

**T.C.
ORDU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YEREL MISIR (*Zea mays* L.) GENOTİPLERİNİN FOSFOR KULLANIM
ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

MEHMET AKGÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORDU 2015

TEZ ONAY

Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Mehmet AKGÜN tarafından hazırlanan ve Doç. Dr. Kürşat KORKMAZ danışmanlığında yürütülen “**Yerel Mısır (*Zea mays L.*) Genotiplerinin Fosfor Kullanım Etkinliğinin Belirlenmesi**” adlı bu tez, jürimiz tarafından 19 / 01 / 2015 tarihinde oy birliği / oy çokluğu ile Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Kürşat KORKMAZ

Başkan : Doç. Dr. Kürşat KORKMAZ
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü,
Ordu Üniversitesi

İmza :



Üye : Doç. Dr. Faruk ÖZKUTLU
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü,
Ordu Üniversitesi

İmza :



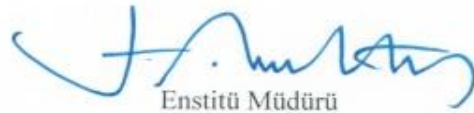
Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih ÖNER
Tarla Bitkileri Bölümü,
Ordu Üniversitesi

İmza :



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 09/02/2015 tarih ve 2015-65 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Enstitü Müdürü

(Prof. Dr. Mehmet Fikret BALTA)

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Mehmet AKGÜN

ÖZET

YEREL MISIR (*Zea mays* L.) GENOTİPLERİNİN FOSFOR KULLANIM ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Mehmet AKGÜN

Ordu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, 2014
Yüksek Lisans Tezi, 56 s.

Danışman: Doç. Dr. Kürşat KORKMAZ

Bu çalışmanın amacı yerel mısır genotiplerinin fosfor (P) kullanım etkinliğini belirlemektir. Bu çalışma, sera koşullarında 30 farklı yerel mısır genotipine üç farklı fosfor dozu (0, 50 ve 100 mg kg⁻¹) uygulanarak, tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışmada, mısır bitkisinde, gövde ve kök kuru madde miktarları, P konsantrasyonları, toplam kaldırılan fosfor, kök uzunluğu ve bitkilerin fosfor kullanım etkinlikleri (PUE) incelenmiştir.

Araştırmada incelenen parametreler içerisinde, kök fosfor konsantrasyonları üzerine genotip ($P<0.01$) ve fosfor dozları ($P<0.001$) etkisi önemli bulunurken, genotip x doz etkisi ise önemsiz ($p>0.05$) bulunmuştur. İncelenen diğer tüm parametrelerde genotip, doz ve genotip x doz etkisi istatistiki olarak önemli ($P<0.001$) bulunmuştur. Ayrıca, artan fosfor dozlarına bağlı olarak incelenen tüm parametrelerde doğrusal bir artış olduğu belirlenmiştir.

Kuru madde ve etkinlik indeksi esas alınarak; 3, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 24, 25, 26 ve 27 numaralı genotipler Etkin Duyarsız; 1, 2, 4, 5, 11, 15, 20, 21 ve 29 numaralı genotipler Etkin Olmayan Duyarlı; 9, 16, 22, 23, 28 ve 30 numaralı genotipler Etkin Olmayan Duyarsız olarak sınıflandırılmıştır. Bu sonuçlara göre, yerel mısır genotipleri arasında fosfor kullanım etkinliği açısından önemli farklılıklar vardır.

Anahtar Kelimeler: Besin elementi etkinliği, P³ lu gübreleme, P alınımı, Kök uzunluğu

ABSTRACT

DETERMINATION OF PHOSPHORUS USE EFFICIENCY FOR LOCAL CORN (*Zea mays* L.) GENOTYPES

Mehmet AKGÜN

University of Ordu
Institute of Science
Department of Soil Science and Plant Nutrition, 2015
MSc Thesis, 56 p.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kürşat KORKMAZ

The purpose of this study was to determine phosphorus (P) use efficiency in local corn genotypes. For this purpose, three levels of phosphorus (0, 50 and 100 mg kg⁻¹) were applied to 30 different local corn genotypes in greenhouse conditions using completely randomized design with three replications. The study investigated shoot and root dry weight, P concentration, total P uptake, root length and phosphorus efficiency (PUE) of local corn genotypes. Among the parameters studied, root phosphorus concentration was significantly affected by genotypes (P<0.01) and phosphorus levels (P<0.001) whereas genotype x dose interaction was not significant (P>0.05). In all parameters evaluated, the effect of genotypes, phosphorus levels and genotype x dose interaction was found to be significant (P<0.001). Also, in all the studied parameters, a linear increase was determined with the increase in phosphorus levels.

Based on dry matter production and efficiency index; i) 3, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 24, 25, 26 and 27 number genotypes were classified as efficient and nonresponsive, ii) 1, 2, 4, 5, 11, 15, 20, 21 and 29 number genotypes were classified as non-efficient and responsive, iii) 9, 16, 22, 23, 28 and 30 number genotypes were classified as non-efficient and nonresponsive. The results of the present study revealed there were significant differences in phosphorous use efficiency among local maize genotypes.

Key Words: Nutrient use efficiency, P fertilization, P uptake, Root length

TEŐEKKÖR

Çalıőmam sırasında ve her an desteklerini esirgemeyerek bana öncülük eden değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Kürşat KORKMAZ' a, değerli bilgilerini ve deneyimlerini paylaőarak bana ıőık tutan Sayın Doç. Dr. Faruk ÖZKUTLU' ya ve Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümünün değerli hocalarına teşekkür ederim.

Bu eserin yazım aşamasında sabrı ve anlayıőı için Araştırma Görevlisi arkadaőım Selahattin AYGÖN' e, ve tez yazım aşamasında desteklerini veren Ziraat Yüksek Mühendisi Esra KUTLU' ya teşekkür ederim.

Tüm eğitim ve hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen babam Ali AKGÖN, annem Türkan AKGÖN ve kardeőim Mert AKGÖN' e en içten duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	I
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	IX
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ	IX
1.GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Toprakta Fosfor.....	4
2.2. Bitkilerde Fosfor	8
2.3. Bitkilerde Fosfor Etkinliği	12
3. MATERYAL VE METOD	15
3.1. Materyal	15
3.1.1. Deneme Yeri ve Yılı	15
3.1.2. Deneme Toprağının Özellikleri	15
3.1.3. Denemede Kullanılan Mısır Genotipleri.....	16
3.2. Metod	16
3.2.2. Toprak Örneklerinde Yapılan Rutin Analizler ve Uygulama Metotları	17
3.2.2. 1. Toprak Reaksiyonu (pH).....	17
3.2.2. 2. Toprakta Total Tuz (EC).....	17
3.2.2. 3. Toprak Tekstür.....	17
3.2.2. 4. Toprağın Kireç İçeriği.....	18
3.2.2. 5. Organik Madde:	18
3.2.2. 6. Toplam Azot	18
3.2.2. 7. Yarayışlı Fosfor	18
3.2.3. Bitki Örneklerinde Yapılan Rutin İşlemler.....	18
3.2.3.1. Bitki Örneklerinin Analize Hazırlanması	18
3.2.3.2. Bitki Örneklerinde Fosfor Analizi	19
3.2.3.3. Bitkilerde kök uzunluğu hesaplanması	19

3.2.3.4. Bitkilerde fosfor etkinliğinin hesaplanması	19
3.2.4. Verilerin Değerlendirilmesi	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	20
4.1.Yerel Mısır Genotiplerinde Kuru Madde Miktarı.....	20
4.1.1 Gövde Kuru Madde Miktarı.....	20
4.1.2. Kök Kuru Madde Miktarı	23
4.1.3.Yerel Mısır Genotiplerinde Toplam Kuru Madde Miktarı	26
4.2. Yerel Mısır Genotiplerinin Fosfor Konsantrasyonları	28
4.2.1. Yerel Mısır Genotiplerinde Gövde Fosfor Konsantrasyonları.....	28
4.2.2.Yerel Mısır Genotiplerinde Kök Fosfor Konsantrasyonları	31
4.3. Yerel Mısır Genotipleri Tarafından Kaldırılan Fosfor Miktarı.....	33
4.3.1.Yerel Mısır Genotiplerinde Gövde Tarafından Kaldırılan Fosfor Miktarı	33
4.3.2.Yerel Mısır Genotiplerinde Kök Tarafından Kaldırılan Fosfor Miktarı.....	35
4.3.3. Yerel Mısır Genotipleri Tarafından Kaldırılan Toplam Fosfor Miktarı	38
4.4. Yerel Mısır Genotiplerinde Kök uzunluğu	40
4.5. Yerel Mısır Genotiplerinin Fosfor Kullanım Etkinlikleri.....	43
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	46
6. KAYNAKLAR	48
7. ÖZGEÇMİŞ	55

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Sekil No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Ortofosfat iyon çeşitlerinin dağılımı üzerine pH'nın etkisi.....	5
Şekil 2.2 Toprakta fosfor dolaşımının şematik diyagramı.....	6
Şekil 3.1 Yerel mısır genotiplerinin alındıkları lokasyonlar	16
Şekil 4.1 Yerel mısır genotiplerinin fosfor kullanım etkinliklerinin sınıflandırılması..	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	15
Çizelge 4.1. Yerel mısır genotiplerinde gövde kuru madde miktarı.....	22
Çizelge 4.2. Yerel mısır genotiplerinde kök kuru madde miktarı	25
Çizelge 4.3. Yerel mısır genotiplerinde toplam kuru madde miktarı	27
Çizelge 4.4. Yerel mısır genotiplerinin gövde fosfor konsantrasyonları.....	29
Çizelge 4.5. Yerel mısır genotiplerinin kök fosfor konsantrasyonları.....	32
Çizelge 4.6. Yerel mısır genotiplerinde gövde tarafından kaldırılan fosfor miktarı	34
Çizelge 4.7. Yerel mısır genotiplerinde kök tarafından kaldırılan fosfor miktarı	37
Çizelge 4.8. Yerel mısır genotipleri tarafından kaldırılan toplam fosfor miktarları.....	39
Çizelge 4.9. Yerel mısır genotiplerinde kök uzunluğu	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

°C	: Santigrat Derece
%	: Yüzde
ppm	: Part Per Million (Milyonda Bir Kısım)
M	: Molar
mM	: Milimolar
Da	: Dekar
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
kg	: Kilogram
g	: Gram
mg	: Miligram
µg	: Mikrogram
L	: Litre
ml	: Mililitre
dm³	: Desimetre küp
EC	: Elektriksel İletkenlik
pH	: Ortamda bulunan H ⁺ konsantrasyonunun negatif logaritması
PUE	: Fosfor kullanım etkinliği
DTPA	: Diethylene Triamine Pentaacetic Acid
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
HCl	: Hidroklorik Asit
CO₂	: Karbondioksit
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
N	: Azot
K₂SO₄	: Potasyum sülfat
K	: Potasyum
Ca	: Kalsiyum
Mg	: Magnezyum
S	: Kükürt
Fe	: Demir
Zn	: Çinko
Cu	: Bakır
Mn	: Mangan
B	: Bor
Al	: Alüminyum
Cr	: Krom
Cd	: Kadmiyum
Ni	: Nikel
H	: Hidrojen
ADP	: Adenosin-difosfat
ATP	: Adenosin-trifosfat

1.GİRİŞ

Günümüzde dünyada gıda üretimi yeterli olmasına rağmen dağılımdaki bozukluklar nedeniyle, birçok insan açlık tehlikesi ile karşı karşıyadır. Giderek artan ve yaklaşık yedi milyarı geçen dünya nüfusunun büyük bir kısmı bitkisel kaynaklı gıda maddesi yönünden genel olarak tahıllara (buğday, çeltik, mısır) bağımlıdır. Dünya nüfusunun, enerji ve protein ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayan tahıllar içerisinde mısırın ayrı bir önemi vardır. Bir sıcak iklim bitkisi olan mısır, sahip olduğu çeşit zenginliği ve yüksek adaptasyon kabiliyeti nedeni ile dünyanın hemen her yerinde tarımı yapılabilen bir kültür bitkisidir. Mısır, Dünyada, 185 milyon ha ekim alanı ile tahıl ekim alanlarının, % 25.6' sını ve yaklaşık 1016 milyon ton üretim ile toplam üretimin ise % 36' sını oluşturmaktadır ve tahıllar içinde ekiliş alanı bakımından ikinci, üretim açısından ilk sırada alan önemli bir tahıl cinsidir (Anonim, 2013). Tahmini olarak dünya mısır üretiminin % 60'ı hayvan yemi, % 20'si insan gıdası (doğrudan tüketim), % 10'u işlenmiş gıda ve % 10'u diğer tüketimler ile tohumluk olarak kullanılmaktadır (Özcan, 2009). Ülkemizde ise 660 bin ha alanda 5.9 milyon ton tane mısır üretilmektedir (Anonim, 2013). Mısırın çok geniş bir kullanım alanının olması ve giderek öneminin arttığı bir gerçektir. Mısır, yetiştiriciliğinin kolay olmasının yanı sıra yüksek ot ve tane verimine sahip olması nedeniyle diğer tahıllardan daha fazla ön plana çıkmaktadır.

Mısır tarımında verimin ekonomik olarak sağlanabilmesi için özellikle bitki besin elementlerinin ortam da yeterli düzeyde olması gereklidir. Tarımsal olarak üretilen ürünün fazla ve kaliteli olabilmesi için, toprakta bulunan bitki besin elementlerinin miktarları önemli olduğu kadar, bitki besin elementlerinin birbirleri ile dengeli bir oranda olması da büyük önem taşımaktadır. Bitki besin elementleri toprakta dengeli olarak bulunmadığı koşullarda, bunların bitkiler tarafından alınımı sırasında birbirleri üzerine çeşitli olumsuz etkileri ortaya çıkacak ve bitki gelişimi olumsuz yönde etkilenecektir. Bu nedenle, tarımsal üretim sisteminde ürün veriminin garanti altına alınması için başlıca yöntem gübrelemedir. Bitkisel üretimde azot, fosfor ve potasyum başlıca önemli gübreleri oluşturmaktadır. Bitkilerin verimliliklerinin artırılmasında azottan sonra en çok noksanlığı görülen element fosfordur. Bitki kuru maddesinin % 0.2-0.5'ini oluşturan fosfor; bitkilerin yapısında anahtar enzimlerin, nükleik asitlerin, fosfolipidlerin yapısında ve ATP ile ilgili reaksiyonlarda bitki

gelişimi için mutlak gerekli olan besin elementlerinden birisidir (Güzel ve ark., 2002). Son yıllarda Dünyada azotlu ve fosforlu gübre kullanımı giderek artmaktadır. Gübrelerin bilinçsiz bir şekilde kullanımının sonucu olarak da tarım sisteminde azotlu ve fosforlu gübrelerin kullanım etkinlikleri giderek azalmaktadır (Hinsinger ve ark., 2011).

Fosfor bitkiler için mutlak gerekli elementlerden birisidir. Ancak, fosforlu gübreler tarımsal üretim sisteminde ürün veriminin korunması için uzun yıllardır kontrolsüz ve bilinçsiz bir şekilde kullanılmaktadır. Fosforlu gübrelerin dengesiz ve bilinçsiz tüketimi beraberinde birçok çevresel sorunun da ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Son yıllarda giderek artan çevresel kaygılar fosforlu gübre kullanımının önemine bir kez daha dikkat çekmektedir. Fosforlu gübrelerin gereğinden fazla ve bilinçsiz tüketimi tarım arazilerinde verimi etkilemediği gibi özellikle demir (Fe^{++}) ve çinko (Zn^{++}) gibi bazı diğer besin elementlerinin yarıyışlılığını düşürmektedir (Carpenter ve ark., 2011). Fosforlu gübrelerin aşırı kullanımı erozyon ve özellikle hafif bünyeli topraklarda ise yıkanma yoluyla ötrofikasyona neden olurken (Zöbisch ve ark., 1994), yapısında bulunan Cr, Cd, Pb, Ni ve Cu gibi bazı ağır metallerinde toprağa ve bitki bünyesine geçmesiyle insan sağlığını da önemli ölçüde tehdit etmektedir (Camelo ve ark. 1997; Richards,1998). Ayrıca doğal kaynaklarının dengeli kullanımı açısından da fosforlu gübreler büyük önem arz etmektedir. Fosforlu gübrelerin ana kaynağı kayalarlardır. Şu anki tüketim hızı esas alındığında önümüzdeki 50 yıl içerisinde fosforlu gübre kaynaklarının tükenebileceği tahmin edilmektedir (Vance ve ark., 2003). Fosfor rezervlerinin sınırlı olması gerekse fosfor döngüsünün çok uzun vadede gerçekleşmesi ve toprakta bulunan fosforun bitkilerin alabileceği formlarda olmaması nedeniyle bitkilerin ihtiyacı olan fosforun topraklardan en etkin şekilde kullanılması gerekmektedir. Son yıllarda giderek artan çevresel baskıların azaltılması ve azalan doğal kaynakların doğru kullanımı için tarımsal üretim sisteminde bitki besin elementlerinin kullanımı için yeni stratejilerin geliştirilmesi araştırılmalıdır.

Fosforlu gübre kullanımının azaltılarak bitkisel verimin korunmasında en etkili yollardan birisi, bitkilerin fosfor kullanımı açısından gösterdiği farklılıkların dikkate alınarak fosfor kullanım etkinliği yüksek olan doğru bitki tür ya da çeşitlerinin seçimidir. Bitki türleri arasında ve hatta aynı türün genotipleri arasında fosfor

kullanımı açısından farklılıklar olduğu bilinmektedir (Föhse, 1991). Bu nedenle, yerel popölasyonlar üzerinde durulması oldukça önem arz etmektedir. Yerel popölasyonlarda; bitkisel parametreler besin elementi kullanımı ve hastalıklara dayanıklılık gibi birçok özellik açısından farklılıklar bulunmaktadır. Çünkü bu popölasyonlar uzun yıllar aynı bölgede yetiştirildiklerinden, bölgeye çok iyi adapte olmuşlardır. Yıllar arasındaki iklim değışikliklerine, çeşitli koşullara uyabilen ve besin elementi kullanımı açısından geniş bir varyasyon gösteren genotipler vardır. Bu genotiplerin kaybolmadan toplanıp, tanımlanması ve bunların mısır ıslah programlarında aktif olarak kullanılmaları büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda yürütölen bu tez çalışmasında, fosfor uygulamaları açısından hiç incelenmemiş olan 30 farklı yerel mısır genotipinin fosfor uygulamalarına karşı verdiği tepkiler ve fosfor kullanım etkinliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

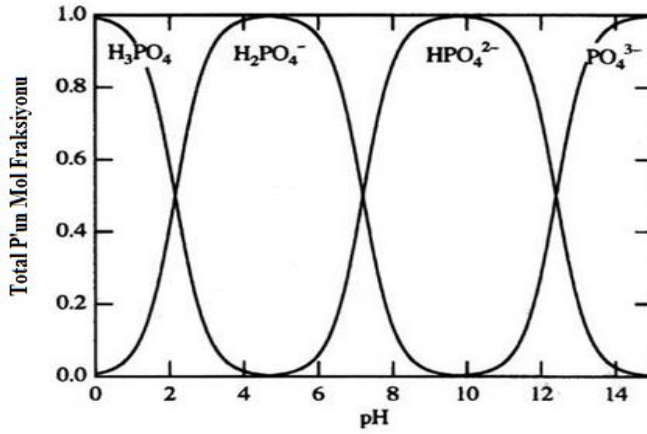
2.1. Toprakta Fosfor

Topraklarda fosfor organik ve inorganik formlarda bulunmaktadır. Toprakta bulunan fosforun kısımlarını, % 20-80 arasındaki oranlarda bileşenlerinin fitik asitten (inositol hexaphosphate) oluşan organik fosfor, geri kalan kısmın ise fosforun yaklaşık 170 mineral formunu içeren inorganik fosfor oluşturmaktadır (Schactman, 1998). Topraklarda organik fosfor miktarı organik karbon miktarının artmasıyla artar ve organik fosfor bileşenlerinin çoğu ortofosforik asit ($H_2PO_4^-$) esterleridir ve temelde inositol fosfatlar, nükleik asitler ve fosfolipitler olarak belirlenmiştir ve bu organik fosfor bileşenlerinin miktarı yaklaşık olarak inositol fosfatlar % 10-50, nükleik asitler % 0.2-2.5 ve fosfolipitler % 1-5 oranlarında bulunur (Havlin ve ark., 1999). Topraklarda inorganik fosfor toplam fosforun % 35-70 kadarını oluşturabilmektedir. Chacon ve Dezzo (2004) ise en yüksek fosfor içeriğinin toprağın üst katmanında olduğunu ve total fosforun % 59-63 arasında değişerek, inorganik fosfordan oluştuğunu bildirmişlerdir.

