

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Mustafa Atilla YAZICI

**FOSFOR EKSİKLİĞİNE DAYANIKLI DOMATES GENOTİPLERİNİN
BELİRLENMESİ VE ETKİNLİK MEKANİZMALARININ MORFOLOJİK
VE FİZYOLOJİK AÇIDAN KARAKTERİZE EDİLMESİ**

TOPRAK ANABİLİM DALI

ADANA, 2007

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FOSFOR EKSİKLİĞİNE DAYANIKLI DOMATES GENOTİPLERİNİN
BELİRLENMESİ VE ETKİNLİK MEKANİZMALARININ MORFOLOJİK
VE FİZYOLOJİK AÇIDAN KARAKTERİZE EDİLMESİ**

Mustafa Atilla YAZICI

DOKTORA TEZİ

TOPRAK ANABİLİM DALI

Bu TezTarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oy Birliği
/ Oy Çokluğu İle Kabul Edilmiştir.

İmza İmza İmza
Prof. Dr. M. Rifat DERİCİ Prof. Dr. İsmail ÇAKMAK Prof. Dr. Zülküf KAYA
DANIŞMAN ÜYE ÜYE

İmza İmza
Prof. Dr. Sait GEZGİN Doç. Dr. Levent ÖZTÜRK
ÜYE ÜYE

Bu Tez Enstitümüz **Toprak** Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma TÜBİTAK-BAYG tarafından desteklenmiştir.
Proje No:

Not: Bu tezde kullanılan ve başka kaynakta yapılan bildirimlerin, Çizelge, Şekil ve fotoğrafların kaynak olarak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı fikir ve sanat eserleri kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

FOSFOR EKSİKLİĞİNE DAYANIKLI DOMATES GENOTİPLERİNİN BELİRLENMESİ VE ETKİNLİK MEKANİZMALARININ MORFOLOJİK VE FİZYOLOJİK AÇIDAN KARAKTERİZE EDİLMESİ

Mustafa Atilla YAZICI

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ TOPRAK ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. M.Rıfat DERİCİ

Yıl : 2007, Sayfa 72

Jüri : Prof. Dr. M.Rıfat DERİCİ
Prof. Dr. İsmail ÇAKMAK
Prof. Dr. Zülküf KAYA
Prof. Dr. Sait GEZGİN
Doç.Dr. Levent ÖZTÜRK

Topraklarda bitkilere yararlı P konsantrasyonunun düşük olması bitkisel üretimi sınırlamaktadır. Topraklarda toplam P miktarı oldukça fazla olmakla birlikte bir takım toprak özelliklerinden (düşük veya yüksek pH, yüksek CaCO₃, yetersiz organik madde vs.) gibi etmenlerden dolayı P toprakta bitkilerin kolayca yararlanamayacağı bileşiklere dönüşmektedir. Bitkiler yetersiz P koşulları altında kök sistemlerinde değişim, kök salgılarında artış, APA ve fitaz salgı aktivitelerinde artış, yüksek absorpsiyon kapasitesi gibi bir takım adaptasyon mekanizmaları geliştirebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, fosfor etkinliği yüksek bitki tür ve çeşitlerinin tarımsal üretim alanlarında yer alması, hem ekonomik hem de çevresel anlamda önemli faydalar sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında, test edilen domates genotiplerinin P etkinliği oldukça geniş bir varyasyon göstermiştir. Fosfor etkinliği düşük ve yüksek bulunan çeşitler arasındaki en önemli farkın, düşük P uygulamasındaki yeşil aksam ve kök kuru madde verimi, fosfor içeriği olduğu saptanmıştır. Düşük P koşullarında yeşil aksamda P konsantrasyonunun çeşitler arasında büyük benzerlik göstermiştir. Buna karşı bitki P eksiklik semptomu olan ve yeşil aksamda morarmalar şeklinde oluşan antosiyanin birikiminin duyarlı genotiplerde oldukça fazla düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Fosfor absorpsiyonu ile ilgili olarak yürütülen denemede, farklı P etkinliğine sahip çeşitlerin düşük P koşullarında P absorpsiyonu ve P absorpsiyon hızlarının P etkinliği ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Fosfor etkin olan genotiplerin duyarlı genotiplere göre ortalama %30 daha fazla P absorpsiyon kapasitelerinin olduğu ve P absorpsiyon hızlarının da daha fazla olduğu görülmüştür.

Fosfor etkinliğindeki farklılıklardan sorumlu olabilecek bitkisel özelliklerin araştırıldığı denemelerde, P eksikliği koşullarında, köklerin APA (asit fosfataz) ve fitaz enzim aktiviteleri yeterli P koşullarına göre önemli düzeyde arttığı, ancak, söz konusu özellikler açısından çeşitler arasında farklılığın olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fosfor Eksikliği, Domates, Etkin Genotip, Fitaz

ABSTRACT

PhD THESIS

SELECTION OF PHOSPHORUS DEFICIENCY-RESISTANT TOMATO GENOTYPES AND CHARACTERIZATION OF PHOSPHORUS EFFICIENCY MECHANISMS BY MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL ASPECTS

Mustafa Atilla YAZICI

UNIVERSITY OF CUKUROVA
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE

Supervisor :Prof. Dr. M.Rifat DERICI
Year : 2007, Pages 72

Jury :Prof. Dr. M.Rifat DERICI
Prof. Dr. Ismail CAKMAK
Prof.Dr. Zülküf KAYA
Prof. Dr. Sait GEZGİN
Assoc. Prof. Dr. Levent ÖZTÜRK

Low levels of available P in soils limit the plant production. Although total P concentrations are generally high in soils, because of some soil characteristics (low and high pH, high CaCO₃, low organic matter etc.) in soils, it might be fixed in unavailable forms. Under P-limiting conditions, plants have developed some adaptation mechanisms such as changes in root morphology, increased root exudates, enhanced releases of acid phosphatase and phytase, increased root uptake of P, to survive. Because of these reasons, it can be thought that selection and cultivation of P efficient species and cultivars of a species might be very helpful for both economical and environmental aspects.

In this PhD study, there was very large variation among P efficiency values of tomato genotypes. The most distinct differences between P-efficient and P-inefficient cultivars were shoot and root growth and P content under P-limiting conditions. At low P supply, P concentration in shoot was similar in all cultivars. However, it has been observed that, in sensitive cultivars, antosian accumulation in the leaves which appears in reddish-purple colour, was much higher.

In the experiment dealing with the possible role of P uptake in P efficiency of tomato cultivars, it has been found that among the plants pre-cultured with low P, there was a good relation between P uptake and P efficiency of the genotypes used in this experiment. It is just to say that the P-efficient cultivars took almost 30% more P up and had higher P absorption rates than the P-inefficient cultivars.

In the experiments conducted to see the role of possible physiological traits of plants such as acid phosphatase and phytase activities of roots, although the activities of both enzymes were increased under P limiting conditions, no relation was found between them and P efficiency of genotypes.

Key words: Phosphorus Deficiency, Tomato, Efficient Genotypes, Phytase

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın yürütülmesi sırasında her türlü yardımda bulunan, düşünce öneri ve deneyimleri ile sonsuz desteğini gördüğüm danışman hocam Sayın Prof. Dr. M. Rıfat DERİCİ'ye şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamda bana yol gösterdiği, ve çok yakın desteğini gördüğüm hocalarım Sayın Prof. Dr. İsmail ÇAKMAK, Doç. Dr. Levent ÖZTÜRK ve Doç Dr. Bülent TORUN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında çok yakın desteklerini ve yardımlarını gördüğüm Sayın Yrd. Doç.Dr. Selim EKER, Dr. Emin Bülent ERENOĞLU ve Yrd. Doç Dr. Ayfer Alkan TORUN'a teşekkür ederim.

Denemelerin kurulması, yürütülmesi ve örneklerin analizindeki yardım ve önerileri için değerli çalışma arkadaşlarım Dr. Faruk ÖZKUTLU, Arş. Gör. Halil ERDEM, Ziraat Mühendisi Yusuf TUTUŞ'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında bana sürekli manevi destek olan Sayın Veli BAYIR ve ayrıca tezin yazımı esnasında yardımlarını esirgemeyen Huriye AVŞAR'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde finansal destekte bulunan TÜBİTAK-BAYG Programına teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Toprakta Bitkiler Tarafından Kullanılabilir Fosforu Etkileyen Faktörler.....	4
2.2. Bitkilerin Toprak Fosforundan Yararlanabilmek İçin Geliştirdikleri Morfolojik ve Fizyolojik Mekanizmalar.....	6
2.2.1. Fosfor Etkin Genotipler.....	6
2.2.2. Bitki Köklerinde Gerçekleştirilen Fosfor Alım Kapasitesi.....	9
2.2.3. Kök Morfolojisinin Fosfor Alımındaki Önemi.....	10
2.2.4. Rizosfere Organik Asitler Salgılanması.....	11
2.2.5. Asit Fosfataz ve Fitaz Enzim Aktivitesi.....	12
3. MATERYAL VE METOD.....	14
3.1. Materyal.....	14
3.1.1. Tohum Materyali.....	14
3.1.2. Sera Denemelerinde Kullanılan Toprak Materyali.....	14
3.2. Metod.....	16
3.2.1. Tohum Çimlendirilme.....	16
3.2.2. Sera Denemelerinin Kurulması ve Yürütülmesi.....	16
3.2.3. Çözelti Kültürü Denemeleri.....	17
3.2.3.1. Bitkilerin Şaşırtılması ve Yetiştirilmesi.....	17
3.2.3.2. Kontrollü Koşulların Sağlanması.....	17
3.2.3.3. Besin Çözeltisinin Kompozisyonu ve Fosfor Uygulamaları.....	17
3.2.3.4. Fosfor Absorpsiyonu Deneyi.....	18

3.2.4. İntakt Köklerde Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi.....	18
3.2.4.1. Asit Fosfataz (APA)Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi.....	18
3.2.4.2. Fitaz Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi.....	19
3.2.5. Bitki Materyallerinde Fosfor Etkinliğinin Belirlenmesi.....	19
3.2.6. Bitki Materyallerinde Fosfor Belirlenmesi.....	20
3.2.6.1. Örneklerin Analize Hazırlanışı.....	20
3.2.6.2. Bitki Örneklerinde Fosfor Analizi.....	20
3.2.7. Toprakta Bitkilerce Alınabilir Fosfor Miktarının Belirlenmesi.....	21
3.2.8 Denemede Kullanılan Toprağın Kimyasal ve Fiziksel Analizleri.....	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	23
4.1. Bulgular.....	23
4.1.1. Domates Genotiplerinin Fosfor Etkinliklerinin Belirlenmesine	
Yönelik Sera Denemesi.....	23
4.1.1.1. Genel.....	23
4.1.1.2. Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi ve Fosfor Etkinliği.....	23
4.1.1.3. Fosfor Konsantrasyonu ve İçeriği.....	26
4.1.1.4. Fosfor Eksiklik Semptomları ve Antosiyan Birikiminin	
Gözlenmesi.....	28
4.1.2. Besin Çözeltisinde Organik ve İnorganik Fosfor Uygulamaları.....	31
4.1.2.1. Genel.....	31
4.1.2.2. Yeşil Aksam ve Kök Kuru Madde Verimi, Kök/ Yeşil Aksam	
Oranı, P konsantrasyonu, P içeriği.....	31
4.1.3. Asit Fosfataz ve Fitaz Enzim Aktivitesi.....	39
4.1.3.1. Genel.....	39
4.1.3.2. Enzim Aktiviteleri.....	39
4.1.4. Fosfor Absorpsiyon Kapasitesinin Fosfor Etkinliği ile İlişkisi.....	41
4.1.4.1. Genel.....	41
4.1.4.2. Kümülatif Fosfor Absorpsiyonu ve Fosfor Ansorpsiyon Hızı.....	41
4.1.5. Fosfor Eksikliğine Dayanıklı ve Duyarlı Seçilmiş Domates Genotipleri	
ile Yürütülen Sera Denemesi.....	45
4.1.5.1. Genel.....	45

