. yıl yeterli, 2. yıl noksan olduğu belirlenmiştir. Denemenin yürütüldüğü 2 yılda da uygulama öncesi parsellerde belirlenen bitki Zn konsantrasyonunun istatistiksel anlamda farklı olmadığı belirlenmiştir.

Birinci gübreleme sonrası bitki Zn konsantrasyonları 1. yıl 13.9-17.8 mg kg⁻¹, 2. yıl 11.0-12.7 mg kg⁻¹ aralığında belirlenmiştir. Yapraktan 1 defa yapılan uygulamanın Zn konsantrasyonu üzerine etkisi her 2 yılda da önemli olmamıştır. İkinci gübreleme sonrası bitki Zn konsantrasyonlarının ise 1. yıl 11.0-14.7 mg kg⁻¹, 2. yıl 12.2-16.4 mg kg⁻¹ aralığında olduğu ve uygulamalara bağlı olarak rakamsal değişimler olsa da bu değişimler istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bulunmuştur. Malakondaiah vd. (1981) arpada yaptıkları bir çalışmada, yapraktan uygulanan P ile kontrol Zn konsantrasyonu bakımından aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Avila vd. (2012) toprakta yeterli P varlığında fasulye bitkisine yapraktan 1 ve 2 defa uygulanan P kaynaklarının bitki Zn konsantrasyonu üzerine önemli etkilerinin olmadığını tespit etmişlerdir. Froese vd. (2020) buğday, kanola ve bezelye bitkilerinde yapraktan ve topraktan uygulanan P'un tane Zn konsantrasyonuna etkisini incelemişler ve 1. ve 2. yıl tane Zn konsantrasyonlarının uygulamalardan etkilenmediğini ifade etmişlerdir. Bu bulguların aksine Shaoxia vd. (2019) buğdayda yapraktan P uygulamalarının bitki Zn konsantrasyonunu kontrole göre artırdığını bildirmişlerdir.

Buğdayda tane Zn konsantrasyonunun kritik değeri Reuter vd. (1997) tarafından 5-15 mg kg⁻¹ olarak bildirilmiştir. Denemenin her iki yılında da tane Zn konsantrasyonunun (1. yıl 20.8-22.8 mg kg⁻¹, 2. yıl 18.5-21.6 mg kg⁻¹) yeterli düzeyde olduğu bulunmuştur. Yapraktan uygulanan P'lu gübrelerin tane Zn konsantrasyonu üzerine etkisi her iki yılda da önemli olmamıştır. Froese vd. (2020) kanola, bezelye ve buğday bitkilerinde yapraktan uygulanan P'un kontrole göre tane Zn konsantrasyonunu etkilemediğini bildirmişlerdir. Elde ettiğimiz bu verilerin aksine Zhang vd. (2017) mısır bitkisine uygulanan P ile tane Zn konsantrasyonunun azaldığını ifade etmişlerdir. Shaoxia vd. (2019) Çin'de yürüttükleri çalışmada buğdayda yapraktan sadece P uygulandığında tane Zn konsantrasyonunun yapraktan Zn+P uygulamalarına göre azaldığını belirlemişlerdir.

Yapraktan farklı kaynaklardan uygulanacak P'lu gübrelerden önce alınan bitki örneklerinde bitki Cu konsantrasyonu bakımından istatistiksel bir fark olmadığı tespit edilmiş ve 1. yıl gübreleme öncesi bitki Cu konsantrasyonu ortalama 6.62 mg kg⁻¹, 2. yıl gübreleme öncesi bitki Cu konsantrasyonu ortalama 7.08 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Denemenin yürütüldüğü her iki yılda da 1. gübreleme sonrası alınan bitki örneklerinde Cu konsantrasyonu üzerine uygulamaların etkisi önemli bulunmamıştır. Birinci yıl bitki Cu konsantrasyonu ortalama 6.56 mg kg⁻¹, 2. yıl ortalama 5.50 mg kg⁻¹ belirlenmiştir (Çizelge 4.15 ve 4.16). Malakondaiah vd. (1981) arpada yapraktan P uygulamalarının bitki Cu konsantrasyonu üzerine etkisini inceledikleri çalışmada 2 defa yapılan uygulamaların kontrole göre bitki Cu konsantrasyonunu artırdığı, 1 ve 3 defa yapılan uygulamaların kontrol ile aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar arpada artan dozlarda yapraktan uygulanan P ile bitki Cu konsantrasyonunun istatistiksel olarak değişmediğini bildirmiştir. Avila vd. (2012) toprakta yeterli P varlığında fasulye bitkisine yapraktan uygulanan P'un bitki Cu konsantrasyonu etkilemediğini tespit etmişlerdir.

Yapraktan farklı kaynak ve sayılarda uygulanan P'lu gübrenin hasat döneminde alınan tane örneklerindeki Cu konsantrasyonu üzerine etkisi 2 yılda da önemli bulunmamıştır. Tane örneklerinde Cu konsantrasyonu 1. yıl 6.19-7.37 mg kg⁻¹, 2. yıl 6.40-7.24 mg kg⁻¹ aralığında belirlenmiştir (Çizelge 4.15 ve 4.16). Reuter vd. (1997) tarafından bildirilen kritik değerlere (1.0-2.5 mg kg⁻¹) göre tane Cu konsantrasyonu kritik değerlerin

üzerindedir. Elde edilen bulguların aksine Zhang vd. (2012) buğdaya yapraktan P uygulamalarının tane Cu konsantrasyonunu kontrole göre arttırdığını bildirmişlerdir.

Yapraktan P uygulamaları öncesinde alınan bitki örneklerinde her iki yılda da bitki Mn konsantrasyonu bakımından istatistiksel bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Jones vd. (1991) tarafında bildirilen bitki Mn konsantrasyonu kritik seviyesine ($25-100 \text{ mg kg}^{-1}$) göre her iki yılda bitkilerde Mn konsantrasyonunun yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Denemenin yürütüldüğü 1. ve 2. yıl 1. gübreleme sonrası alınan bitkilerde Mn konsantrasyonu sırasıyla $63.7-70.1$ ve $61.4-71.2 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında belirlenmiştir. Birinci gübreleme sonrası alınan bitkilerde Mn konsantrasyonu bakımından istatistiksel bir fark belirlenmemiştir. İkinci gübreleme sonrası 1. yıl Mn konsantrasyonu $46.4-54.8 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında ve 2. yıl Mn konsantrasyonu $54.3-60.5 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında tespit edilmiştir (Çizelge 4.15 ve 4.16). Gübre uygulamalarının Mn konsantrasyonu üzerine etkisi 1. yıl önemli 2. yıl önemsiz olmuştur. Birinci yıl yapraktan 2 defa P'lu gübre uygulaması kaynağına bakılmaksızın bitki Mn konsantrasyonunu azaltmıştır. Malakondaiah vd. (1981) arpada yaptıkları çalışmada yapraktan P uygulaması bakımından 1 defa uygulama yapılan parsellerin kontrolden daha yüksek bitki Mn konsantrasyonu sağladığı, 2 ve 3 defa uygulama yapıldığında ise bitki Mn konsantrasyonunun kontrol ile aynı sınıfta yer aldığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar aynı çalışmada yoncada uygulama dozlarını incelemişler ve farklı dozlarda uygulanan yapraktan P uygulamaları ile kontrolün bitki Mn konsantrasyonu bakımından aynı sınıfta yer aldığını bildirmişlerdir. Zambrosi vd. (2016) P noksan koşullarda yetiştirilen bitkilerde bitki Mn konsantrasyonunun yapraktan P uygulamaları ile %26 azaldığını, P yeterli koşullarda yetiştirilen bitkilerde ise bitki Mn konsantrasyonunun %12 arttığını bildirmişlerdir. Zhang vd. (2017) mısır bitkisinde Mn konsantrasyonu bakımından yapraktan uygulanan P'un kontrol ile aynı sınıfta olduğunu belirlemişlerdir. Taliman vd. (2019) soya fasulyesine yapraktan uygulanan P ile kontrole göre bir çeşitte Mn konsantrasyonu azalırken, diğer çeşidin aynı sınıfta yer aldığını ifade etmişlerdir.

Hasat döneminde alınan tane örneklerinde Mn konsantrasyonu 1. yıl $25.3-29.6 \text{ mg kg}^{-1}$, 2. yıl $30.2-36.1 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında belirlenmiştir. Yapraktan farklı kaynak ve sayılarda uygulanan P'lu gübrenin tane Mn konsantrasyonu üzerine etkisi denemenin yürütüldüğü

2 yılda da önemli bulunmuştur. Birinci ve 2. yıl yapraktan 2 defa uygulanan H_3PO_4 'in tane Mn konsantrasyonunu azalttığı belirlenmiştir. Bu bulguların aksine Zhang vd. (2012) buğdaya yapraktan uygulanan P ile kontrole göre tane Mn konsantrasyonunun arttığını bildirmişlerdir.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yüksek verim ve kaliteli üretim bitkisel üretimin temel hedefidir. Bu hedefe ulaşmak için toprakların kalitesinin korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Türkiye topraklarının karakteristik özellikleri (yüksek pH, kil ve kireç içeriği ile düşük organik madde ve toprak nemi vb.) toprak verimliliği için sınırlayıcı bir faktördür. Uzun yıllardır sadece verim artışını hedef alan üretim modelleri hem toprak hem de çevre sağlığını tehdit etmekte ve gübre kaynaklarının tükenmesine neden olmaktadır.

Son yıllarda çevresel ve ekonomik risklerin tamamı göz önünde bulundurulduğunda toprakta P fiksasyon riskini azaltabilecek ve gübre kaynaklarına alternatif olabilecek yeni teknolojiler araştırılmaktadır. Bu amaçla kurgulanan tez çalışmasında birbirinden bağımsız 3 strateji ele alınmıştır.