Topraklarda organik ve inorganik fosforun miktarında toprak organik maddesinin parçalanma prosesi önemli yer tutmaktadır. Toprak mikroorganizmaları topraklarda bulunan organik maddenin parçalanmasından birinci derecede sorumludur. Böylece topraklarda hareketsiz fosfor formlarını yarayışlı hale getirilmesi sağlanabilir. Ayrıca mikro organizmalar topraklarda bulunan yarayışlı fosforu metabolik faaliyetlerinde kullanarak inorganik formdan organik forma geçmesinde de rol oynamaktadırlar. Bunun sonucunda biyolojik immobilizasyon meydana gelebilmektedir (Coetzee, 2013). Konuyla ilgili yürütülen bir çalışmada Seeling ve Zasoski, (1993) yapmış oldukları çalışmada, topraklarda organik madde ve mikrobiyal aktiviteye bağlı mineralizasyon ile beraber, toprak katı fazı tarafından tutulan stabil haldeki P' un da bitkilerin kullanabileceği inorganik P formlarına dönüşebileceğini göstermişlerdir.

Toprakta toplam fosfor miktarı fazla olabilir ancak genellikle bitki tarafından kullanılamaz formda bulunmaktadır (Ridoutt, 2013). Topraklarda toplam fosfor miktarı ana materyalin yapısına bağlı olarak $100-3000 \text{ mg kg}^{-1}$ kadar bulunabilir. Bitkiye yarayışlı fosfor miktarı $10-15 \text{ mg kg}^{-1}$ (Korkmaz, 2005) olmasına karşın yarayışlı fosfor miktarının düşük olması bitkilerin fosfor alınımını önemli ölçüde

sınırlamaktadır. Bitkiler topraklardan fosforu primer ve sekonder orta fosfatlar (HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-) şeklinde almaktadır. Toprak çözeltisinde H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} ve PO_4^{3-} varlığı yüksek oranda toprak çözeltisinin pH' sına bağlıdır (Şekil 2.1.). Toprak çözeltisinin pH seviyesi 7.2 olduğu zaman toprakta H_2PO_4^- ve HPO_4^{2-} miktarları eşit seviyeye ulaşır. Toprak çözeltisini pH' sı 7.2' nin altına düşüğü zaman toprakta fosforun H_2PO_4^- formu baskın, toprak çözeltisinin pH değeri 7.2' nin üzerine çıktığı zaman ise fosforun HPO_4^{2-} formu baskın olmaktadır (Güzel ve ark., 2002).

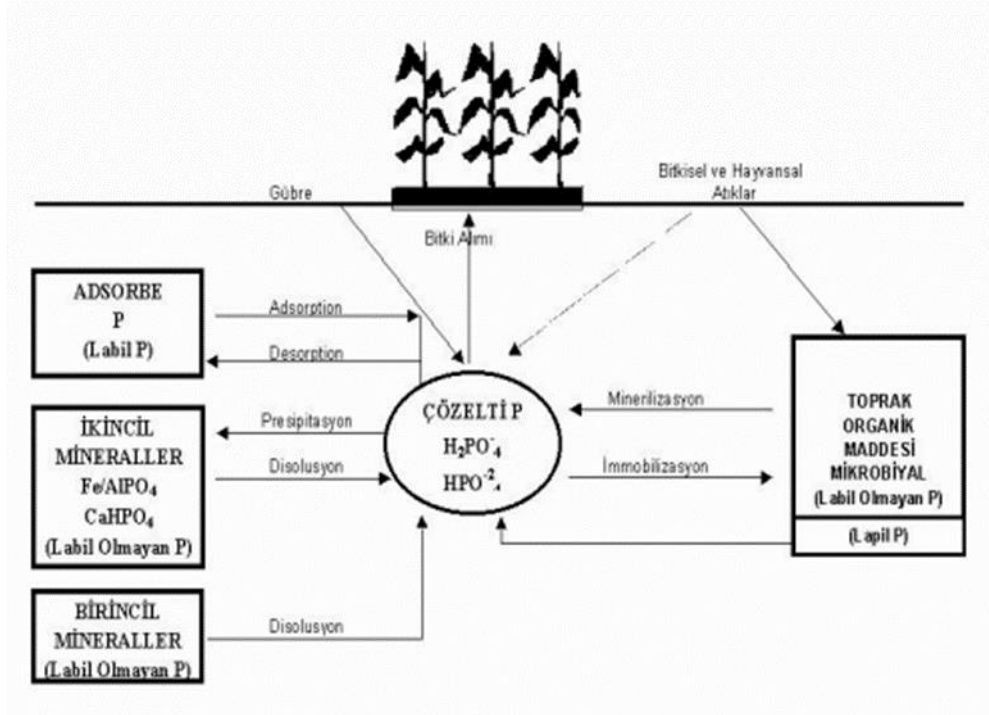


Şekil 2.1 Ortofosfat iyon çeşitlerinin dağılımı üzerine pH' nın etkisi

Topraklarda fosfor büyük oranda difüzyonla hareket etmektedir. Fosfor difüzyon hız oranı düştüğünde ($10-12'$ den $10-15 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) bitkinin kökü etrafında fosforun tükenmiş olduğu bir azalma bölgesi oluşmaktadır (Schactman ve ark.,1998). Topraklarda besin elementlerinin günlük hareketlilikleri incelendiğinde azot'un 2 cm, potasyum'un 0.2 cm ve fosfor'un ise ancak 0.02 cm hareket edebildiği belirtilmektedir. Topraklarda fosfor hareketliliği oldukça düşüktür ve ayrıca fosfor yüksek oranlarda fikse edilmektedir.

Asit topraklarda kaya fosfatının (apatite) direkt uygulamalarının bitkilerin fosfor ihtiyacını karşılamada oldukça etkili olduğu bilinmesine rağmen, apatite, strengite ve variscite gibi önemli primer P minerallerinin P' u serbestlemesi oldukça yavaştır ve bu minerallerin bitkilerin P ihtiyacını karşılamada yeterli olmadığı bilinmektedir. Bunun aksine ikincil P mineralleri olan Ca, Fe ve Al fosfatların çözünürlüğü toprak pH' sı ve minerallerin partikül büyüklüğüne göre değişiklik göstermektedir (Shen ve ark., 2011). Toprağa uygulanan fosforun toprakta fiksasyona uğraması ile çevre

kirliliğine ve çiftçinin üretim maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır (Yang ve ark., 2011).



Şekil 2.2 Toprakta Fosfor Dolaşımının Şematik Diyagramını (Güzel ve ark., 2002).

Topraklarda fiksasyon mekanizması incelendiğinde asit reaksiyonlu topraklarda fosfor fiksasyonu ile alkali reaksiyonlu topraklarda fosfor fiksasyonu farklı mekanizmaların etkisi altındadır. Asit reaksiyonlu topraklarda, topraklara ilave edilen fosfor genellikle Fe-P ve Al-P fraksiyonları şeklinde tutulmaktadır. Toprak fosforu asit koşullarda Fe, Al, Mn ve bu elementlerin çözünmeyen hidrate oksitleri ile reaksiyona girerek elverişsiz duruma geçmektedir (Martini ve Mutter, 1985; Kacar ve Katkat, 1997). Alkali reaksiyonlu topraklarda fosfor fiksasyonu incelendiğinde; pH 7.5 'in üzerinde olduğu ortamlarda fosfor Ca ve Mg iyonları ile reaksiyona girerek çözünürlüğü düşük olan trikalsiyum ve trimagnezyum fosfat bileşikleri halinde çökmektedir. Kireçli alkali topraklar genelde yüksek miktarda serbest CaCO₃ kapsarlar. Fosfor CaCO₃ ile temas sonunda yine trikalsiyum fosfat haline dönerek çökmektedir. Kireçli alkali topraklarda kalsiyum ile doymuş kil mineralleri, fosforu kalsiyum ile bağlayarak alınabilirliğini sınırlandırır. Bu tür fiksasyonlar daha çok pH' nın 7.0 olduğu durumlarda görülür (Kacar ve Katkat, 2009). Fosfor fiksasyonunda kilin tipi ve miktarı oldukça önemlidir. Fosfor

fiksasyonunda pH derecesi 4.5-6 aralığında iken kil mineralleri baş rolü oynar. Killerdeki OH⁻ gruplarının H₂PO₄⁻ iyonlarıyla yer değiştirmesi sonunda fosforun kuvvetle bağlandığı ya da alınamaz forma girdiği kabul edilmektedir. Bu tür fiksasyon 1:1 tipi killerde, 2:1 tipi killere oranla daha fazla görülmektedir. Ayrıca, kil minerallerindeki Fe ve Al' un koordinasyon çemberine giren P iyonları, çok kuvvetle bağlandığında bitki tarafından alınamaz forma dönüşmektedir. Fosfor fiksasyonu, 1:1 tipi killerde 2:1 tipi killere oranla yapısında Fe ve Al hidrate oksitler daha fazla bulunduğu için daha yüksek olmaktadır (Güzel ve ark., 2002).

Fosfor, topraklarda katı faz tarafından oldukça güçlü bir şekilde tutulmaktadır. Bunun sonucunda topraklara gübre olarak verilen fosforun büyük bir kısmı katı fazda tutunmakta ve gübrenin bitkiye yararlılığı azalmaktadır. Bu nedenle, toprağın adsorpsiyon kapasitesini bilmek toprak kalitesi ve doğru bir gübreleme yönetimi için son derece önemlidir (Korkmaz ve İbrikçi, 2010). Tarımsal üretim sisteminde her yıl uygulanan fosforlu gübreler yaklaşık % 80-85 oranında topraklarda adsorpsiyon, çökme veya organik bileşikler oluşturarak bitkilerin alamayacağı forma dönüşmektedir (Kılıç ve Korkmaz, 2012). Topraklara sürekli ve kontrolsüz biçimde fosfor uygulamalarının bir sonucu olarak fosfor topraklarda üst kısımda birikmesine residual (artık) etki de denilmektedir (Kılıç ve Korkmaz, 2012). Fosforlu gübre uygulamalarında bu artık etkinin dikkate alınarak toprakların inorganik fosfor içeriğinin toprak analizleri ile belirlenmesi fosforun etkin kullanımı açısından gereklidir.

Gallet, (2003), yedi yıllık bir çalışmada bitkilerin ihtiyaç duyduğu miktarın üzerinde toprağa uygulanan fosforlu gübrelerin özellikle toprağın 0-20 cm' lik kısmında biriktiğini, toplam ve inorganik formda bulunan fosfor içeriğinin arttığını, ilerleyen yıllarda ise uygulama yapılmayan topraklarda toplam, organik ve inorganik fosfor formlarının önemli oranlarda azaldığını belirtmiştir. Araştırmacılar, toprağa uygulanacak olan fosforlu gübrelerin miktarının belirlenmesinde residual (artık) fosforun da miktarının göz önüne alınması gerektiği ve bitkilerin residual fosfordan % 22.5 ile % 62.7 oranında faydalandığı bildirilmektedir. Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda Sahrawat (2000), uygulanan fosforlu gübrelerle toprakların inorganik fosfor içeriklerinin arttığını ve topraklarda ilk yıl uygulamasından sonra artık etkinin oluştuğunu belirtmiştir. İbrikçi ve ark., (2005), yürüttükleri 5 yıllık deneme

sonucunda yıllık olarak 30-60 kg P ha⁻¹ uygulamalarında 5. yılın sonunda fosforun artık etkisinin görülmeye başladığını belirtmişlerdir. Uzun yıllar bilinçsiz bir şekilde aşırı miktarda uygulanan fosforlu bileşiklerin artık etkileri gübreleme çalışmalarında göz önünde bulundurulmalıdır.

2.2. Bitkilerde Fosfor

Fosfor bitki gelişimi için gerekli olan önemli bir bitki besin elementidir. Fosfor bitkilerde organik ve inorganik bileşikler halinde bulunmaktadır (Blair, 1993). Bitkinin vejetatif büyüme döneminde, optimal büyümesi için gerekli fosfor miktarı, bitki kuru madde ağırlığının yaklaşık % 0.2-0.5'ini oluşturmaktadır (Güzel ve ark., 2002). Fosforun bitki gelişimi süresince en önemli görevi enerji depolama ve transferidir. Fosfat bitkilerin yapısı içinde ADP (Adenosin-difosfat) ve ATP (Adenosin-trifosfat)'nin herhangi birinde merkezi element olarak görev yapar ve enerji taşınmasını sağlar. Bu yaşamsal metabolik rolden başka fosfor, bitki hücrelerinde nükleik asitlerin, nükleotidlerin, fosfoproteinlerin, fosfolipidlerin ve şeker fosfatların yapısında bulunmaktadır (Vance ve ark., 2003; Shen ve ark., 2011).

Bitkiler, toprak çözeltisinden fosfor elementini çoğunlukla inorganik olarak birincil orto fosfat (H₂PO₄⁻) ve ikincil orto fosfat (HPO₄⁻²) formlarında absorbe etmektedirler (Marschner, 1997). Bitkiler sadece inorganik formdaki fosfordan faydalanmazlar aynı zamanda, organik formdaki nükleik asit, fitin (phytin) ve toprak organik maddesinin parçalanma yada ayrışma ürünleri ile ortama gelen formlarından da faydalanırlar (Vance ve ark., 2003).

Bitkiye yarayışlı P'un düşük olduğu topraklarda, toplam P miktarı oldukça yüksek düzeyde bulunabilmektedir. Topraklarda düşük fosfor koşullarında, fosforlu gübrelerin kullanımını azaltmak ve bitkilerin fosfor kullanım etkinliğini artırabilmek için bitkiler arasındaki genotipsel farklılıklar üzerinde durulması gerekir (Korkmaz ve ark., 2009). Toprak çözeltilerinin çoğunda yarayışlı fosfor konsantrasyonu 2 µM civarında iken (Ragothama, 1999) gübrelenen alanlardaki toprak çözeltisinde ki fosforun nadir olarak 8 µM' i geçtiği (Hammond ve ark., 2004), bu konu hakkındaki başka bir bulgu ise toprak çözeltisindeki yarayışlı fosforun çok nadir 10 µM üzerine çıktığıdır (Marschner, 1997; Schachtman ve ark., 1998; Ragothama, 1999 ve Shen ve ark., 2011). Bitki hücrelerinde bu konsantrasyonun toprak çözeltisinden 10.000 kat

daha fazla olduğu düşünöldüğünde, bitkilerin toprak çözeltilisinden fosforu almaları bir problem olarak ele alınabilir (Rausch ve Bucher 2002; Shin ve ark., 2004). Normal fizyolojik koşullar altında bitki de Pi konsantrasyonu toprağı göre daha yüksektir. Bu nedenle fosforun bitki hücrelerine alınması için enerji gerekmektedir. Bu süreç inaktif iyon prosesi ile açıklanması birçok araştırmacı tarafından desteklenmektedir (Korkmaz, 2005).

Bitkiler, topraklarda fosforun düşük olduğı koşullarda birçok morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler adaptasyon mekanizmaları geliştirebilirler (Ragathoma, 1999; Abel ve ark., 2002; Stone ve ark., 2003; Hammond ve ark., 2004; Plaxton, 2004). Bitkiler noksanlığın şiddetini azaltarak fosfordan daha etkin yararlanabilmek için kök/gövde oranını artırabilirler. Düşük fosfordan yararlanabilmek için kılcal kök gelişimi, kök çapının azalması, kök ağırlığını düşürüp kök yüzey alanının artırılması gibi yapısal değışikliklerin yanı sıra kökler aracılığıyla karboksilatlar ve bazı organik asitler (sitrata, malata, aveneik asit, muguneick asit) salgılayarak noksanlığın giderilmesi için stratejiler geliştirebilmektedir. Fosfor noksanlığında bitkide meydana gelen tepkilerde gövde ve kökün her ikisinde de meydana gelen değışimler genler ile açıklanabilmektedir (Hammond ve ark., 2004; Ragathoma 1999). Düşük fosfor koşullarında 100'den fazla genin fosfor kazanımı açısından bitkilerde önemli rolü olduğunu belirtilmiştir (Vance ve ark., 2003; Hammond ve ark., 2004). Topraklarda düşük fosfor koşullarında bitkilerde karboksilat salgıları teşvik edilmektedir, ancak bu olay bitki türleri arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Bitkiler kökleri aracılığıyla karboksilat ve organik asitlerin yanı sıra H⁺ ile OH⁻ salgılayarak da rizosfer pH' sını değıştirmek suretiyle topraklarda fosforun çözünürlüğünü artırabilirler (Shen ve ark., 2011).

Fosfor noksanlığına adapte olabilen bitkilerin özellikle kök yapılarında ve kök bölgesinde meydana getirdikleri değışimler önemle üzerinde durulması gereken bir konudur. Kökler, genellikle toprağın % 1' i ya da daha azında yaşarlar, toprağın besin elementi içeriğı ve gözeneklilik durumuna bağılı olarak köklerin % 3' e kadar yaşaması sağlanabilir (Walker ve ark., 2003; Coetzee, 2013). Toprak boyunca köklerin büyümesi ve gelişmesi iyon absorpsiyonu için önemli bir mekanizma olan kök emilimini arttırır. Kökün toprak iyon çözeltilisinden daha fazla faydalanması, köklerin geliştirilmesi ve daha yüksek hacimde toprakla temasa geçmesine bağılı

olarak artar. Bu iyonların absorpsiyonu kökün temas mekanizmasıyla oluşmaktadır (Havlin ve ark., 1999; Coetzee, 2013, Hailing ve ark., 2013). Fosforca fakir topraklarda yetiştirilen bitkiler daha fazla fosfordan faydalanmak için kök morfolojisinde ve mimarisinde yaptıkları temel değişimlerin başında kök tüyü oluşumu gelmektedir. Kök tüyleri topraklardan fosfor alınımında anahtar rol üstlenerek kök yüzey alanını önemli oranda artırmaktadır. Kök tüyleri kökün aktif kısmını oluşturmaktadır ve alınan fosforun yaklaşık % 80' ine kadar bitkilere katkı sağlayabilmektedir (Hailing ve ark., 2013). Imeda ve ark., (2008), besin elementlerinin noksanlığının giderilmesinde kök yüzey alanının artırılmasının bitki gelişimi için önemli olduğunu belirtmişlerdir. Yeterli besin elementi bulamamanın bitkilerde oluşturduğu stresin sonucu olarak, bitkiler geliştikleri ortamda yeterli miktarda P alamadıklarında toprak üstü organlarında büyümeyi yavaşlatıp hatta durdururken kök büyümesine hız verirler. Bu sayede bitki daha fazla toprak ile değinim sağlamakta, toprakta bulunan fosfor ve öteki besin elementlerinden daha fazla yararlanmaya çalışmaktadır (Marschner, 1995).

Solaiman ve ark., (2007), yapmış oldukları çalışmada P-etkin kanola çeşidinde P-etkin olmayan çeşidi ile karşılaştırıldığında daha yüksek toplam kök uzunluğu olduğunu belirtirken yürütülen diğer bir araştırmada benzer şekilde yüksek fosfor kullanım etkinliğine sahip olan bitkinin düşük fosfor kullanım etkinliği olan çeşidine kıyasla daha büyük bir yanal kök uzunluğuna sahip olduğunu belirtmişlerdir (Akhtar ve ark., 2008).

Kök sistemlerinin farklı olması, bitkiler arasında P miktarına gösterilen tepkilerde değişkenlik görülmesine yol açmıştır; örneğin buğdayın saçak kök sistemi vardır bu yüzden yerfıstığı sahip olduğu kazık kök ile pulluk tabakasının altında suda çözünmeyen fosforu absorbe edebilirken buğday ancak pulluk tabakasından P alabilir. Bu nedenle buğday yeni uygulanan P gübresine iyi yanıt verirken yer fıstığı yeterli miktarda varsa birikmiş fosfora daha iyi tepki gösterir (Marschner, 1995; Havlin ve ark., 1999; Coetzee, 2013).