4.1.5.2. Yeşil Aksam ve Kök Kuru Madde Verimi, P etkinliği, P Konsantrasyonu ve İçeriği.....	45
4.2. Tartışma.....	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Denemelerde kullanılan domates genotipleri ve alındıkları yerler	15
Çizelge 4.1 Sera koşullarında düşük ve yeterli P uygulamaları ile 20 gün süreyle yetiştirilen domates genotiplerinin kuru madde verimi ile P etkinliği.....	23
Çizelge 4.2. Sera koşullarında P uygulamalarının domatesteki yeşil aksam P konsantrasyonu ve içeriğine etkisi.....	27
Çizelge 4.3. Düşük P uygulamasında (50 mg P kg^{-1} toprak) domates genotipinin yapraklarında gözlenen P eksikliğine bağlı antosiyan birikimi.....	30
Çizelge 4.4. Kontrollü koşullarda organik ve inorganik P kaynaklarının düşük (100 ve $25 \mu\text{M P}$) ve yeterli (800 ve $250 \mu\text{M P}$) uygulamaları altında 20 gün boyunca yetiştirilen 6 domates genotipinin yeşil aksam kuru madde verimi ve P etkinliği.....	32
Çizelge 4.5. Kontrollü koşullarda organik ve inorganik P kaynaklarının düşük (100 ve $25 \mu\text{M P}$) ve yeterli (800 ve $250 \mu\text{M P}$) uygulamaları altında 20 gün boyunca yetiştirilen 6 domates genotipinin kök kuru madde verimi.....	34
Çizelge 4.6. Kontrollü koşullarda organik ve inorganik P kaynaklarının düşük (100 ve $25 \mu\text{M P}$) ve yeterli (800 ve $250 \mu\text{M P}$) uygulamaları altında 20 gün boyunca yetiştirilen 6 domates genotipinin kök/yeşil aksam oranı.....	35
Çizelge 4.7. Kontrollü koşullarda organik ve inorganik P kaynaklarının düşük (100 ve $25 \mu\text{M P}$) ve yeterli (800 ve $250 \mu\text{M P}$) uygulamaları altında 20 gün boyunca yetiştirilen 6 domates genotipinin yeşil aksam P konsantrasyonu ve P içeriği.....	37
Çizelge 4.8. Kontrollü koşullarda organik ve inorganik P kaynaklarının düşük (100 ve $25 \mu\text{M P}$) ve yeterli (800 ve $250 \mu\text{M P}$) uygulamaları altında 20 gün boyunca yetiştirilen 6 domates genotipinin kök P konsantrasyonu ve P içeriği.....	38
Çizelge 4.9. Kontrollü koşullarda organik (200 ve $800 \mu\text{M P}$) ve yeterli	

	inorganik P (250 μ M P) uygulamaları altında 20 gün boyunca yetiştirilen 6 domates genotipinin köklerinde belirlenen asit fosfataz ve fitaz aktivitesi.....	40
Çizelge 4.10.	Sera koşullarında düşük (50 mg P kg^{-1} toprak) ve yeterli (150 mg P kg^{-1} toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin yeşil aksam kuru madde verimi ve P etkinliği.....	46
Çizelge 4.11.	Sera koşullarında düşük (50 mg P kg^{-1} toprak) ve yeterli (150 mg P kg^{-1} toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin kök kuru madde verimi ve P50/P150 oranı.....	47
Çizelge 4.12.	Sera koşullarında düşük (50 mg P kg^{-1} toprak) ve yeterli (150 mg P kg^{-1} toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin yeşil aksam ve kök P konsantrasyonları.....	50
Çizelge 4.13.	Sera koşullarında düşük (50 mg P kg^{-1} toprak) ve yeterli (150 mg P kg^{-1} toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin yeşil aksam ve kök P içerikleri.....	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1.	Sınırlı inorganik P durumunda bitkilerin tepkilerini gösteren şema.	9
Şekil 4.1.	Sera koşullarında düşük ve yeterli P uygulamaları ile 20 gün süreyle yetiştirilen domates genotiplerinin kuru madde verimi ile P etkinliği arasındaki ilişki.....	25
Şekil 4.2.	Sera koşullarında düşük(50 mg P kg ⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg ⁻¹ toprak) fosfor uygulamaları ile 20 gün süreyle yetiştirilen 61 domates genotipinin yeşil aksam P konsantrasyonu ile P etkinliği arasındaki ilişki.....	28
Şekil 4.3.	Sera koşullarında düşük(50 mg P kg ⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg ⁻¹ toprak) fosfor uygulamaları ile 20 gün süreyle yetiştirilen 61 domates genotipinin yeşil aksam P içeriği ile fosfor etkinliği arasındaki ilişki.....	28
Şekil 4.4.	Düşük P uygulamasında (50 mg P kg ⁻¹ -toprak) 61domates genotipinin yapraklarında gözlenen P eksikliğine bağlı antosiyan birikimi ile P etkinliği arasındaki ilişki.....	29
Şekil 4.5.	Besin çözeltisinde kontrollü koşullar altında 20 gün süreyle yeterli P ile (250 µM P) yetiştirilen 4 domates genotipinin kümülatif P absorpsiyonu.....	43
Şekil 4.6.	Besin çözeltisinde kontrollü koşullar altında 20 gün süreyle yetersiz P ile (25 µM P) yetiştirilen 4 domates genotipinin kümülatif P absorpsiyonu	43
Şekil 4.7.	Besin çözeltisinde kontrollü koşullar altında 20 gün süreyle yetersiz P ile (250 µM P) yetiştirilen 4 domates genotipinin P absorpsiyon hızı.....	44
Şekil 4.8.	Besin çözeltisinde kontrollü koşullar altında 20 gün süreyle yetersiz P ile (25 µM P) yetiştirilen 4 domates genotipinin P absorpsiyon hızı.....	44

Şekil 4.9.	Sera koşullarında düşük (50 mg P kg ⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg ⁻¹ toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin yeşil aksam ve kök kuru madde verimi ve P etkinliği.....	47
Şekil 4.10.	Yeterli (150 mg kg ⁻¹ P toprak) ve yetersiz P (50 mg kg ⁻¹ P toprak) uygulamasında 29 gün boyunca yetiştirilen duyarlı ve dayanıklı genotiplerden bir görünüm.....	48
Şekil 4.12.	Sera koşullarında düşük (50 mg P kg ⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg ⁻¹ toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin kök P ₅₀ /P ₁₅₀ oranı ile P etkinliği arasındaki ilişki.....	49
Şekil 4.13.	Sera koşullarında düşük (50 mg P kg ⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg ⁻¹ toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin yeşil aksam ve kök P içeriklerinin P etkinliği ile ilişkisi.....	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	: Yüzde
<	: Daha küçük
>	: Daha büyük
µg	: Mikro gram
µmol	: Mikro mol
APA	: Asit fosfataze
ATP	: Adenozin trifosfat
cv.	: Çeşit
da	: Dekar
DTPA	: Dietilentriaminpentaasetik asit
FAO	: Dünya gıda ve tarım örgütü
g	: Gram
H ⁺	: Proton veya hidrojen iyonu
kg	: Kilo gram
m	: Metre
mg	: Mili gram
ml	: Mili litre
mM	: Mili molar
µM	: Mikro molar
°C	: Derece santigrat
P	: Fosfor
pH	: Asitlik-alkalilik faktörü
P _i	: İnorganik fosfor
p-NPP	: Paranitrofenil fosfat
P _{org}	: Organik fosfor
s	: Saniye
w/v	: Ağırlık / hacim esası
mU	: Mili unit
IHP	: Inositol hexa phosphate

1.GİRİŞ

Türkiye topraklarının büyük bölümünde bir takım toprak ve iklimsel faktörlerden dolayı mineral bitki besin elementlerinin bitkilere yararlılığı çok düşük düzeydedir. Topraklarımızda yüksek pH ve kireç içeriği, düşük organik madde kapsamı gibi olumsuzluklar, mineral besin elementlerinin çözünürlüğünü ve hareketliliğini ve sonuçta bitkiye yararlılığını sınırlamaktadır, Yağışların sınırlı olduğu bölgelerde mineral besin elementlerinin yararlılığı anılan nedenlerden dolayı daha da azalmaktadır. Bitkilerin yeterli düzeyde fosfor (P) ile beslenmesinde topraktaki P'un miktarı kadar, bunun bitkiye yararlılık durumunu etkileyen diğer toprak ve çevre faktörleri de önemli olmaktadır.

Türkiye topraklarının büyük bir bölümünde kireç ve pH'nın yüksekliği, organik maddenin yetersizliği P yararlılığının ciddi bir şekilde sınırlı olabileceğini göstermektedir. Yapılan bir çalışmaya göre Türkiye topraklarının %82'inde pH 7 ve üzerinde, %90'ında organik madde %2-3'ün altındadır. Bitkilerce alınabilir P miktarı ise NaHCO₃ ile ekstrakte edilebilir P yöntemine göre %58'inde yetersiz (< 6 kg P₂O₅) düzeyde olduğu bildirilmiştir (Eyüpoğlu, 1999).

Bitkiye yararlı P'un düşük olduğu topraklarda toplam P miktarı normal düzeyde bulunabilmektedir. Topraklarda rezerv P miktarı yeterli olduğu halde bitkiye yararlı P miktarının yetersizliği uygulanan P'un yüksek pH'lı topraklarda Ca-P, düşük pH'lı topraklarda ise Fe-P, Al-P şeklinde fiksasyona uğramasıdır. Tarımsal üretimde topraklarda P yetersizliğine karşı uygulanan P'un fiksasyona uğraması nedeniyle yüksek düzeyde P'lu gübreleme yapılması hem ekonomik hem de çevresel açıdan problemleri beraberinde getirmektedir. Topraklara gübre olarak uygulanan P'un ancak %10-20'si bitkiler tarafından kullanılabilir (Holford 1997; Manske, 2000).

Ülkemizde P'lu gübre tüketiminin 474 417 ton olduğu dünyada ise 33 552 308 ton olduğu bildirilmiştir (FAO, 2002). Fosforlu Gübrelerin rezerv kaynağı olarak bilinen yüksek kaliteli kaya fosfatlarının gelecek 80 yıl içerisinde tükeneceği bildirilmektedir (Isherwood, 2000). Fosforlu gübre üretiminde kullanılan kaya fosfatlarının yüksek miktarlarda ağır metal içerebildiği bilinmektedir. Kaya fosfat

rezervlerinin %91'i gibi yüksek bir düzeyinde arsenik, kadmiyum, krom, kurşun, civa, nikel ve vanadyum gibi çeşitli ağır metalleri içerdiği açıklanmıştır (Konshaug ve ark, 1992). Topraklarda artan miktarlarda P uygulaması kadmiyum (Cd) birikimine neden olmaktadır (Alloway, 1995). Kullanılan P'lu gübrelerin çoğu Cd içeriği yüksek ham kaya fosfatlarından üretilmektedir. Kadmiyum içeriği yüksek P'lu gübre kullanımı bitkisel üretim yoluyla bu ağır metalin gıda zincirine geçişini arttırmakta ve sonuçta Cd birikimi ile ilişkili sağlık problemlerine neden olabilmektedir (Piscator, 1985, Kawada ve Suziki, 1998). Tarımsal üretimde P eksikliğini iyileştirmek için hem maliyet, hem de çevresel açıdan gereğinden fazla fosforlu gübreleme yapılması ideal bir çözüm yolu değildir. Modern tarımsal uygulamalarda düşük P'li topraklar için çevreyle barışık ve ekonomik olarak uygulanabilir stratejilerin geliştirilmesi oldukça önemli bir konudur (Derici, 1996). Tarımsal üretimde P'un bir alternatifi olamamasından dolayı yenilenemeyen bir kaynak olarak bu bitki besin elementinin sürdürülebilir tarımın öngördüğü şekilde kullanılması gerekmektedir.

Bitkiler toprakta zor çözünen P fraksiyonlarından yararlanmalarına imkan verebilecek birtakım morfolojik ve fizyolojik adaptasyon mekanizmalarına sahiptirler. Çok sayıda ve birbiri ile etkileşim içerisinde olduğu tahmin edilen bu mekanizmalar, yeşil aksam ve kök kaynaklı olarak sınıflandırılmaktadır. Kök kaynaklı P etkinlik mekanizmaları P-absorpsiyon etkinliği kapsamında değerlendirilmektedir. Bu adaptasyon mekanizmaları, kök sistemlerini büyütme (Lyncy,1995, Gahonnia ve ark., 1999), mikorizal infeksiyon (Taraftar ve Marshner, 1994), köklerden organik asit salgılamaları (Johnson ve ark.,1996), rizosfer asitliğinde meydana gelen artış (Neuman ve Römheld, 1999), fosfataz salgısındaki artış (Tadano ve Sakai, 1991; Gilbert ve ark, 1999) ve fitaz enzim aktivitesindeki artış (Li ve ark,1997b) şeklindedir. 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 (Wissuwa ve Ae 1999; Gahoonia ve Nielsen, 2001). Fosfor etkinliğini artırıcı bitkisel mekanizmaların belirlenmesi, belirlenen mekanizmaların ıslah ve seleksiyon yöntemleriyle iyileştirilmesi ve yüksek verimli, kaliteli çeşitlere

aktarılması ile elde edilecek yeni ve üstün genotiplerin üretim alanlarına sokulması önemli bir sürdürülebilir tarım stratejisidir.