Sağlık alanında başarılı bir şekilde kullanılan nanoteknolojinin tarımsal üretimde kullanımı gübre formülasyonlarının iyileştirilmesi bakımından umut verici olmuştur. Boyutları nedeniyle nanoteknolojik yöntemlerle üretilen gübrelerde bulunan besin maddelerinin kök hücreleri ile yaprak kutikulasından girişlerinin ve taşınımalarının kolay olabileceği düşünülmektedir. Bu bilgiler ışığında kurgulanan 1. stratejide DAP gübresine (referans) alternatif olarak azalan dozlarda nano-P uygulandığında tane verimi referans uygulama kadar artmasa da yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte suda çözünabilir P içeriği düşük olan nano-P'un tane verimini istenildiği kadar artırmaması beklenen bir sonuçtur. Fakat bitki P, N ve K konsantrasyonları nano-P uygulamaları ile genel olarak artmış, Ca ve Mg konsantrasyonları ise referans uygulama ile benzer sonuçlar vermiştir. Tane de ise Fe, Zn ve Mn konsantrasyonları nano-P uygulamaları ile genel olarak artmıştır. Nano-P uygulamasının düşük dozu ile referans uygulamaya göre 1. yıl daha fazla bitki P konsantrasyonunu belirlenmişken, 2. yıl bu iki uygulamanın benzer sonuç vermesi nano-P'un toprakta düşük oranda fikse olabileceğini ve bitkiler tarafından alınabildiğini düşünmemize neden olmuştur. Nano-P uygulaması Fe ve Zn'da literatürde bildirilen interaksiyonlara neden olmamıştır. Ayrıca düşük dozda ($4 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$) uygulanan nano-P'un referans uygulama kadar verim sağlaması %50 fosforlu gübre tasarrufu yapılabileceğini göstermektedir. Uzun vade de ise yavaş ve sürdürülebilir bir fosfor

kaynağı olması beklenmektedir. Yapılan bu tez çalışması ile nano-P'un, önümüzdeki yıllarda tükeneyeceği öngörülen P'lu gübrelere iyi bir alternatif olabileceği, ülkemizde noksanlığına sıklıkla rastlanan Fe, Zn gibi mikro elementlerin daha etkin kullanımını sağlayabileceği tarafımızdan düşünülmektedir. Ayrıca son zamanlarda yayınlanan çalışmalar nano-P'un toprakta yaklaşık 240 gün sonra salınımının arttığını göstermektedir. Bu nedenle yavaş salımlı bir gübre olan nano-P'un bitkilerdeki etkilerini değerlendirmek için uzun yetiştiricilik periyotlarında incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca yeni bir gübre teknolojisi olan nano-P'un daha fazla saha çalışması ile desteklenmesi, toprak ve bitki alım mekanizmalarının ortaya konulması tarafımızca önerilmektedir.

Türkiye topraklarının karakteristik özellikleri nedeniyle uygulanan P'lu gübreler kolaylıkla fikse olabilmekte ve bitkiler uygulanan bu P'dan istenilen ölçüde yararlanamamaktadır. Bu nedenle özellikle P'lu gübre teknolojisinde toprakta daha az fikse olan yavaş salımlı gübrelerin geliştirilmesi gerekmektedir. Son yıllarda bu amaçla P'lu gübrelere hümik maddelerin eklenmesi, polimerlerle kaplanması, peletleme veya BK ile granülasyon çalışmaları yürütülmektedir. Biyokömür topraklarda organik madde ve C kaynağı olması gibi özelliklerinin yanında kimyasal gübrenin toprak kolloidleri ile temasını azaltarak gübreden besin elementi salınımını yavaşlatmaktadır. Ayrıca polimer bazlı yapıştırıcılarda gübrenin etrafını sararak salınım hızını yavaşlatmaktadır. Bu nedenle Orta Anadolu koşullarında tahıl grubu bitkilere en fazla kullanılan taban gübresi olan DAP'ın BK ve destrinle kaplanması sağlanmış ve sonuçta yavaş salımlı olduğu düşünülen gübrenin etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda BK kaplı DAP'ın verim öğeleri ve bitki tane P konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli etkilerinin olmaması kaplama miktarının yetersiz kalmış olabileceğini düşünmemize neden olmuştur. Son yıllarda yapılan çalışmalar gübre kaplama kalınlığının kütlece %9.0 ve daha fazla olması halinde yavaş salımlı bir gübre özelliği taşıdığını bildirmektedir. Ayrıca kaplamada %1 polimer konsantrasyonunda P salınımının maksimum olduğu ifade edilmektedir. Bu bilgiler ışığında kaplı gübreler yetiştirilecek ürünün vejetasyon süresi ile kaplama kalınlığı ve polimer konsantrasyonu gibi parametreler dikkate alınarak üretilmeli ve üretilen bu yavaş salımlı gübrelerin etkinliği daha fazla saha çalışması ile desteklenmelidir.

Yağış rejimlerinde ki değişimler toprakta halihazırda fiksasyon riski yüksek olan P'lu gübrelerden yararlanma oranını daha da düşürmektedir. Bu nedenle buğday verim ve kalitesi üzerine azımsanamayacak etkisi olan P'un daha etkin kullanımını sağlayacak stratejiler önemlidir. Bu amaçla kurgulanan 3. stratejide buğdaya tabandan uygulanan P'a ek olarak yapraktan geç dönemde H_3PO_4 ve nano-P uygulanmış ve sonuçta yapraktan P uygulamaları ile tane protein oranı önemli miktarda artmıştır. Ekmek yapımında önemli bir kalite parametresi olmasının yanında insanların sağlıklı beslenmesi açısından da son derece önemli bir parametre olan tane protein oranının artması ekmeklik buğday çeşitlerinde yapraktan P uygulamalarının önemli olduğunu düşünmemize neden olmuştur. Yağış rejimlerindeki değişikliğe bağlı olarak her sezonda P kullanım etkinliğinin değişmesi; kurak geçen sezonlarda topraktan P alımının kısıtlı olduğu durumlarda yapraktan P uygulamaları ile buğdayda kalitenin artırılabilceğini düşünmemizi sağlamıştır. Yapılan çalışmalarda yapraktan P uygulamalarının etkinliğinin bitkinin stres koşullarından ve yaprak özelliklerinden etkilendiğini göstermektedir. Bu nedenle etkin bir yaprak gübrelemesi için bitki ve yaprak besin alım mekanizmalarının daha detaylı çalışılması tarafımızdan önerilmektedir. Ayrıca yapraktan P uygulamasının farklı iklim koşullarında daha fazla çalışma ile desteklenmesi gerektiği tarafımızca düşünülmektedir.

Sonuç olarak tükenen P kaynaklarının yerine alternatif gübrelerin geliştirilmesi için daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yavaş salımlı gübrelerin kullanımı, uygulama metotları, gübrelerin salınım oranları incelenmelidir. Sürdürülebilir üretim çerçevesinde yerel kaynaklardan elde edilebilecek yavaş salımlı gübre materyallerinin (BK, nano-P) ülke ekonomisine katkı sağlaması ve çevre sorunlarını azaltması da beklenmektedir. Yavaş salımlı gübrelerin salınım oranlarının ortaya konulması uygulama başarısını arttıracaktır. Salınım süresi ve bitki vejetasyon süresine göre münavebe sisteminde yavaş salımlı gübrelere yer verilmesi uygulama sıklığını ve üretim maliyetini azaltabilecektir. Bu bilgiler ışığında biz araştırmacıların sürdürülebilir ve çevreci yaklaşımları yerel kaynaklarla destekleyerek yeni gübre teknolojilerini daha fazla çalışma ile incelememiz ülke tarımına olan sorumluluğumuzdur.

KAYNAKLAR

- Abd Alqader, O. A., Al-Jobouri, S. M. And Eshoaa, L. M. H. 2020. Effect of nitrogenous and urea nano-hydroxyapatite fertilizer on growth and yield of two cultivars of broad bean (*Vicia Faba L.*). Euphrates Journal of Agriculture Science, 12(2), 202-227.
- Abdel-Salam, M. 2018. Implications of applying nano-hydroxyapatite and nano-iron oxide on faba bean (*Vicia faba L.*) productivity. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 9(11), 543-548.
- Adak, M. S. 1994. Haymana koşullarında farklı önbitkiler ve nadastan sonra ekilen buğdayın verim, verim öğeleri ile protein oranının saptanması. Ank. Ü. Zir. Fak., Bilimsel Araştırma ve İncelemeler: 762, Yayın No. 1373,.
- Adhikari, T., Kundu, S., Meena, V. and Rao, A. S. 2014. Utilization of nano rock phosphate by maize (*Zea mays L.*) crop in a vertisol of Central India. Journal of Agricultural Science and Technology. A(4), 384-394.
- Agblevor, F.A., Beis, S., Kim, S.S., Tarrant, R. and Mante, N.O. 2010. Biocrude oils from the fast pyrolysis of poultry litter and hardwood. Waste Management, 30, 298-307.
- Aguilar, R. and Heil, R. D. 1988. Soil organic carbon, nitrogen, and phosphorus quantities in Northern Great Plains rangeland. Soil Science Society of America Journal, 52(4), 1076-1081.
- Ahmad, Z., Waraich, E. A., Ahmad, T., Ahmad, R. and Awan, M. I. 2015. Yield responses of maize as influenced by supplemental foliar applied phosphorus under drought stress. International Journal of Food and Allied Sciences, 1(2), 45-55.
- Ahmad, M., Usman, A. R., Al-Faraj, A. S., Ahmad, M., Sallam, A. and Al-Wabel, M. I. 2018. Phosphorus-loaded biochar changes soil heavy metals availability and uptake potential of maize (*Zea mays L.*) plants. Chemosphere, 194, 327-339.
- Akça, H., Taban, N., Turan, M. A., Taban, S. ve Ouedraogo, A. R. 2017. Türkiye’de sarımsak tarımı yapılan toprakların verimlilik durumu. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 5(2), 93-100.
- Akgül, G. 2017. Biyokömür: üretimi ve kullanım alanları. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(4), 485-499.
- Aktaş, M. 1995. Bitki besleme ve toprak verimliliği.3. Baskı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Yayın, 1429. Ders kitabı:416.
- Alauddin, M. 2021. Integrated effects of NPK fertilizers and organic manures on the growth, yield and nutrient content of sunflower (*Helianthus annus L.*). Doctoral dissertation, University of Dhaka.