Magalhaes ve ark., (2011), iki farklı P ($4 \text{ mg/dm}^3 \text{ P}$ ve $20 \text{ mg/dm}^3 \text{ P}$) konsantrasyonu oluşturularak hazırlanan parsellerde 8 farklı mısır çeşidi kullanarak kuru madde ve kök morfolojisi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada farklı P dozlarının yeşil aksam ve kuru madde üzerinde herhangi önemli etkiye sahip

olmadığını bununla birlikte düşük P koşullarında bazı bitki çeşitlerinin kök yüzey alanı, toplam kök uzunluğu, ince kök uzunluğu ve kılcak kök uzunluğu gibi kök morfolojisinde önemli değişimler meydana getirdiklerini saptamışlardır.

Hailing ve ark., (2013), arpa bitkisinde kök ve gövde gelişimi ve fosfor alınımının açısından genotipler arasında önemli farklılıklar olduğunu ve fosfor uygulamalarının belirtilen bitkisel parametreleri önemli ölçüde artırdığını belirtmişlerdir. Bitkilerde kök uzunluğu ve kök tüylerinin fosfor alınımında kilit rol üstlendiklerini belirten araştırmacılar, bitkiler arasında her bir birim kök uzunluğu için fosfor alınımı açısından yaklaşık 3 katlık bir artış olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlar bitkiler arasında kökün gelişiminde meydana gelen farklılıkların fosfor kazanımı açısından önemli bir özellik olduğunu göstermektedir.

Fosfor noksanlığı koşullarında bitkilerin köklerinde bazı morfolojik, fizyolojik değişimlerin yanı sıra biyokimyasal değişikliklerinde olduğu bilinmektedir. Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda, Bertrand ve ark., (1999), kireçli topraklarda fosfor hareketliliğinin düşük olduğunu, fosfor fiksasyonunda demir oksitler ve kalsitin etkili olduğunu ve bitki köklerinin OH^- ve H^+ iyonlarını salgılayarak rizosfer pH' sını hızla değiştirebildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca mısır ve kolza bitkisinin kökleri aracılığı ile H^+ iyonu salgıladığı ve rizosfer pH' sını düşürdüğünden, DTPA' da çözünebilir Fe miktarının arttığını da belirtmişlerdir. Bu çalışmaya benzer olarak mısır bitkisi ile laboratuvar koşullarında yürütülen çalışmalarda rizosfer bölgesindeki fosfat aktivitesi ile bitki kökünden salgılanan asit fosfataz arasında önemli ilişki olduğu saptanmıştır (Chen ve ark., 2008, 2009). Bitkilerde kök tarafından salgılanan asit fosfataz ile fosfor etkinliğinin ilişkili olduğu belirtilmektedir (Zhang ve ark., 2009, 2010). Topraktaki fosforun kullanılabilirliği organik formdaki fosforun mineralizasyonu ile yakından ilişkilidir. Fosforun kazanımı ve yararlılığının düzenlenmesinde bitkiler tarafından salgılanan kök salgılarının özellikle de asit fosfatazın önemli olduğu bilinmektedir. Topraktaki organik fosforun yararlı hale geçmesi için ilk olarak asit fosfataz tarafından hidrolize uğraması gerekmektedir. Düşük fosfor koşullarında bitki kökü tarafından salgılanan asit fosfataz rizosfer bölgesindeki organik fosforun hidrolizi ve taşınımı için bitki tarafından geliştirilen önemli bir adaptasyon mekanizması olabilmektedir. Qiu ve ark., (2014), yürüttükleri araştırmada düşük ve yüksek fosfor yarayışlılığı koşullarında farklı mısır genotiplerinin asit fosfataz

salgılanması üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonuçlarında ise fosfor kullanım etkinliğinin büyük ölçüde mısıır bitkisinde asit fosfataz varlığına bağlı olduğunu ve çeşitler arasında farklı fosfor koşullarına göre asit fosfataz aktivitesinin değiştiğini belirtmişlerdir. Araştıııcılar ayrıca düşük fosfor koşullarına adapte olabilen mısıır genotiplerinin belirlenmesinin ıslah çalışmaları için oldukça önemli olduğu ifade etmiştir.

2.3. Bitkilerde Fosfor Etkinliği

Etkinlik; tane ürünü ve biomas oluşturmak üzere bitkinin besin maddesini alım ve kullanım kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Gourley ve ark., 1993). Fosfor etkinliği birçok araştııımacı tarafından değişik Őekillerde tanımlanmıştır. Genel olarak toprakta bulunan fosforun bitkiler tarafından alınması ve bitkinin ilgili organlarına gönderilerek etkin bir Şekilde kullanma yeteneği olarak kabul görmüştür. Bu tanımın paralelinde Fageria ve Baligar, (1999), da farklı buğday çeşitlerinde artan dozlarda fosfor uygulamalarının bitki verimi üzerine etkilerine göre kullanılan çeşitlerin etkinliklerini 4 grup altında değerlendirmişlerdir. Buna göre ;

- 1- Etkin olmayan ve duyarsız genotipler; toprakta bulunan alınabilir fosfor miktarının yetersiz olduğu koşullarda bitki gelişimi olumsuz etkilenen ve P uygulamasına olumlu tepki vermeyen çeşitlerdir.
- 2- Etkin ve duyarsız genotipler; toprakta bulunan alınabilir fosfor miktarının yetersiz olduğu koşullarda bitki gelişimi olumsuz etkilenmeyen ve P uygulamasına olumlu tepki vermeyen çeşitlerdir.
- 3- Etkin olmayan ve tepkili genotipler; toprakta bulunan alınabilir fosfor miktarının yetersiz olduğu koşullarda bitki gelişimi olumsuz etkilenen ancak P uygulamasına olumlu tepki veren çeşitlerdir.
- 4- Etkin ve tepkili genotipler; toprakta bulunan alınabilir fosfor miktarının yetersiz olduğu koşullarda bitki gelişimi olumsuz etkilenmeyen ama P uygulamasına olumlu tepki veren çeşitlerdir.

Fosforlu gübrelerin topraklara çok yüksek miktarda uygulanmasına rağmen uygulanan fosforun sadece bir kısmı topraktan alınır ve bitkiler tarafından kullanılmaktadır. Toprağa fosforlu gübrenin uygulandığı yıl fosfor kullanım etkinliği

sadece % 5-10 civarındadır ve uygulanan fosforun çoğu toprakta fikse olmaktadır veya fosfor topraklardan, özellikle da hafif bünyeli topraklardan yıkanarak uzaklaşabilir. Toprakta fosfor fiksasyon yoluyla tutulsa da bir sonraki yıl yapılan gübrelemede fosfor kullanım etkinliği (PUE) % 25' ten daha düşük olduğu belirtilmektedir (Ma ve ark., 2005).

Gübre kullanım etkinliği açısından toprak analizleri ve toprak örnekleme tekniği de önemlidir. Nitekim tarım alanlarında, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin son derece değişken olduğu bilinen bir gerçektir. Seri, hatta tarla bazında dahi toprak özellikleri mesafe ye bağlı önemli farklılıklar göstermektedir (Santra ve ark., 2008). Bilinçsiz gübre kullanımı sonucu örneğin azot topraktan yıkanarak ya da gaz halinde uzaklaşmaktadır. Fosfor ve potasyum gibi besin maddeleri ise yarıyımsız formlara dönüşmektedir (Gyaneshwar ve ark., 2002; Barlog ve Grzebisz, 2004). Artan gübre kullanım etkinliği ile besin maddesi kaybındaki azalmaların orantılı olduğu bildirilmiştir (Li ve ark., 2007).

Topraklarda düşük fosfor koşullarında fosfor kullanım etkinliği için genç bitkilerde genotipsel farklılıkların belirlenmesinin sağlıklı bir ürün yetiştirilmesi için potansiyel bir kriter olduğu bir çok araştırmacı tarafından belirtilmektedir (Romer ve Schenk, 1998; Akhtar ve ark., 2008). Bitkinin kök sistem mimarisi, morfolojisi ve biyokimyası topraktan besinleri elde etmesini, özellikle fosforun ve böylece fosfor kullanım etkinliğini de büyük ölçüde etkileyebilmektedir (Lynch, 2007; Hammond ve White, 2008).

Ürün miktarı göz önüne alındığında, fosfor gübresinin etkinliği temelde fosfordan bitkinin yararlanma miktarına, bitkinin gübresiz topraktan ne kadar faydalanabildiğine bağlıdır (Goswami ve ark., 1990). Etkinlik ayrıca gerekli olan optimum büyümeyi karşılamak için sağlanan fosfor oranına bağlıdır. Yüksek P kullanım etkinliği ise, alınan birim P' un yeşil aksamda verimli kullanımı ile ilgili mekanizmaları kapsamaktadır. Bitki türlerinin toprak fosforundan yararlanmalarına ilişkin adaptasyon mekanizmaları aynı türün genotipleri arasında bile farklı olabilmektedir (Gahoonia ve ark., 2001).

Topraklara uygulanan fosforun bitkiler tarafından alınabilirliğinin düşük olması gibi bir problemin üstesinden gelebilmek için PUE artırmak geçerli bir stratejidir

(Manske ve ark., 2002). Fageria ve Baligar, (1999), yaptıkları çalışmada 0 ppm (düşük P), 75 ppm P (orta P) ve 150 ppm P (yüksek P) uygulayarak 15 buğday çeşidinin fosfor etkinliğini araştırmışlar ve bu çalışmada çeşitler arasında fosfor kullanımını açısından önemli farklar olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca konu ile ilgili yapılan diğer çalışmada, düşük ve yüksek fosfor koşullarında yetiştirilen mısır genotiplerinin bitki ağırlıkları, gövde ve kök ağırlıkları, besin elementi alımı ve kullanımını açısından önemli farklar gösterdiklerini belirtmişlerdir (Fageria ve Baligar, 1997). Xin-kai ve ark., (2012), ise buğday bitkisine 5 farklı fosfor dozu uygulamış ve P dozunun artmasıyla tane veriminin arttığını ve bunun aksine fosforun kullanım etkinliğinin azaldığını saptamışlardır.

İbrikci ve ark., (2009), yapmış oldukları çalışmada farklı mısır genotipleri kullanılarak sera koşullarına altı farklı toprak serisine 0, 25, 50, 100 ve 200 mg P kg⁻¹ oranlarında fosfor uygulanmıştır. Araştırma sonucunda fosfor uygulamaları ile kuru madde verimi ve fosfor içeriği arasında toprak serilerine göre önemli farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir. Bazı genotipler P stresi altında daha yüksek performans göstermişlerdir. Fosfor noksanlığı koşullarında, bitkilerde fosfor kullanım etkinliği için genetik değişkenliğin en güvenilir göstergesinin erken gelişim döneminde bitkilerde kuru madde verimi olduğunu belirtmişlerdir. Fosfor kullanım etkinliğinin artması, bitkilerde verimliliğin artması, yatırım maliyetlerinin azaltılması, ekolojik ve çevresel risklerin en aza indirilmesi için ideal bir stratejidir (Iqbal ve ark., 2003).

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme Yeri ve Yılı

Araştırma, 2013 yılı bahar döneminde Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Çiftliğinde, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü serasında kontrollü şartlarda amaca uygun bir şekilde kurulmuştur.

3.1.2. Deneme Toprağının Özellikleri

Denemede ortam olarak kullanılan toprak; Ordu il sınırları içerisinde tarım yapılan arazilerden örnekler alınarak taranmıştır. Deneme materyali olarak, toprak örneklerindeki fosfor içerikleri belirlendikten sonra düşük fosfor içeriğine sahip olan toprak seçilmiştir. Araştırmada kullanılan toprak örneği temiz bir zemin üzerinde gölgede bir hafta süre ile hava kuru hale gelinceye kadar bekletilmiştir. Toprak örneğindeki iri taşlar ve bitkisel atıklar elle ortamdan uzaklaştırılmıştır. Örnekteki kesekler tahta tokmaklar ile yapısı bozulmayacak şekilde parçalanmıştır. Daha sonra 4 mm'lik elekten geçirilen toprak deneme materyali olarak kullanılmıştır.

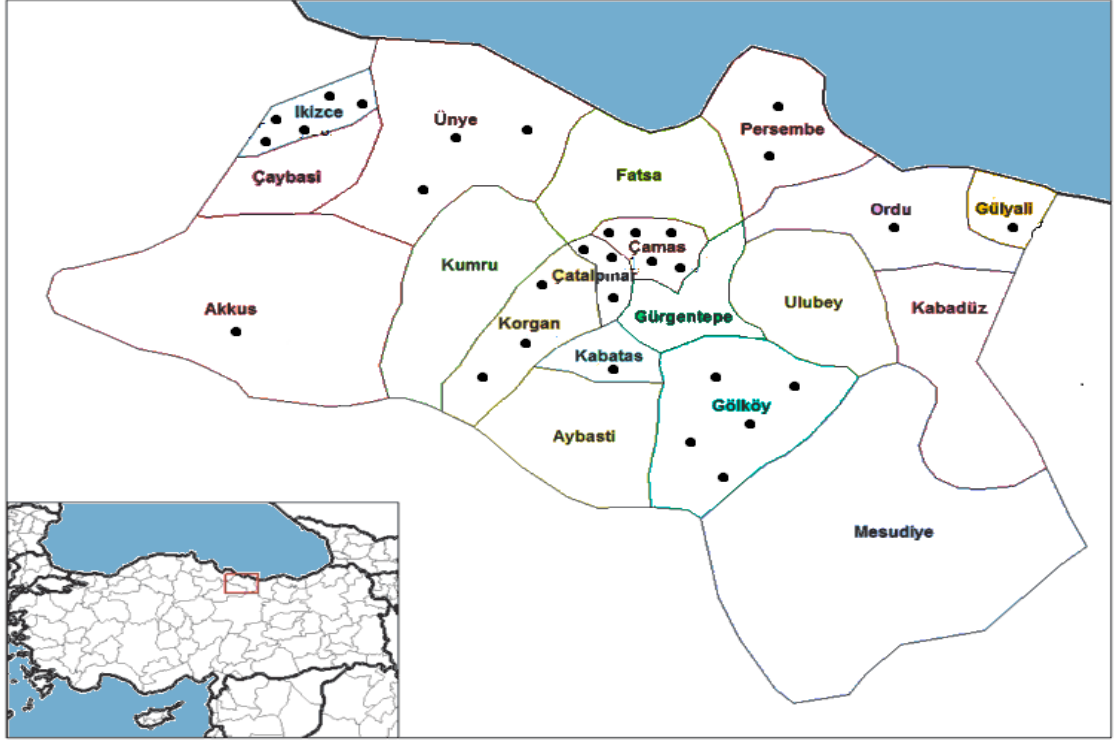
Çizelge 3.1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tekstür	pH	EC	O.M	Kireç	N	P	K	Fe	Zn	Cu	Mn
		dS m ⁻¹		%				mg kg ⁻¹			
Kumlu Tın	7.9	0.18	0.3	5.3	0.015	7.2	64.7	15.2	7.7	5.6	2.6

Deneme toprağı incelendiğinde (Çizelge 3.1.); kumlu tın tekstüre sahip olup, hafif alkali, tuzsuz, orta seviyede kireçli, organik maddesi çok az, azot ve fosfor ve potasyum yetersiz olarak belirlenmiştir. Deneme toprağının mikro element içerikleri ise, demir ve bakır konsantrasyonu yeterli, mangan konsantrasyonu az, çinko konsantrasyonu fazla olarak belirlenmiştir.

3.1.3. Denemede Kullanılan Mısır Genotipleri

Sera denemesinde, uzun yıllar aynı bölgede yetiştirilen, bölgeye çok iyi adapte olmuş farklı 30 yerel mısır genotipi Akkuş, Çamaş, Çatalpınar, Gököy, Gülyalı, İkizce, Kabataş, Korgan, Merkez, Perşembe ve Ünye ilçelerinden toplanarak deneme materyali olarak kullanılmıştır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1 Yerel mısır genotiplerinin alındıkları lokasyonlar

3.2. Metod

Konu ile ilgili deneme, Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Çiftliğinde, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü araştırma serasında 25 Temmuz 2013 yılında kurulmuş olup, bitkiler 20 Eylül 2013 tarihinde yaklaşık 8 haftalık (54 gün) bir sürede hasat edilmiştir. Deneme her saksıya hava kurusu 3 kg toprak gelecek şekilde 3 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülmüştür. Her saksıya 8 adet mısır tohumu ekilip daha sonra çimlenmeyi takiben her saksıda 3 bitki kalacak şekilde seyreltilmiştir.

Ekim öncesi her saksıya temel gübreleme olarak 350 mg N kg⁻¹ Amonyum sülfat (NH₄SO₄), 125 mg K kg⁻¹ Potasyum sülfat (K₂SO₄) uygulanmıştır. Bununla birlikte 3

farklı fosfor 0, 50, 100 mg P kg⁻¹ dozu Potasyum di hidrojen fosfat (KH₂PO₄) formunda uygulanmıştır. Uygulamalar sırasında KH₂PO₄ kaynağından uygulanan potasyum miktarları hesaplanarak Potasyum sülfat (K₂SO₄) ile her saksıya eşit olacak şekilde ayarlanmıştır.

Ekimi takiben bitkilerde fosfora bağlı olarak gelişim farklılıklarının meydana geldiği dönemde, yaklaşık 8 hafta sonra toprak yüzeyinin 1 cm üzerinden, tüm bitkiler eşit seviyeden kesilerek hasat edilmiştir. Hasat sonrasında topraklar iyice sulanarak yumuşatılmış ve daha sonra bol su ile yıkanarak her saksıdan kök kaybı olmayacak şekilde kökler çıkarılmıştır. Hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra bitki örnekleri saf su ile yıkanıp, 65 °C' de 48 saat etüvde kurutulduktan sonra, bitki öğütme değirmeninde öğütülüp, analizler için hazır hale getirilmiştir.

3.2.2. Toprak Örneklerinde Yapılan Rutin Analizler ve Uygulama Metotları

Toprak örnekleri hava kurusu olarak 2 mm' lik elekten geçirilmiş ve analize hazır hale getirilmiştir. (Richard, 1954).

3.2.2. 1. Toprak Reaksiyonu (pH):

1:2.5 oranında toprak:su (10 g/ 25 ml) karışımının çalkalama makinesinde 5 dakika çalkalanmasından sonra, cam elektrotlu pH-metre yardımıyla ölçülmüştür (Richard, 1954).

3.2.2. 2. Toprakta Total Tuz (EC):

Total tuz, örneklerin doygunluk çamurunda hazırlanarak kondaktivite aleti ile elektriksel geçirgenliğin ölçülmesi suretiyle belirlenmiştir (U.S. Soil Survey Staff, 1951).

3.2.2. 3. Toprak Tekstürü:

Toprak taneciklerinin büyüklüklerine göre kum, silt ve kil olarak toprak içerisindeki yüzde içerikleri (toprak tekstürü), Bouyoucos hidrometre yöntemi ile ölçülmüştür (Bouyoucos, 1951). Bu yöntemde, taneciklerin süspansiyonda çökme hızından büyüklükleri hesaplanmaktadır. Toprakların tekstürlerine göre; Soil Survey Staff (1951)' deki tekstür üçgeni esas alınarak tekstür sınıfları belirlenmiştir.

3.2.2. 4. Toprağın Kireç İçeriği:

Toprakta bulunan kalsiyum karbonatın (CaCO_3) seyreltik hidroklorik asit (HCl) ile tepkimesi sonucu açığa çıkan karbondioksit (CO_2) miktarının, kapalı bir sistemde (Scheibler kalsimetresi) standart sıcaklık ve basınç altındaki karbondioksit gazı hacminden hesaplandığı, kalsimetrik yöntem ile ölçülecektir (Schlichting ve Blume, 1966).

3.2.2. 5. Organik Madde:

Walkey-Black ıslak yakma yöntemiyle toprakta bulunan karbonun saptanması ve buradan organik madde miktarının hesaplanması Nelson ve Sommers, (1982)' da belirtildiği şekilde yapılmıştır.

3.2.2. 6. Toplam Azot :

Kjeldal yaş yakma yöntemi ile belirlenmiştir (Bremmer, 1965).

3.2.2. 7. Yarayırlı Fosfor:

Yarayırlı fosfor analizi Olsen ve ark., (1954) tarafından sodyum bikarbonat çözeltisi kullanılarak yapılan yöntemin değiştirilmiş şeklinde, askorbik asit ve çok düşük konsantrasyonda antimonil içeren asitlendirilmiş tek bir amonyum molibdat çözeltisi kullanılması ile yapılmıştır (Watanabe ve Olsen, 1965).