Bu tez çalışmasında domates çeşitlerinin P etkinliğindeki varyasyon ve bu varyasyonun kaynağı olabilecek bazı mekanizmalar araştırılmıştır. Türkiye’de yaygın olarak kullanılan standart ve F1 domates çeşitleri yeterli ve düşük düzeyde P uygulaması altında yetiştirilerek P etkinlikleri belirlenmiştir. Fosfor etkinliği bakımından farklı bulunan seçilmiş çeşitlerle besin çözültüsü ortamında yeterli ve düşük P uygulamaları altında ileri fizyolojik testler yapılarak P absorpsiyon kapasitesi, asit fosfataz ve fitaz enzim aktiviteleri, kök ve yeşil aksamın biyokütle üretimi gibi bazı parametrelerle P etkinliği arasındaki olası ilişkiler araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Toprakta Bitkiler Tarafından Kullanılabilir Fosforu Etkileyen Faktörler

Toprakta fosfor (P), organik ve inorganik formlarda bulunmaktadır. Topraklarda toplam P'un yaklaşık olarak %50-80 kadarının organik P formlarında olduğu belirlenmiştir (Dalal, 1977). Toprak çözeltisinde inorganik P'a göre yüksek düzeyde bulunan organik P'dan bitkilerin direk olarak yararlanması oldukça zordur (Ron Vaz ve ark., 1993; Seeling and Jungk, 1996). Bu nedenle, bitkiler mevcut olan organik P kaynaklarından yararlanabilmek amacıyla bazı mekanizmalar geliştirmişlerdir. Bunlardan en önemlisi, kökler tarafından salgılanan ve topraktaki organik P'u hidrolize ederek inorganik P formlarına ($H_2PO_4^-$ ve HPO_4^{2-}) dönüştürerek bitkiler için yararlı hale getiren fosfataz enzimidir (Hübel ve Beck, 1996; Hayes ve ark., 1999; Li ve ark., 1997a,b). Bitkilerin dışında mikroorganizmalar da, fosfataz salgılamalarının sonucu organik P'u inorganik P formlarına dönüştürme suretiyle bitkilerin P ile beslenmelerine dolaylı olarak yardımcı olurlar (Richardon ve Hadobas, 1997).

Inorganik P toprakta fosfat anyonları şeklinde toprak çözeltisinde, Fe ve Al oksitler, Al silikatlar ve $CaCO_3$ 'lar şeklinde veya pH'ya bağımlı olarak alkalın karakterli topraklarda oldukça zor çözünen Ca-Fosfatlar ve asit karakterli topraklarda ise Fe-Fosfat ve Al-Fosfatlar şeklinde adsorbe edilmiş halde bulunur (Sanyal ve De Data, 1991). Seeling ve Zasoski, (1993) yapmış oldukları çalışmada, topraklarda organik madde ve mikrobiyel aktiviteye bağlı mineralizasyon ile beraber, toprak katı fazı tarafından tutulan stabil haldeki P'un da bitkilerin kullanabileceği inorganik P formlarına dönüşebileceğini göstermişlerdir.

Topraklara gübre olarak uygulanan P'un yalnızca %10-20'u bitkiler tarafından kullanabilmekte geriye kalan kısmı ise, alkalın topraklarda toprakta çözünürlüğü oldukça zor olan Ca-P şeklinde, asit karakterli topraklarda ise Fe-P ve/veya Al-P şeklinde fiske edilerek daha az yararlı formlara dönüşmektedir (Manske ve ark., 2000). Bu durum, toprak çözeltisindeki fosfat konsantrasyonunun

toprağın katı fazı tarafından önemli derecelerde kontrol edilmesinden kaynaklanmaktadır (Derici, 1996). Toprak çözeltisindeki inorganik P'un konsantrasyonu tekstür, pH, CaCO₃, oksitler ve hidroksitler, organik madde içeriği, toprak nemi, toprak sıcaklığı gibi toprak özellikleriyle yakın bir ilişki gösterir (Özbek ve ark.,1993). Fosforun toprak çözeltisindeki difüzyona, yani, toprakta mevcut konsantrasyon gradientine bağlı olan hareketliliği, onun rizosfer veya kök yüzeyindeki miktarı üzerinde önemli derecede etkiye sahiptir (Kovar ve Barber, 1998; Bhadoria ve ark., 1991).

Yapılan çalışmalar, Türkiye topraklarının toplam P bakımından yeterli ve yer yerde aşırı yüksek P miktarlarına sahip olduğunu göstermektedir (Zabunoğlu, 1967; Ülgen, 1968; Kacar ve ark., 1996). Ancak bu bulgular, bitkilere yarayışlı P durumu hakkında tam olarak bilgi vermemekte, sadece topraklardaki rezerv durumda bulunan ve bitkilerin sahip oldukları özelliklerine göre yararlanabilecekleri/yararlanamayacakları fraksiyonu temsil etmektedir. Türkiye topraklarının yarayışlı P durumunun belirlenmesi amacı ile, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü tarafından ülke genelindeki tarım alanlarından alınan toprak örnekleri bitkiler tarafından hali hazırda kullanılabilir inorganik P durumunu yansıttığı düşünülen Olsen yöntemine göre analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar da bir rapor halinde sunulmuştur. Bu rapora göre, Türkiye topraklarının yarayışlı P durumlarının çok az, az, orta, yüksek, çok yüksek şeklindeki bir skalaya göre yapılan değerlendirmesinde ,Türkiye genelindeki oransal dağılımın sırasıyla % 29.5, % 28.5, % 17.0, % 15.7 ve % 9.3 şeklinde olduğu belirlenmiştir (Eyüpoğlu, 1999). Yapılan çalışmalar, Türkiye topraklarının toplam (rezerv) P bakımından oldukça iyi olmasına karşın, toprakların sahip oldukları ve P'un yarayışlılığını etkileyen özelliklerinden dolayı, bitkiler için yarayışlı içeriklerinin oldukça az düzeylerde olduğunu göstermektedir.

2.2. Bitkilerin Toprak Fosforundan Yararlanabilmek İçin Geliştirdikleri Morfolojik ve Fizyolojik Mekanizmalar

2.2.1. Fosfor Etkin Genotipler

Topraklarda P eksikliğini gidermek amacıyla uygulanan P'un çok önemli bir bölümü toprakta kalmaktadır. Gübre olarak uygulanan P'un ancak %10-20'si bitkiler tarafından kullanılabilen, geriye kalan diğer kısmının ise toprakta bitkilerce alınabilirliği kolay olmayan formlarda fiske edildiği belirtilmiştir (Mc Laughlin ve ark, 1990; Manske ve ark., 2000).

Bitkilerin toprakta alınabilirliği zor olan P kaynaklarından farklı şekillerde yararlandığı bilinmektedir (Wissuwa ve Ae 1999; Neumann ve Römhald 1999,; Ragothama, 1999,; Gahoonia ve Nielsen 2004; Lambers ve ark, 2006). Toprakta bulunan P'u etkin kullanan genotiplerin belirlenmesi sonucunda elde edilen genotiplerin P eksikliği koşullarında üretim alanlarında tarımsal üretime sokulması, birçok ülkede önemli bir sürdürülebilir tarım stratejisi olarak kabul görmekte ve uygulanmaktadır.

Fosfor etkinliği birçok araştırmacı tarafından değişik şekillerde tanımlanıyor olsa da, genel anlamda, toprakta bulunan P'un bitkiler tarafından alınarak, bitkinin ilgili organlarında etkili bir şekilde kullanabilme yeteneği şeklinde açıklanabilir. Bu tanımlamaya benzer olarak, Fageria ve Baligar (1999) da farklı buğday çeşitleri kullanarak, artan besin P uygulamalarının bitki verimi üzerine olan etkilerine göre kullanılan çeşitlerin etkinliklerini 4 grup altında değerlendirmişlerdir. Bunlar:

- 1- Etkin olmayan ve tepkisiz genotipler; toprakta düşük düzeyde bulunan alınabilir P'dan verimleri olumsuz etkilenen ve P uygulamasına pozitif tepki vermeyen çeşitler
- 2- Etkin ve tepkisiz genotipler; toprakta düşük düzeyde bulunan alınabilir P'dan verimleri olumsuz etkilenmeyen ve P uygulamalarına pozitif tepki vermeyen çeşitler

- 3- Etkin olmayan ve tepkili genotipler; toprakta düşük düzeyde bulunan alınabilir P'dan büyümeleri olumsuz etkilenen ama P uygulamasına pozitif tepki veren çeşitler
- 4- Etkin ve tepkili genotipler; toprakta düşük düzeyde bulunan alınabilir P'dan verimi olumsuz etkilenmeyen ama P uygulamasına pozitif tepki veren çeşitler olarak ele alınmıştır.

Yukarda belirtilen bu sınıflamaya göre arzu edilen, yani, ideal çeşitler 4. sınıfa uygun olan genotiplerdir. Yani, etkin ve duyarlı genotiler olup, düşük P düzeylerinde bile diğerlerine göre daha yüksek verimi veren ama artan dozlardaki P uygulamalarının da verim artışına yol açtığı genotipler olarak izah edilenleridir. Olanakların sınırlı olduğu ve gübreleme imkanının olmadığı durumlarda ise, 2. sınıfta yer alan özellikleri taşıyan etkin ve duyarsız genotipler seçilebilir.

Osborne ve Rengel (2002a) ise, genotiplerin P etkinliklerinin;

- a) Yetersiz P düzeyinde elde edilen verimin yeterli P düzeyindeki verimine oranı,
- b) Yetersiz P düzeyinde elde edilen verim,
- c) Yetersiz P uygulamasıyla elde edilen P verimin uygulanan P'a oranı (P alım etkinliği),
- d) Elde edilen kuru madde veriminin bitkinin toplam P içeriğine oranı (P kullanım etkinliği)

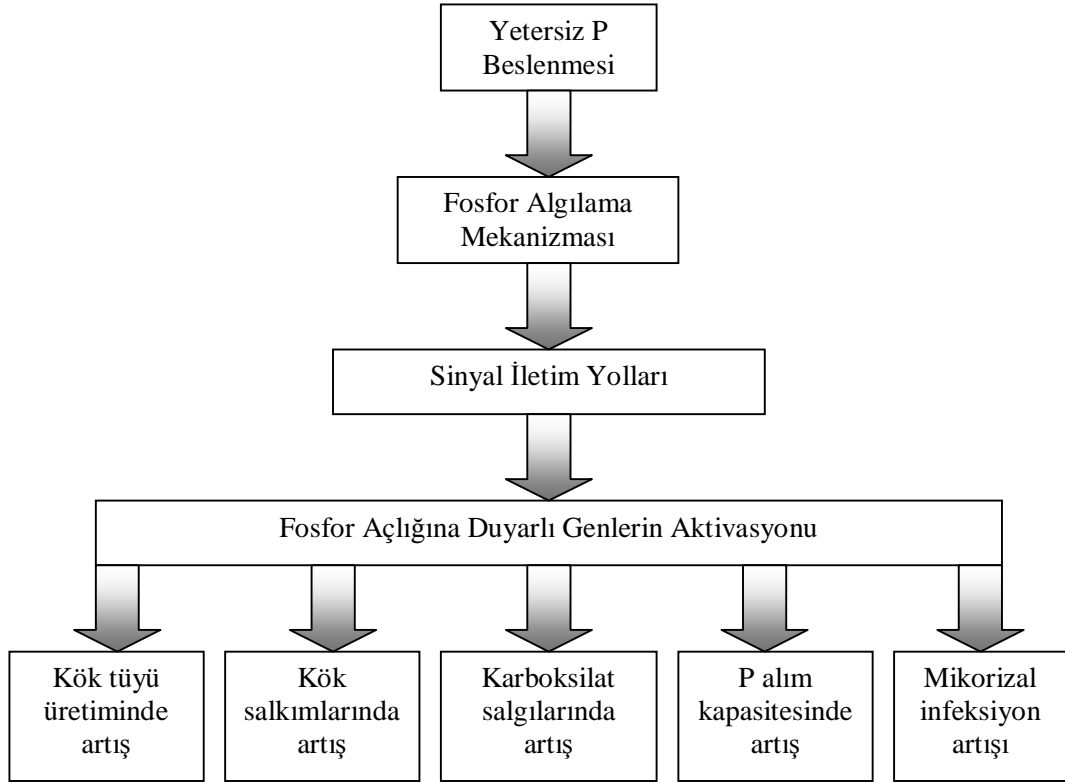
şeklinde 4 grup kriter altında değerlendirilebileceğini belirtmişlerdir. Osborne ve Rengel (2002) buğday genotiplerinin Fe-P kullanımını test etmek amacıyla yürüttükleri bu çalışmada, P etkin genotiplerin seçiminde yukarıda vurgulanan 4 grup kriterlere uygunluk bakımından, bütün genotiplerin sınıflandırılması şeklinde yapılacak değerlendirmenin daha sağlıklı bir yaklaşım şekli olduğu görüşünde karar kılmışlardır. Osborne ve Rengel (2002a), bu kriterlere göre, farklı kategorilere giren genotiplerin P etkinliklerinin farklı tarımsal sistemlerde farklı düzeylerde önemli olduğunu belirterek şu şekilde bir değerlendirmede bulunmuşlardır: düşük girdili sistemlerde, düşük P ile elde edilen en yüksek verimin, P kullanım etkinliği ve P alım etkinliğinin önemli bir kriterken, yüksek girdili sistemlerde ise yüksek verimli,

uygulanan gübreye tepki veren ve P kullanım etkinliği yüksek genotipler oldukça önemlidir.