- Al-Harbi, S. F., Ghoneim, A. M., Modaihsh, A. S. and Mahjoub, M. O. 2013. Effect of foliar and soil application of phosphorus on phosphorus uptake, use efficiency and wheat grain yield in calcareous soil. *Journal of Applied Sciences*, 13(1), 188-192.
- Alpaslan, M., Güneş, A. ve İnal, A. 2013. Deneme Tekniği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 455, Ankara.
- Ali, I., Mustafa, A., Yaseen, M. and Imran, M. 2017. Polymer coated DAP helps in enhancing growth, yield and phosphorus use efficiency of wheat (*Triticum aestivum L.*). *Journal of Plant Nutrition*, 40(18), 2587-2594.
- Alpaslan, M., Güneş, A., İnal, A. ve Aktaş, M. (2001). Akdeniz bölgesi seralarında yetiştirilen bitkilerin beslenme durumlarının incelenmesi I. sera topraklarının verimlilik durumları. *Tar. Bil. Dergisi*, 7(1): 47-55.
- Al-Wabel, M. I., Usman, A. R., El-Naggar, A. H., Aly, A. A., Ibrahim, H. M., Elmaghraby, S. ve Al-Omran, A. 2015. Conocarpus biochar as a soil amendment for reducing heavy metal availability and uptake by maize plants. *Saudi journal of biological sciences*, 22(4), 503-511.
- Amal, G. A., Hassanein, M. S. and El-Gazzar, M. M. 2006. Growth and yield response of two wheat cultivars to complete foliar fertilizer compound “Dogoplus”. *Journal of Applied Sciences Research*, 2(1), 20-26.
- Angus, J. F. 2001. Nitrogen supply and demand in Australian agriculture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41(3), 277-288.
- Anonim. 2003. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Tohumluk Katalogu, Ankara.
- Anonim. 2015. Buğday yetiştiriciliği. Ankara Valiliği, İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. Erişim tarihi 20.01.2021
- Anonim. 2019a. Dr. Hasan Özcan vd. Buğday Tarımı, Broşür. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Karadeniz Teknik Araştırma Enstitüsü. Erişim tarihi 26.12.2020
- Anonim. 2019b. Toprak Mahsülleri Ofisi Genel Müdürlüğü 2019 Hububat Sektör Raporu. Ankara. Erişim tarihi 26.12.2020
- Anonim. 2020a. Yıllar Bazında Kimyevi Gübre Tüketim ve Üretim İstatistikleri. <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Bitki-Besleme-ve-Tarimsal-Teknolojiler/Bitki-Besleme-Istatistikleri>. Erişim tarihi 27.01.2021
- Anonim. 2021a. Türkiye İstatistik Kurumu 2019 Yılı Türlerle Göre Kümes Hayvanları Sayısı. Ankara. Erişim tarihi: 29.01.2021
- Anonim. 2021b. Web sitesi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Dekstrin>. Erişim Tarihi: 24.01.2021

- Anonymous. 1951. Soil Survey Staff. Soil Survey Manual. Agric. Res. Administration. USDA Handbook. 18, 340-377.
- Anonymous. 1988. Better Crops with Plant Foods. 72(4): 12-26.
- Anonymous. 1990. Micronutrient, assessment at the country level: An international study. FAO Soils Bulletin 63. Rome.
- Anonymous. 2001. National Land and Water Resources. Audit Regional Farming Systems and Soil Nutrient Status Final Report September 2001, Land and Water Australia, Canberra.
- Arif, M., Ilyas, M., Riaz, M., Ali, K., Shah, K., Haq, I. U. and Fahad, S. 2017. Biochar improves phosphorus use efficiency of organic-inorganic fertilizers, maize-wheat productivity and soil quality in a low fertility alkaline soil. Field crops research, 214 (1), 25-37.
- Arshad, M., Ali, S., Noman, A., Ali, Q., Rizwan, M., Farid, M. and Irshad, M. K. 2016. Phosphorus amendment decreased cadmium (Cd) uptake and ameliorates chlorophyll contents, gas exchange attributes, antioxidants, and mineral nutrients in wheat (*Triticum aestivum* L.) under Cd stress. Archives of Agronomy and Soil Science, 62(4), 533-546.
- Aslam, M., Hussain, N., Zubair, M., Hussain, S. B. and Baloch, M. S. 2010. Integration of organic and inorganic sources of phosphorus for increased productivity of mungbean (*Vigna radiata*). Pak. J. Agri. Sci, 47(2), 111-114.
- Assainar, S. K., Abbott, L. K., Mickan, B. S., Storer, P. J., Whiteley, A. S., Siddique, K. H. and Solaiman, Z. M. 2020. Polymer-coated rock mineral fertilizer has potential to substitute soluble fertilizer for increasing growth, nutrient uptake, and yield of wheat. Biology and Fertility of Soils, 56:381-394, 1-14.
- Atar, B. 2017. Gıdamız buğdayın, geçmişten geleceğe yolculuğu. Yalvaç Akademi Dergisi, 2(1), 1-12.
- Avila, F. W., Faquin, V., da Lobato, A. K., Baliza, D. P., Marques, D. J., dos Passos, A. M. A., ... and Guedes, E. M. S. 2012. Growth, phosphorus status, and nutritional aspect in common bean exposed to different soil phosphate levels and foliar-applied phosphorus forms. Embrapa Rondônia-Artigo em periódico indexado (ALICE).7(25), 2195-2204.
- Aydın, N., Bayramoğlu, H.O., Mut, Z., Özcan, H. 2005. Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşit ve hatlarının karadeniz koşullarında verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. AÜZF Tarım Bilimleri Dergisi, 11(3): 257-262.
- Aydın, G. E. 2017. Sağlıklı Bireyler İçin Temel Beslenme El Kitabı.
- Ayter, N.G. 2010. Üç ekmeklik buğday çeşit adayının kuru koşullarda tarımsal özellikleri. Y. Lisans Tezi, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Eskişehir, 164 sayfa.

- Aziz, H. M. A., Hasaneen, M. N. and Omer, A. M. 2016. Nano chitosan-NPK fertilizer enhances the growth and productivity of wheat plants grown in sandy soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(1), 17.
- Bala N., Dey A., Das S., Basu R., Nandy P. 2014. Effect of hydroxyapatite nanorod on chickpea (*Cicerarietinum*) plant growth and its possible use as nano-fertilizer. *Iranian J. Plant Physiology.*, 4 (3): 1061-1069.
- Barber, S. A. 1995. Soil nutrient bioavailability, 2nd edn. New York, USA: John Wiley and Sons, Inc.
- Barton, C. J. 1948. Photometric analysis of phosphate rock. *Analytical Chemistry*, 20(11), 1068-1073.
- Bastani, S. and Hajiboland, R. 2017. Uptake and utilization of applied phosphorus in oilseed rape (*Brassica napus L. cv. Hayola*) plants at vegetative and reproductive stages: Comparison of root with foliar phosphorus application. *Soil Science and Plant Nutrition*, 63(3), 254-263.
- Batten, G. D., Wardlaw, I. F. and Aston, M. J. 1986. Growth and the distribution of phosphorus in wheat developed under various phosphorus and temperature regimes. *Australian Journal of Agricultural Research*, 37(5), 459-469.
- Benbella, M. and Paulsen, G. M. 1998. Efficacy of treatments for delaying senescence of wheat leaves: II. Senescence and grain yield under field conditions. *Agronomy journal*, 90(3), 332-338.
- Benício, L. P. F., Constantino, V. R. L., Pinto, F. G., Vergütz, L., Tronto, J. and da Costa, L. M. 2017. Layered double hydroxides: New technology in phosphate fertilizers based on nanostructured materials. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(1), 399-409.
- Bensalah H., Bekheet M.F., Younssi S.A., Ouammou M., Gurlo A. 2018. Hydrothermal synthesis of nanocrystalline hydroxyapatite from phosphogypsum waste, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(1), 1347-1352.
- Benzon, H. R. L., Rubenecia, M. R. U., Ultra Jr, V. U. and Lee, S. C. 2015. Nano-fertilizer affects the growth, development, and chemical properties of rice. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 7(1), 105-117.
- Bieleski, R. L. and Ferguson, I. B. 1983. Physiology and metabolism of phosphate and its compounds. In *Inorganic plant nutrition*, Springer, Berlin, Heidelberg. 422-449.
- Bilgin, B., Akyüz, S.S., Fağa, Ö. 2008. Organik tarımla elde edilen unların pestisit içerikleri ve bu unlardan üretilen ekmeklerin bazı kalite kriterlerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, 21-23.

- Blue, E.N., Mason, S.C., Sander, D.H. 1990. Influence of Planting Date, Seeding Rate and Phosphorus Rate on Wheat Yield. *Agron. J.* 82: 762-768.
- Borges, B. M., Strauss, M., Camelo, P. A., Sohi, S. P. and Franco, H. C. 2020. Re-use of sugarcane residue as a novel biochar fertiliser-Increased phosphorus use efficiency and plant yield. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121406.
- Borm, P., Klaessig, F. C., Landry, T. D., Moudgil, B., Pauluhn, J., Thomas, K., ... and Wood, S. 2006. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials, part V: role of dissolution in biological fate and effects of nanoscale particles. *Toxicological Sciences*, 90(1), 23-32.
- Bouyoucos, G. J. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils 1. *Agronomy Journal*, 43(9), 434-438.
- Brady NR, Weil RR. 1999. The nature and properties of soils. Brady NR, Weil RR (eds). New Jersey: Prentice Hall; p. 415–473.
- Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Ed. C.A. Black. Amer. Soc. of Agron. Inc. Pub. Agron. Series. No: 9, Madison, 1149-1178, Wisconsin, U.S.A.
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Ma, J. F., Rengel, Z. and Zhao, F. 2012. Chapter 8-Beneficial Elements. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. M. Petra. 249-269.
- Cakmak, I. 2010. Biofortification of cereals with zinc and iron through fertilization strategy. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1 – 6 August 2010; Brisbane, Australia.
- Cantrell, K., Ro, K., Mahajan, D., Anjom, M., Hunt, P.G. 2007. Role of thermochemical conversion in livestock waste-to-energy treatment: obstacles and opportunities. *Ind. Eng. Chem. Res.* 46(1), 8918–8927.
- Cao, X.D., Ma, L.N., Gao, B., Harris, W. 2009. Dairy-Manure Derived Biochar Effectively Sorbs Lead and Atrazine. *Environmental Science and Technology* 43, 3285-3291.
- Centeno, D. C., Osorio, S., Nunes-Nesi, A., Bertolo, A. L., Carneiro, R. T., Araújo, W. L., ... and Fernie, A. R. 2011. Malate plays a crucial role in starch metabolism, ripening, and soluble solid content of tomato fruit and affects postharvest softening. *The Plant Cell*, 23(1), 162-184.
- Ceulemans T., Merckx R., Hens M., Honnay O. 2011. A traitbased analysis of the role of phosphorus vs. nitrogen enrichment in plant species loss across Northwest European grasslands. *J Appl Ecol.* 48(1):1155-1163.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S. 2007. Agronomic Values of Greenwaste Biochar as a Soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 45(1): 629-634.