3.2.3. Bitki Örneklerinde Yapılan Rutin İşlemler

3.2.3.1. Bitki Örneklerinin Analize Hazırlanması

Bitki örneklerinde kuru madde verimleri belirlendikten sonra agat değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülen bitki örneklerinden 0.200 g tartılarak yüksek sıcaklığa dayanıklı cam şişelere konmuştur. Kuru yakma yöntemine göre kül fırınında $550\text{ }^\circ\text{C}$ ' de 6 saat süreyle yanan numunelerden elde edilen küle 2 ml $1/3$ HCl ilave edilip saf su ile 20 ml' ye tamamlandıktan sonra mavi-bant filtre kağıdı ile süzülerek örneklerin analize hazırlama işlemi tamamlanmıştır.

3.2.3.2. Bitki Örneklerinde Fosfor Analizi

Bitki örneklerinde fosfor konsantrasyonu Olsen ve Watanable (1957)' nin geliştirmiş olduğu molibdofosforik mavi renk esasına dayalı spektrofotometrik yöntem ile belirlenmiştir.

3.2.3.3. Bitkilerde kök uzunluğu hesaplanması

Bitkilerde kök uzunluğu hesap edilebilmesi için kök yaş ağırlıkları alınan kök örneklerinden alt numuneler alınarak Tennant (1975) yöntemine göre 1 cm x 1 cm grid sisteminde kök sayımları yapılarak,

$$L = \frac{\pi * A * N}{2H}$$

L = Kök uzunluğu (cm)

A = Kullanılan grid sistemin alanı (cm²)

N = Grid sistemde yatay ve dikey sayımların toplamı

H = Enine ve boyuna çizgilerin toplam uzunluğu

formül yardımıyla hesaplanmıştır.

3.2.3.4. Bitkilerde fosfor etkinliğinin hesaplanması

Etkinlik; tane ürünü ve biyomas oluşturmak üzere bitkinin besin maddesini alım ve kullanım kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Gourley ve ark., 1993).

Etkinlik İndeksinin (EI) hesaplanması için bitkilerin gövde fosfor içeriği ve kuru madde verimleri kullanılarak (g²/gövde P konsantrasyonu) hesaplama yoluyla bulunmuştur (Siddigi ve Glass, 1981).

Bitkilerde fosfor etkinliği ise; etkinlik indeksi ve oransal kuru madde artışı (P₁₀₀/P₀) esas alınarak sınıflandırılmıştır (Korkmaz ve ark., 2009).

3.2.4. Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışma 3 tekrarlı olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre serada saksı denemesi şeklinde yürütülmüştür. Araştırmada elde edilen veriler SAS v. 9.0 istatistik programında varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamaların karşılaştırılmasında LSD (Least Significant Differences) metodu kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1.Yerel Mısır Genotiplerinde Kuru Madde Miktarı

4.1.1 Gövde Kuru Madde Miktarı

Araştırmada kullanılan 30 farklı yerel mısır genotiplerinin, 3 farklı dozda fosfor (0, 50, 100 mg P kg⁻¹) uygulamaları altında ortalama gövde kuru madde ağırlığıyla ilişkili veriler Çizelge 4.1.' de verilmiştir. Bitki kuru madde ağırlıkları ele alınarak yapılan istatistiksel analiz sonucuna göre genotip, doz ve genotip ile doz etkileşimi önemli (P<0.001) bulunmuştur.

Yerel mısır genotipleri gövde kuru madde miktarları açısından değerlendirildiğinde en yüksek kuru madde verimi 30.45 g saksı⁻¹ ile 5 numaralı genotipte ve en düşük kuru madde miktarı ise 16.92 g saksı⁻¹ ile 20 numaralı genotipte belirlenmiştir (Çizelge 4.1.). Diğer yerel mısır genotipleri bu iki değer arasında dağılım göstermiştir. Yerel mısır genotipleri istatistiki olarak incelendiğinde 5, 2 ve 19 numaralı genotipler en yüksek gövde kuru madde miktarına sahipken, bu genotipler arasında istatistiki olarak farklılık görülmemiştir. Deneme sonuçları incelendiğinde yerel mısır genotipleri fosfor kullanımı açısından değerlendirildiğinde genotipler arasında önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.1.). Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda bitkilerde fosfor kullanım etkinliklerinin farklı olduğu ve çeşitler arasında fosfor kullanım etkinlikleri açısından önemli farklılıklar olduğu belirtilmiştir (Korkmaz, 2005; İbrikci ve ark., 2009; Korkmaz ve ark., 2009). Yerel mısır genotipleri üzerinde yürütülen bu çalışmada çeşitler arasında önemli farklılıklar oluşması bitkilerin fosfor kullanım etkinliğindeki farklılıklardan dolayı meydana gelebilir. Bitki türleri hatta aynı türün çeşitleri arasında fosfor kullanımı açısından farklılıklar olduğu bilinmektedir (Fohse 1991; Korkmaz ve ark., 2009).

Fosfor dozları ve gövde kuru madde verimleri arasındaki ilişki incelendiğinde (Çizelge 4.1.), fosfor uygulaması yapılmayan kontrol dozunda yerel mısır genotiplerinde ortalama 9.47 g saksı⁻¹ ile en düşük kuru madde verimi elde edilmiştir. Artan fosfor dozlarıyla birlikte 50 ve 100 mg P kg⁻¹ dozlarında sırasıyla 23.67 g saksı⁻¹ ve 37.31 g saksı⁻¹ olacak şekilde gövde kuru maddelerinde artış olmuştur. Araştırmaya konu olan yerel mısır genotiplerine uygulanan fosfor, bitkilerde gövde

kuru ağırlığını önemli oranda artırmıştır. İbrikci ve ark., (2009), farklı toprak serilerinde 10 mısır çeşidinin farklı fosfor uygulamaları (0, 25, 50, 100 ve 200 mg P kg⁻¹) altında yürüttükleri çalışmada en yüksek kuru madde veriminin 100 mg P kg⁻¹ dozunda gerçekleştiğini ve kuru madde miktarlarının 8.2-13.6 g saksı⁻¹ arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bu bulgular ile kıyaslandığında yürütülen araştırma sonuçları, kontrol dozunda benzerlik göstermesine karşın artan fosfor dozu ile birlikte farklılık göstermektedir. Araştırma konusu olan yerel mısır genotiplerinin fosfor uygulaması ile birlikte kuru madde verimleri oldukça artmıştır. Bu farklılık toprak özellikleri ve bunun yanı sıra genotipsel farklılıklardan kaynaklanmaktadır. İbrikci ve ark., (2009), yaptıkları çalışmada topraklar yüksek pH' nın yanı sıra düşük Zn içeriğine sahip topraklardır. Araştırmacılar fosfor uygulamaları ile birlikte Zn noksanlığının şiddetlenmesine bağlı olarak kuru madde veriminin önemli ölçüde azaldığını ve çeşitler arasında da önemli farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir. Fosforun bitkilere yararlılığı açısından genotipsel farklılıkların yanı sıra toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri; özellikle de pH oldukça dikkat edilmesi gerekli bir konudur. Konuyla ilgili yapılan benzer çalışmalarda mısır ile birlikte farklı bitkilerde de Korkmaz, (2009) buğdayda, Baydemir, (2013) fasulyede, Altıntaş, (2013) kolzada, Mustonan ve ark., (2014), mısırdaki uygulanan fosfor dozlarına bağlı olarak bitkilerin kuru madde miktarlarının önemli oranda arttığını belirtmektedir. Bu artış fosforun bitkiler için mutlak gerekli bir element olarak yüksek enerjili pirofosfat bağlarının oluşmasında temel faktördür. Bu bağlara sahip ATP bitkilerde nişasta sentezi için temel enerji kaynağıdır. Ayrıca selülozun, fosfolipitlerin ve sakkarozun sentezinde gerekli olan bileşiklerin oluşumunda temel faktörlerden biri olması fotosentez, solunum ve metabolik diğer işlevlerde temel fonksiyonlar üzerine etkilerinden kaynaklanmaktadır. Bitkiler ihtiyaç duydukları fosforun büyük bir kısmını gelişmelerinin ilk döneminde alırlar (Kacar, 2009). Fosforun bitkilerin mısır yetiştiriciliğinde sağlıklı bitki gelişimi için erken gelişim döneminde mutlak topraklarda olması gereklidir.

Çizelge 4.1 Yerel mısır genotiplerinde gövde kuru madde miktarı

P Dozları (mg kg⁻¹)	0	50	100			Ortalama
Genotipler	-----g saksı ⁻¹ -----					
1	7.13 e-i	25.15 P-W	39.23 D-F	23.84	C-D	
2	8.41 g-i	22.18 S-Z	59.25 A	29.95	A	
3	10.63 c-h	21.70 T-Z	33.81 F-L	22.05	E-D	
4	9.32 e-i	29.24 K-P	36.67 E-H	25.08	B-C	
5	9.876 e-i	23.64 P-Y	58.95 A-B	30.45	A	
6	12.93 b-e	19.85 W-a	37.20 E-H	23.33	E-D	
7	8.78 e-i	30.78 J-O	34.73 E-K	24.76	E-D	
8	9.96 d-h	28.44 L-R	33.68 F-L	24.03	B-C	
9	6.71 g-i	28.85 L-Q	31.68 H-N	22.41	E-D	
10	9.33 e-i	26.53 N-U	32.90 G-L	22.92	E-D	
11	5.20 h-i	23.56 Q-Y	52.99 B-C	27.25	B-C	
12	11.39 c-g	17.15 Z-b	39.95 D-E	22.83	E-D	
13	10.76 c-h	25.37 O-W	36.93 E-H	24.35	B-D	
14	9.22 e-i	15.52 a-e	42.93 D	22.56	E-D	
15	7.87 e-i	21.10 U-a	38.85 D-G	22.61	E-D	
16	9.47 e-i	26.42 N-U	33.44 G-L	23.11	E-D	
17	8.83 e-i	23.71 P-Y	30.84 J-O	21.13	E-D	
18	12.61 b-f	22.33 S-Z	31.65 H-N	22.20	E-D	
19	11.15 c-g	24.08 P-Y	52.03 C	29.09	A	
20	4.25 i	18.72 Y-a	27.78 M-S	16.92	G	
21	9.90 e-h	24.72 P-X	35.47 E-J	23.36	E-D	
22	8.10 e-i	23.45 Q-Y	22.95 R-Y	18.17	G-F	
23	7.90 e-i	23.80 P-Y	37.20 E-H	22.97	E-D	
24	15.71 a-c	20.35 V-a	32.90 H-M	22.99	E-D	
25	12.88 b-e	21.68 T-Z	38.85 D-G	24.47	B-C	
26	11.29 c-g	25.53 O-V	31.75 H-N	22.86	E-D	
27	9.96 d-h	27.35 M-S	30.98 I-O	22.76	E-D	
28	8.27 e-i	19.27 X-a	33.45 G-L	20.33	E-F	
29	6.44 g-i	26.73 N-T	36.55 E-I	23.24	E-D	
30	9.98 d-h	22.85 S-Y	34.61 E-K	22.48	E-D	
Ortalama:	9.47 C	23.67 B	37.31 A			
F değerleri						
Genotip	***					
Doz	***					
Genotip x Doz	***					

LSD: 5.61, *** istatistiksel olarak P<0.001 düzeyinde önemlidir.

Araştırma sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.1) genotip ve fosfor etkileşimi arasında istatistiksel olarak ($P<0.001$) önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.1. incelendiğinde gövde kuru madde miktarı 4.3 g saksı^{-1} ile $59.3 \text{ g saksı}^{-1}$ arasında değiştiği görülmektedir. Araştırmada en düşük değer 20 numaralı genotip ile kontrol dozunda elde edilirken en yüksek değer 2 numaralı genotipte ve 100 mg P kg^{-1} dozunda gerçekleşmiştir. İbrikçi ve ark., (2009), yürütmüş oldukları çalışma sonucunda farklı mısır çeşitlerine fosfor uygulamalarının ($0, 25, 50, 100$ ve 200 mg P kg^{-1}) $3.0-30.9 \text{ g}$ arasında kuru madde verimi elde etmişlerdir. Kuru madde verimlerindeki geniş aralık çeşitler arasındaki fosfor kullanım farklılıklarının bir göstergesi olup çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

4.1.2. Kök Kuru Madde Miktarı

Araştırmada kullanılan 30 farklı yerel mısır genotipinin, 3 farklı dozda fosfor ($0, 50$ ve 100 mg P kg^{-1}) uygulamaları altında ortalama kök kuru madde miktarıyla ilgili ortalama veriler ve istatistiki değerlendirmeler Çizelge 4.2.' de verilmiştir. Kök kuru madde ağırlıkları dikkate alındığında yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre, genotip, doz ve genotip ile doz etkileşimi önemli ($P<0.001$) bulunmuştur.

Genotipler arasında kök kuru madde miktarları değerlendirildiğinde en yüksek kök kuru madde miktarı $8.23 \text{ g saksı}^{-1}$ ile 18 numaralı genotipte ve en düşük kök kuru madde miktarı $3.57 \text{ g saksı}^{-1}$ ile 25 numaralı genotipte olduğu tespit edilmiştir. Diğer yerel mısır genotipleri kök kuru madde miktarları açısından bu iki değer arasında dağılım göstermiştir. Bitkinin kök sistem mimarisini, morfolojisini ve biyokimyası topraktan besinleri elde etmesini, özellikle fosforun ve böylece fosfor kullanım etkinliğini de büyük ölçüde etkileyebilmektedir (Lynch, 2007; Hammond ve White, 2008).

Yürütülen deneme sonuçlarına göre çeşitler arasında kök kuru ağırlığı açısından önemli ($P<0.001$) farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Bu farklılıklar bitkiler arasındaki genotip farklılığından kaynaklanabilir.

Fosfor uygulamalarının bitkilerde kök gelişimi üzerine etkileri incelendiğinde (Çizelge 4.2.); fosfor uygulamalarının kök kuru madde miktarı üzerine önemli etkisi olduğu gözlemlenmektedir. Fosfor dozları ve kök kuru madde miktarı arasındaki ilişki istatistiksel olarak önemli ($P<0.001$) bulunmuştur.

Yürütülen denemede, fosfor uygulaması yapılmayan kontrol dozunda mısır genotiplerinde ortalama 3.02 g saksı⁻¹ ile en düşük kök kuru madde miktarı elde edilmiştir. Fosfor dozlarının artırılmasıyla birlikte sırasıyla 6.11 g saksı⁻¹ ve 8.50 g saksı⁻¹ olacak şekilde kök kuru madde miktarları artmıştır. Deneme sonuçları incelendiğinde kontrole göre fosfor uygulaması ile yaklaşık 3 katlık bir kuru madde artışı elde edilmiştir.

Fosfor bitkilerde kök gelişimi açısından değerlendirildiğinde oldukça önemlidir. Mısır bitkisinin erken gelişim aşamasında sağlıklı kök gelişimi açısından mutlak ortamda fosfor yeterli düzeyde bulunmalıdır (Mollier ve Pellerin, 1999). Fosfor noksanlığı koşulları, bitkilerde yüksek gövde/kök oranıyla sonuçlanmaktadır. Konuyla ilgili olarak yürütülen bir çalışmada, yonca bitkisine artan dozlarda fosfor uygulanarak en yüksek miktar olan 50 mg P kg⁻¹ dozunda kök kuru madde miktarında kontrole göre 10 ila 48 kat arasında artışlar olduğu belirtilmiştir (Mugwira ve ark., 1997). Elde edilen veriler incelendiğinde bitkiye uygulanan fosforun kök kuru madde miktarını artırdığı görülmektedir. Marschener ve ark., (2007), lahanada, Jimenez ve ark., (2011), ile Qui ve ark., (2014), mısır bitkisinde fosfor uygulamalarının kök gelişimini arttırdığını belirtmişlerdir. Bu bulgular araştırma sonuçlarını destekler niteliktedir.

Araştırma sonuçlarına göre; genotip ile fosfor etkileşimi arasında istatistiksel olarak (P<0.001) farklılıklar olduğu görülmektedir. Araştırma konusu olan yerel mısır genotipleri özellikle kök kuru madde miktarları bakımından oldukça geniş sınırlar arasında değişen önemli farklılıklar göstermiştir. Mısır bitkisinde kontrol dozunda 1.54 g saksı⁻¹ ile 20 numaralı genotipte en düşük kök kuru madde üretimi elde edilirken, 100 mg P kg⁻¹ dozunda 7 numaralı genotipte 13.14 g saksı⁻¹ ve 9 numaralı genotipte 12.85 g saksı⁻¹ gibi önemli miktarda bir kuru madde verimi elde edilmiştir.

Çizelge 4.2 Yerel mısır genotiplerinde kök kuru madde miktarı

P Dozları (mg kg ⁻¹)	0	50	100		Ortalama
Genotipler	-----g saksı ⁻¹ -----				
1	1.75 l-m	4.73 W-b	7.44 K-R	4.64	L-M
2	2.57 g-m	6.10 Q-W	7.63 K-R	5.43	J-H
3	4.59 Y-d	7.70 J-Q	10.14 B-D	7.48	B-C
4	2.71 e-m	4.41 Z-d	5.79 S-Z	4.30	O-M
5	2.65 f-m	4.03 a-g	6.86 N-T	4.51	L-M
6	3.91 a-i	4.80 V-b	9.30 C-I	6.00	G-H
7	4.18 a-f	6.34 Q-V	13.14 A	7.89	B-A
8	2.64 f-m	7.01 M-S	8.85 D-K	6.17	G-H
9	3.03 d-m	7.19 L-S	12.85 A	7.69	B-A
10	2.51 g-m	6.48 P-U	7.42 K-R	5.47	J-H
11	2.49 g-m	7.73 I-Q	9.96 B-F	6.73	F-C
12	3.46 b-k	6.81 O-U	8.21 G-O	6.16	G-H
13	3.33 b-l	6.99 M-T	10.72 B-C	7.01	B-C
14	3.59 b-k	5.29 U-a	9.49 C-H	6.12	G-H
15	2.11 j-m	4.38 Z-d	9.24 C-J	5.24	L-M
16	3.42 b-k	8.07 H-P	9.96 B-F	7.15	B-C
17	5.34 U-a	7.16 L-S	7.71 I-Q	6.74	F-C
18	4.66 X-c	9.98 B-F	10.04 B-E	8.23	A
19	3.10 c-m	5.44 T-a	5.79 Q-X	4.78	L-M
20	1.54 m	4.50 Y-d	6.56 P-U	4.20	O-M
21	1.60 m	8.52 E-M	11.23 B	7.12	B-C
22	2.04 k-m	4.25 Z-e	6.44 Q-U	4.24	O-M
23	2.25 j-m	6.67 O-U	8.41 F-N	5.78	G-H
24	2.55 g-m	3.97 a-h	8.63 D-L	5.05	L-M
25	2.24 j-m	2.41 h-m	6.06 R-Y	3.57	O
26	3.65 b-j	6.75 O-U	7.37 K-S	5.92	G-H
27	4.65 Y-c	8.80 D-K	7.69 J-Q	7.05	B-C
28	2.33 i-m	6.49 P-U	6.94 M-T	5.25	L-H
29	3.30 b-l	6.66 O-U	9.72 B-G	6.56	G-C
30	2.51 g-m	3.64 b-j	5.32 U-a	3.82	O-N
Ortalama :	3.02 C	6.11 B	8.50 A		
F değerleri					
Genotip	***				
Doz	***				
Genotip x Doz	***				

LSD: 1.60, *** istatistiksel olarak P<0.001 düzeyinde önemlidir.

Konuyla ilgili yürütülen çalışmada mısır çeşitlerinin farklı fosfor uygulamaları (0, 25, 50, 100 ve 200 mg P kg⁻¹) ile 1.8 ile 6.6 g saksı⁻¹ arasında değişen kök kuru madde verimi ürettikleri belirtilmiştir (Korkmaz, 2005). Bu çalışmada kök kuru madde verimlerinin yürütülen çalışma sonuçlarına göre farklılık göstermesi toprakların fiziksel kimyasal özellikleri ile birlikte genotipel farklılıklardan kaynaklanabilir. Fosfora etkin bitkilerin fosfor noksanlığı koşullarında kök ve gövde gelişiminde değişikliğe giderek kök/gövde oranını artırdıkları ve kök yapılarında morfolojik ve kimyasal değişikliğe giderek fosfor yararlanılabilirliğini artırmanın yanı sıra fosfor kullanımı açısından avantaj sağlamaya yönelik stratejiler geliştirdikleri bildirilmektedir (Vance ve ark., 2003; Korkmaz ve ark., 2009; Mustonan ve ark., 2014). Konuyla ilgili olarak yapılan bir diğer çalışmada ise araştırmacılar, mısır bitkisinde fosforun kökler tarafından alınımı açısından genotipik farklılıkların olduğunu ve kök ağırlığından çok kök yüzey alanının fosfor kazanımı açısından önemli olduğu ve fosforun yüksek oranda kök tüyleri tarafından alındığını belirtmişlerdir (Jimenez ve ark., 2011).