Genel hatlarıyla ıslah çalışmaları; verim potansiyeli yüksek, hastalıklara dayanıklı ve kullanım amacına uygun kaliteli genotiplerin geliştirilmesi şeklinde üç önemli amaca uygun olarak yürütülürler. Bununla birlikte son yıllarda, besin elementi eksikliğine karşı dayanıklılığı artırma amacına dönük olarak yapılan ıslah çalışmaları da önem kazanmıştır. Bu amaca uygun olarak, ıslah programlarında, besin elementi eksikliğine dayanıklı genotiplerin seçilmesi yoluyla, besin elementi eksikliğini gözlemlendiği toprak koşullarında normal gelişimini sürdürebilen yeni genotipler geliştirilebilir. Tüm bunlara uygun olarak, göre P alımı yüksek donör çeşitlerle yüksek hasat indeksine sahip çeşitlerin melezlenmesi sonucu P eksikliği altında yüksek verime sahip yeni çeşitler oluşturulabileceğini de belirtilmiştir (Wissuva ve Ae., 2001., ; Gahoonia ve Nielsen 2004).

Bitkiler, gelişim göstermiş oldukları ortamda sınırlı inorganik P'un sınırlı olması durumunda, bu P'dan en etkin düzeyde yararlanmak amacıyla köklerinde rizosferlerindeki P'un yararlılığını artırmaya yönelik bir takım tepkiler geliştirirler. Lambers ve arkadaşlarına (2006) göre, bitki P noksanlığına maruz kaldığı zaman, P algılama mekanizmaları devreye girerek, P yetersizliğine tepki gösterecek mekanizmaların genlerinin aktif hale gelmesini sağlayan bir takım sinyaller göndermektedirler.. Bu genlerin aktif hale gelmesi sonucunda da; kök tüyü üretiminde artış, köklerde salkımlaşma (demetleşme), karboksilat salgılarında artış, P alım kapasitelerinde artış ve mikorizal infeksiyonda artış şeklinde bir takım mekanizmalar geliştirilerek, bitkinin P ile beslenme durumunu iyileştirmek için gerekli mekanizmalar devreye sokulmuş olur.

Köklerin Fosfor Alımını Etkileyen Bitkisel Faktörler



Şekil 2.1. Düşük düzeylerdeki inorganik P'a bitkilerin gösterdikleri olası tepkileri (Lambers ve ark., 2006).

2.2.2. Bitki Köklerinde Gerçekleştirilen Fosfor Alım Kapasitesi

Toprak çözeltisindeki P konsantrasyonu, topraktan toprağa değişmekle birlikte 0.1 μM ile 3 μM arasında yer alır (Marshner, 1995). Rizosfer toprağında ise bitkiler tarafından P alımıyla oluşan P azalması nedeniyle, çözelti P konsantrasyonu daha da düşüktür. Çözelti P konsantrasyonu, bitkilerin toprak P'undan yararlanmasında karar verici düzeyde rol oynar. Bitkilerin toprak çözeltisinden P'u absorbe etmeleri sonucunda toprak çözeltisinde oluşturabilecekleri en düşük P düzeyi, diğer besin elementlerinde de olduğu gibi Cmin değeri olarak adlandırılmaktadır. Cmin değeri ne kadar düşük olursa P'un köke olan difüzyonu ve böylece bitkinin P alımı o denli fazla olur (Junk and Classen,1986). Birçok besin elementi için geçerli olduğu gibi, beslenme ortamından köklerin P alım kinetiği de

ilk kez enzim çalışmaları için geliştirilen Michalis-Menten Kinetik yasası çerçevesinde değerlendirilmektedir (Nielsen, 1976; Junk ve Claasen, 1986). Bu yasaya göre iyon alımı aşağıda yer alan formülle karakterize edilmektedir:

$$\text{İyon Alımı} = I_{\text{max}} (C - C_{\text{min}}) / K_m + (C - C_{\text{min}})$$

Burada;

I_{max} : maksimum iyon alım oranını,

C : beslenme ortamındaki iyon konsantrasyonunu ,

C_{min} : bitkinin beslenme ortamında absorpsiyonla azaltabileceği iyon miktarını

K_m : maksimum iyon alımının yarısının gerçekleştiği durumda beslenme ortamındaki iyon konsantrasyonunu temsil eder.

Fosfor için düşük K_m ve C_{min} değerlerine sahip bir bitki, aynen diğer besin elementleri için de olduğu gibi, yüksek bir P alım kapasitesine sahip olduğu şeklinde değerlendirilir (Schenk ve Barber, 1979; Junk ve Classen, 1986). Arpa genotipleri ile yapılan bir çalışmada, P etkin olan genotiplerin diğer genotiplere oranla daha düşük K_m ve C_{min} değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir (Nielsen and Schjørring, 1983). Düşük C_{min} değeri, genotiplerin toprak çözeltilisindeki düşük P düzeyinde P absorpsiyon kapasitelerinin duyarlı olan genotiplere göre fazla olmasının bir göstergesi olup, bu tür genotiplerin düşük girdili tarımsal sistemlerde çok önemli olduğu da Gahoonia ve Nielsen (2004) tarafından belirtilmiştir. Aynı çalışmada, bitki türlerinin ve bir türün genotiplerinin P etkinliğinin belirlenmesinde kök morfolojisinin, mikorizal infeksiyonun, kök salgılarının ve P alım kinetikleri yönünden incelenmesinin doğru bir yaklaşım olacağı vurgulanmıştır (Gahoonia ve Nielsen, 2004)

2.2.3. Kök Morfolojisinin Fosfor Alımındaki Önemi

Fosforun toprakların katı fazı tarafından çok sıkı bir şekilde tutuluyor olması, topraklardaki hareketli P (bitkilerin kullanabileceği) düzeyinin düşük olmasına neden olmaktadır. Topraklarda P difüzyon yoluyla kök bölgesine ulaştığından, rizosferde kökler tarafından P'un fakirleştirilmesi ile kök bölgesine difüze olan P miktarı artış

göstermektedir (Bhat ve Nye, 1973). Bitkilerin, P'un düşük olduğu koşullarda, kök yapılarında değişiklikler yaparak, başka bir ifadeyle ulaşabilecekleri toprak hacmi miktarını artırmak için kök morfolojilerinde değişiklik yapmaları önemli bir adaptasyon mekanizması olarak kabul edilmektedir (Horst ve ark., 2001).

Fosfor eksikliğine karşı bitkilerin kök / yeşil aksam oranlarını arttırmaları en önemli mekanizmalardan birisidir. Bitkilerin P eskiliğine karşı en belirgin tepkisi olarak asimilatların köke doğru taşınmasıyla kök gelişiminde, lateral kök formasyonunda, kök tüylerinin sayısı ve uzunluğunda meydana gelen artış sayesinde kökün daha fazla toprak alanı ile teması sağlanır (Vance ve ark., 2003). Yapılan çalışmalarda P eksikliği koşullarında sekonder (ikincil) köklerde dallanma ve lateral köklerin gelişiminde (Lyncy ve Brown, 2001) ve toplam kök uzunluğunda (Wissuwa, 2005) artış olduğu gözlenmiştir. Farklı bitki tür ve çeşitlerinde, P eksikliğini marul genotiplerinde kök ağırlığının (Buso ve Bliss, 1988), buğdaygillerde kök yoğunluğu (Manske ve ark., 2000) ve kılcal kök uzunluğunun (Gahoonia ve Nielsen , 1997), yerfıstığı genotiplerinde (Wissuwa ve Ae, 1999) ve tahıllarda (Gahoonia ve ark.1999) kök tüyü gelişiminin P etkinliği ile pozitif ilişkili olduğu bildirilmiştir. Fosfor eksikliğine karşı verilen tepki olarak bitkilerin kök tüyü uzunluğunda ve yoğunluğunda artışın meydana gelmesi, kök yüzeyinin daha az maliyetli olarak genişlemesiyle bitkilerin P beslenmeleri yönünden bir adaptasyon mekanizması olarak görülmektedir (Gahoonia ve Nielsen, 1997; Lyncy ve Brown, 2001). Gahoonia ve arkadaşları (2001) kök tüyü fazla olan yabancı arpa ve kök tüyü az olan mutant arpa ile yapmış oldukları çalışmada, fazla kök tüyüne sahip yabancı arpanın APA salgısının mutant arpaya göre oldukça fazla olduğunu, kök tüyüne sahip bitkilerin organik P kaynaklarından daha iyi yararlanabildiklerini vurgulamışlardır.

2.2.4. Rizosfere Organik Asitler Salgılanması

Bitkilerin rizosfer pH'sını düşürmesi ve rizosfere organik asitler salgılanması P eksikliği koşullarına adaptasyonda büyük bir önem taşımaktadır. Neumann ve Römheld (1999) tarafından yapılan bir çalışmada P eksikliği koşullarında domates, nohut ve beyaz lüpin bitkilerinde köklerden proton (H^+) salgılanmasında önemli

düzeyde bir artış meydana gelirken, buğday bitkisinde ise o kadar önemli bir artışın olmadığını belirlenmiştir.

Zor çözünen P kaynaklarından (Ca-P, Fe-P ve Al-P gibi) P'un çözünürlüğünde bitki köklerinden salgılanan organik asitlerin özellikle sitratın etkisi oldukça fazladır (Sas ve ark.2001). Çift çenekli bitki türleri tek çenekli bitki türlerine göre köklerinden daha fazla organik asitler salgılamaktadırlar (Ragothama, 1999). Shen ve arkadaşlarınca (2002) yürütülen bir çalışmada ise fasulye genotipleri arasında, P eksikliğinde salgılanan organik asitlerin çeşitten çeşide değişiyor olmasının yanında, en fazla sitratın salgılandığını rapor etmişlerdir.

2.2.5. Asit Fosfataz ve Fitaz Enzim Aktivitesi

Topraklardaki toplam P'un %30-80'i organik formda (P_{org}) bulunmaktadır (Dalal, 1977; Marschner, 1995). Toprakta bulunan organik formdaki P, bitkiler için potansiyel P kaynağı olup, bitkiler bu P kaynağından direkt olarak yararlanmakta zorluklarla karşılaşır ancak bu organik P'un hidrolizi sonucu açığa çıkan inorganik P kaynaklarından ($H_2PO_4^-$ ve HPO_4^{2-}) rahatlıkla yararlanabilmektedirler. Organik P'un hidrolizinde özellikle bitki köklerinden salgılanan asit fosfataz enzimi (APA) önemli rol oynamaktadır. Asit fosfataz enzimi (APA), P_{org} 'u hidrolize ederek P_i 'un açığa çıkmasını sağlayan bir ekto-enzim'dir. Asit fosfatazlar bitki metabolizmasında geniş bir fonksiyona sahip hidrolitik enzimlerin oluşturduğu genel bir gruptur. Birçok bitki türünün yanı sıra mikorizal mantarların ve toprakta yaşayan bazı bakteri türlerinin de APA salgılayarak P_{org} 'dan yararlanılabilmektedir (Taraftar ve Marschner, 1994; Marschner, 1997). Asit fosfataz bir enzim olarak P eskiliği koşullarında artarak kök yüzeyinden rizosfere salgılanmaktadır (Helal ve Dressler, 1989; Tadano ve Sakai, 1991; Gilbert ve ark., 1999).

Ancak asit fosfatazların etkinlik dereceleri substrattan substrata değişiklik gösterir. Fitat gibi toprak P_{org} 'unun yarısını inositol penta- ve hekza-fosfatlar (fitat) oluşturan bileşiklere karşı asit fosfatazın affinitesi düşüktür (Dalal, 1977). Asit fosfataz grubunda yer alan ve ayrı bir sınıf olan fitazlar ise (E.C.3.1.3.8 ve 3.1.3.26) inositol hekza-fosfatlara (fitat:IHP) karşı yüksek affiniteye sahip bir enzimdir. Özellikle mantar (Ullah ve Gibson 1987), bakteri (Yoon ve ark,1996), maya

(Greenwood ve Lewis, 1977), çeşitli yüksek bitkilerin polen (Hara ve ark.,1996), fide ve tohum (Konietzny ve ark., 1995) ve kotiledon dokularında (Laboure ve ark., 1993) ve bitki köklerinde (Hübel ve Beck 1996; Li ve ark., 1997a) bulunduğu rapor edilmiştir. Yakın zamanda Li ve ark. (1997) tarafından yapılan bir çalışmada, değişik bitki çeşitlerinde düşük P uygulamalarının köklerden salgılanan fitaz aktivitesinde kontrole göre 10 kat artış olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada en fazla fitaz aktivitesinin domateste, en az aktivitenin ise beyaz lupin, bazı yonca türleri ve pirinçte olduğu rapor edilmiş ve bitki köklerinden salgılanan fitaz salgısının toprakta bulunan fitatları daha etkin kullanmak için geliştirilen bir mekanizma olabileceğinden söz edilmiştir.