- Chandrasekar, A., Sagadevan, S. and Dakshnamoorthy, A. 2013. Synthesis and characterization of nano-hydroxyapatite (n-HAP) using the wet chemical technique. *International journal of physical sciences*, 8(32), 1639-1645.
- Chen, Z., Liu, Y., Mao, L., Gong, L., Sun, W. and Feng, L. 2018. Effect of cation doping on the structure of hydroxyapatite and the mechanism of defluoridation. *Ceramics International*, 44(6), 6002-6009.
- Chen, Q., Qin, J., Sun, P., Cheng, Z. and Shen, G. 2018. Cow dung-derived engineered biochar for reclaiming phosphate from aqueous solution and its validation as slow-release fertilizer in soil-crop system. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2009-2018.
- Chew, J., Zhu, L., Nielsen, S., Graber, E., Mitchell, D. R., Horvat, J., ... and Fan, X. 2020. Biochar-based fertilizer: Supercharging root membrane potential and biomass yield of rice. *Science of the Total Environment*, 713, 136431.
- Chintala, R., Owen, R. K., Schumacher, T. E., Spokas, K. A., McDonald, L. M., Kumar, S., ... and Bleakley, B. 2015. Denitrification kinetics in biomass-and biochar-amended soils of different landscape positions. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(7), 5152-5163.
- Cisse, A., Arshad, A., Wang, X., Yattara, F. and Hu, Y. 2019. Contrasting impacts of long-term application of biofertilizers and organic manure on grain yield of winter wheat in North China Plain. *Agronomy*, 9(6), 312.
- Cole, J. C., Smith, M. W., Penn, C. J., Cheary, B. S. and Conaghan, K. J. 2016. Nitrogen, phosphorus, calcium, and magnesium applied individually or as a slow release or controlled release fertilizer increase growth and yield and affect macronutrient and micronutrient concentration and content of field-grown tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 211(1), 420-430.
- Contee, C. A. M. and Boaretto, A. E. 2001. Foliar fertilization of bean with nutrients, b1 vitamin and methionine. *Sci. Agraria*, 2(1), 117-121.
- Cruz, D. F., Bortoletto-Santos, R., Guimarães, G. G. F., Polito, W. L. and Ribeiro, C. 2017. Role of polymeric coating on the phosphate availability as a fertilizer: insight from phosphate release by castor polyurethane coatings. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(29), 5890-5895.
- Davarpanah, S., Tehranifar, A., Davarynejad, G., Aran, M., Abadía, J. and Khorassani, R. 2017. Effects of foliar nano-nitrogen and urea fertilizers on the physical and chemical properties of Pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) Fruits. *HortScience*, 52(2), 288-294.
- DeRosa, M. C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R. and Sultan, Y. 2010. Nanotechnology in fertilizers. *Nature nanotechnology*, 5(2), 91-91.
- Dixon R.C. 2003. Foliar fertilization improves nutrient use efficiency. *Fluid Journal* 11, 11-12.

- Doğan, Y., Kendal, E. 2012. Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinin tane verimi ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi, 29(1): 113-121.
- Dong, Y. J., He, M. R., Wang, Z. L., Chen, W. F., Hou, J., Qiu, X. K. and Zhang, J. W. 2016. Effects of new coated release fertilizer on the growth of maize. Journal of soil science and plant nutrition, 16(3), 637-649.
- Drostkar, E., Talebi, R. and Kanouni, H. 2016. Foliar application of Fe, Zn and NPK nano-fertilizers on seed yield and morphological traits in chickpea under rainfed condition. Journal of Resources and Ecology, 4(1), 221-228.
- Düzgüneş, O. 1963. Bilimsel Araştırmalarda İstatistik Prensipleri ve Metotları. E.Ü. Matbaası, İzmir.
- Ehmann, A., Bach, I. M., Laopeamthong, S., Bilbao, J. and Lewandowski, I. 2017. Can phosphate salts recovered from manure replace conventional phosphate fertilizer?. Agriculture, 7(1), 1.
- Eichert T., Burkhardt J. 2001. Quantification of stomatal uptake of ionic solutes using a new model system. Journal of Experimental Botany 52, 771–787.
- Eichert T., Kurtz A., Steiner U., Goldbach H.E. 2008. Size exclusion limits and lateral heterogeneity of the stomatal foliar uptake pathway for aqueous solutes and water-suspended nanoparticles. Physiologia Plantarum 134, 151–160.
- El-Azizy, F. A., Habib, A. A. M. and AM, A. E. B. 2021. Effect of nano phosphorus and potassium fertilizers on productivity and mineral content of broad bean in North Sinai. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 12(4), 239-246.
- Elliott, D. E., Reuter, D. J., Reddy, G. D. and Abbott, R. J. 1997. Phosphorus nutrition of spring wheat (*Triticum aestivum* L).4. Calibration of plant phosphorus test criteria from rain-fed held experiments. Aust. J. Agric. Res. 48, 899–912.
- El Sharkawi, H. M., Tojo, S., Chosa, T., Malhat, F. M. and Youssef, A. M. 2018. Biochar-ammonium phosphate as an uncoated-slow release fertilizer in sandy soil. Biomass and Bioenergy, 117, 154-160.
- Erro, J., Urrutia, O., Baigorri, R., Fuentes, M., Zamarreño, A. M. and Garcia-Mina, J. M. 2016. Incorporation of humic-derived active molecules into compound NPK granulated fertilizers: main technical difficulties and potential solutions. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 3(1), 1-15.
- Eyüpoğlu, F. 1999. Türkiye Topraklarının Verimlilik Durumu. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları No. 220, sf 221, Ankara.
- Eyüpoğlu, F. 2002. Türkiye Gübre Gereksinimi Tüketimi ve Geleceği. T.C. Tarım ve Köyşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre

- Fageria N.K., Barbosa Filho M.P., Moreira A., Guimarães C.M. 2009. Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 32, 1044–1064.
- Fellet, G., Marmioli, M. and Marchiol, L. 2014. Elements uptake by metal accumulator species grown on mine tailings amended with three types of biochar. *Science of the Total Environment*, 468, 598-608.
- Fernández, V. and Eichert, T. 2009. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(1-2), 36-68.
- Fernández V., Guzmán P., Peirce C.A.E., McBeath T.M., Khayet M., McLaughlin M.J. 2014. Effect of wheat phosphorus status on leaf surface properties and permeability to foliar applied phosphorus. *Plant and Soil* 384, 7–20.
- Fixen, P. E. and Grove, J. H. 1990. Testing soils for phosphorus. *Soil testing and plant analysis*, 3, 141-180.
- Fleischer, M.A. and O'Neill, R.E. 1999. The pore size of non-graminaceous plant cell wall is rapidly decreased by borate ester cross-linking of the pectic polysaccharide rhamnogalacturon II, *Plant Physiol*, 12; 829–838.
- Frazão, J. J., de Melo Benites, V., Ribeiro, J. V. S., Pierobon, V. M. and Lavres, J. 2019. Agronomic effectiveness of a granular poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer in tropical soils: Soil phosphorus fractionation and plant responses. *Geoderma*, 337, 582-593.
- Fried, M. and Shapiro, R. E. 1960. Soil-plant relations in phosphorus uptake. *Soil Science*, 90(1), 69-76.
- Froese, S., Wiens, J. T., Warkentin, T. and Schoenau, J. J. 2020. Response of canola, wheat, and pea to foliar phosphorus fertilization at a phosphorus-deficient site in eastern Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science*, 100(6), 642-652.
- Follet, R. H. 1969. Zn, Fe, Mn and Cu in Colorado Soils. Ph. D. Dissertation. Colorado State University.
- Foth, H.D. and Ellis, B.G. 1988. Soil fertility. p. 1-212. John Wiley and Sons, New York.
- Hopkins, B.G. 2015. Phosphorus. In *Handbook of Plant Nutrition*, 2nd Edited by A.V. Baker and D.J. Pilbeam. CRC Press, Taylor and Francis Group, USA.
- Gabbott, P. (Ed.). 2008. Principles and applications of thermal analysis. John Wiley and Sons. 1st edited, chapter 7, 253-286.