4.1.3.Yerel Mısır Genotiplerinde Toplam Kuru Madde Miktarı

Araştırmada kullanılan 30 farklı yerel mısır genotiplerinin, 3 farklı dozda fosfor (0, 50 ve 100 mg P kg⁻¹) uygulamaları altında ortalama toplam kuru madde ağırlığıyla ilişkili veriler çizelge 4.3' de verilmiştir. Bitki kuru madde ağırlıkları ele alınarak yapılan istatistiksel analiz sonucuna göre genotip, doz ve genotip ile doz etkileşimi önemli (P<0.001) bulunmuştur.

Yerel mısır genotipleri toplam kuru madde miktarları açısından değerlendirildiğinde en yüksek kuru madde verimi 35.45 g saksı⁻¹ ile 2 numaralı genotipte ve en düşük kuru madde miktarı ise 21.12 g saksı⁻¹ ile 20 numaralı genotipte belirlenmiştir (Çizelge 4.3.). Diğer yerel mısır genotipleri bu iki değer arasında dağılım göstermiştir. Yerel mısır genotipleri içerisinde istatistiksel olarak 2 ve 5 numaralı genotipler belirgin farklılık göstermezken bu genotipler en yüksek kuru madde miktarı üretmişlerdir. Deneme sonuçları incelendiğinde yerel mısır genotipleri fosfor kullanımı açısından değerlendirildiğinde genotipler arasında önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.3.).

Çizelge 4.3 Yerel mısır genotiplerinde toplam kuru madde miktarı

P Dozları (mg kg⁻¹)	0	50	100	Ortalama
Genotipler	----- g saksı ⁻¹ -----			
1	8.87 m-o	29.88 V-b	46.67 D-G	28.47 E-G
2	10.98 k-o	28.47 X-d	66.88 A	35.45 A
3	15.22 h-l	29.40 W-c	43.95 E-L	29.52 E-C
4	12.03 j-n	33.65 R-Y	42.47 E-M	29.38 E-C
5	12.41 i-n	27.67 Y-d	64.81 A	34.96 A
6	16.88 h-k	24.65 b-e	46.49 D-G	29.34 E-C
7	12.96 i-n	37.12 M-T	47.87 D-E	32.65 B-C
8	12.61 i-n	35.44 O-V	42.52 E-M	30.19 E-C
9	9.74 l-o	36.04 N-U	44.53 E-K	30.11 E-C
10	11.85 j-n	33.01 S-Y	40.84 G-N	28.56 E-G
11	7.69 n-o	31.29 T-a	62.95 A-B	33.98 B-A
12	14.85 h-m	23.96 c-f	48.16 D-E	28.99 E-G
13	14.09 i-m	32.37 T-Z	47.65 D-F	31.37 B-E
14	12.81 i-n	20.81 e-h	52.42 C-D	28.68 E-G
15	9.98 l-o	25.48 a-e	48.09 D-E	27.85 E-G
16	12.89 i-n	34.49 P-W	43.39 E-L	30.26 E-C
17	14.17 i-m	30.87 U-a	38.55 L-S	27.86 E-G
18	17.28 g-j	32.31 T-Z	41.68 F-M	30.42 E-C
19	14.20 i-m	29.52 V-c	58.28 B-C	34.00 B-A
20	5.79 o	23.23 d-g	34.34 Q-X	21.12 I
21	11.50 j-0	33.24 R-Y	46.71 D-G	30.48 E-C
22	10.14 l-o	27.69 Y-d	29.39 W-c	22.41 I-H
23	10.15 l-o	30.47 U-b	45.61 E-I	28.74 E-G
24	18.26 f-i	24.32 c-e	41.53 G-N	28.04 E-G
25	15.12 h-l	24.09 c-f	44.91 E-J	28.04 E-G
26	14.94 h-l	32.27 T-Z	39.12 J-R	28.78 E-G
27	14.61 i-m	36.15 N-U	38.67 K-S	29.81 E-C
28	10.60 l-o	25.76 a-e	40.39 H-O	25.58 H-G
29	9.73 l-o	33.39 R-Y	46.27 E-H	29.80 E-C
30	12.49 i-n	26.46 Z-e	39.93 I-Q	26.30 F-G
Ortalama	12.50 C	29.78 B	45.84 A	
F değerleri				
Genotip	***			
Doz	***			
Genotip x Doz	***			

LSD: 5.97, *** istatistiksel olarak P<0.001 düzeyinde önemlidir.

Fosfor dozları ve toplam kuru madde miktarı arasındaki ilişki incelendiğinde, fosfor uygulaması yapılmayan kontrol dozunda mısır genotiplerinde ortalama 12.50 g saksı⁻¹ ile en düşük toplam kuru madde miktarı elde edilmiştir. Fosfor dozlarının artırılmasıyla birlikte sırasıyla 29.78 g saksı⁻¹ ve 45.84 g saksı⁻¹ olacak şekilde toplam kuru madde miktarları artmıştır. Bitkilerde fosfor kullanım etkinliğinin artması ile bitki kök ve gövde gelişimi artarak kontrol dozuna oranla toplam kuru madde miktarında önemli miktarda artış görülmektedir. Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda artan fosfor kullanımı ile kuru madde miktarındaki artışın önemli olduğu görülmüştür (Korkmaz, 2009; Çelebi, 2010; Xin-kai ve ark., 2012; Mustonan ve ark., 2014).

Araştırma sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.3.) genotip ve doz etkileşimi arasında istatistiksel olarak önemli ($P<0.001$) farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.3. incelendiğinde, toplam kuru madde miktarının 5.79 g saksı⁻¹ ile 66.88 g saksı⁻¹ arasında değiştiği görülmektedir. Diğer yerel mısır genotipleri ile fosfor etkileşimleri bu iki değer arasında dağılım göstermiştir. Sonuçlar istatistiki olarak incelendiğinde en düşük değer 20 numaralı genotipte kontrol dozunda elde edilirken en yüksek değer 2 numaralı genotipte ve 100 mg kg⁻¹ dozunda ve 66.81 g saksı⁻¹ ile 5 numaralı genotipte elde edilmiştir.

Araştırma sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde toplam kuru madde miktarında farklı düzeyde artışların olması, yerel mısır genotiplerinin fosfor kullanım etkinliklerinin farklılık göstermesinden kaynaklanabilir.

4.2. Yerel Mısır Genotiplerinin Fosfor Konsantrasyonları

4.2.1. Yerel Mısır Genotiplerinde Gövde Fosfor Konsantrasyonları

Araştırmada kullanılan 30 farklı mısır genotipinin, 3 farklı dozda fosfor (0, 50 ve 100 mg P kg⁻¹) uygulamaları altında gövdedeki % P oranları ile ilgili ortalamalar ve istatistiksel veriler Çizelge 4.4' de verilmiştir. Gövde aksamının fosfor konsantrasyonu dikkate alınarak yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre, genotip, doz ve genotip ile doz etkileşimi önemli ($P<0.001$) bulunmuştur.

Çizelge 4.4 Yerel mısır genotiplerinin gövde fosfor konsantrasyonları

P Dozları (mg kg ⁻¹)	0			50			100			Ortalama
	-----%-----									
1	0.106	F-V		0.116	D-O		0.076	X-c		0.099 F-H
2	0.094	L-c		0.093	N-c		0.079	W-c		0.089 G-H
3	0.101	H-Y		0.117	D-N		0.089	P-c		0.102 F-D
4	0.106	F-V		0.120	C-L		0.075	Y-c		0.100 F-H
5	0.095	K-b		0.111	D-S		0.068	c		0.091 F-H
6	0.090	O-c		0.103	G-W		0.073	a-c		0.089 G-H
7	0.103	G-W		0.130	C-F		0.162	A-B		0.131 A
8	0.088	P-c		0.099	I-Z		0.113	D-P		0.100 F-H
9	0.090	O-c		0.121	C-J		0.098	J-a		0.102 F-D
10	0.085	S-c		0.090	O-c		0.097	J-b		0.091 F-H
11	0.093	N-c		0.120	C-K		0.085	S-c		0.099 F-H
12	0.085	R-c		0.113	D-Q		0.088	P-c		0.095 F-H
13	0.071	b-c		0.104	F-W		0.075	Z-c		0.083 I
14	0.097	J-b		0.133	C-E		0.092	N-c		0.107 B-D
15	0.092	N-c		0.128	C-G		0.080	V-c		0.100 F-H
16	0.113	D-P		0.121	C-J		0.094	M-c		0.109 B-D
17	0.111	D-R		0.112	D-Q		0.093	N-c		0.106 F-D
18	0.109	E-T		0.119	C-M		0.088	P-c		0.105 F-D
19	0.083	U-C		0.095	K-b		0.091	N-c		0.090 G-H
20	0.082	U-c		0.127	C-H		0.076	Y-c		0.095 F-H
21	0.090	O-c		0.124	C-I		0.085	R-c		0.100 F-H
22	0.075	Z-c		0.102	G-X		0.104	F-W		0.094 F-H
23	0.097	J-b		0.137	B-D		0.124	C-I		0.119 B-A
24	0.089	P-c		0.144	A-C		0.167	A		0.133 A
25	0.087	Q-c		0.166	A		0.087	P-c		0.113 B-C
26	0.097	J-a		0.090	O-c		0.088	P-c		0.092 F-H
27	0.122	C-J		0.101	H-Y		0.086	R-c		0.103 F-D
28	0.082	U-C		0.092	N-c		0.086	R-c		0.087 I-H
29	0.108	E-U		0.106	F-U		0.095	K-b		0.103 F-D
30	0.100	I-Z		0.096	J-b		0.084	T-c		0.093 F-H
Ortalama	0.095	B		0.114	A		0.093	B		
F değerleri										
Genotip		***								
Doz		***								
Genotip x Doz		***								

LSD: 0.026, *** istatistiksel olarak P<0.001 düzeyinde önemlidir.

Yerel mısır genotiplerinin gövde aksamının fosfor konsantrasyonu incelendiğinde, en düşük fosfor konsantrasyonu % 0.083 ile 13 numaralı genotipte ve en yüksek fosfor konsantrasyonu ise % 0.133 ile 24 numaralı genotipte elde edilmiştir. Diğer mısır genotipleri bu iki değer arasında dağılım göstermiştir.

Yerel mısır genotipleri istatistiki olarak incelendiğinde 24 ve 7 numaralı (% 0.131) genotipler arasında istatistiki olarak belirgin farklılık göstermezken bu genotipler en yüksek fosfor konsantrasyon miktarını vermişlerdir. Araştırmada kullanılan 30 farklı mısır genotipinin gövde aksamında % P konsantrasyonları bitkiler arasında önemli farklılıklar belirlenmiştir. Bu farklılıklar fosfor alınımı ve fosfor kullanım etkinliği açısından önem taşımaktadır.

Bitki türleri ve hatta aynı türün genotipleri arasında önemli farklılıklar olduğu daha önce yürütülen birçok çalışmada bildirilmiştir (Vance ve ark., 2003; Hammond ve ark., 2009; Korkmaz ve ark., 2009; İbrikci ve ark., 2009).

Fosfor dozlarının yerel mısır genotiplerinin gövde fosfor konsantrasyonları üzerine etkileri incelendiğinde, kontrol dozunda % 0.095 iken, en yüksek % 0.114 ile 50 mg P kg⁻¹ dozunda olduğu belirlenmiştir. Fosfor uygulamasının artırılması ile birlikte 100 mg P kg⁻¹ kontrole göre gövde fosfor konsantrasyonunda bir artış sağlanmamıştır (% 0.093). Konuyla ilgili Karaca ve Çimrin, (2002), toprağa uygulanan fosforlu gübrelerin bitkilerin fosfor içeriğini arttırdığını bildirmişlerdir. Yürütülen çalışmalarda toprağa fosforlu gübre ilavesi ile bitki kök bölgesinde fosfor konsantrasyonunun artırılması ile bitki dokularında da fosfor konsantrasyonunun arttığı görülmektedir (Güneş ve ark., 2004; Omid ve ark., 2008; Korkmaz, 2009; İbrikci ve ark., 2009; Altıntaş, 2013; Mustonan ve ark., 2014).

Eldeki veriler genotip ile doz etkileşimi açısından incelendiğinde gövde fosfor konsantrasyonu % 0.068 ile % 0.167 arasında değiştiği görülmektedir. Araştırmada en düşük değer 5 numaralı genotipte 100 mg P kg⁻¹ dozunda elde edilirken en yüksek değer de 24 numaralı genotipte ve 100 mg P kg⁻¹ dozunda gerçekleşmiştir. Diğer mısır genotipleri bu iki değer arasında değişmektedir. Genotip ve doz etkileşiminin önemli çıkması yerel mısır popülasyonlarındaki varyasyonun geniş olduğunun bir göstergesidir. Bu açıdan fosfor alınımı ve kuru madde üretimi açısından değerlendirildiğinde yerel genotiplerin fosfor kullanım etkinliğinin belirlenmesi

açısından önem taşımaktadır. Özellikle düşük fosfor koşullarında bitkilerde düşük fosfor içeriğine rağmen yüksek kuru madde üretebilen bitkiler etkin genotipler olarak tanımlanmaktadır.

4.2.2.Yerel Mısır Genotiplerinde Kök Fosfor Konsantrasyonları

Araştırmada kullanılan 30 farklı mısır genotipinin, 3 farklı dozda fosfor (0, 50 ve 100 mg P kg⁻¹) uygulamaları altında kökteki % P oranları ile ilgili ortalama veriler Çizelge 4.5.' de verilmiştir. Yerel mısır genotiplerinin kök aksamının fosfor konsantrasyonu dikkate alınarak yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre, genotip (P>0.01) ve doz etkisi önemli (P<0.001) bulunmuş, genotip ile doz etkileşimi ise önemsiz (P>0.05) olarak belirlenmiştir.

Yerel mısır genotiplerinin kök aksamının fosfor konsantrasyonu incelendiğinde, en düşük fosfor konsantrasyonu % 0.102 ile 28 numaralı genotipte ve en yüksek fosfor konsantrasyonu ise % 0.130 ile 22 numaralı genotipte elde edilmiştir. Diğer mısır genotipleri bu iki değer arasında dağılım göstermiştir.

Fosfor dozlarının mısır genotiplerinin kök fosfor konsantrasyonları üzerine etkileri incelendiğinde, en düşük % 0.102 ile kontrol dozunda elde edilirken fosfor dozlarının artması ile birlikte mısır genotiplerinin köklerindeki fosfor konsantrasyonları % 0.114 (50 mg P kg⁻¹) ve % 0.125 (100 mg P kg⁻¹) olduğu saptanmıştır. Araştırma sonucunda elde edilen verilere göre bitki kök bölgesindeki fosfor konsantrasyonun artışı ile kök bünyesindeki yüzde fosfor konsantrasyonu doğrusal olarak artmıştır.

Genotip x doz etkileşimi istatistiki açıdan önemsiz çıkmış olsa da sonuçlar değerlendirildiğinde mısır genotiplerinin en düşük kök fosfor konsantrasyonu % 0.087 ile kontrol dozunda 28 numaralı genotipte, en yüksek kök fosfor konsantrasyonu ise % 0.147 ile 100 mg P kg⁻¹ dozunda 7 numaralı genotipte elde edilmiştir. Diğer mısır genotipleri bu iki aralıkta dağılım göstermiştir. Yürütülen araştırmada kök sonuçları da gövde sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Araştırmada materyal olarak kullanılan mısır bitkisi kök aksamı ile fosfor dozları arasındaki etkileşiminin farklı sonuçlar vermesi kullanılan yerel mısır genotiplerinin birbirlerinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu tür farklılıklar, bitkilerde fosfor kullanımı ve alınımı açısından önem taşımaktadır.

Çizelge 4.5 Yerel mısır genotiplerinin kök fosfor konsantrasyonları

P Dozları (mg kg ⁻¹)	0			50			100			Ortalama
	-----%-----									
1	0.105			0.126			0.109			0.113 F-C
2	0.107			0.112			0.132			0.117 F-C
3	0.108			0.115			0.123			0.115 F-C
4	0.109			0.120			0.142			0.123 B-A
5	0.097			0.114			0.133			0.114 F-C
6	0.100			0.104			0.123			0.109 F-D
7	0.100			0.108			0.147			0.118 B-C
8	0.098			0.120			0.128			0.116 F-C
9	0.096			0.113			0.123			0.110 F-C
10	0.095			0.120			0.133			0.116 F-C
11	0.111			0.124			0.113			0.116 F-C
12	0.098			0.127			0.129			0.118 B-C
13	0.090			0.114			0.119			0.108 F-E
14	0.099			0.121			0.138			0.119 B-C
15	0.097			0.106			0.123			0.108 F-E
16	0.101			0.114			0.121			0.112 F-C
17	0.110			0.113			0.116			0.113 F-C
18	0.092			0.110			0.119			0.107 F-G
19	0.113			0.103			0.122			0.113 F-C
20	0.100			0.112			0.124			0.112 F-C
21	0.098			0.114			0.120			0.111 F-C
22	0.130			0.119			0.141			0.130 A
23	0.107			0.113			0.120			0.113 F-C
24	0.107			0.118			0.134			0.119 B-C
25	0.093			0.113			0.119			0.108 F-E
26	0.102			0.110			0.122			0.111 F-C
27	0.104			0.107			0.114			0.108 F-E
28	0.087			0.101			0.117			0.102 G
29	0.102			0.119			0.128			0.116 F-C
30	0.104			0.107			0.119			0.110 F-C
Ortalama	0.102	C		0.114	B		0.125	A		
F değerleri										
Genotip		**								
Doz		***								
Genotip x Doz		ÖS								

LSD:0.018, ***,** istatistiksel olarak P<0.001 düzeyinde, P<0.01 düzeyinde önemli, ÖS istatistiksel olarak önemli değildir.

4.3. Yerel Mısır Genotipleri Tarafından Kaldırılan Fosfor Miktarı

4.3.1. Yerel Mısır Genotiplerinde Gövde Tarafından Kaldırılan Fosfor Miktarı

Araştırmada kullanılan 30 farklı yerel mısır genotipinin, 3 farklı dozda fosfor (0, 50 ve 100 mg P kg⁻¹) uygulamaları altında gövde tarafından kaldırılan fosfor ortalamaları ve ilgili istatistiksel değerlendirmeler Çizelge 4.4.' de verilmiştir. Gövde tarafından kaldırılan fosfor miktarları dikkate alındığında yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre, genotip, doz ve genotip ile doz etkileşimi önemli (P<0.001) bulunmuştur.

Yerel mısır genotipleri gövde tarafından topraktan kaldırdıkları fosfor miktarları bakımından karşılaştırıldığında en düşük fosfor alımını 16.14 mg P saksı⁻¹ ile 20 numaralı genotip, en yüksek fosfor alımı ise 36.62 mg P saksı⁻¹ ile 24 numaralı genotipte tespit edilirken diğer sonuçlar bu iki değer arasında dağılım göstermiştir. 24 numaralı genotipi 34.70 mg P saksı⁻¹ ile 7 numaralı genotip takip etmektedir. Yerel mısır genotipleri kaldırdığı fosfor açısından değerlendirildiğinde genotipler arasında önemli (P<0.001) farklılıklar olduğu belirlenmiştir.