Tadano ve Sakai (1991) P eksikliği altında farklı bitki türlerinde (bakla, domates, lahana, turp, soya, şekerpancarı, buğday, azuki fasulyesi) APA aktivitelerinin en fazla bakla ve domateste en az ise buğday ve azuki fasülyesinde olduğunu belirlemişlerdir.

Hayes ve arkadaşlarınca (1999) yapılan çalışmalarda ise asit fosfataz ve fitaz enzim aktivitelerinin bitkinin P beslenme göre değiştiğini, köklerden salgılanan asit fosfataz ve fitaz enzim ölçümlerinin aktivite hakkında tam fikir vermediğini ve bu yüzden kökte total asit fosfataz aktivite ölçümünün daha doğru bir yaklaşım olabileceğini ifade etmişlerdir.

Yukarıda özetlenmeye çalışılan bu bilgilerden de anlaşılacağı üzere, kök APA ve fitaz aktiviteleri bitkilerin P beslenmesi ve P etkinliğine etkili bir fizyolojik mekanizma olmasının yanı sıra, bunun, bitki tür ve çeşitlerinin P etkinliğine farklı oranlarda etki edebildiği de anlaşılmaktadır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Tohum Materyali

Bu tez çalışmasında yürütülen farklı denemelerde kullanılan domates genotipleri Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünden ve tohum üretimi yapan firmalardan talep edilerek sağlanmıştır. Söz konusu domates genotipleri hali hazırda Türkiye’de üretimi yapılan standart ve F1 hibrit materyallerdir. Denemelerde kullanılan genotiplerin isimleri ve temin edildikleri yerler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

3.1.2. Sera Denemelerinde Kullanılan Toprak Materyali

Çukurova Üniversitesi Toprak Bölümü seralarında yürütülen saksı denemelerinde kullanılan toprak materyali, bitkilere yararlı P konsantrasyonu düşük olduğu bilinen Eskişehir-Sultanönü bölgesinden getirilmiştir. Bu toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Bitkiler için elverişli P: 1.2 kg P₂O₅ da⁻¹
- K= 423 mg kg⁻¹ toprak
- S=12 mg kg⁻¹ toprak
- Zn= 0.1 mg kg⁻¹ toprak
- Fe= 2.92 mg kg⁻¹ toprak
- Mn= 3.36 mg kg⁻¹ toprak
- Cu= 0.54 mg kg⁻¹ toprak
- pH: 8.04
- Organik Madde: % 1
- Tekstür Sınıfı: kil
- Kireç içeriği: % 14.9

Çizelge 3.1. Denemelerde kullanılan domates genotipleri ve alındıkları yerler

Sıra	Genotip/Çeşit	Alındığı Yer
1	AG 2134	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
2	SC 2121	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
3	Urbana	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
4	Invictus	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
5	Pearson	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
6	Rio Fuego	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
7	WC 156	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
8	68 VF 26	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
9	Falcon	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
10	Arizona	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
11	Cambell 133	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
12	Super Marmande	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
13	Super 6 HES 58	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
14	Lignon C.19.18	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
15	Roza	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
16	Fer	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
17	<i>L. pimpinellifolium</i>	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
18	Pakmor	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
19	Cambell 37	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
20	Cambell 33	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
21	Lignon C.8.6	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
22	Lignon S1	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
23	LignonS2	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
24	LignonS3	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
25	Red Cherry	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
26	Super Sweet	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
27	Sencan-9	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
28	Romitel	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
29	T-2 Improved	Ç.Ü. Zir. Fak. Bahçe Bitkileri Bölümü
30	TR37277	EGE Tarımsal Araştırma Enst.
31	TR40359	EGE Tarımsal Araştırma Enst.
32	TR40361	EGE Tarımsal Araştırma Enst.
33	TR40363	EGE Tarımsal Araştırma Enst.
34	TR40397	EGE Tarımsal Araştırma Enst.
35	TR40478	EGE Tarımsal Araştırma Enst.
36	TR52263	EGE Tarımsal Araştırma Enst.
37	TR52428	EGE Tarımsal Araştırma Enst.
38	TR61658	EGE Tarımsal Araştırma Enst.
39	TR62573	EGE Tarımsal Araştırma Enst.
40	TR68516	EGE Tarımsal Araştırma Enst.
41	PE-47 (<i>L. pennellii</i>)	SAPEKSA A.Ş.
42	Sırık F1	Seminis Sebze Tohumları A.Ş.
43	Standart	Seminis Sebze Tohumları A.Ş.
44	Oturak F1	Seminis Sebze Tohumları A.Ş.
45	LM 512 F1	Advanta Tohum A.Ş.
46	LM 513 F1	Advanta Tohum A.Ş.
47	LM 428 F1	Advanta Tohum A.Ş.
48	H-2274	Advanta Tohum A.Ş.
49	Marilyn-F1	Syngenta Sebze Tohumları A.Ş.
50	00-4 F1	TAT Tohumculuk A.Ş.
51	Kagome 931 F1	TAT Tohumculuk A.Ş.
52	Dalmone F1	TAT Tohumculuk A.Ş.
53	93-10 F1	TAT Tohumculuk A.Ş.
54	Shasta F1	TAT Tohumculuk A.Ş.
55	Alta F1	TAT Tohumculuk A.Ş.
56	H-8892 F1	TAT Tohumculuk A.Ş.
57	Rio Grande	TAT Tohumculuk A.Ş.
58	H 2274	May Tohumculuk A.Ş.
59	Tuğba F1	May Tohumculuk A.Ş.
60	Bolero F1	SETO A.Ş.
61	Amber ez F1	SETO A.Ş.

3.2. Metod

3.2.1. Tohum Çimlendirme

Yürütülen denemelerde kullanılan domates tohumları ilk önce plastik kaplarda perlit ortamında çimlendirilmiştir. Bitkiler çimlenme süresince 20-22°C ortam sıcaklığında tutulmuştur. Çimlenen bitkilerin kotiledon yapraklarından sonraki ilk sürgünlerin çıkmasıyla birlikte bitkiler daha önceden uygulamanın amacına göre toprak uygulamaları yapılmış saksılara veya su kültürü saksılarına bitki kök ve yeşil aksamına herhangi bir zarar verilmeden dikkatli bir şekilde aktarılmıştır.

3.2.2. Sera Denemelerinin Kurulması ve Yürütülmesi

Sera denemelerinde P'ca eksik olduğu bilinen (1.2 kg P₂O₅ da⁻¹) Eskişehir-Sultanönü toprağı kullanılmıştır. Plastik saksıların kullanıldığı denemelerde her saksıya 1650 g toprak konulmuştur. Temel gübreleme olarak tüm saksılara 200 mg kg⁻¹ N, Ca(NO₃)₂, 50 mg kg⁻¹ S, K₂SO₄ formunda, 5 mg kg⁻¹ Zn, ZnSO₄ ve 10 mg kg⁻¹ Fe, FeEDTA formunda uygulanmıştır. Fosfor uygulamaları, denemelerin amaçlarına göre, düşük P uygulamaları için, 50 mg P kg⁻¹ ve yeterli P uygulamaları için 150 mg P kg⁻¹ dozlarında CaH₄O₈P₂ formunda yapılmıştır.

Screening denemesinde 3 yinelemeli olarak, screening denemesi sonuçlarına göre seçilen çeşitlerde ise 4 yinelemeli şekilde dizayn edilen denemelerde başlangıçta 4'er fide dikilmiş, bitkiler sonradan 2'ye seyreltilmiştir. Bitkiler gereksindikçe saf su ile sulanmış ve saksılar 4-5 gün ara ile randomize edilmiştir.

Farklı amaçlara yönelik olarak yürütülen sera denemelerinde, kullanılan domates genotipleri, P uygulamaları, hasattaki bitki yaşı ve ölçülen parametreler denemeden denemeye farklı olduğundan, söz konusu bilgiler bulgular bölümünde "Genel" başlığı altında açıklanmıştır.

3.2.3. Çözelti Kültürü Denemeleri

3.2.3.1. Bitkilerin Şaşırtılması ve Yetiştirilmesi

Çözelti kültürü denemelerinde kullanılan sera screening denemesinden seçilmiş domates genotipleri 3.2.1’de belirtildiği gibi çimlendirildikten sonra gövdelerinden süngerle sarılıp, her bir saksıya 1 bitki gelecek şekilde içerisinde besin çözeltisi bulunan 1 litre hacimli PVC çözelti kültürü saksılarına transfer edilmiştir. Sürekli olarak havalandırılan besin çözeltileri 2 gün ara ile değiştirilmiş ve her çözelti değişiminde saksılar rastgele yerleştirilmiştir.

3.2.3.2. Kontrollü Koşulların Sağlanması

Çözelti kültürü denemeleri, bilgisayar kontrollü iklim odalarında (Digitech Phytotrons-Ankara), 20-24 °C gece-gündüz sıcaklığı, 400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık intensitesi ve % 70-50 gece gündüz nemi sağlanarak yürütülmüştür. Gece-gündüz saatleri, tüm denemelerde, 8 saat gece ve 16 saat gündüz olacak şekilde programlanmıştır.

3.2.3.3. Besin Çözeltisinin Kompozisyonu ve Fosfor Uygulamaları

Besin çözeltisinin kompozisyonu tüm denemelerde aynı olarak: 0.88 mM K_2SO_4 , 2.0 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 1.0 mM MgSO_4 , 0.1 mM KCl , 100 μM Fe EDTA , 1 μmol H_3BO_3 , 0.25 μmol MnSO_4 , 0.2 μmol CuSO_4 , 0.02 μmol $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ ve 1 μmol ZnSO_4 ’dır.

Fosfor uygulamaları ise;

İnorganik P uygulamalarında, düşük P uygulamasında 25 μmol , yeterli P uygulamasında da 250 μmol olarak $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ formunda yapılmıştır.

Organik kaynaklı P uygulamalarında, düşük P uygulamasında 100 μmol , yeterli P uygulamasında da 800 μmol olarak Phytic Acid (Inositol hexaphosphoric acid) formunda yapılmıştır.

3.2.3.4. Fosfor Absorpsiyonu Deneyi

Toprak denemelerinden elde edilen P etkin ve duyarlı olarak seçilen 4 domates genotipinin bilgisayar kontrollü iklim odalarında P absorpsiyon kapasiteleri araştırılmıştır. Besin çözeltisi ortamında düşük (25 μM) ve yeterli (250 μM) P uygulamaları ile 20 gün yetiştirilmiştir. Çözelti ortamında köklerin P absorpsiyon hızı ve miktarının belirlenmesi için yapılan deneyde, absorpsiyon başlangıcında besin çözeltileri değiştirilerek düşük ve yeterli P ile yetiştirilen bitkilere aynı anda 250 μmol P uygulanmıştır. Uygulama başlangıcından itibaren 0, 3, 6, 12 ve 23 saat sonra alınan çözelti örnekleri spektrofotometre cihazında 430 nm boyunda P için analiz edilmiştir. Sonuçlar, bitki başına μmol olarak kümülatif P absorpsiyonu, μmol P kök⁻¹KM ve P absorpsiyon hızı, μmol P kök⁻¹KM saat⁻¹ şeklinde hesaplanarak değerlendirilmiştir.

3.2.4. İntakt Köklerde Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

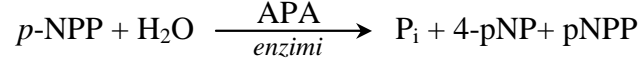
Bitki köklerinden salgılanan APA ve fitaze enzimleri, organik P formlarını hidrolize ederek bitkilerce alınabilir inorganik P formuna dönüştürmektedir. Ayrıca bu enzimler farklı substratlara özgü çalıştıklarından APA enzim aktivitesi için pNPP fitaze enzim aktivitesi için de fitik asit (IHP) kullanılmıştır.

3.2.4.1. Asit Fosfataz (APA) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

İntakt (bitkiden ayrılmamış canlı ve aktif doku) köklerde APA aktivitesinin belirlenmesinde Clark'ın geliştirdiği yöntem esas alınmıştır (Clark, 1975). Besin çözeltisinde düşük ve yeterli P uygulamaları ile yetiştirilen bitkilerden 0.25 gr taze kök alınarak, içerisinde 50 ml aktivite ölçümüne yönelik deney çözeltisi (assay solution) bulunan polietilen inkübasyon şişelerine konulmuştur. Ara sıra çalkalanan deney çözeltisinin kompozisyonu 10 mM Na-asetat tamponu (pH: 5.0) ve 0.2 mM 4-nitrofenil fosfat (p-NPP)'dir.