- Garud, H. S., Awasarmal, V. B., Pawar, S. U. and Bhusawar, P. V. 2015. Yield, economics and quality of soybean as influenced by foliar and soil application of phosphatic fertilizer. *International Journal of Tropical Agriculture*, 33(2 (Part II)), 709-712.
- Geng, J., Ma, Q., Zhang, M., Li, C., Liu, Z., Lyu, X., Zheng, W. 2015. Synchronized relationships between nitrogen release of controlled release nitrogen fertilizers and nitrogen requirements of cotton. *F. Crop. Res.* 184, 9–16.
- Gezgin, S. 2018. Türkiye Topraklarının Organik Madde Durumu, Organik Madde Kaynaklarımız ve Kullanımı. *Organomineral Gübre Çalıştayı Bildirileri*. I. Basım Mayıs 2018, İstanbul.12-16.
- Ghormade, V., Deshpande, M.V., Paknikar, K.M. 2011. Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnol. Adv.* 29, 792–803.
- Giroto, A. S., Fidélis, S. C. and Ribeiro, C. 2015. Controlled release from hydroxyapatite nanoparticles incorporated into biodegradable, soluble host matrixes. *RSC advances*, 5(126), 104179-104186.
- Girma, K., Martin, K. L., Freeman, K. W., Mosali, J., Teal, R. K., Raun, W. R., ... and Arnall, D. B. 2007. Determination of optimum rate and growth stage for foliar-applied phosphorus in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38(9-10), 1137-1154.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., Zech, W. 1998. Black Carbon in Soils: The Use of Benzenecarboxylic Acids as Specific Markers., *Org. Geochem.*, 29; 811–819.
- Glaser B., Lehmann J., Zech W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biol Fertil Soils* 35:219–230
- Gogos, A., Knauer, K. and Bucheli, T.D. 2012. Nanomaterials in plant protection and fertilization: Current state, foreseen applications, and research priorities. *J. Agric. Food Chem.* 60(39):9781–9792.
- Goldberg, E. D. 1985. *Black Carbon in the Environment: Properties and Distribution*. John Wiley and Sons Inc., 28(9), New York.
- Gonçalves, R. N., Pelá, A. and Teixeira, I. R. 2017. Foliar phosphorus fertilization of common bean complementing phosphate fertilization at sowing. *Journal of Plant Nutrition*, 40(11), 1580-1587.
- González M., Cea M., Medina J., González A., Díez M., Cartes P., Monreal C., Navia R. 2015. Evaluation of biodegradable polymers as encapsulating agents for the development of a urea controlled-release fertilizer using biochar as support material. *Sci Total Environ.* 505:446-453.

- Gooding, M. J. and Davies, W. P. 1992. Foliar urea fertilization of cereals: a review. *Fertilizer Research*, 32(2), 209-222.
- Gray R.C. 1977. Foliar fertilization with primary nutrients during the reproductive stage of plant growth. *Proceedings of the Fertilizer Society* 164, 23.
- Green, D. R. and G.J. Racz. 1999. The effect of foliar phosphate solution application on wheat yield and quality. *Proc. Of 42 Annual Manitoba soil science society meeting*, pp. 90-96.
- Gunes, A. 2012. Technical Assistance for the Implementation of Nitrate Directive. Task 6: Prepare an Action Plan for Nitrate Directive, Output 6.2. Draft Manure Management Plan. Vakakis International S.A., Athens, Greece.
- Gunes, A., Inal, A., Taskin, M.B., Sahin, O., Kaya, E.C., Atakol, A. 2014. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil Use and Management*, 30, 182–188.
- Gunes, A., Inal, A., Sahin, O., Taskin, M.B., Atakol, O., Yilmaz, N. 2015. Variations in mineral element concentrations of poultry manure biochar obtained at different pyrolysis temperatures, and their effects on crop growth and mineral nutrition. *Soil Use and Management*, 31, 429-437.
- Guo, J., Han, Y., Mao, Y. and Wickramaratne, M. N. 2017. Influence of alginate fixation on the adsorption capacity of hydroxyapatite nanocrystals to Cu²⁺ ions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 529, 801-807.
- Güneş, A., Aktaş, M., İnal, A. ve Alpaslan, M. 1996. Konya kapalı havzası topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları. Yayın No: 1453. Bilimsel araştırma ve inceleme No: 801.
- Güneş, A., Alpaslan, M. ve İnal, A. 2010. Bitki Besleme ve Gübreleme. Ankara Üniversitesi Z.F. Yayını, 1581, 533, 5. Baskı, Ankara.
- Güneş, A., İnal, A. ve Söylemezoğlu, G. 2013. Bitkilerde Nano-Fe'in Demir Beslenmesi Üzerine Etkisi. Ankara Üniversitesi Teknopark ve Teknoloji Transfer Ofisi Projesi. 51s., Ankara.
- Ha, N. M. C., Nguyen, T. H., Wang, S. L. and Nguyen, A. D. 2019. Preparation of NPK nanofertilizer based on chitosan nanoparticles and its effect on biophysical characteristics and growth of coffee in green house. *Research on Chemical Intermediates*, 45(1), 51-63.
- Haglund, A., Johansson L. and Dahlsted L. 1998. Sensory evaluation of wholemeal bread from ecologically and conventionally grown wheat. *Journal Cereal Science*, 1998, 27(1):199- 207.

- Hanft, J. M. and Wych, R. D. 1982. Visual Indicators of Physiological Maturity of Hard Red Spring Wheat 1. Crop Science, 22(3), 584-588.
- Harder, H.J., Carlson, R.E. and Shaw, R.H. 1982. Corn grain yield and nutrient response to foliar fertilizer applied during grain fill. Agron. J., 74: 106– 110.
- Hayat, M.A. 1974. Principles and Techniques of Scanning Electron Microscopy: Biological Applications, Vol.6, Van Nostrand Reinhold Company, New York
- Hedley, M.J., McLaughlin, M.J. 2005. Reactions of phosphate fertilizers and by-products in soils. In: Sims J.T., Sharpley, A.N. (eds). Phosphorus: Agriculture and the environment. Agronomy Monograph Publisher, Madison, WI, vol. 46, pp: 181–252.
- Hızalan, E. ve Ünal, H. 1966. Topraklarda önemli kimyasal analizler. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları 278, Ankara.
- Hopkins, B. G., Rosen, C. J., Shiffler, A. K. and Taysom, T. W. 2008. Enhanced efficiency fertilizers for improved nutrient management: Potato (*Solanum tuberosum*). Crop Management, 7(1), 1-16.
- Husk, B. and Major, J. 2012. Le biochar comme amendement du sol au Québec: résultats agronomiques de quatre ans d'essais terrain. CRAAQ Journée d'information Scientifique, Grandes Cultures, 45(1), 30-31.
- Hussein, M. M., Abdel-Kader, A. A., Kady, K. A., Youssef, R. A. and Alva, A. K. 2010. Sorghum response to foliar application of phosphorus and potassium with saline water irrigation. Journal of Crop Improvement, 24(4), 324-336.
- Imran, M., Irfan, M., Yaseen, M. and Rasheed, N. 2018. Application of glycerin and polymer coated diammonium phosphate in alkaline calcareous soil for improving wheat growth, grain yield and phosphorus use efficiency. Journal of Crop Science and Biotechnology, 21(5), 425-434.
- Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M.B. and Kaya, E.C. 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. Soil Use and Management, 31; 106-113.
- Jackson, M. L. 1958. Soil chemical analysis. p.1-498. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Jacobs, D. F. 2005. Variation in nutrient release of polymer coated fertilizers. USDA forest service pro. RMPS-P, vol. 35, 113–18.
- Jenks M.A., Ashworth E.N. 1999. Plant epicuticular waxes: function, production and genetics. Horticultural Reviews 23, 1–29.
- Jensen, S. M., Esposito, C., Konnerup, D., Brix, H. and Arias, C. A. 2021. Phosphorus Recovery from Wastewater: Bioavailability of P Bound to Calcareous Material for Maize (*Zea Mays L.*) Growth. Recycling, 6(2), 25.

- Jones J. B., Jr. Wolf, B. and Mills, H. A. 1991. Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro-Macro Publishing, Inc.
- Jones, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, New York.
- Kamau, S., Karanja, N. K., Ayuke, F. O. and Lehmann, J. 2019. Short-term influence of biochar and fertilizer-biochar blends on soil nutrients, fauna and maize growth. *Biology and Fertility of Soils*, 55(7), 661-673.
- Karaman, M. R. ve Turan, M. 2012. Bitki beslemede sürdürülebilir yönetim stratejisi ve gübre etkinlik parametreleri. *Toprak Su Dergisi*, 1(1), 15-21.
- Keteku, A. K., Intanon, P., Terapongtanakorn, S. and Intanon, R. 2018. Evaluation of fertilizer management on yield and yield components and production economics of 'Pacific 999 Super' maize cultivar. *World Research Journal of Agricultural Sciences*, 5, 147-156.
- Kim, P., Hensley, D. and Labbé, N. 2014. Nutrient release from switchgrass-derived biochar pellets embedded with fertilizers. *Geoderma*, 232, 341-351.
- Khaliq, A., Abbasi, M. K. and Hussain, T. 2006. Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresource technology*, 97(8), 967-972.
- Korkut, K. Z., Ünay, A., 1987. Tahıllarda Başak Taslağı Gelişimi ile Verim Öğeleri Arasındaki İlişkiler Üzerine Araştırmalar. TÜBİTAK, Türkiye Tahıl Sempozyumu, 6-9 Ekim, Bursa, TOAG: 329-336.
- Kottegoda, N., Munaweera, I., Madusanka, N. and Karunaratne, V. 2011. A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. *Current science*, 73-78.
- Kubota, F. Y. 2006. Increase of P and Mo concentration in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds by foliar fertilization. 71 f. Dissertation (Master of Science in Agronomy, Soil Science). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.
- Kumar, S., M. L. Reager, B. L. Pareek. 2006. Yield components of mothbean (*Vigna aconitifolia* (JACQ.) Marechal) as influenced by phosphorus and bio fertilizer. *Annals of Agricultural Research* 27: 227–229.
- Kuzyakov, Y., Subbotina, I., Chen, H., Bogomolova, I., Xu, X. 2009. Black Carbon Decomposition and Incorporation into Soil Microbial Biomass Estimated by ¹⁴C Labeling. *Soil Biol. Biochem*, 41; 210- 219.
- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R. and Karlen, D. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3-4), 436-442.