Fosfor dozlarının yerel mısır genotiplerinde gövde tarafından kaldırılan fosfor konsantrasyonları üzerine etkileri incelendiğinde, en düşük 8.94 mg P saksı⁻¹ ile kontrol dozunda elde edilirken fosfor uygulamalarının artması ile birlikte mısır bitkileri tarafından kaldırılan fosfor miktarlarında artış gözlenmiştir. Bu artış 50 mg P saksı⁻¹ için 25.43 iken, 100 mg P saksı⁻¹ için 34.48 olarak bulunmuştur. Yapılan fosfor uygulamaları ile doğru orantılı olarak bitkiler tarafından kaldırılan fosfor miktarı da artış göstermiştir. Bu artış kontrol uygulamasına göre oldukça önemlidir. Bitkilerin fosfor kullanım etkinliğinin değerlendirilmesinde, bitkiler tarafından alınan her birim besin elementi için ürettiği kuru madde miktarı oldukça önemlidir. Bu açıdan değerlendirildiğinde bitkiler tarafından kaldırılan fosfor miktarı ve kuru madde üretim miktarları etkinlik belirlenmesi için güvenilir parametrelerdir. Topraklarda bitkiler tarafından kaldırılan fosfor miktarındaki değişimler; bitkilerdeki genotipsel farklılıkların yanı sıra bitkilerin kök yapısındaki değişiklikleri ve kök salgılarındaki farklılıklardan kaynaklanabilir. Bitkiler, topraklarda fosforun düşük olduğu koşullarda birçok morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler adaptasyon mekanizmaları geliştirebilirler (Ragathoma, 1999).

Çizelge 4.6. Yerel mısır genotiplerinde gövde tarafından kaldırılan fosfor miktarı

P Dozları (mg kg ⁻¹)	0			50			100			Ortalama	
	-----mg P saksı ⁻¹ -----										
1	7.60	c-d		29.71	H-S		30.12	H-R		22.48	G-H
2	7.91	c-d		20.59	T-Y		46.80	B-D		25.10	G-E
3	10.76	a-d		25.36	M-W		30.11	H-R		22.08	G-H
4	9.68	b-d		34.87	F-L		26.99	J-V		23.84	G-H
5	9.30	b-d		26.60	K-V		39.69	C-F		25.19	G-E
6	11.68	Z-d		20.04	U-Z		27.02	J-V		19.58	K-H
7	8.98	b-d		39.38	C-G		55.77	B		34.71	B-A
8	8.77	b-d		28.23	J-U		37.62	E-I		24.87	G-E
9	6.06	c-d		35.34	F-K		31.60	F-P		24.33	G-H
10	7.94	c-d		23.80	N-W		32.30	F-O		21.35	G-H
11	4.82	d		28.35	J-U		45.01	C-E		26.06	D-E
12	9.65	b-d		19.08	V-a		34.83	F-L		21.19	G-H
13	7.65	c-d		26.39	L-V		27.64	J-V		20.56	G-H
14	8.82	b-d		20.64	T-Y		38.45	D-H		22.63	G-H
15	7.25	c-d		27.92	J-U		31.12	F-Q		22.09	G-H
16	10.61	a-d		31.98	F-O		31.33	F-Q		24.64	G-H
17	9.83	b-d		26.98	J-V		28.71	J-U		21.84	G-H
18	13.77	X-c		26.65	K-V		27.83	J-V		22.75	G-H
19	9.23	b-d		22.51	Q-X		47.28	A-C		26.34	D-E
20	3.50	d		23.74	O-W		21.19	S-X		16.14	K
21	8.93	b-d		30.72	G-R		30.31	H-R		23.32	G-H
22	6.09	c-d		24.46	N-W		23.86	N-W		18.14	K-J
23	7.69	c-d		32.57	F-N		46.10	B-E		28.79	B-C
24	14.00	X-c		29.10	I-T		66.76	A		36.62	A
25	10.93	a-d		35.73	F-J		33.72	F-M		26.79	D-C
26	10.89	a-d		23.09	P-W		27.72	J-V		20.56	G-H
27	12.13	Y-d		27.67	J-V		26.57	K-V		22.12	G-H
28	6.78	c-d		17.52	W-b		28.58	J-U		17.63	K-J
29	6.93	c-d		28.29	J-U		34.71	F-L		23.31	G-H
30	9.93	b-d		21.93	R-X		29.10	I-T		20.32	G-H
Ortalama	8.94	C		25.43	B		34.48	A			
F değerleri											
Genotip		***									
Doz		***									
Genotip x Doz		***									

LSD: 5.52, *** İstatistiksel olarak P<0.001 düzeyinde önemlidir.

Bitki dokularında özellikle fosfor noksanlığı koşullarında kuru madde miktarı önemli oranda azalmaktadır, ancak fosfor kullanım etkinliği yüksek olan bitkilerde bu durum bitkinin kök ve gövde yapısında morfolojik ve fizyolojik değişimler göstermesi kuru madde kaybı yaşanmaksızın noksanlık şiddetinden az etkilenmesi ile sonuçlanmaktadır.

Araştırma sonuçları, genotip ile doz etkileşimi açısından incelendiğinde gövde tarafından kaldırılan fosfor miktarı 3.50 mg P saksı⁻¹ ile 66.76 mg P saksı⁻¹ arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.4.). Araştırmada en düşük değer 20 numaralı genotipte kontrol dozunda elde edilirken en yüksek değer 24 numaralı genotipte ve 100 mg P kg⁻¹ dozunda gerçekleşmiştir. Diğer yerel mısır genotipleri bu iki değer arasında dağılım göstermiştir. Yürütülen çalışmada incelenen 30 yerel mısır genotipi gövdeleri tarafından kaldırılan fosfor miktarı istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermektedir ve bu farklılıklar bitkiler arasındaki genotipsel farklılıklardan kaynaklanabilir. Konuyla ilgili olarak yapılan çalışmalarda İbrikçi ve ark., (2009) uygulanan fosforla birlikte bitki kök ve gövde gelişiminin önemli oranda arttığını ve mısır genotipleri arasında önemli genotipsel farklılıklar olduğunu belirtirken, Hailing ve ark., (2013) arpa genotipleri arasında fosfor alımını açısından genotipler arasında 3 kat ve daha fazla alımın farklılıkları olduğunu ve bu farklılıkların istatistiksel olarak önemli (P<0.05) olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlar araştırma bulgularımızı destekler niteliktedir.

4.3.2. Yerel Mısır Genotiplerinde Kök Tarafından Kaldırılan Fosfor Miktarı

Araştırmada kullanılan 30 farklı yerel mısır genotipinin, 3 farklı dozda fosfor (0, 50 ve 100 mg P kg⁻¹) uygulamaları altında kök tarafından kaldırılan fosfor ortalamaları ve ilgili istatistiksel değerlendirmeler Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Kök tarafından kaldırılan fosfor miktarları dikkate alındığında yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre, genotip, doz ve genotip ile doz etkileşimi önemli (P<0.001) bulunmuştur.

Yerel mısır genotipleri kökleri tarafından topraktan kaldırdıkları fosfor miktarları bakımından karşılaştırıldığında en düşük fosfor alımını 3.99 mg P saksı⁻¹ ile 25 numaralı genotip, en yüksek fosfor alımı ise 10.05 mg P saksı⁻¹ ile 7 numaralı genotipte tespit edilirken diğer sonuçlar bu iki değer arasında dağılım göstermiştir. Araştırmada test edilen yerel mısır genotiplerinin kökleri tarafından kaldırılan fosfor

miktarı genotipik olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bu farklılık bitkiler arasındaki genotipik farklılıklardan kaynaklanabilir.

Fosfor dozlarının yerel mısır genotiplerinin kök tarafından kaldırılan fosfor konsantrasyonları üzerine etkileri incelendiğinde, en düşük 3.07 mg P saksı⁻¹ ile kontrol dozunda elde edilirken fosfor uygulamalarının artması ile birlikte mısır kökleri tarafından kaldırılan fosfor miktarlarında artış gözlenmiştir. Bu artış 50 mg P kg⁻¹ için 6.98 mg P saksı⁻¹ iken, 100 mg P kg⁻¹ için 10.77 mg P saksı⁻¹ olarak bulunmuştur.

Araştırma sonuçlarında elde edilen veriler incelendiğinde bitki kök bölgesine artan dozlarda fosfor uygulaması ile orantılı olarak bitki kökleri ile topraktan kaldırılan fosfor miktarlarının arttığı görülmüştür. İbrikci ve ark., (2009), farklı fosfor dozları (0, 25, 50, 100 ve 200 mg kg⁻¹) altında mısır bitkisinin gelişimi üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada artan fosfor dozuna bağlı olarak bitki kök ve gövde gelişiminin önemli oranda arttığını ve bunun yanı sıra kaldırılan fosfor miktarının da önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar erken gelişim döneminde 100 mg P kg⁻¹ düzeyinde fosfor uygulamalarının en iyi sonucu verdiğini ve bu dozun mısır bitkisinde yeterli olduğunu belirtmişlerdir. Altıntaş, (2013), farklı kolza çeşitlerinin fosfor kullanım etkinliklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak yürüttüğü çalışmada 0, 50 ve 100 mg P kg⁻¹ dozlarında fosfor uygulamalarının kolza bitkisinde kök ve gövde gelişimini artırdığını, fosfor uygulamalarının erken gelişim döneminde bitki kök ve gövde gelişimi için mutlak gerekli olduğunu belirtmiştir.

Araştırma sonuçları genotip ile doz etkileşimi açısından değerlendirildiğinde (Çizelge 4.7), kök tarafından kaldırılan fosfor miktarı 1.54 mg saksı⁻¹ ile 19.14 mg saksı⁻¹ arasında değiştiği görülmektedir. Araştırmada en düşük değer 1.54 mg saksı⁻¹ ile 21 numaralı genotipte kontrol dozunda elde edilirken en yüksek değer 7 numaralı genotipte ve 100 mg P kg⁻¹ dozunda elde edilmiştir. Yerel mısır genotiplerinin kökleri vasıtasıyla topraktan kaldırdıkları fosfor miktarı incelendiğinde 21 numaralı genotip ile 20 numaralı genotipler arasında istatistiki öneme sahip bir farkın olmadığı görülmüştür. Bu iki genotip fosfor uygulaması yapılmayan koşullarda en düşük kök kaldırılan fosfor değerine sahiptir. Yerel mısır genotipleri arasında fosfor alınımı ve taşınımında meydana gelen farklılıklar genetik farklılıklar nedeniyle olabilir.

Çizelge 4.7. Yerel mısır genotiplerinde kök tarafından kaldırılan fosfor miktarı

Genotipler	P Dozları (mg kg ⁻¹)			mg P saksı ⁻¹			Ortalama	
	0	50	100					
1	1.84	r-s	5.97	X-g	8.15	N-X	5.32	L-I
2	2.75	k-s	6.79	T-d	10.08	F-N	6.54	F-J
3	4.98	b-l	8.79	L-U	12.42	C-E	8.73	B-C
4	2.95	j-s	5.32	a-i	8.41	M-W	5.56	L-I
5	2.57	m-s	4.58	d-o	9.11	K-S	5.42	L-I
6	3.89	g-r	4.98	b-l	11.46	C-J	6.78	F-H
7	4.18	f-p	6.81	S-d	19.14	A	10.05	A
8	2.54	n-s	8.40	M-W	11.30	C-K	7.41	F-E
9	2.89	j-s	8.09	N-Y	15.77	B	8.92	B-C
10	2.34	o-s	7.75	O-Z	9.86	G-O	6.65	F-J
11	2.76	j-s	9.63	H-P	11.26	C-K	7.89	B-C
12	3.38	i-s	8.66	L-V	10.59	D-M	7.54	F-E
13	3.00	j-s	7.96	N-Y	12.76	C-D	7.90	B-C
14	3.55	h-s	6.38	V-f	16.32	B	7.78	F-C
15	2.04	p-s	4.64	d-o	11.36	C-K	6.01	I-J
16	3.45	i-s	9.26	J-R	12.03	C-G	8.25	B-C
17	5.84	Y-h	8.09	N-Y	8.88	L-T	7.60	F-C
18	4.28	e-p	10.88	D-L	11.90	C-H	9.02	B-A
19	3.49	i-s	5.59	Z-İ	7.08	R-c	5.39	L-I
20	1.56	s	5.04	b-k	8.12	N-Y	4.91	L-M
21	1.54	s	9.69	H-P	13.47	C	8.23	B-C
22	2.64	m-s	5.06	b-j	9.09	K-T	5.59	L-I
23	2.39	n-s	7.59	O-a	10.14	E-N	6.71	F-H
24	2.71	l-s	4.66	d-n	11.57	C-I	6.31	G-J
25	2.04	p-s	2.73	l-s	7.21	Q-b	3.99	M
26	3.81	g-s	7.42	P-a	8.90	L-T	6.71	F-H
27	4.85	c-m	9.42	I-Q	8.79	L-U	7.68	F-C
28	2.04	p-s	6.51	U-e	8.15	N-X	5.57	L-I
29	3.33	i-s	7.94	N-Y	12.29	C-F	7.85	F-C
30	2.59	m-s	3.90	g-r	6.31	W-f	4.27	L-M
Ortalama	3.07	C	6.98	B	10.77	A		
F değerleri								
Genotip		***						
Doz								
Genotip x Doz								

LSD: 2.08, ***, İstatistiksel olarak P<0.001 düzeyinde önemlidir.

4.3.3. Yerel Mısır Genotipleri Tarafından Kaldırılan Toplam Fosfor Miktarı

Araştırmada kullanılan 30 farklı yerel mısır genotipinin, 3 farklı dozda fosfor (0, 50 ve 100 mg P kg⁻¹) uygulamaları altında gövde ve kök tarafından kaldırılan toplam fosfor ortalamaları ve ilgili istatistiksel değerlendirmeler Çizelge 4.8' de verilmiştir. Toplam kaldırılan fosfor miktarları dikkate alındığında yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre, genotip, doz ve genotip ile doz etkileşimi etkisi önemli (P<0.001) bulunmuştur.

Yerel mısır genotiplerinde topraktan kaldırdıkları toplam fosfor miktarları bakımından karşılaştırıldığında en düşük fosfor alımını 21.05 mg P saksı⁻¹ ile 20 numaralı genotipte, en yüksek fosfor alımı ise 44.75 mg P saksı⁻¹ ile 7 numaralı genotipte tespit edilmiştir. 20 ve 22 numaralı (21.74 mg P saksı⁻¹) genotipler arasında topraktan kaldırdıkları toplam fosfor miktarları açısından istatistiki bir fark olmadığı görülürken bu iki genotip topraktan en az miktarda fosfor kaldırmıştır. Diğer sonuçlar ise 21.05 mg P saksı⁻¹ ile 44.75 mg P saksı⁻¹ arasına dağılım göstermiştir.

Fosfor dozlarının yerel mısır genotipleri tarafından kaldırılan toplam fosfor konsantrasyonları üzerine etkileri incelendiğinde, en düşük 12.01 mg P saksı⁻¹ ile kontrol dozunda elde edilirken fosfor uygulamalarının artması ile birlikte mısır bitkileri tarafından kaldırılan fosfor miktarlarında artış gözlenmiştir. Bu artış 50 mg P saksı⁻¹ için 32.43 iken, 100 P saksı⁻¹ için 46.26 mg P kg⁻¹ olarak bulunmuştur.

Araştırma sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.8.), genotip ve fosfor etkileşimi arasında istatistiksel olarak önemli (P<0.001) farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.8. incelendiğinde gövde tarafından kaldırılan fosfor miktarı 5.05 mg saksı⁻¹ ile 78.34 mg saksı⁻¹ arasında değiştiği görülmektedir. Araştırmada en düşük değer 20 numaralı genotipte kontrol dozunda elde edilirken en yüksek değer 24 numaralı genotipte ve 100 mg P kg⁻¹ dozunda gerçekleşmiştir. Diğer yerel mısır genotipleri bu iki değer arasında dağılım göstermiştir.

Çizelge 4.8. Yerel mısır genotipleri tarafından kaldırılan toplam fosfor miktarları

P Dozları (mg kg⁻¹)	0	50	100	
Genotipler	-----mg P saksı ⁻¹ -----			Ortalama
1	9.43 e-h	35.69 L-X	38.27 H-S	27.80 G-H
2	10.67 e-h	27.38 W-a	56.88 B	31.64 G-D
3	14.63 d-g	31.14 N-Z	42.54 F-N	31.05 G-H
4	12.64 e-h	40.19 F-Q	35.40 L-X	29.41 G-H
5	11.87 e-h	31.18 Q-a	48.80 B-G	30.62 G-H
6	15.57 d-g	25.02 Z-c	38.47 H-R	26.35 I-H
7	13.17 e-h	46.18 D-J	74.91 A	44.75 A
8	11.31 e-h	36.63 K-V	48.92 B-F	32.28 G-D
9	8.95 e-h	43.44 E-M	47.36 C-H	33.25 C-D
10	10.28 e-h	31.55 P-a	42.17 F-N	28.00 G-H
11	7.59 g-h	37.97 I-S	56.28 B-C	33.95 C-D
12	13.03 e-h	27.74 V-a	45.42 D-K	28.73 G-H
13	10.65 e-h	34.34 M-Y	40.40 F-P	28.46 G-H
14	12.37 e-h	27.02 X-b	51.85 B-E	30.41 G-H
15	9.29 e-h	32.56 O-a	42.48 F-N	28.11 G-H
16	14.07 e-h	41.25 F-O	43.35 E-M	32.89 C-D
17	15.67 d-g	35.07 L-X	37.58 J-T	29.44 G-H
18	18.06 b-e	37.53 J-T	39.74 G-Q	31.77 G-D
19	12.72 e-h	28.10 U-a	54.36 B-D	31.73 G-D
20	5.05 h	28.78 T-a	29.31 S-a	21.05 L
21	10.47 e-h	40.41 F-P	43.77 E-L	31.55 G-H
22	8.73 f-h	29.52 R-a	32.95 O-a	21.74 L
23	10.08 e-h	40.15 F-Q	56.25 B-C	37.93 C-B
24	16.71 c-g	33.75 N-Z	78.34 A	42.93 B-A
25	12.97 e-h	38.46 H-R	40.93 F-O	30.79 G-H
26	14.70 e-g	30.50 R-a	36.62 K-V	27.27 G-H
27	16.98 c-f	37.09 J-U	35.36 L-X	29.81 G-H
28	8.82 f-h	24.03 a-d	36.73 K-V	23.19 K-L
29	10.26 e-h	36.22 L-W	47.00 D-I	31.16 G-H
30	12.53 e-h	25.83 Y-c	35.41 L-X	24.59 I-K
Ortalama	12.01 C	32.43 B	46.26 A	
F değerleri				
Genotip	***			
Doz	***			
Genotip x Doz	***			

LSD: 5.85, *** İstatistiksel olarak P<0.001 düzeyinde önemlidir.

genotiplerini tarafından kaldırılan toplam P miktarları istatistiki olarak incelendiğinde 100 mg P kg⁻¹ dozunda 24 ve 7 numaralı genotipler arasında istatistiki olarak belirgin farklılık göstermezken bu genotipler topraktan yüksek miktarda fosfor kaldırmışlardır. Bitkilerin fosfor kullanım etkinliği hesaplamada bitkiler tarafından kaldırılan fosfor oldukça önemlidir. Bu açıdan değerlendirildiğinde düşük fosfor koşullarında fosfor alınımı açısından mısır bitkisinde önemli genotipsel farklılıkların olduğu daha önceki çalışmalarda bildirilmiştir (İbrikci ve ark., 2009; Jimenez ve ark., 2011; Hailing ve ark., 2013; Qui ve ark., 2014). Araştırma konusu olan daha önce üzerinde çalışma yapılmamış yerel mısır genotiplerinde ki bu geniş değişkenlik fosfor etkin bitkilerin belirlenebilmesi ve fosfor kullanımını açısından oldukça önemlidir.

4.4. Yerel Mısır Genotiplerinde Kök uzunluğu

Araştırmada kullanılan 30 farklı yerel mısır genotiplerinin, 3 farklı dozda fosfor (0, 50, 100 mg P kg⁻¹) uygulamaları altında ortalama kök uzunluğuyla ilişkili ortalamalar ve istatistiksel veriler Çizelge 4.9.'da verilmiştir. Bitki kök uzunluğu ele alınarak yapılan istatistiksel analiz sonucuna göre genotip, doz ve genotip ile doz etkileşimi önemli (P<0.001) bulunmuştur.

Yerel mısır genotipleri kök uzunlukları açısından değerlendirildiğinde en yüksek kök uzunluğu 327.26 m saksı⁻¹ ile 18 numaralı genotipte ve en kısa kök uzunluğu ise 162.63 m saksı⁻¹ ile 5 numaralı genotipte belirlenmiştir (Çizelge 4.9.). Diğer yerel mısır genotipleri bu iki değer arasında dağılım göstermiştir.