Kök yüzeyinden inkübasyon ortamına geçen APA, burada optimum aktivite gösterebileceği pH: 5.0'da p-NPP'nin hidroliz reaksiyonunu katalizlemektedir. Bu

reaksiyon sonucunda, organik P formu olan 1 mol *p*-NPP'den 1 mol 4-nitrofenol ve 1 mol P_i açığa çıkmaktadır. Reaksiyonun eşitliği aşağıdaki gibidir:



Asit fosfataz aktivitesi oda sıcaklığında (24°C) loş bir ortamda bitki köklerinin ölçüm çözeltilisine daldırılmasıyla başlatılmıştır. Aktivite çözeltilisinden 30 dakika sonra 1 hacim reaksiyon çözeltilisi + 1 hacim tampon + 1 hacim 2N NaOH şeklinde oluşan sarı rengin spektrofotometrede 405 nm dalga boyunda absorbans okumaları yapılmıştır. Sonuçlar, absorbans okumalarının bitki kök kuru ağırlığına bölünüp saatlik APA aktivitesi elde edilmiş olup sonuçlar 6 yinelemenin ortalama ve standart sapması şeklinde verilmiştir.

3.2.4.2. Fitaze Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi

Fitaze enzim aktivitesi substrat olarak kullanılan sodyum fitatın (inositol hexaphosphat : IHP) hidrolizi sonucu açığa çıkan inorganik P miktarının ölçümü ile belirlenmektedir (Li ve ark., 1997; Hayes ve ark., 1999 ; Richardson 2001). Bir birim bitki kökü ile 2 birim 15 mM MES 0.5 mM CaCl₂ ve 1 mM EDTA tamponu içerisinde (pH 5.5) 4°C de homogenize edilir. 10 000g de 15 dakika boyunca santrifuj edildikten sonra üstte kalan berrak alikottan 1 ml alınıp üzerine 1 ml 15mM MES 0.5 mM CaCl₂ ve 1 mM EDTA ve 2 mM IHP (fitik asit) (pH 5.5) ilave edilip su banyosunda 37°C'de 1 saat süreyle inkübe edilir. İnkübasyon eş hacim %10'luk TCA ilavesiyle sonlandırılır. Örnekler tekrar 10 000g de 15 dakika süreyle santrifuj edilir. Üstte kalan sıvıdan Pi analizi yapılarak açığa çıkan Pi konsantrasyonu belirlenir. Burada, 1 birim (Ünite) fitaze aktivitesi 1 µmol Pi dak.⁻¹ şeklinde tanımlanmaktadır.

3.2.5. Bitki Materyallerinde Fosfor Etkinliğinin Belirlenmesi

Sera ve su kültürü denemelerinden hasat edilen örnekler (yeşil aksam, kök) 48 saat boyunca 70°C'de sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutulduktan sonra bitki başına

kuru ağırlığın belirlenmesi için tartılmıştır. Çeşitlerinin düşük ve yeterli P uygulamaları ile elde edilen P etkinlikleri Osborne ve Rengel'e (2002a) göre [(düşük P'de Kuru Ağırlık / yeterli P'de Kuru Ağırlık) x100] şeklinde belirlenmiştir

3.2.6. Bitki Örneklerinde Fosfor Analizi

3.2.6.1. Bitki Örneklerinin Analize Hazırlanması

Bitki örneklerinde kuru madde verimleri belirlendikten sonra agat değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülen bitki örneklerinden 0.25 g tartılarak yüksek sıcaklığa dayanıklı cam şişelere konmuştur. Kuru yakma yöntemine göre kül fırınında 550 °C'de 6 saat süreyle yanan numunelerden elde edilen kül, 1/30 HCl'de (20 ml) çözündürüldükten sonra mavi-bant filtre kağıdı ile süzildükten sonra örneklerin analize hazırlama işlemi tamamlanmıştır.

3.2.6.2. Bitki Örneklerinde Fosfor Analizi

Bitki dokularında P analizi Barton (1948) yöntemine göre spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. Barton yöntemine hazırlanan renklendirme çözeltisi aşağıda verildiği şekilde hazırlanmıştır.

1-) 25 g amonyum molibdat $[(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ 400 ml saf su içerisinde ısıtılarak çözündürülür.

2-) 1000 ml hacmindeki ölçü balonuna 1.25 g amonyum metavanadat (NH_4VO_3) konup üzerine 300 ml saf su ilave edilir kaynatılarak çözündürülür ve daha sonra soğumaya bırakılır. Hazırlanan çözelti soğuduktan sonra üzerine 250 ml konsantre nitrik asit (HNO_3) ilave edilir.

3-) 1000 ml hacmindeki balon içerisinde yaklaşık 550 ml hazırlanmış olan amonyum metavanadat ve nitrik asit karışımlarının üzerine daha önce hazırlanmış olan 400 ml hacmindeki amonyum molibdat çözeltisi ilave edilir ve balon derecesine kadar saf su ile tamamlandıktan sonra çalkalanır. Bu şekilde Barton renklendirme çözeltisi hazırlanmış olur.

Analize hazır hale gelen bitki örneklerinden 1ml alınıp 10-15 ml hacmindeki tüplere konur üzerine 5 ml saf su ve 1 ml Barton çözeltisi ilave edildikten sonra karıştırıcı yardımıyla tüp içerisindeki çözelti iyice karıştırılmıştır. Yaklaşık 30 dakika sonra oluşan sarı renk spektrofotometre cihazında 430 nm dalga boyunda 0-50 mg P L⁻¹ aralığında hazırlanmış standartlara karşı okunmuştur. Elde olunan sonuçlar sulandırma faktörü ile çarpılarak yüzde kuru ağırlık şeklinde (%) verilmiştir. Bu şekilde belirlenen P konsantrasyonları, bitki kuru ağırlıkları ile çarpılarak, ayrıca, bitki başına P içerikleri hesaplanmıştır.

3.2.7. Toprakta Bitkilerce Alınabilir Fosfor Miktarının Belirlenmesi

Topraklarda bitkiye yararlı P miktarı Olsen ve arkadaşları (1954) tarafından geliştirilen yöntemle yapılmıştır. Bu method toprağın 0.5 M NaHCO₃ ile ekstraksiyonu sonucu ortaya çıkan inorganik P'un spektrofotometrik olarak belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntem toprak ekstraksiyonun alınması, yakma ve nütürleştirme ve renklendirme aşamalarından oluşmaktadır.

Olsen yöntemi renk çözeltisi; 37.5 ml %'lük amonyum heptamolibdat [(NH₄)₆Mo₇O₂₄4(H₂O)], 75 ml 0.1 M askorbik asit [C₆H₈O₆], 125 ml 5 N H₂SO₄ ve 12.5 ml 8.2 mM Potasyum antimonil tartarat [C₄H₄KO₇Sb·5H₂O] kimyasallarının karışımı ile oluşturulmuştur.

Hava kuru olarak 2mm elekten elenmiş toprak örneklerinden 5 er gr tartıp üzerine 100 ml 0.5M NaHCO₃ ilave edilerek 30 dakika süreyle çalkalanmıştır. Çalkalama bittikten sonra mavibant filtre kağıdından süzölmüş ve elde edilen ekstraktan 25 ml alınarak yakma tüplerine aktarılmıştır. Üzerine 2 ml konsantre sülfürik asit ilave edilip yakma işlemine geçilmiştir. Örneklerde yaklaşık olarak 2 ml kadar örnek kalıncaya ve renk açılıncaya kadar yakma işlemine son verilmiştir. Örnekler biraz soğuduktan sonra üzerine bir miktar saf su ile edilerek çalkalanarak oluşan kristaller çözöndürölmüştür. Numunelere daha sonra pH indikatörü olan %0.1'lik para nitrofenol çözeltisinden 3 damla damlatılmış ve konsantre NaOH çözeltisinden sarı renk oluşuncaya kadar damla damla ilave edilmiştir. Elde edilen

çözeltiyi nötrleştirmek için 1:1'lik hazırlanmış H₂SO₄ çözeltisiyle sarı renk gidene kadar titre edilmiş ve çözelti 50 ml hacmine saf su ile tamamlanmıştır.

Hazırlanmış örneklerden 1ml alınıp cam tüplere konmuş ve üzerine yukarıda anlatıldığı şekilde hazırlanmış 1ml renk çözeltisi ilave edildikten sonra 13 ml saf su ilave edilip karıştırıcı ile iyice çalkalandıktan sonra 10 dakika bekledikten sonra spektrofotometrede 882 nm dalga boyunda belirlenmiştir. Sonuçlar kg P₂O₅ da⁻¹ şeklinde hesaplanmıştır.

3.2.8 Denemede Kullanılan Toprağın Kimyasal ve Fiziksel Analizleri

Toprakta K analizi amonyum asetat yöntemine göre AAS'de belirlenmiştir (Carson , 1980). Bitkiye yararlı S konsantrasyonu Bloem ve arkadaşlarınc., (2002) geliştirilmiş 0.025 M KCl yöntemine göre ekstrakt alındıktan sonra ICP cihazında ölçülmüştür. Toprakta bitkiye yararlı mikro element(Zn, Fe, Mn, Cu) konsantrasyonları Lindsay ve Norvel'e (1978) göre DTPA yöntemine göre AAS'de belirlenmiştir. Toprakta pH Jackson'a göre (1959), saturasyon çamuru oluşturulduktan sonra, dijital pH metre ile belirlenmiştir. Toprak organik madde içeriği Walkey-Black yaş yakma metoduyla belirlenmiştir (Jackson, 1959). Kum, silt ve kil fraksiyonlarının belirlenmesi Bouyoucus'a (1952) göre, hidrometre yöntemiyle yapılmıştır. Toprak kireç içeriği Çağlar'a (1949) göre, Scheibler kalsimetresi ile ölçülerek hesaplanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulgular

4.1.1. Domates Genotiplerinin Fosfor Etkinliklerinin Belirlenmesine Yönelik Sera Denemesi

4.1.1.1. Genel

Fosfor eksikliğine dayanıklı ve duyarlı domates genotiplerini belirlemek amacıyla 61 genotipten oluşan bir sera denemesi yürütülmüştür. Bu denemede bitkiler, Eskişehir-Sultanönü bölgesinden getirilen P'ca fakir (Olsen P: 1.2 kg P₂O₅ da⁻¹) toprakta yetersiz (50 mg P kg⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg⁻¹ da) düzeyde P uygulamaları altında yetiştirilmiştir. Deneme süresince kontrole göre, düşük düzeydeki P uygulaması altında yetiştirilen genotiplerin gösterdiği büyüme performansı ve yeşil aksamdaki semptom şiddetine bağlı olarak büyümenin 20. gününde bitkiler hasat edilmiştir. Hasat edilen bitkilerde yeşil aksam kuru madde verimi ve P etkinliği, P konsantrasyonu, P içeriği ve P eksiklik semptomları belirlenmiştir.

4.1.1.2. Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi ve P Etkinliği

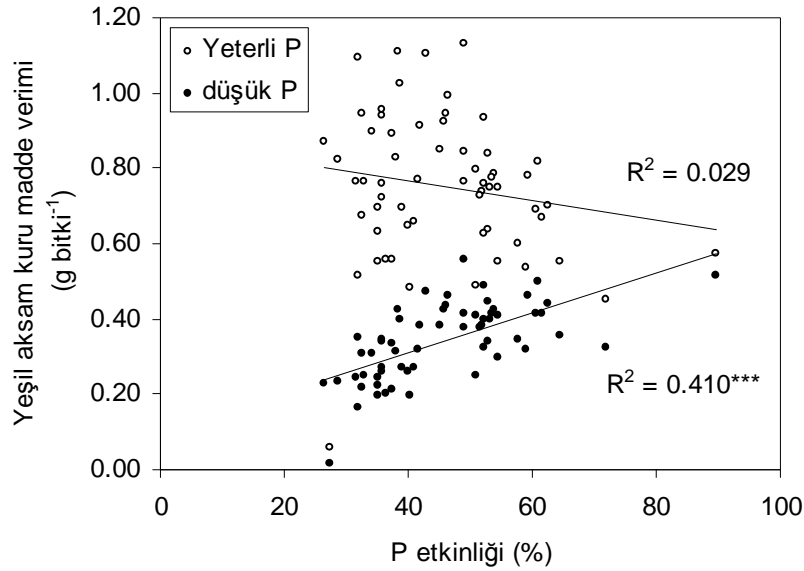
Domates genotiplerinin düşük (P50) ve yeterli (P150) P uygulamaları altındaki ortalama kuru madde verimleri sırasıyla 0.340 ve 0.752 g bitki⁻¹ olmuştur (Çizelge 4.1). Düşük düzeyde P uygulamasında en düşük kuru madde verimi AG 2134, Alta F1, H 8892, Rio Grande'de sırasıyla 0.163, 0.169, 0.194 ve 0.210 g bitki⁻¹ olurken, yeterli düzeydeki P uygulamasında en az kuru madde verimi Urbana, Lignon S2, İnvictus, AG 2134'de sırasıyla 0.450, 0.483, 0.490 ve 0.514 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Düşük ve yeterli P uygulamasında en yüksek kuru madde verimi P50'de TR 40363, TR 62573, TR 37277 ve Marilyn F1'de sırasıyla 0.557, 0.515, 0.500 ve 0.489 g bitki⁻¹, P150'de ise TR 40363, Kagome 93 F1, Süper Marmande ve Cambell 133'de sırasıyla 1.133, 1.110, 1.103 ve 1.094 g bitki⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Sera koşullarında düşük ve yeterli P uygulamaları ile 20 gün süreyle yetiştirilen domates genotiplerinin kuru madde verimi ile P etkinliği