- Leach, K. A. and Hamelers, A. 2001. The effects of a foliar spray containing phosphorus and zinc on the development, composition and yield of forage maize. *Grass and Forage Science*, 56(3), 311-315.
- Lehmann, J., da Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and soil*, 249(2), 343-357.
- Lehmann J., Gaunt J., Rondon M. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems – a review. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 11: 403–427.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C. and Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- Li, J., Eneji, A. E., Duan, L., Inanaga, S. and Li, Z. 2005. Saving irrigation water for winter wheat with phosphorus application in the North China Plain. *Journal of plant nutrition*, 28(11), 2001-2010.
- Li, H., Li, Y., Xu, Y. and Lu, X. 2020. Biochar phosphorus fertilizer effects on soil phosphorus availability. *Chemosphere*, 244, 125471.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., ... and Neves, E. G. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1719-1730.
- Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42(3), 421– 428.
- Liu, R. and Lal, R. 2014. Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). *Scientific reports*, 4(1), 1-6.
- Liu, R. and Lal, R. 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the total environment*, 514, 131-139.
- Loneragan, J. F. and Webb, M. J. 1993. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In *Zinc in soils and plants* (pp. 119-134). Springer, Dordrecht.
- Lustosa Filho, J. F., Penido, E. S., Castro, P. P., Silva, C. A. and Melo, L. C. 2017. Co-pyrolysis of poultry litter and phosphate and magnesium generates alternative slow-release fertilizer suitable for tropical soils. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(10), 9043-9052.
- Lustosa Filho, J. F., Barbosa, C. F., da Silva Carneiro, J. S. and Melo, L. C. A. 2019. Diffusion and phosphorus solubility of biochar-based fertilizer: Visualization,

- chemical assessment and availability to plants. *Soil and Tillage Research*, 194, 104298.
- Madanayake, N. H., Adassooriya, N. M. and Salim, N. 2021. The effect of hydroxyapatite nanoparticles on *Raphanus sativus* with respect to seedling growth and two plant metabolites. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 15, 100404.
- Mahmoud, M. A. and Swaefy, H. M. 2020. Comparison between effect of commercial and nano NPK in presence of nano zeolite on sage plant yield and components under drought stress. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 47(2), 435-457.
- Malakondaiah, N., Safaya, N. M. and Wali, M. K. 1981. Responses of alfalfa and barley to foliar application of N and P on a coal mine spoil. *Plant and Soil*, 59(3), 441-453.
- Marchiol, L., Filippi, A., Adamiano, A., Degli Esposti, L., Iafisco, M., Mattiello, A., ... and Braidot, E. 2019. Influence of hydroxyapatite nanoparticles on germination and plant metabolism of tomato (*Solanum lycopersicum* L.): Preliminary evidence. *Agronomy*, 9(4), 161.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Ed. p. 1-889. Academic press. San Diego. USA.
- Marschner, P. 2012. Mineral nutrition of higher plants. 3rd Ed. San Diego. CA: Elsevier.
- Matovic, D. 2011. Biochar as a viable carbon sequestration option: Global and Canadian perspective. *Energy*, 36(4), 2001-2016.
- McBeath, T. M., Facelli, E., Peirce, C. A., Arachchige, V. K. and McLaughlin, M. J. 2020. Assessment of foliar-applied phosphorus fertiliser formulations to enhance phosphorus nutrition and grain production in wheat. *Crop and Pasture Science*, 71(9), 795-806.
- McKnight, M. M., Qu, Z., Copeland, J. K., Guttman, D. S. and Walker, V. K. 2020. A practical assessment of nano-phosphate on soybean (*Glycine max*) growth and microbiome establishment. *Scientific Reports*, 10(1), 1-17.
- Melaku, T. 2017. Influence of Biochar Rates From two Temperature Regimes Integrated with Inorganic Fertilizers on Major Nutrient Uptake, AMF Colonization, Yield and Yield Component of Hot Pepper at Jimma Ethiopia (Doctoral dissertation).
- Mengel, M. and Kirkby, E.A. 1987. Principles of Plant Nutrition. , 4th Edition, Bern, Switzerland: International Potash Institute.
- Merghany, M. M., Shahein, M. M., Sliem, M. A., Abdelgawad, K. F. and Radwan, A. F. 2019. Effect of nano-fertilizers on cucumber plant growth, fruit yield and it's quality. *Plant Archives*, 19(2), 165-172.

- Mikhak, A., Sohrabi, A., Kassaei, M. Z. and Feizian, M. 2017. Synthetic nanozeolite/nanohydroxyapatite as a phosphorus fertilizer for German chamomile (*Matricariachamomilla L.*). Industrial crops and products, 95, 444-452.
- Miranda-Villagómez, E., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Sandoval-Villa, M., Sánchez-García, P. and Aguilar-Méndez, M. Á. 2019. Nanophosphorus Fertilizer Stimulates Growth and Photosynthetic Activity and Improves P Status in Rice. Journal of Nanomaterials, 2019.
- Mohabir, G. and John, P. 1988. Effect of temperature on starch synthesis in potato tuber tissue and in amyloplasts. Plant physiology, 88(4), 1222-1228.
- Mohan, D., Pittman Jr, C. U., Bricka, M., Smith, F., Yancey, B., Mohammad, J., ... and Gong, H. 2007. Sorption of arsenic, cadmium, and lead by chars produced from fast pyrolysis of wood and bark during bio-oil production. Journal of colloid and interface science, 310(1), 57-73.
- Mohamed, S.E., Mohamed, H. I., Mubarak, M. and Sallam, M. A. "Efficacy of natural hydroxyapatite nano-particles as a phosphorus fertilizer for soybean" Bioscience Research, 2019 16(2):1094-1103.
- Montalvo, D., McLaughlin, M. J. and Degryse, F. 2015. Efficacy of hydroxyapatite nanoparticles as phosphorus fertilizer in andisols and oxisols. Soil Science Society of America Journal, 79(2), 551-558.
- Moosavi, S., Zakaria, S., Chia, C.H., Gan, S., Azahari, N. A. and Kaco, H. 2017. Hydrothermal synthesis, magnetic properties and characterization of CoFe₂O₄ nanocrystals. Ceramics International, 43(10), 7889-7894.
- Mosali, J., Desta, K., Teal, R. K., Freeman, K. W., Martin, K. L., Lawles, J. W. and Raun, W. R. 2006. Effect of foliar application of phosphorus on winter wheat grain yield, phosphorus uptake, and use efficiency. Journal of Plant Nutrition, 29(12), 2147-2163.
- Mullen, C.A., Boateng A.A., Goldberg N.M., Lima I.M., Laird D.A., Hicks K.B. 2010. Bio-oil and bio-char production from corn cobs and stover by fast pyrolysis. Biomass and bioenergy, 34(1), 67-74.
- Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Kumar, D. S. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant science, 179(3), 154-163.
- Naneli İ., Sakin M.A., Kırıl A.S. 2015. Tokat-Kazova Şartlarında Bazı Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum L.*) Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. GOÜ. Ziraat Fak. Der. 32(1), 91-103.
- Narendran, P., Rajendran, A., Garhnayak, M., Garhnayak, L., Nivedhitha, J., Devi, K. C. and Pattanayak, D. K. 2018. Influence of pH on wet-synthesis of silver

decorated hydroxyapatite nanopowder. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 169, 143-150.

- Nelson, D. W. and Sommers, L. E. 1980. Total nitrogen analysis of soil and plant tissues. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 63(4), 770-778.
- Noack, S. R., McBeath, T. M. and McLaughlin, M. J. 2011. Erratum to: Potential for foliar phosphorus fertilisation of dryland cereal crops: a review. *Crop and Pasture Science*, 62(5), 444-444.
- Noor, S., Yaseen, M., Naveed, M. and Ahmad, R. 2017. Use of controlled release phosphatic fertilizer to improve growth, yield and phosphorus use efficiency of wheat crop. *Pak. J. Agri. Sci*, 54(4), 541-47.
- Nour El-Din, N. A., Abd Rabou, R. T. and El-Hady, A. 2019. Response of soybean growth to nano-mineral fertilizers under two irrigation intervals. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 27(2), 1405-1422.
- Novais, R. D. and Alvarez, V. 2007. VH, Barros N.F., Fontes R.L.F., Cantarutti R.B., Neves J.C.L. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.1, 471.
- Ogawa, M., Okimori, Y., Takahashi, F. 2006. Carbon Sequestration by Carbonisation of Biomass and Forestation: Three Case Studies., *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11; 429-444.
- Okur, M. and Koyuncu, D. 2020. The evaluation of hydroxyapatite synthesized from waste eggshell in the adsorption of Remazol N. Blue RGB dye. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(1), 419-430.
- Olsen, S. R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.
- Oosterhuis, D. 2009. Foliar fertilization: mechanisms and magnitude of nutrient uptake. In 'Proceedings of the Fluid Forum'. 15–17 February 2009, Phoenix, Arizona.
- Özen, S. 2014. Yozgat Ekolojik Koşullarında Bazı Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Isparta, 85 sayfa.
- Özyazıcı, M. A., Dengiz, O., Aydoğan, M., Bayraklı, B., Kesim, E., Urla, Ö., ... ve Ünal, E. 2015. Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi tarım topraklarının bazı makro ve mikro bitki besin maddesi konsantrasyonları ve ters mesafe ağırlık yöntemi (IDW) ile haritalanması. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(1), 136-148.
- Park, J. H., Choppala, G. K., Bolan, N. S., Chung, J. W. and Chuasavathi, T. 2011. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant and soil*, 348(1), 439-451.