Yerel mısır genotipleri istatistiki olarak incelendiğinde 18 (327.26 m saksı⁻¹), 26 (324.34 m saksı⁻¹) ve 9 (321.23 m saksı⁻¹) numaralı genotipler arasında istatistiki olarak belirgin farklılık göstermezken bu genotiplerin en yüksek kök uzunluğuna sahip olduğu belirlenmiştir. Genotipler arasında kök uzunluğu bakımından önemli bir varyasyon vardır. Konuyla ilgili olarak Akhtar ve ark., (2008), yüksek fosfor kullanım etkinliğine sahip olan bitkinin düşük fosfor kullanım etkinliği olan çeşidine kıyasla daha büyük bir yanal kök uzunluğuna sahip olduğunu belirlemiştir.

Çizelge 4.9 Yerel mısır genotiplerinde kök uzunluğu

P Dozları (mg kg ⁻¹)	0	50	100					
Genotipler	-----m saksı ⁻¹ -----						Ortalama	
1	103.98	k-m	220.26	U-b	237.66	R-X	187.30	N-P
2	137.16	e-l	318.85	G-M	370.35	D-G	275.46	E-C
3	250.64	Q-X	314.75	H-O	345.97	E-I	303.79	B-C
4	122.18	g-m	230.68	S-Z	270.31	M-V	207.73	N-K
5	96.76	l-m	179.67	Z-f	211.46	W-d	162.63	P
6	218.41	U-c	261.46	O-X	334.97	F-K	271.62	E-F
7	159.96	d-j	290.38	J-R	473.93	A-B	308.09	B-A
8	182.82	Y-e	259.11	P-X	280.47	K-S	240.79	I-F
9	173.98	a-g	312.57	H-P	477.14	A-B	321.23	A
10	115.02	i-m	350.09	D-H	331.72	F-L	265.61	E-F
11	117.71	h-m	262.85	N-W	377.93	C-F	252.83	E-F
12	148.32	e-l	244.90	Q-X	277.69	L-S	223.64	I-K
13	160.29	d-j	254.38	Q-X	395.07	C-E	269.92	E-F
14	149.53	e-l	252.19	Q-X	404.24	C-D	268.66	E-F
15	105.82	j-m	245.98	Q-X	343.07	E-J	231.62	I-K
16	164.68	c-i	216.61	V-c	235.86	R-Y	205.71	N-K
17	148.26	e-l	275.62	M-T	286.43	K-R	236.77	I-K
18	236.98	R-X	316.26	G-O	428.55	B-C	327.26	A
19	128.85	e-l	222.18	T-b	287.48	K-R	212.84	N-K
20	73.95	m	220.31	T-b	258.99	P-X	184.42	N-P
21	133.34	e-l	294.94	I-Q	428.12	B-C	285.47	B-C
22	125.05	f-m	157.04	d-k	251.35	Q-X	177.81	O-P
23	138.13	e-l	272.56	M-U	277.69	L-S	229.46	I-K
24	130.31	e-l	271.21	M-V	266.97	M-V	222.83	I-K
25	172.82	b-g	271.54	M-U	209.09	W-d	217.82	I-K
26	172.41	b-h	487.65	A	312.95	H-P	324.34	A
27	146.93	e-l	316.71	G-N	272.73	M-U	245.46	I-F
28	145.07	e-l	206.87	X-d	229.79	S-Z	193.91	N-P
29	149.86	e-l	278.69	L-S	375.04	C-F	267.86	E-F
30	135.72	e-l	227.68	S-a	179.81	Z-f	181.07	O-P
Ortalama	148.16	C	267.80	B	314.43	A		
F değerleri								
Genotip		***						
Doz		***						
Genotip x Doz		***						

LSD: 54.83, *** İstatistiksel olarak P<0.001 düzeyinde önemlidir.

Benzer olarak Solaiman ve ark., (2007), yapmış oldukları çalışmada P-etkin kanola çeşidinde P-etkin olmayan çeşidi ile karşılaştırıldığında daha yüksek toplam kök uzunluğu olduğunu belirtmişlerdir.

Fosfor dozlarının mısır genotiplerinin kök uzunlukları üzerine etkileri incelendiğinde, en düşük 148.16 m ile kontrol dozunda elde edilirken fosfor dozlarının artması ile birlikte mısır genotiplerinde kök uzunlukları sırasıyla 267.80 m ve 314.43 m olarak doğrusal bir şekilde artış göstermiştir. Artan fosfor dozları ile birlikte mısır bitkisinde gövde gelişiminin yanı sıra kök gelişimi de önemli oranda artış göstermiş ve buna bağlı olarak da kök uzunlukları artmıştır. Kök gelişiminde meydana gelen artışlar özellikle düşük fosfor koşullarında bitkilerde kök yüzey alanının artması ve kil-kök arasındaki kesişme yüzeylerinin artması açısından oldukça önemlidir. Bu yüzey alanı artışı bitkiler tarafından topraklardan kaldırılan fosfor miktarının artışı ve böylece fosfordan daha yüksek oranda faydalanmanın olduğunu bir göstergesidir. Benzer bir çalışmada Mustonan ve ark., (2014), yürüttükleri çalışma sonucunda elde edilen verilere göre artan fosfor dozlarının (0, 0.3, 5 ve 30 mg P g⁻¹) *Tithonia diversifolia* bitkisinin iki farklı genotipinde kök gelişimini önemli düzeyde artırdığını bildirmiştir. Veriler incelendiğinde uygulanan fosforlu gübreler özellikle ilerleyen gelişim döneminde kök/gövde oranını kayda değer oranda azalttığını ve bitkiler arasındaki kök gelişimi ile kök/gövde oranı farklılığının kullanılan bitkilerin genotipsel farklılığından kaynaklanabileceğini açıklamıştır. Topraktaki fosfor miktarı bitki kök gelişiminde özellikle yan kök uzunluğu ve sayısı, seminal kök uzunluğu ve sayısı ile kılcal kök miktarı üzerine önemli etkileri bulunmaktadır (Zhu ve ark., 2006; Qui ve ark., 2014). Konuyla ilgili olarak yürütülen çalışmalarda artan fosfor dozlarına bağlı olarak kök kuru ağırlığının ve kök yüzey alanının önemli miktarda arttığı birçok araştırmacı tarafından da bildirilmektedir (Korkmaz, 2005; İbrikçi ve ark., 2009). Araştırma sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.9.) genotip ve fosfor etkileşimi arasında istatistiksel olarak önemli (P<0.001) farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.9. incelendiğinde kök uzunluğu 73.95-487.65 m arasında değiştiği görülmektedir. Diğer etkileşimler bu iki değer arasında dağılım göstermiştir. Araştırmada en düşük değer 20 numaralı genotipte kontrol dozunda elde edilirken en yüksek değer 26 numaralı genotipte ve 50 mg P kg⁻¹ dozunda gerçekleşmiştir.

7 ve 9 numaralı genotipler 100 mg P kg^{-1} dozunda sırasıyla 473.93 m ve 477.14 m kök uzunluğu ile en yüksek kök uzunluğuna sahip genotipler olarak belirlenmiştir. Genotip ve fosfor etkileşiminin önemli çıkması, örnekleme alanından alınan örneklerin fosforla etkileşimleri bakımından büyük farklılık gösterdiğini ve geniş bir varyasyonun olduğunu ortaya koymaktadır. İbrikci ve ark., (2009) ve Hailing ve ark., (2013), bitkilere uygulanan fosfor ile birlikte kök uzunluğunun önemli oranda arttığını belirtmişlerdir. Hailing ve ark., (2013), uygulanan fosfor ve kök uzunluğu, kök yarı çapı, kök tüyü miktarı gibi incelenen kök parametreleri açısından genotipler arasında önemli farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir. Bitkilerin fosfora olan tepkilerinde farklılıklar olması özellikle yetiştiriciliği yapılacak olan ürünlerde çeşit faktörünün ve çeşit fosfor etkileşiminin mutlak göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir. Konuyla ilgili olarak yapılan çalışmalarda Korkmaz, (2005), İbrikci (2009), Jimenez ve ark., (2011) ve Qui ve ark., (2014), mısır bitkisinde kök gelişimi açısından benzer sonuçlar olduğunu belirtmişler ve bu sonuçlar yürütülen çalışma sonuçları ile örtüşmektedir.

4.5. Yerel Mısır Genotiplerinin Fosfor Kullanım Etkinlikleri

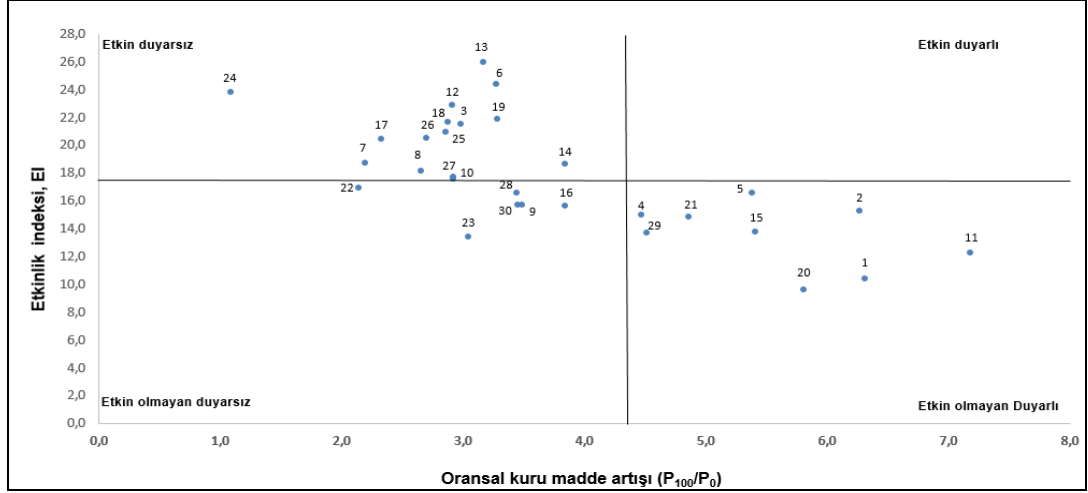
Araştırma sonuçlarına göre yerel mısır genotiplerinin fosfor kullanım etkinlikleri incelendiğinde elde edilen verilere göre kontrol dozuyla karşılaştırıldığında 100 mg kg^{-1} uygulamasında gerek bitki kuru madde miktarları gerekse bitki tarafından kaldırılan fosfor açısından değerlendirildiğinde önemli artış göstermektedir. Bu artıştan dolayı bitkilerin fosfora karşı göstermiş olduğu etkinliğe göre gruplandırılarak etkinlik sınıflandırılması, $0-100 \text{ mg P kg}^{-1}$ uygulamaları dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Yürütülen denemede, yerel genotipler fosfor etkinliği açısından değerlendirildiğinde, en yüksek artış kontrole göre 10 katı geçen bir artış oranı ile 11 numaralı genotipte elde edilmiştir. 11 numaralı genotip kontrol dozunda ortalama olarak $5.20 \text{ g saksı}^{-1}$ kuru madde üretirken, uygulanan fosfora karşı tepki göstererek fosforun 100 mg P kg^{-1} dozuna artırılması ile $52.99 \text{ g saksı}^{-1}$ kuru madde üretmiştir. Yürütülen araştırma sonuçları değerlendirildiğinde fosfor noksanlığının görüldüğü kontrol şartlarında yerel mısır genotiplerinin kök ve gövde gelişiminde fosforun sınırlayıcı faktör olduğu ve artan dozlarda fosfor uygulaması yapıldığında kuru madde miktarındaki

artış önemli seviyede arttığı saptanmıştır. Genotipler arasında kontrol dozuna göre ne düşük artış ise yaklaşık 2 katlık bir artışla 24 numaralı genotipte elde edilmiştir. 24 numaralı genotip fosfor uygulaması yapılmayan kontrol dozunda 15.67 g saksı⁻¹ iken 100 mg P kg⁻¹ dozunda ise 32.87 g saksı⁻¹ kuru madde elde edilmiştir. Deneme sonuçları incelendiğinde diğer genotipler bu iki değer arasında dağılım göstermiştir.

Fosfor etkinliği birçok araştırmacı tarafından genel olarak toprakta bulunan fosforun bitkiler tarafından alınarak, bitkinin ilgili organlarında etkili bir şekilde kullanabilme yeteneği olarak tanımlanabilmektedir. Bu özellik bitkilerin topraktan kaldırdığı her birim elementin yüksek kuru madde üretebilmek için bitki içerisinde kullanılabilirliğini göstermektedir.

Araştırmaya konu olan 30 farklı yerel mısır genotipinde fosfor kullanım etkinliğinde önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda Aydın ve ark., (2005), ve İbrikci ve ark., (2009), mısır bitkisinde, Öztürk ve ark., (2005), buğday çeşitlerinde, Korkmaz ve ark., (2009), buğday bitkisinde, Altıntaş, (2013), kolza çeşitlerinde fosfor kullanım etkinliğinin bitki türleri ve hatta aynı türün çeşitleri arasında farklılıklar gösterdiğini belirtmişlerdir. Fosfor etkinliğinin mısır, buğday ve arpa dahil olmak üzere bir takım tahıl bitkisinde varyasyon göstermesinin genotipik farklılıklardan kaynaklandığı bilinmektedir (Zhu ve ark., 2005, Jimenez, 2011). Bu tür çalışmalar düzenli olarak yapılarak fosfor kullanım etkinliğinin, kök mimarisi gibi belirli özelliklerinin (Lynch ve Brown, 2008), kök tüyleri oluşumunun (Gahoonia ve ark., 1999) ölçülmesini hedeflemektedir.



Şekil 4.1 Yerel mısır genotiplerinin fosfor kullanım etkinliklerinin sınıflandırılması.

Araştırmaya konu olan 30 yerel mısır genotipinde; bitkiler tarafından kaldırılan fosfor ve oransal kuru madde esas alınarak yapılan fosfor kullanım etkinliği sınıflandırılmasına göre genotipler;

Etkin Duyarsız: 3, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 24, 25, 26 ve 27

Etkin Olmayan Duyarlı: 1, 2, 4, 5, 11, 15, 20, 21 ve 29

Etkin Olmayan Duyarsız: 9, 16, 22, 23, 28 ve 30 olarak sınıflandırılmıştır.

Söz konusu yerel mısır genotipleri içerisinde etkin duyarlı sınıfta genotip tespit edilememiştir. Yerel mısır genotipleri topraktan farklı konsantrasyonlarda fosfor kaldırmıştır ve kaldırdıkları fosfor miktarlarına oranla farklı düzeyde kuru madde üretimi yapmıştır. Fosfor noksanlığı koşullarında PUE yüksek olan bitkilerin adaptasyon stratejileri; (i) kök morfolojisi ve mimarisindeki değişiklikler ile kök tüylerinin artması ve uzaması (Lynch, 2007), (ii) kökler aracılığıyla karboksilate ve organik asitlerin yanı sıra H⁺ ile OH⁻ salgılayarak rizosfer pH' sını değiştirmek suretiyle (Shen ve ark., 2011) ve (iii) karbon metabolizmasının ve solunum yollarının modifiye edilerek bitki içerisinde P' un etkin kullanımının sağlanması (Wanke ve ark., 1998) yoluyla fotosentezin ve fotosentez ürünlerinin devamlılığının sağlanması, (iv) inorganik fosfor taşıyıcı enzimlerin salgılanması (Ragathoma, 2005) ve büyük oranda da fosfor taşınmasında önemli rol üstlenen genler (Ragathoma, 1999) ile açıklanabilmektedir. Bu sonuçlar yerel mısır genotiplerinin fosfor kullanım etkinlikleri arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

‘Yerel Mısır Genotiplerinin Fosfor Etkinliğinin Belirlenmesi’ adı altında yürütülen tez çalışmasında elde edilen sonuçlar özet olarak şunlardır;

Fosfor eksikliğinde mısır genotiplerinin hem gövde ve yaprakları hem de kök gelişimi olumsuz etkilenmektedir. Fosfor noksanlığında mısır genotipleri arasında noksanlık belirtilerinin ortaya çıkış zamanı ve şiddeti birbirlerinden farklı olmaktadır. Deneme sonuçlarına göre, özellikle yetersiz fosfor koşullarında yetiştirilen mısır genotiplerine fosfor uygulanması ile birlikte bitkilerin gövde ve kök kuru madde verimleri, fosfor içerikleri, topraktan kaldırdıkları fosfor miktarında ve kök uzunluk miktarında önemli oranda artış gözlenmiştir. Fosforun uygulanmadığı kontrol koşullarında özellikle bitkiler kuru madde, kaldırılan toplam fosfor miktarı ve kök uzunluğu açısından gelişim göstermezken, artan miktarda fosfor uygulamaları ile söz konusu parametrelerde yükselişler olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında incelenen parametreler dikkate alındığında, kök fosfor konsantrasyonlarında istatistiksel olarak genotip etkisi $P<0.01$ düzeyinde önemli, genotip ile doz etkileşimi arasındaki farklılıklar ise önemsiz ($P>0.05$) bulunurken, incelenen diğer tüm parametrelerde, genotip, doz ve genotip ile doz etkileşimi arasında istatistiksel olarak önemli ($P<0.001$) farklılıklar olduğu belirlenmiştir.

Deneme sonuçlarına göre artan dozlarda fosfor uygulamaları incelenen tüm parametreleri pozitif yönde etkilemiştir. Bu sonuçlara göre, mısır bitkisinde erken gelişim döneminde fosfor mutlak gerekli bir besin elementidir.

Araştırmaya konu olan 30 yerel mısır genotipinde; bitkiler tarafından kaldırılan fosfor ve oransal kuru madde miktarı esas alınarak yapılan fosfor kullanım etkinlik sınıflandırılmasına göre genotipler; i) Etkin Duyarsız: 3, 6, 7, 8,10, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 24, 25, 26 ve 27, ii) Etkin Olmayan Duyarlı: 1, 2, 4, 5, 11, 15, 20, 21 ve 29 iii) Etkin Olmayan Duyarsız: 9, 16, 22, 23, 28 ve 30 olarak sınıflandırılmıştır.

Söz konusu yerel mısır genotipleri içerisinde etkin duyarlı sınıfında genotip tespit edilememiştir. Yerel mısır genotipleri topraktan farklı konsantrasyonlarda fosfor kaldırmıştır ve kaldırdıkları fosfor miktarlarına oranla farklı düzeyde kuru madde üretimi yapmıştır. Bu sonuçlar yerel mısır genotiplerinin fosfor kullanım etkinlikleri arasında önemli genotipsel farklılıkların olduğunu ortaya koymaktadır.

Yerel mısır genotiplerindeki genotipsel farklılıkların yanı sıra özellikle kök uzunluğundaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli bulunması, genotipler arasında fosfor kullanım etkinliği açısından oluşan farklılığın büyük oranda kök morfolojisi ve mimarisinde ki değişkenliğe bağlı olduğunu destekler niteliktedir.