Genotip	Yeşil aksam kuru ağırlığı (g bitki ⁻¹ KM)		Etkinlik (%)
	P 50	P 150	
TR 62573	0.515 ± 0.09	0.575 ± 0.07	89.7
Urbana	0.323 ± 0.07	0.450 ± 0.08	71.8
Pearson	0.358 ± 0.08	0.554 ± 0.12	64.6
Arizona	0.440 ± 0.08	0.703 ± 0.13	62.5
LM 512	0.414 ± 0.15	0.671 ± 0.11	61.7
TR 37277	0.500 ± 0.06	0.818 ± 0.21	61.1
Romitel	0.417 ± 0.14	0.689 ± 0.12	60.5
TR 40478	0.464 ± 0.03	0.782 ± 0.23	59.3
Hibrit Sırık	0.317 ± 0.10	0.537 ± 0.05	59.1
Falcon	0.345 ± 0.04	0.598 ± 0.10	57.7
H 2274 May	0.300 ± 0.10	0.551 ± 0.07	54.4
TR 52428	0.407 ± 0.04	0.749 ± 0.11	54.4
H 2274 Advanta	0.425 ± 0.11	0.787 ± 0.15	54.0
Hibrit Oturak	0.415 ± 0.08	0.775 ± 0.05	53.5
T-2 Improved	0.400 ± 0.09	0.750 ± 0.12	53.4
TR 40397	0.445 ± 0.10	0.840 ± 0.30	53.0
WC 156	0.337 ± 0.11	0.637 ± 0.10	53.0
68 VF 26	0.399 ± 0.06	0.762 ± 0.05	52.4
TR 52263	0.326 ± 0.04	0.624 ± 0.03	52.3
Marilyn F1	0.489 ± 0.05	0.936 ± 0.12	52.2
00-4 F1	0.385 ± 0.12	0.740 ± 0.06	52.0
SC 2121	0.377 ± 0.03	0.728 ± 0.06	51.8
Lignon C.19.18	0.407 ± 0.08	0.799 ± 0.15	51.0
İnvictus	0.249 ± 0.03	0.490 ± 0.07	50.8
TR 40363	0.557 ± 0.06	1.133 ± 0.33	49.2
TR 61658	0.376 ± 0.01	0.765 ± 0.10	49.1
Super 6 HES 58	0.414 ± 0.12	0.846 ± 0.12	49.0
Sencan-9	0.462 ± 0.16	0.993 ± 0.05	46.5
Dalmone F1	0.436 ± 0.06	0.947 ± 0.13	46.1
LM 428	0.422 ± 0.03	0.922 ± 0.01	45.8
TR 40361	0.383 ± 0.11	0.850 ± 0.34	45.1
Super Marmande	0.472 ± 0.14	1.103 ± 0.17	42.8
Pakmor	0.381 ± 0.19	0.912 ± 0.10	41.8
Red Cherry	0.320 ± 0.02	0.770 ± 0.17	41.5
<i>L. pimpinellifolium</i>	0.269 ± 0.05	0.658 ± 0.07	41.0
LignonS2	0.195 ± 0.04	0.483 ± 0.05	40.4
Rio Fuego	0.260 ± 0.02	0.650 ± 0.11	40.0
Bolero F1	0.272 ± 0.04	0.697 ± 0.01	39.0
Fer	0.397 ± 0.06	1.023 ± 0.12	38.8
Kagome 93 F1	0.426 ± 0.11	1.110 ± 0.21	38.4
LM 513	0.315 ± 0.07	0.827 ± 0.04	38.1
Rio Grande	0.210 ± 0.10	0.560 ± 0.21	37.5
Shasta F1	0.334 ± 0.07	0.891 ± 0.17	37.5
Alta F1	0.202 ± 0.10	0.556 ± 0.06	36.4
Roza	0.272 ± 0.09	0.758 ± 0.07	35.9
TR 40359	0.338 ± 0.06	0.942 ± 0.27	35.9
Amber ez	0.259 ± 0.07	0.724 ± 0.09	35.8
93-10 F1	0.343 ± 0.10	0.958 ± 0.12	35.8
Tuğba F1	0.245 ± 0.04	0.694 ± 0.10	35.3
H 8892 F1	0.194 ± 0.04	0.552 ± 0.10	35.1
Standart	0.222 ± 0.05	0.632 ± 0.05	35.1
TR 68516	0.307 ± 0.08	0.895 ± 0.08	34.2
Lignon C.8.6	0.251 ± 0.06	0.762 ± 0.11	32.9
Super Sweet	0.220 ± 0.04	0.673 ± 0.13	32.7
Cambel 33	0.307 ± 0.05	0.944 ± 0.32	32.5
Cambell 133	0.351 ± 0.13	1.094 ± 0.16	32.1
AG 2134	0.163 ± 0.04	0.514 ± 0.10	31.8
LignonS3	0.242 ± 0.03	0.767 ± 0.19	31.6
Lignon S1	0.236 ± 0.04	0.824 ± 0.01	28.6
PE-47 (<i>L. pennellii</i>)	0.017 ± 0.00	0.060 ± 0.02	27.3
Cambell 37	0.230 ± 0.14	0.869 ± 0.14	26.4
Ortalama	0.340	0.752	45.6

Düşük ve yeterli P uygulamalarındaki kuru madde verimleri ile hesaplanan P etkinliği ortalaması % 46 bulunmuştur. Denemeye konu edilen genotiplerin P etkinliği % 90 (TR 62573) ile % 26 (Cambell 37) arasında değişen çok geniş bir varyasyon göstermiştir (Çizelge 4.1). Düşük P etkinliği gösteren genotipler yetersiz P uygulamasında genelde ortalamadan daha az kuru madde oluşturmuştur (Çizelge 4.1.1.2.1). Test edilen genotipler arasında TR 62573 (% 90), Urbana (% 72), Pearson (% 65), Arizona (% 63) P etkinliği en yüksek, Cambell 37 (% 26), Lignon S1 (% 29), ve Lignon S3 (% 32) ve AG 2134'de (%32) P etkinliği en düşük genotipler olarak belirlenmiştir (Çizelge 4. 1).

Şekil 4.1'de gösterildiği üzere yeterli P ile yetiştirilen genotiplerde kuru madde verimi ve P etkinliği değerleri arasında bir ilişki bulunmamaktadır ($R^2=0.029$). Buna karşın yetersiz P ile yetiştirilen genotiplerin kuru madde verimleri ile P etkinlikleri arasında istatistiki olarak önemli düzeyde pozitif yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir ($R^2= 0.410^{***}$).



Şekil 4.1. Sera koşullarında düşük ve yeterli P uygulamaları ile 20 gün süreyle yetiştirilen domates genotiplerinin kuru madde verimi ile P etkinliği arasındaki ilişki.

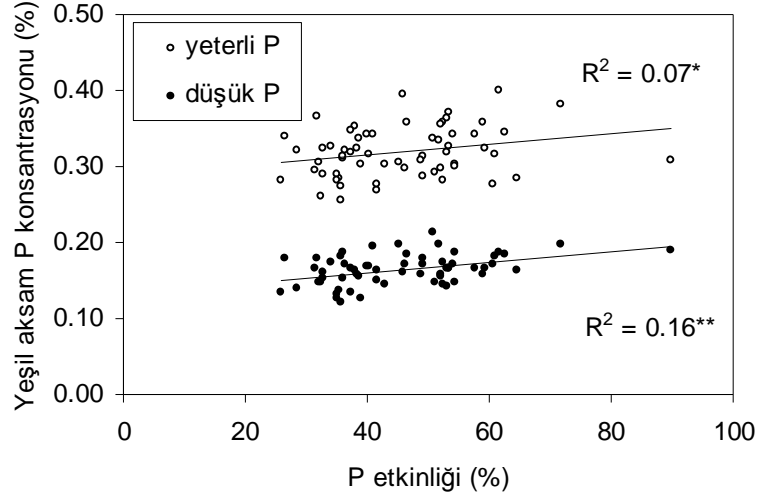
4.1.1.3. Fosfor Konsantrasyonu ve İçeriği

Düşük düzeyde P uygulaması (P50) sonucunda genotiplerin yeşil P konsantrasyonu yaklaşık % 50 oranında azalmıştır. Bu uygulamada yeşil aksam P konsantrasyonu % 0.12 (Amber ez) ile % 0.21 (Invictus) arasında değişim göstermiş ve tüm genotipler ortalaması % 0.16 bulunmuştur (Çizelge 4.2). Yeterli P uygulamasında ise yeşil aksam P konsantrasyonu ortalama % 0.32 olmuştur. Özellikle P₅₀'de olmak kaydıyla her iki P düzeyinde de yeşil aksam P konsantrasyonu bakımından genotipler arasında önemli farklılıklar bulunmuştur. Yetersiz P uygulaması ile yetiştirilen genotiplerin yeşil aksamlarındaki P konsantrasyonu ile P etkinliği arasında $R^2=0.163^{**}$, yeterli P uygulaması ile de $R^2=0.068^*$ düzeyinde pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.2).

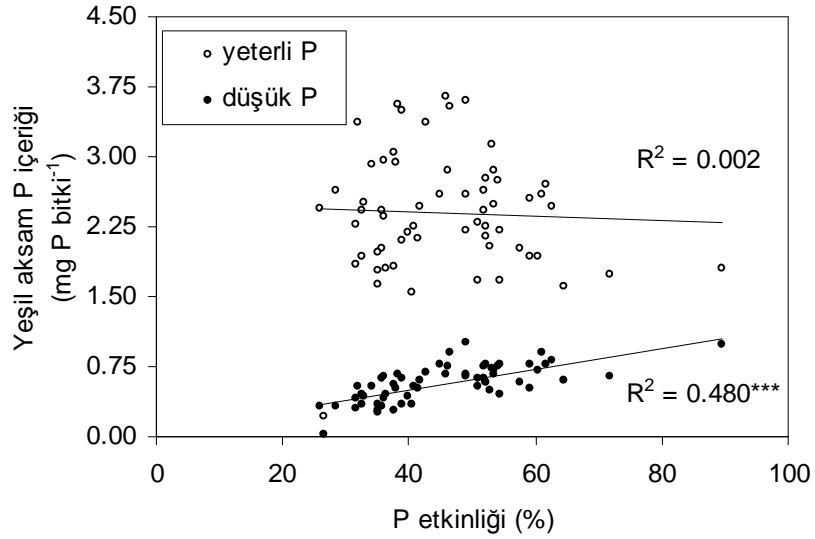
Domates genotiplerinde bitki başına toplam P miktarının (P içeriği) her iki P düzeyinde de P konsantrasyonundan daha fazla varyasyon gösterdiği anlaşılmaktadır (Çizelge 4.2). Ortalama değer bakımından incelendiğinde de farklı P uygulamalarında P içeriğinin (% 77 azalma) P konsantrasyonundan (% 50 azalma) çok daha fazla etkilendiği görülmektedir. Ayrıca istatistiki anlamda en önemli ilişki, genotiplerinin P etkinliği ile düşük P koşullarındaki P içeriği arasında belirlenmiştir ($R^2=0.480^{***}$) (Şekil 4.3). Örneğin P etkinliği yüksek TR 62573, TR 37277 ve Arizona sırasıyla 0.98, 0.90 ve 0.82 mg P bitki⁻¹ iken P duyarlı Cambell 37, Lignon S1, H 8892'de sırasıyla 0.31, 0.33 ve 0.26 mg P bitki⁻¹ olarak P içermektedirler (Çizelge 4.2). Yeterli P düzeyinde P içeriği ile etkinlik arasında ise önemli bir ilişki bulunmamaktadır (Şekil 4.3). Örneğin P etkin genotiplerin yeterli düzeydeki yeşil aksam P içerikleri TR 62573, TR 37277 ve Arizona'da sırasıyla 1.79, 2.60 ve 2.46 mg P bitki⁻¹ iken P duyarlı Cambell 37, Lignon S1, H 8892 F1'de sırasıyla 2.44, 2.64 ve 1.62 mg P bitki⁻¹ olarak P içermektedirler.