- Pauly, D. G., Nyborg, M., Malhi, S.S. 2002. Controlled-release P fertilizer concept evaluation using growth and P uptake of barley from three soils in a greenhouse. *Can. J. Soil Sci.* 82, 201- 210.
- Peirce, C. A. E., McBeath, T. M., Fernández, V. and McLaughlin, M. J. 2014. Wheat leaf properties affecting the absorption and subsequent translocation of foliar-applied phosphoric acid fertiliser. *Plant and soil*, 384(1), 37-51.
- Peirce, C. A., McBeath, T. M., Priest, C. and McLaughlin, M. J. 2019. The timing of application and inclusion of a surfactant are important for absorption and translocation of foliar phosphoric acid by wheat leaves. *Frontiers in plant science*, 10, 1532.
- Pelá, A., Rodrigues, M. S., Santana, J. D. S. and Teixeira, I. R. 2009. Phosphorus sources to foliar fertilization in common bean crop. *Scientia Agraria*, 10(4), 313-318.
- Pérez- Álvarez, E. P., Ramírez- Rodríguez, G. B., Carmona, F. J., Martínez- Vidaurre, J. M., Masciocchi, N., Guagliardi, A., ... and Delgado- López, J. M. 2021. Towards a more sustainable viticulture: foliar application of N- doped calcium phosphate nanoparticles on Tempranillo grapes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(4), 1307-1313.
- Peterson, C.J., Graybosch, R.A., Boenziger, P.S., Grambacher, A.W. 1992. Genotype and Environment Effects on Quality Characteristics of Hard Red Winter Wheat. *Crop Science*, 32: 98- 103.
- Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U.S. Dept. of Agr. Handbook No. 60.
- Plaxton, W. C. and Preiss, J. 1987. Purification and properties of nonproteolytic degraded ADPglucose pyrophosphorylase from maize endosperm. *Plant Physiology*, 83(1), 105-112.
- Pogorzelski, D., Lustosa Filho, J. F., Matias, P. C., Santos, W. O., Vergütz, L. and Melo, L. C. A. 2020. Biochar as composite of phosphate fertilizer: Characterization and agronomic effectiveness. *Science of The Total Environment*, 743, 140604.
- Powers, K. W., Brown, S. C., Krishna, V. B., Wasdo, S. C., Moudgil, B. M. and Roberts, S. M. 2006. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials. Part VI. Characterization of nanoscale particles for toxicological evaluation. *Toxicological Sciences*, 90(2), 296-303.
- Pradhan, S., Durgam, M. and Mailapalli, D. R. 2020. Urea loaded hydroxyapatite nanocarrier for efficient delivery of plant nutrients in rice. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1-12.
- Pratt, P. F. 1965. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Ed. C.A. Black. Amer. Soc. of Agron. Inc. Pub. Agron. Series No. 9.

- Raboy, V., Noaman, M. M., Taylor, G. A. and Pickett, S. G. 1991. Grain phytic acid and protein are highly correlated in winter wheat. *Crop Science*, 31, 631-635.
- Rady, M. M., El-Shewy, A. A., Seif El-Yazal, M. A. and Abdelaal, K. E. 2018. Response of salt-stressed common bean plant performances to foliar application of phosphorus (MAP). *International Letters of Natural Sciences*, 72, 7-20.
- Raghothama, K.G. 1999. Phosphate, Acquisition. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 50; 665-93.
- Raij B.V., Cantarella H., Quaggio J.A., Furlani A.M.C. 1997. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, 2nd ed., p. 285. (Boletim técnico, 100). Campinas, São Paulo, Brazil: Instituto Agronômico.
- Rajonee, A. A., Zaman, S. and Huq, S. M. I. 2017. Preparation, characterization and evaluation of efficacy of phosphorus and potassium incorporated nano fertilizer. *Advances in Nanoparticles*, 6(02), 62.
- Reddy, N. R. 2002. Occurrence, distribution, content, and dietary intake of phytate. *Food phytates*, 25-51.
- Rengel, Z., Batten, G.D. and Crowley, D. E. 1999. Agronomic approaches for improving the micro nutrient density in edible portions of field crops. *Field Crop Res.*, 60(1-2), 27-40.
- Reuter, D.J., Edwards, D.G. and Wilhelm, N.S. 1997. Temperate and tropical crops, In: *Plant Analysis: An Interpretation Manual*. Reuter, D.J. ve Robinson, J.B. (Eds), CSIRO Publishing, 83-253, Melbourne.
- Roberts, K. G., Gloy, B. A., Joseph, S., Scott, N. R., and Lehmann, J. 2010. Life cycle assessment of biochar systems: estimating the energetic, economic, and climate change potential. *Environmental science and technology*, 44(2), 827-833.
- Rose, T. J., Rengel, Z., Ma, Q. and Bowden, J. W. 2007. Differential accumulation patterns of phosphorus and potassium by canola cultivars compared to wheat. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(3), 404-411.
- Tian, D., Li, Z., O'Connor, D. and Shen, Z. 2020. The need to prioritize sustainable phosphate- based fertilizers. *Soil Use and Management*, 36(3), 351-354.
- Turan, M. A., Katkat, A. V., Özsoy, G. ve Taban, S. 2010. Bursa ili alüviyal tarım topraklarının verimlilik durumları ve potansiyel beslenme sorunlarının belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(1), 115-130.
- Sade, B. 1997. Tahıl Islahı (Buğday ve Mısır). Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 31, Konya.
- Sahin, O., Taskin, M. B., Kaya, E. C., Atakol, O., Emir, E., Inal, A. and Gunes, A. 2017. Effect of acid modification of biochar on nutrient availability and maize growth in a calcareous soil. *Soil Use and Management*, 33(3), 447-456.

- Sajadinia, H., Ghazanfari, D., Naghavii, K., Naghavi, H. and Tahamipur, B. 2021. A comparison of microwave and ultrasound routes to prepare nano-hydroxyapatite fertilizer improving morphological and physiological properties of maize (*Zea mays L.*). *Heliyon*, 7(3), e06094.
- Sakin, M. A., Naneli, İ., Göy, A. G. ve Özdemir, K. 2015. Bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum L.*) çeşitlerinin Tokat-Zile koşullarında verim ve verim komponentlerinin belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(3), 119-132.
- Salamanca-Buentello, F., Persad, D. L., Martin, D. K., Daar, A. S. and Singer, P. A. 2005. Nanotechnology and the developing world. *PLoS Med*, 2(5), e97.
- Samavini, R., Sandaruwan, C., De Silva, M., Priyadarshana, G., Kottegoda, N. and Karunaratne, V. 2018. Effect of citric acid surface modification on solubility of hydroxyapatite nanoparticles. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(13), 3330-3337.
- Santos, D. R., Gatiboni, L. C. and Kaminski, J. 2008. Factors affecting the phosphorus availability and the fertilization management in no-tillage system. *Brazilian Journal of Soil Science* 35: 193–202.
- Santos, S. R. D., Lustosa Filho, J. F., Vergütz, L. and Melo, L. C. A. 2019. Biochar association with phosphate fertilizer and its influence on phosphorus use efficiency by maize. *Ciência e Agrotecnologia*, 43, e025718.
- Sanyal, S. K. and De Datta, S. K. 1991. Chemistry of phosphorus transformations in soil. In *Advances in soil science* (pp. 1-120). Springer, New York, NY.
- Sarkar, A., Biswas, D. R., Datta, S. C., Roy, T., Biswas, S. S., Ghosh, A., ... and Bhattacharyya, R. 2020. Synthesis of poly (vinyl alcohol) and liquid paraffin-based controlled release nitrogen-phosphorus formulations for improving phosphorus use efficiency in wheat. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(4), 1770-1784.
- Schlemmer, U., Frølich, W., Prieto, R. M. and Grases, F. 2009. Phytate in foods and significance for humans: food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular nutrition and food research*, 53(S2), S330-S375.
- Schmidt, M. W. I., Skjemstad, J., O., Gehrt, E., Kogel Knabner, I. 1999. Charred Organic Carbon in German Chernozemic Soils, *Eur. J. Soil Sci.*, 50; 351-365.
- Schröder, J. J., Smit, A. L., Cordell, D. and Rosemarin, A. 2011. Improved phosphorus use efficiency in agriculture: a key requirement for its sustainable use. *Chemosphere*, 84(6), 822-831.
- Seleiman, M. F. and Kheir, A. M. 2018. Maize productivity, heavy metals uptake and their availability in contaminated clay and sandy alkaline soils as affected by inorganic and organic amendments. *Chemosphere*, 204, 514-522.

- Shams, A. S. and Abbas, M. 2019. Can Hydroxyapatite and Boron Oxide Nano-fertilizers Substitute Calcium Superphosphate and Boric Acid for Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) Grown on A Heavy Clay Soil?. Egyptian Journal of Horticulture, 46(2), 215-234.
- Shaoxia, W., Meng, L., Xiaoyuan, Z., Peiwen, F., Yanlong, C., Jianglan, S. and Xiaohong, T. 2019. Impact of foliar and root application of phosphorus on zinc concentration of winter wheat grown in China. Crop and Pasture Science, 70(6), 499-508.
- Sharma, K.N.Sr. 2006. Soil phosphorus fraction dynamics and phosphorus sorption in a continuous maize–wheat cropping system. 18th World Congr. Soil Sci. July 9-15 Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Shaviv, A., Raban, S., and Zaidel, E. 2003. Modeling controlled nutrient release from polymer coated fertilizers: Diffusion release from single granules. Environmental science and technology, 37(10), 2251-2256.
- Sherchand, K. and G. M. Paulsen. 1985. Response of wheat to foliar phosphorus treatments under field and high temperature regimes. J. of Plant Nutr. 12: 1171–1181.
- Silva, A. A., Silva, T. S., Vasconcelos, A. C. P., Lana, R. M. Q. 2012. Influência da aplicação de diferentes fontes de MAP revestido com polímeros de liberação gradual na cultura do milho. Biosci. J. 28, 240-250.
- Silva Carneiro, J. S., Ribeiro, I. C. A., Nardis, B. O., Barbosa, C. F., Lustosa Filho, J. F. and Melo, L. C. A. 2021. Long-term effect of biochar-based fertilizers application in tropical soil: Agronomic efficiency and phosphorus availability. Science of The Total Environment, 760, 143955.
- Singh, D. and Singh, M. 2008. Absorption and translocation of glyphosate with conventional and organosilicone adjuvants. Weed Biology and Management, 8(2), 104-111.
- Singh, B.P., Hatton, B.J., Singh, B., Cowie, A.L., Kathuria, A. 2010. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. Journal of Environmental Quality, 39(4), 1224-1235.
- Singh, N. B., Kalra, M., and Saxena, S. K. 2017. Nanoscience of cement and concrete. Materials today: proceedings, 4(4), 5478-5487.
- Skoog, D. A., Holler, F. J. and Nieman, T. A. 1998. Enstrümantal Analiz İlkeleri, 5. Baskı, Bölüm 9, Bilim Yayıncılık, Ankara.
- Solanki, P., A. Bhargava, H. Chhipa, N. Jain, and J. Panwar. 2015. Nano-fertilizers and their smart delivery system. In: Emerging Nanotechnologies in Agriculture, eds. Rai, M., C. Ribeiro, L. Mattoso, and N. Duran. Switzerland: Springer, 81–101.
- Soliman, A. S., Hassan, M., Abou-Elella, F., Ahmed, A. H. and El-Feky, S. A. 2016. Effect of nano and molecular phosphorus fertilizers on growth and chemical composition of baobab (*Adansonia digitata* L.). J. Plant Sci, 11, 52-60.