Araştırma sonuçları değerlendirildiğinde, bitkilerde etkinlik mekanizmalarının daha detaylı bir şekilde çalışılarak yerel populasyonlarda ki bitki türleri ve hatta aynı türün genotipleri arasındaki farklılıkların ortaya konulması genetik kaynakların değerlendirilmesi açısından oldukça önem taşımaktadır. Yerel populasyonlarda; bitkisel parametreler, besin elementi kullanımı ve hastalıklara dayanıklılık gibi birçok özellik açısından farklılıklar bulunmaktadır. Bu genotiplerin kaybolmadan toplanıp, tanımlanması ve bunların bitki ıslah programlarında aktif olarak kullanılmalrı büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışması, kullanılan yerel mısır genotiplerinin fosfor kullanım etkinlikleri arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Bu tür çalışmaların, tarla koşullarında ve farklı bitki tür ve çeşitlerinde de araştırılması fosfor kullanımı açısından oldukça önemlidir. Bitkilerin fosfor kullanım etkinliklerinin belirlenmesi verim ve kaliteyi düşürmeksizin fosforlu gübrelerin kullanımının azaltılmasının yanı sıra çevresel baskıların azaltılmasına da katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abel, S., Ticconi, A. C. and Delatorre, A. C., 2002. Phosphat Sensing in Higher Plants. *Physiologia Plantarum*, (115):1-8.
- Akhtar, M.S., Oki, Y., Adachi, T., 2008. Genetic variability in phosphorus acquisition and utilisation efficiency from sparingly soluble P-sources by Brassica cultivars under P-stress environment. *Journal of Agronomy and Crop Science* (194): 380–392.
- Altıntaş, Ç. 2013. Sera koşullarında kolza çeşitlerinde fosfor etkinliğinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Ordu.
- Anonim, 2013. FAO, 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>
- Aydın, A., Kant, C., Ataoğlu, N., 2005. Erzurum ve Rize yöresi toprak örneklerine uygulanan farklı dozlardaki bor ve fosforun mısır (*Zea mays*)'ın kuru madde miktarı ve mineral içeriğine etkisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 36 (2): 125-129.
- Baligar, V. C., Fageria, N. K., He, Z. L. 2001. Nutrient use efficiency in plants, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32:7-8, 921-950
- Barlog, P. and Grzebisz, W., 2004. Effect of timing and nitrogen fertilizer application on winter oilseed rape, II. Nitrogen uptake dynamics and fertilizer efficiency. *Journal of Agronomy and Crop Science*,. (190):314-323.
- Baydemir, F. 2013. Farklı sıra aralığı ve fosfor dozlarının maş fasulyesinde [*Vigna radiata* L.) Wilczek] verim ve bazı verim unsurları üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Konya.
- Blair, G., 1993. Nutrient Efficiency-What Do We Really Mean ? P. J. Randall et all. *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*, 205-213.
- Bouyoucou, G. L., 1951. A Recalibration of Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soils. *Agronomy Journal*. (43):434-438.
- Brady, N.C. and Weil, R.R., 2008. The nature and properties of soils, Fourteenth Education. Prentice Hall, New Jersey.
- Bremner, J. M., 1965. Total Nitrogen. In. C.A. Black et al. *Methods of Soil Analysis*. Part 2. *Agronomy* (9): 1149-1178. USA.
- Camelo L. G. L., Miguez, S. R., Marban, L.,1997. Heavy Metals Input with Phosphate Fertilizers Used in Argentina. *The Science of The Total Environment* 204 (3): 245-250.
- Carpenter, S.R., Bennett, E.M., 2011. Reconsideration of the planetary boundary for phosphorus. *Environmental Research Letteer*, 6, [doi:10.1088/1748-9326/6/1/014009](https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/1/014009)
- Chacon, N. Ve Dezzio, N., 2004. Phosphorus Fractions and Sorption Processes in Soil Samples Taken in A Forest-Savanna Sequence of The Gran Saban in Southern Venezuela. *Biol Fertil Soils* (40):14-19.

- Chen, J., Xu, L., Cai, Y., Xu, J., 2008. QTL mapping of phosphorus efficiency and relative biologic characteristics in maize (*Zea mays L.*) at two sites. *Plant Soil* 313:251–266
- Chen, J., Xu, L., Cai, Y., Xu, J., 2009. Identification of QTLs for phosphorus utilization efficiency in maize (*Zea mays L.*) across P levels. *Euphytica* 167:245–252
- Coetzee, P.E., 2013. Response of Maize to Phosphorus and Nitrogen Fertilizers On a Soil With Low Phosphorus Status. Doktora Tezi. University of the Free State Bloemfontein, Department of Soil, Crop and Climate Sciences, Bloemfontein.
- Çelebi, R., Çelen, A. E., Çelebi, Ş. Z., Şahar, A. K., 2010. Farklı azot ve fosfor dozlarının mısırın (*Zea mays*) silaj verimi ve kalitesine etkisi. *Araştırma Makalesi, Selçuk Üniversitesi Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 24 (4):16-24.
- Dobermann, A., Cassman, K.G., 2005. Cereal area and nitrogen use efficiency are drivers of future nitrogen fertilizer consumption. *Sci. China Ser.* 48:745-758.
- Eyüpoğlu, F., 1999. Türkiye Topraklarının Verimlilik Durumu. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları. Genel Yayın No: 220, Teknik Yayın No: T-67, s:122, Ankara.
- Fageria, N. K. and Baligar, V. C., 1997. Phosphorus efficiency in corn genotypes. *Journal of Plant Nutrient* , (20): 1267-1277.
- Fageria, N. K. and Baligar, V. C., 1999. Phosphorus efficiency in wheat genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 22(2): 331-340.
- Fohse, D., Claassen, N., Jungk, A. 1991. Phosphorus efficiency of plants. *Plant & Soil* (132): 261–272.
- Gahoonia, T.S., Nielsen, N.E., Lyshede, O.B., 1999. Phosphorus (P) acquisition of cereal cultivars in the field at three levels of P fertilization. *Plant Soil* 211, 269–281.
- Gahoonia, T. S., Nielsen, N. E., Joshi, A. P., Jahoor, A., 2001. A Root Hairless Barley Mutant for Elucidating Genetic of Root Hairs and Phosphorus Uptake. *Plant and Soil* (235): 11-219.
- Gahoonia, T.S., Ali, O., Sarker, A., Nielsen, N.E., Rahman, M., 2006. Genetic variation in root traits and nutrient acquisition of lentil accessions. *J. Plant Nutrient* (29):643–655.
- Gallet, A., Flish, R., Ryser, J., Frossard, E. and Sinaj, S., 2003. Effect of phosphate fertilization on crop yield and soil phosphorus status. *Journal Plant Nutrient Science* (166): 568-578.
- Gerendas, J., Abbadi, J. and Sattelmacher, B. (2008). Potassium efficiency of safflower and sunflower. *Journal Plant Nutrient. Soil Science*, (171):431-439.
- Gourley, C. J. P., Altan, D. L., Russelle, M. P., 1993. Defining phosphorus efficiency in plants. *Plant Soil*, (155/156): 289-292.

- Goswami, N. N., Kamath, M. B., Santoso, D., 1990. Phosphorus requirement and management of maize, sorghum and wheat. Proceedings of symposium on phosphorus requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania. International Rice Research Institute.
- Güneş, A., Alpaslan, M., Önal, A., 2004. Bitki Besleme ve Gübreleme (Ders Kitabı), Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, 1539, Ankara, s. 324
- Güzel, N., Gülüt, Y. K., Büyük, G., 2002. Toprak Verimliliği ve Gübreler. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayınları No:246 Ders Kitapları Yayın No: A-80 s:654, Adana.
- GB/T17893-1999. 1999. High quality wheat, weak gluten wheat. State Bureau of Quality and Technical Supervision. (in Chinese)
- Gyaneshwar, P., Kumar, G. N., Parekh, L. J., Poole, P.S., 2002. Role of Microorganisms in Improving P Nutrition of Plants. *Plant and Soil* 245: 83- 93
- Haling, R. E., Brown, L. K., Bengough, A. G., Young, I. M., Hallett, P. D., White, P. J. and George, T. S., 2013. Root hairs improve root penetration, root–soil contact, and phosphorus acquisition in soils of different strength. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 64 (12): 3711–3721.
- Hammond, J. P., Broadley, M. R. and White, P. J., 2004. Responses to Phosphorus Deficiency. *Annals of Botany* (94): 323–332.
- Hammond, J. P. and White, P. J., 2008. Sucrose transport in the phloem: integrating root responses to phosphorus starvation. *Journal of Experimental Botany*, (59) 93–109.
- Hammond, J. P., Broadley, M. R., White, P. J., King, G. J., Bowen, H. C., Hayden, R., Meacham, M. C., Mead, A., Overs, T., Spracklen W. P. and Greenwood, D. C., 2009. Shoot yield drives phosphorus use efficiency in Brassica oleracea and correlates with root architecture traits. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 60, No. 7, pp. 1953–1968.
- Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. & Nelson, W.L., 1999. Soil fertility and Fertilizers: an introduction to nutrient management, Sixth ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Hinsinger P., 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil* 237:173–195
- Hinsinger, P., Betencourt, E., Bernard, L., Brauman, A., Plassard, C., Shen, J., Tang, X. And Zhang, F., 2011. P for two, sharing a scarce resource: Soil phosphorus acquisition in the rhizosphere of intercropped species. *Plant Physiology*, (156): 1078-1086.
- Imada, S., Yamanaka, N., Tamai, S., 2008. Water table depth effects *Populus alba* fine root growth and whole plant biomass. *Functional Ecology*, (22): 1018–1026.
- Iqbal, M. R. and Chauhan, I. Q. H., 2003. Relationship Between Different Growth and Yield Parameters. *Journal of Biological Sciences* 3 (10) : 921-925.

- İbrikci, H., Ulger A.C., Buyuk, G., Korkmaz, K., Cakir, B., Ozgenturk, G., Karnez, E., Oguz, H., and Konuskan, O., 2005. Genetic Differences And Nitrogen Fertilizer Rates For Nitrogen Use Efficiency In Corn. Xv International Plant Nutrition Colloquium, (22), Beijing, China.
- İbrikci, H., Ulger A. C., Kormaz, K., Okdem, A., Buyuk, G., Amar, B., Konuskan, O., Karnez, E., Ozgenturk, G., Oguz, H. and Ryan, J., 2009. Genotypic responses of corn to phosphorus fertilizer rates in calcareous soils. Communications in Soil Science & Plant Analysis. (40):1418–1435.
- İnan, A., 2001. Fosfor alımı ve fosfor etkinliği yönünden bazı ekmeklik (*T. aestivum*) ve makarnalık (*T. durum*) buğday genotipleri arasında farklılıkların belirlenmesi. Tarım Bilimleri Dergisi, 7 (2): 135-140.
- Jiménez, J. S. B., Valdéz, M. G., Decelis, V. A. P., Armas, L. M., Ochoac, I., Lynch, J. P. 2011. Genotypic variation for root traits of maize (*Zea mays* L.) from the Purhepecha Plateau under ontrasting phosphorus availability. Field Crops Research (121): 350–362
- Kacar, B. ve Katkat, V. A., 1997. Tarımda Fosfor. Bursa Ticaret Borsası Yayınları No:5 s:131-132.
- Kacar, B. ve Katkat, V. A., 2009. Gübreler ve Gübreleme Tekniği. Genişletilmiş ve Güncellenmiş 2. Baskı, s.1-559, Nobel Yayın ve Dağıtım Ankara.
- Karaca, S., Çimrin, K. M., 2001. Adi Fiğ (*Vicia sativa* L.) + Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Karışımında Azot ve Fosforlu Gübrelemenin Verim ve Kaliteye Etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 12 (1):47-52.
- Kılıç, R. ve Korkmaz, K. 2012. Kimyasal Gübrelerin Tarım Topraklarında Artık Etkileri. Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi 5(2): 87-90.
- Korkmaz, K. 2005. Kireçli Topraklarda Fosfor Durumlarının Belirlenmesi ve Fosfor Uygulamasının Mısır Verimine Etkisi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Adana.
- Korkmaz, K., İbrikçi, H., Karnez, E., Büyük, G., Ryan, J., Ülger A.C., Oguz, H., 2009. Phosphorus use efficiency of wheat genotypes grown in calcerous soils. Journal of Plant Nutrition, (32): 2094-2106.
- Korkmaz, K. ve İbrikçi, H., 2010. Kireçli Topraklarda Fosfor Dinamiğinin Belirlenmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi 25 (1):44-52
- Li, L., Li, SM., Sun, J. H., Zhou, L. L., Bao, X. G., Zhang, H. G., and Zhang, F. S., 2007. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. Proceeding of National Academy of Sciences of the United States of America, (104): 1192–1196.
- Lynch, J.P., Ho, M.D. 2005. Rhizoeconomics: carbon costs of phosphorus acquisition. Plant Soil (268): 45–56.
- Lynch, J. P., 2007. Roots of the second green revolution. Aust. J. Botany (55): 493–512.

- Lynch, J.P., Brown, K.M., 2008. Root strategies for phosphorus acquisition. In: White, P.J., Hammond, J.P. (Eds.), *The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions*. Springer, Netherlands, pp. 83–116.
- Ma, B. G., Yang, T. X., Guo, F. T., Han, J. J., 2005. Balance of phosphorus in a rotation system with winter-wheat and rice. *Journal of Agro-Environment Science*, (2): 371-374.
- Ma, W., Ma, L., Li, J., Wang, F., Sisak, I., Zhang, F., 2011. Phosphorus flows and use efficiencies in production and consumption of wheat, rice, and maize in China, *Chemosphere* 84 (6): 814–821
- Magalhaes, P. C., Souza, T. C., Cantao, F. R. O., 2011. Early evaluation of root morphology of maize genotypes under phosphorus deficiency, *Plant Soil Environment*, 57, (3): 135–138.
- Manske, G. G. B., Ortiz-Monasterio, J. I., van Ginkel, R. M., Rajaram, S., and Vlek, P. L. G., 2002. Phosphorus use efficiency in tall, semidwarf and dwarf near-isogenic lines of spring wheat. *Euphytica* (125): 113–119.
- Marschner, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second Edition. Academic Press, New York, USA.
- Marschner, P., Solamian, Z., Rengel, Z., 2007. Brassica genotypes differ in growth, phosphorus uptake and rhizosphere properties under P-limiting conditions. *Soil Biology & Biochemistry* (39): 87-98.
- Martini, J. A., Mutters, R. G., 1984. Effect of liming and fertilization on sulfur availability, mobility and uptake in cultivated soils of South Carolina. *Soil Science* 138: 403-410.
- Miguel, M., 2004. Genotypic variation in root hairs and phosphorus efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). MSc thesis. The Pennsylvania State University, University Park, PA
- Mollier, A., Pellerin, S., 1999. Maize root system growth and development as influenced by P deficiency, *journal Experimental Botany* (50): 487-497.
- Mugwira, L. M., Haque, I., Lupwayi, N. Z., Luyindula, N. 1997. Evaluation of phosphorus uptake and use efficiency and nitrogen fixation potential by African clovers. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (65):169-175.
- Mustonan, Jorge, P. S., Oelbermann, M., Kass, D. C. L. 2014. Biomass production phosphorus use efficiency in two *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) gray phenotypes. *Journal of Plant Nutrition*, DOI: 10.1080/01904167.2014.957397
- Nelson, D. W., Sommers, L. E., 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In ‘*Methods of Analysis. Chemical and Microbiological Propertise*’, s:539-580.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanable, F. S. and Dean, L. A., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate, USDA Cir. No. 939.

- Olsen, S. R., Watanable, F. S., 1957. A Method to Determine A Phosphorus Adsorption Maximum for Soils As Measured by The Langmuir Isoterm. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* (21): 144-149.
- Özcan, S. 2009. Modern dünyanın vazgeçilmez bitkisi mısır: genetiği değiştirilmiş (transgenik) mısırın tarımsal üretime katkısı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 2(2): 01-34.
- Öztürk, L., Eker, S., Torum, B., Cakmak, I., 2005. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. *Plant Soil* (269): 69–80.
- Qiu, H., Liu, C., Yu, T., Mei, X., Wang, G., Wang, J., Cai, Y., 2014. Identification of QTL for acid phosphatase activity in root and rhizosphere soil of maize under low phosphorus stres. *Euphytica* (197):133–143
- Plaxton, W. C., 2004. Plant responses to stress: biochemical adaptations to phosphate deficiency. *Encyclopedia of Plant and Crop Science* s: 976-980.
- Richard, L .A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. *Agriculture Handbook*, No: 60, U. S. Department of Agriculture. U. S. Grovement Priting Office, Washington D. C.
- Ragothama, K. G., 1999. Phosphate Acquisition. *Annual Review of Plant Phisiology and Plant Molecular Biology* (50): 665-693.
- Ragothama, K.G., 2005. Phosphorus and plant nutrition: an overview. In: Sims, J.T. (Ed.), *Phosphorus Agriculture and the Environment*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 355–378.
- Rausch, C., Bucher, M., 2002. Molecular Mechanism of Phosphate Transport in Plants. *Planta* (216): 23-37.
- Richards, I. R., Clayton, J. C., Reeve, A. J. K., 1998. Effects of long-term fertilizer phosphorus application on soil and crop phosphorus and cadmium contents. *Journal of Agricultural Science* (131): 187-195.
- Ridoutt, B. G., Wang, E., Sanguansri, P., Luo, Z., 2013. Life cycle assessment of phosphorus use efficient wheat grown in Australia. *Agricultural Systems*. (120): 2–9
- Römer, W.,and Schenk, H., 1998. Influence of genotype on phosphate uptake and utilisation efficiencies in spring barley. *European Journal of Agronomy* (8) 215–224.
- Sagrawat, K. L., 2000. Residual Phosphorus and Management Strategy for Grain Sorghum on A Vertisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31 (19-20): 3103-3112.
- Santra, P., Chopra, U.K. and Chakraborty, D. (2008). Spatial variability of soil properties and its application in predicting surface map of hydraulic parameters in an agricultural farm. *Current Science* 95:937-945.
- Schactman, D. P., Reil, J. R., Ayling, S. M. 1998. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. *Plant Physiology* (116): 447-453.

- Schlichting, E., and Blume, H., 1966. *Bodenkundliches Praktikum*. Parey Verlag, Hamburg, Berlin.
- Seeling, B and Zasoski, R., J., 1993. Microbial effects in maintaining organic and inorganic solution phosphorus concentrations in a grassland topsoil. *Plant Soil*, (148): 277-284.
- Shen, J., Yuan, L., Zhang, j., Li, H., bai, Z., Chen, X., Zhang, W.,Zhang, F. 2011. Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. *Plant Physiology*, (156): 997-1005.
- Shin, H., Shin, H. S., Dewbre, G. R., and Harrison, M., 2004. Phosphate Transport in Arabidopsis: Pht1;1 and Pht1; 4 Play A Major Role in Phosphate Acquisition from Both Low and High Phosphate Environments. *The Plant Journal* (39):629-642.
- Siddiqi, M. Y., and Glass, A. D. M., 1981. Utilization Index. A modified approach to estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, (4): 289-302.
- Solaiman Z, Marschner P, Wang DM, and Rengel Z. 2007. Growth, P uptake and rhizosphere properties of wheat and canola genotypes in an alkaline soil with low P availability. *Biology and Fertility of Soils* (44):143–153.
- Stone, U. S., Zinn, K. E., Yanez, M.R., Li, A., Vance, C. P., Allan, D. L., 2003. Nylon Filter Arrays Reveal Differential Gene Expression in Proteoid Roots of White Lupin in Response to Phosphorus Deficiency. *Plant Physiology* 131 (3):1064.
- Tennant, D., 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal Ecology* (63):995-1001.
- Vance, P. C., Uhde-stone, C., Allan, D., 2003. Phosphorus Acquisition and Use: Critical Adaptations by Plants for Securing A Nonrenewable Resource. *New Phytologist* (157): 423-447.
- Walker, T. S., Bais, H. P., Grotewold, E. and Vivanco, J. M., 2003. Root Exudation and Rhizosphere Biology. *Journal. Plant Physiology*, (132): 44-51.
- Wanke, M., Ciereszko, I., Podbielkowska, M., Rychter, A.M., 1998. Response to phosphate deficiency in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) roots. Respiratory metabolism, sugar localization and changes in ultra structure of bean root cells. *Ann. Bot. (London)* (82): 809–819
- Watanabe, F. S. and Olsen, S.R., Test of an Ascorbic Acid Method for Determining Phosphorus in Water and NaHCO₃ Extracts from Soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* (29): 677-678.
- Xin-kai, Z., Chun-yan, L., Zong-qing, J., Lian-lian, H., Chao-nian, F., Wen-shan, G., Yong-xin, P., (2012). Responses of phosphorus use efficiency, grain yield, and quality to phosphorus application amount of weak-gluten wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(7): 1103-1110
- Yang, M., Ding, G., Shi, L., Xu, F., Meng, J., 2011. Detection of QTL for phosphorus efficiency at vegetative stage in *Brassica napus*. *Plant Soil* (339):97–111

- Zhang, D., Cheng, H., Geng, L., Kan, G., Cui, S., Meng, Q., Gai, J., Yu, D. 2009. Detection of quantitative trait loci for phosphorus deficiency tolerance at soybean seedling stage. *Euphytica* (167):313–322
- Zhang, H., Huang, Y., Ye, X., Xu, F. 2010. Analysis of the contribution of acid phosphatase to P efficiency in *Brassica napus* under low phosphorus conditions. *Sci China Life Sci* (53):709–717
- Zhu, J., Kaeppler, S.M., Lynch, J.P., 2005. Mapping of QTL controlling root hair length in maize (*Zea mays* L.) under phosphorus deficiency. *Plant Soil* (270): 299–310.
- Zhu J, Mickelson SM, Kaeppler SM, Lynch JP (2006). Detection of quantitative trait loci for seminal root traits in maize (*Zea mays* L.) seedlings grown under differential phosphorus levels. *Theor Appl Genet* 113:1–10
- Zöbisch, M.A., Richter, C., Heiligtag, B., Schlott, R., 1994. Nutrient losses from cropland in Central Highlands of Kenya due to surface runoff and soil erosion. *Soil Tillage Research* (33): 109-116.