- Sposito, G. 2008. The chemistry of soils. 2 nd. Ed. Chapter 3. 28-65. Oxford University press.
- Stevenson, F. J. and Cole, M. A. 1999. Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. 2 nd. Ed. P. 1-425. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Şahin, M., Aydoğan, S., Göçmen Akçacık, A., Taner, S., 2005. Orta Anadolu için Geliştirilmiş Bazı Ekmeklik Buğday Genotiplerinin Alveograf Analizi Yönünden Değerlendirilmesi. Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Konya, Bitkisel Araştırma Dergisi, 2: 1–9.
- Taliman, N. A., Dong, Q., Echigo, K., Raboy, V. and Saneoka, H. 2019. Effect of phosphorus fertilization on the growth, photosynthesis, nitrogen fixation, mineral accumulation, seed yield, and seed quality of a soybean low-phytate line. Plants, 8(5), 119.
- Taskin, M. B., Sahin, Ö., Taskin, H., Atakol, O., Inal, A. and Gunes, A. 2018. Effect of synthetic nano-hydroxyapatite as an alternative phosphorus source on growth and phosphorus nutrition of lettuce (*Lactuca sativa* L.) plant. Journal of Plant Nutrition, 41(9), 1148-1154.
- Temminghoff, E. E. and Houba, V. J. 2004. Plant analysis procedures. 1-178, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- Teixeira, R. D. S., Ribeiro da Silva, I., Nogueira de Sousa, R., Márcio Mattiello, E. and Barros Soares, E. M. 2016. Organic acid coated-slow-release phosphorus fertilizers improve P availability and maize growth in a tropical soil. Journal of soil science and plant nutrition, 16(4), 1097-1112.
- Thanh, D. N., Novák, P., Vejpravova, J., Vu, H. N., Lederer, J. and Munshi, T. 2018. Removal of copper and nickel from water using nanocomposite of magnetic hydroxyapatite nanorods. Journal of magnetism and magnetic materials, 456, 451-460.
- Torres, G. M. 2011. Foliar Phosphorus Fertilization and the Effect of Surfactants on Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) (Doctoral dissertation) Oklahoma State University.
- Trommer, R. M., Santos, L. A. and Bergmann, C. P. 2007. Alternative technique for hydroxyapatite coatings. Surface and Coatings Technology, 201(24), 9587-9593.
- Tukey, H. B., Wittwer, S. H. and Bukovac, M. J. 1961. Absorption of radionuclides by aboveground plant parts and movement within the plant. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 9(2), 106-113.
- Ulrich, A. 1948. Diagnostic techniques for soils and crops. P. 157. Am. Potash Inst. Washington, D. C.

- Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A. and Nishihara, E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use and Management*, 27, 205–212.
- Wali, F., Naveed, M., Bashir, M. A., Asif, M., Ahmad, Z., Alkahtani, J., ... and Elshikh, M. S. 2020. Formulation of Biochar-Based Phosphorus Fertilizer and Its Impact on Both Soil Properties and Chickpea Growth Performance. *Sustainability*, 12(22), 9528.
- Wang, T., Arbestan, M.C., Hedley, M. and Bishop, P. 2012. Predicting phosphorus bioavailability from high-ash biochars. *Plant and Soil*, 357, 173–187.
- Wang, Y., Lin, Y., Chiu, P. C., Imhoff, P. T. and Guo, M. 2015. Phosphorus release behaviors of poultry litter biochar as a soil amendment. *Science of the total Environment*, 512, 454-463.
- Wang, P., Lombi, E., Zhao, F. J. and Kopittke, P. M. 2016. Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences. *Trends in plant science*, 21(8), 699-712.
- War, S. and Shaktawat, M. S. 2003. Influence of phosphorus sources, levels and solubilizers on yield, quality and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*)-wheat (*Triticum aestivum*) cropping system in southern Rajasthan. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 73(1), 3-7.
- Waraich, E. A., Ahmad, Z., Ahmad, R., Saifullah, and Ashraf, M. Y. 2015. Foliar applied phosphorous enhanced growth, chlorophyll contents, gas exchange attributes and PUE in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 38(12), 1929-1943.
- Watanabe, Y., Yamada, H., Ikoma, T., Tanaka, J., Stevens, G. W. and Komatsu, Y. 2014. Preparation of a zeolite NaP1/hydroxyapatite nanocomposite and study of its behavior as inorganic fertilizer. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 89(7), 963-968.
- Welch, R.M. and Graham, R.D. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *Journal of Experimental Botany*, 55, 353-364.
- Wilkinson, S. R., Grunes, D. L. and Sumner, M. E. 2000. Nutrient interactions in soil and plant nutrition. *Handbook of soil science*, 89-112.
- Wolff, J., Hofmann, D., Amelung, W., Lewandowski, H., Kaiser, K. and Bol, R. 2018. Rapid wet chemical synthesis for ³³P-labelled hydroxyapatite—An approach for environmental research. *Applied geochemistry*, 97, 181-186.
- Xiong, L., Wang, P. and Kopittke, P. M. 2018a. Tailoring hydroxyapatite nanoparticles to increase their efficiency as phosphorus fertilisers in soils. *Geoderma*, 323, 116-125.

- Xiong, L., Wang, P., Hunter, M. N. and Kopittke, P. M. 2018b. Bioavailability and movement of hydroxyapatite nanoparticles (HA-NPs) applied as a phosphorus fertiliser in soils. *Environmental Science: Nano*, 5(12), 2888-2898.
- Xu, G., Sun, J., Shao, H. and Chang, S. X. 2014. Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. *Ecological engineering*, 62, 54-60.
- Vaz, M. R., Edwards, A. C., Shand, C. A. and Cresser, M. S. 1993. Phosphorus fractions in soil solution: influence of soil acidity and fertiliser additions. *Plant and soil*, 148(2), 175-183.
- Viandari, N.A., Wihardjaka, A., Pulunggono, H. B., Sulastri, B. N. and Setyastika, U. S. 2021. Effect of P, Zn and crop residue return on grain yield and P uptake of direct seeded rice. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 648, No. 1, p. 01218. IOP Publishing.
- Yadav, L. R. and Choudhary, G. L. 2012. Effect of fertility levels and foliar nutrition on profitability, nutrient content and uptake of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. *Legume Research: An International Journal*, 35(3).
- Yang, X., Liu, J., McGrouther, K., Huang, H., Lu, K., Guo, X., ... and Wang, H. 2016. Effect of biochar on the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and enzyme activity in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(2), 974-984.
- Yao, C., Joseph, S., Li, L., Pan, G., Lin, Y., Munroe, P., ... and Donne, S. 2015. Developing more effective enhanced biochar fertilisers for improvement of pepper yield and quality. *Pedosphere*, 25(5), 703-712.
- Yaseen, M., Aziz, M. Z., Manzoor, A., Naveed, M., Hamid, Y., Noor, S. and Khalid, M. A. 2017. Promoting growth, yield, and phosphorus-use efficiency of crops in maize–wheat cropping system by using polymer-coated diammonium phosphate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(6), 646-655.
- Yıldırım, A., Sakin, M.A., Gökmen, S. 2005. Tokat Kazova Koşullarında Bazı Ekmeklik Buğday Çeşit ve Hatlarının Verim ve Verim Unsurları Yönünden Değerlendirilmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1): 63-72.
- Yoon, H. Y., Lee, J. G., Esposti, L. D., Iafisco, M., Kim, P. J., Shin, S. G., ... and Adamiano, A. 2020. Synergistic release of crop nutrients and stimulants from hydroxyapatite nanoparticles functionalized with humic substances: toward a multifunctional nanofertilizer. *ACS omega*, 5(12), 6598-6610.
- Zafar, M., Abbasi, M. K. and Khaliq, A. 2013. Effect of different phosphorus sources on the growth, yield, energy content and phosphorus utilization efficiency in maize at Rawalakot Azad Jammu and Kashmir, Pakistan. *Journal of plant nutrition*, 36(12), 1915-1934.

- Zahrani, S. 2000. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. *Ind. Eng. Chem. Res.* 39: 367-371.
- Zambrosi, F. C. B. and Mesquita, G. L. 2016. Foliar phosphorus application enhances nutrient balance and growth of phosphorus deficient sugarcane. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*, 117(2), 203-210.
- Zambrosi, F. C. 2019. Foliar Phosphorus Applications in the Forms of Phosphate and Phosphite Have Contrasting Effects on Wheat Performance Under Field Conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22(5), 395-401.
- Zhang, H., Chen, T., Wang, Z., Yang, J. and Zhang, J. 2010. Involvement of cytokinins in the grain filling of rice under alternate wetting and drying irrigation. *Journal of Experimental Botany*, 61(13), 3719-3733.
- Zhu, Q., Wu, J., Wang, L., Yang, G. and Zhang, X. 2015. Effect of biochar on heavy metal speciation of paddy soil. *Water, Air and Soil Pollution*, 226(12), 1-10.
- Zucareli, C., Ramos Junior, E. U., Barreiro, A. P., Nakagawa, J. and Cavariani, C. 2006. Phosphorus fertilization, production components, productivity and seed physiological quality in common beans seeds. *Revista brasileira de sementes*, 28(1), 9-15.