Çizelge 4.2. Sera koşullarında P uygulamalarının domateste yeşil aksam P konsantrasyonu ve içeriğine etkisi

Genotip	Yeşil aksam P konsantrasyonu		Yeşil aksam P içeriği	
	P 50	P 150	P 50	P 150
	(%)		(mg P bitki ⁻¹)	
TR 62573	0.19 ± 0.01	0.31 ± 0.06	0.98 ± 0.20	1.79 ± 0.57
Urbana	0.20 ± 0.01	0.38 ± 0.04	0.64 ± 0.16	1.74 ± 0.49
Pearson	0.16 ± 0.01	0.29 ± 0.04	0.59 ± 0.18	1.61 ± 0.51
Arizona	0.18 ± 0.02	0.34 ± 0.05	0.82 ± 0.21	2.46 ± 0.74
LM 512	0.19 ± 0.04	0.40 ± 0.06	0.77 ± 0.29	2.69 ± 0.63
TR 37277	0.18 ± 0.02	0.32 ± 0.01	0.90 ± 0.02	2.60 ± 0.70
Romitel	0.17 ± 0.02	0.28 ± 0.03	0.71 ± 0.27	1.93 ± 0.54
TR 40478	0.17 ± 0.01	0.32 ± 0.02	0.78 ± 0.09	2.56 ± 0.86
Hibrit Sırık	0.16 ± 0.02	0.36 ± 0.04	0.51 ± 0.20	1.92 ± 0.28
Falcon	0.17 ± 0.02	0.34 ± 0.05	0.58 ± 0.11	2.02 ± 0.22
H 2274 May	0.15 ± 0.03	0.30 ± 0.03	0.46 ± 0.25	1.67 ± 0.22
TR 52428	0.19 ± 0.04	0.30 ± 0.07	0.78 ± 0.26	2.21 ± 0.18
H 2274 Advanta	0.17 ± 0.03	0.34 ± 0.04	0.75 ± 0.30	2.74 ± 0.89
Hibrit Oturak	0.17 ± 0.03	0.37 ± 0.05	0.70 ± 0.27	2.85 ± 0.25
T-2 İmproved	0.17 ± 0.01	0.33 ± 0.05	0.67 ± 0.19	2.48 ± 0.72
TR 40397	0.16 ± 0.02	0.36 ± 0.04	0.74 ± 0.19	3.13 ± 1.38
WC 156	0.14 ± 0.02	0.32 ± 0.01	0.49 ± 0.23	2.03 ± 0.35
68 VF 26	0.14 ± 0.01	0.28 ± 0.05	0.57 ± 0.10	2.15 ± 0.50
TR 52263	0.17 ± 0.03	0.36 ± 0.00	0.58 ± 0.17	2.24 ± 0.12
Marilyn F1	0.16 ± 0.03	0.30 ± 0.02	0.76 ± 0.08	2.77 ± 0.39
00-4 F1	0.15 ± 0.03	0.35 ± 0.04	0.61 ± 0.28	2.63 ± 0.48
SC 2121	0.20 ± 0.02	0.33 ± 0.02	0.74 ± 0.10	2.43 ± 0.14
Lignon C.19.18	0.15 ± 0.02	0.29 ± 0.06	0.61 ± 0.18	2.29 ± 0.37
Invictus	0.21 ± 0.03	0.34 ± 0.03	0.53 ± 0.13	1.67 ± 0.42
TR 40363	0.18 ± 0.02	0.31 ± 0.02	1.00 ± 0.12	3.59 ± 1.21
TR 61658	0.17 ± 0.01	0.29 ± 0.03	0.64 ± 0.06	2.21 ± 0.49
Super 6 HES 58	0.16 ± 0.01	0.31 ± 0.01	0.66 ± 0.22	2.59 ± 0.29
Sencan-9	0.18 ± 0.05	0.36 ± 0.04	0.90 ± 0.48	3.55 ± 0.37
Dalmone F1	0.17 ± 0.03	0.30 ± 0.06	0.76 ± 0.22	2.86 ± 0.93
LM 428	0.16 ± 0.02	0.39 ± 0.02	0.67 ± 0.10	3.64 ± 0.21
TR 40361	0.20 ± 0.02	0.31 ± 0.01	0.77 ± 0.29	2.60 ± 1.06
Super Marmande	0.14 ± 0.01	0.30 ± 0.03	0.68 ± 0.21	3.37 ± 0.86
Pakmor	0.15 ± 0.02	0.27 ± 0.03	0.60 ± 0.37	2.47 ± 0.50
Red Cherry	0.16 ± 0.02	0.28 ± 0.04	0.52 ± 0.08	2.12 ± 0.53
<i>L. pimpinellifolium</i>	0.19 ± 0.01	0.34 ± 0.02	0.53 ± 0.14	2.24 ± 0.09
LignonS2	0.17 ± 0.03	0.32 ± 0.05	0.34 ± 0.08	1.54 ± 0.40
Rio Fuego	0.17 ± 0.03	0.34 ± 0.05	0.44 ± 0.08	2.19 ± 0.24
Bolero F1	0.13 ± 0.01	0.30 ± 0.08	0.34 ± 0.05	2.11 ± 0.58
Fer	0.15 ± 0.04	0.34 ± 0.08	0.63 ± 0.27	3.49 ± 1.14
Kagome 93 F1	0.16 ± 0.00	0.32 ± 0.03	0.67 ± 0.15	3.56 ± 0.61
LM 513	0.16 ± 0.03	0.35 ± 0.04	0.52 ± 0.20	2.94 ± 0.47
Rio Grande	0.13 ± 0.01	0.32 ± 0.04	0.29 ± 0.16	1.83 ± 0.91
Shasta F1	0.16 ± 0.02	0.35 ± 0.06	0.56 ± 0.17	3.04 ± 0.22
Alta F1	0.17 ± 0.01	0.32 ± 0.05	0.44 ± 0.10	1.80 ± 0.40
Roza	0.15 ± 0.02	0.31 ± 0.01	0.41 ± 0.15	2.35 ± 0.24
TR 40359	0.19 ± 0.02	0.31 ± 0.02	0.64 ± 0.16	2.96 ± 0.89
Amber ez	0.12 ± 0.01	0.27 ± 0.05	0.32 ± 0.10	2.01 ± 0.60
93-10 F1	0.18 ± 0.04	0.25 ± 0.03	0.62 ± 0.25	2.42 ± 0.31
Tuğba F1	0.14 ± 0.02	0.28 ± 0.03	0.34 ± 0.09	1.96 ± 0.26
H 8892 F1	0.13 ± 0.02	0.29 ± 0.04	0.26 ± 0.08	1.62 ± 0.47
Standart	0.13 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.28 ± 0.08	1.78 ± 0.12
TR 68516	0.17 ± 0.02	0.33 ± 0.02	0.54 ± 0.18	2.91 ± 0.16
Lignon C.8.6	0.16 ± 0.04	0.32 ± 0.04	0.42 ± 0.22	2.50 ± 0.63
Super Sweet	0.15 ± 0.02	0.29 ± 0.05	0.34 ± 0.11	1.93 ± 0.33
Cambel 33	0.15 ± 0.02	0.26 ± 0.05	0.46 ± 0.14	2.42 ± 0.68
Cambell 133	0.15 ± 0.01	0.31 ± 0.04	0.53 ± 0.22	3.37 ± 0.88
AG 2134	0.18 ± 0.01	0.36 ± 0.05	0.29 ± 0.09	1.85 ± 0.26
LignonS3	0.17 ± 0.01	0.30 ± 0.01	0.40 ± 0.05	2.28 ± 0.62
Lignon S1	0.14 ± 0.02	0.32 ± 0.07	0.33 ± 0.07	2.64 ± 0.53
PE-47 (<i>L. pennellii</i>)	0.18 ± 0.06	0.34 ± 0.01	0.03 ± 0.00	0.20 ± 0.05
Cambell 37	0.13 ± 0.01	0.28 ± 0.01	0.31 ± 0.21	2.44 ± 0.41
Ortalama	0.16	0.32	0.57	2.39



Şekil 4.2. Sera koşullarında düşük (50 mg P kg⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg⁻¹ toprak) fosfor uygulamaları ile 20 gün süreyle yetiştirilen 61 domates genotipinin yeşil aksam P konsantrasyonu ile fosfor etkinliği arasındaki ilişki.



Şekil 4.3. Sera koşullarında düşük (50 mg P kg⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg⁻¹ toprak) fosfor uygulamaları ile 20 gün süreyle yetiştirilen 61 domates genotipinin yeşil aksam P içeriği ile fosfor etkinliği arasındaki ilişki.

Çizelge 4.3. Düşük P uygulamasında (50 mg P kg⁻¹ toprak) domates genotipinin yapraklarında gözlenen P eksikliğine bağlı antosiyan birikimi.

Genotip	Semptom şiddeti*
TR 62573	1.5
Urbana	1
Pearson	2
Arizona	1
LM 512	1
TR 37277	1
Romitel	1
TR 40478	1
Hibrit Sırık	3
Falcon	1
H 2274 May	2
TR 52428	1
H 2274 Advanta	1
Hibrit Oturak	3
T-2 Improved	2.5
TR 40397	1
WC 156	1
68 VF 26	3
TR 52263	1
Marilyn F1	2
00-4 F1	2
SC 2121	1
Lignon C.19.18	2
Invictus	2
TR 40363	1
TR 61658	1.5
Super 6 HES 58	1
Sencan-9	1
Dalmone F1	1.5
LM 428	2
TR 40361	1
Super Marmande	1
Pakmor	1
Red Cherry	2.5
<i>L. pimpinellifolium</i>	1
LignonS2	5
Rio Fuego	2
Bolero F1	3.5
Fer	2
Kagome 93 F1	2
LM 513	4
Rio Grande,	4
Shasta F1	2
Alta F1	4
Roza	2
TR 40359	1
Amber ez ,	4.5
93-10 F1	3
Tuğba F1	4
H 8892 F1	5
Standart	3
TR 68516	1.5
Lignon C.8.6	3
Super Sweet	1
Cambel 33	2.5
Cambell 133	1
AG 2134	5
LignonS3	3
Lignon S1	2
PE-47 (<i>L. pennellii</i>)	2.5
Cambell 37	3.5
Ortalama	2.1

*1:yok, 2:az, 3:orta, 4:fazla 5:çok fazla

4.1.2. Besin Çözeltilisinde Organik ve İnorganik Fosfor Uygulamaları

4.1.2.1. Genel

Sera koşullarında yürütülen denemeden elde edilen sonuçlara göre P eksikliğine dayanıklı ve duyarlı olarak seçilen domates genotiplerinin P etkinlik mekanizmalarını belirlemek amacıyla su kültüründe organik ve inorganik P kaynakları kullanılarak bir deneme yürütülmüştür. Denemede P uygulamaları, organik kaynaklı (fitik asit) düşük (100 μM) ve yeterli (800 μM) P ve inorganik kaynaklı ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) düşük (25 μM P) ve yeterli (250 μM P) P şeklinde yapılmıştır. Düşük ve yeterli düzeyde P uygulamaları altında yetişen bitkiler 32. günde hasat edilmiştir. Anılan P uygulamaları ile 20 gün kontrollü iklim odası koşullarında yetiştirilen bitkiler bu süre sonunda hasat edilerek kuru madde verimi, P etkinliği, P konsantrasyonu, P içeriği ve kök / yeşil aksam oranı belirlenmiştir.

4.1.2.2. Yeşil Aksam ve Kök Kuru Madde Verimi, Kök/Yeşil Aksam Oranı, Fosfor Konsantrasyonu ve İçeriği

Genotiplerin organik ve inorganik P kaynaklarının düşük ve yeterli uygulamalarında göstermiş oldukları performanslar Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’de verilmiştir. Düşük P uygulamalarında, genotiplerin yeşil aksam kuru madde verimlerinde ortalama olarak organik P’da (100 μM ’da) % 54 ve inorganik P’da (25 μM P) % 57 düzeyinde azalma olmuştur. Organik ve inorganik P uygulamalarında kök kuru madde üretimi yeşil aksamdan daha az etkilenmiştir. Düşük P uygulaması sonucunda kök kuru madde üretimi organik P (100 μM P)’de % 32, inorganik P (25 μM P)’de % 37 oranında azalmıştır.

Yeterli düzeyde P uygulamalarında P’un organik (800 μM P) ve inorganik (250 μM P) formlarda uygulanması domates genotiplerinin ortalama kuru madde üretiminde önemli bir farklılık oluşturmamıştır. Yeterli düzeyde P ile beslenen domates bitkilerinde ortalama kuru madde üretimi inorganik P uygulamasında 2.35 g bitki⁻¹ ve organik P uygulamasında 2.13 g bitki⁻¹ oluşturmuştur (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Kontrollü koşullarda organik ve inorganik P kaynaklarının düşük (100 ve 25 µM P) ve yeterli (800 ve 250 µM P) uygulamaları altında 20 gün boyunca yetiştirilen 6 domates genotipinin yeşil aksam kuru madde verimi ve P etkinliği.

Genotip	Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi (g bitki ⁻¹)						P Etkinliği (%)	
	Organik P*			Inorganik P**			Org. P	Inorg P
	100 µM P	800 µM P	25 µM P	250 µM P	250 µM P			
Utbana	1.07 ± 0.10	1.97 ± 0.37	1.10 ± 0.07	2.04 ± 0.10	2.04 ± 0.10	54	54	
TR 62573	0.94 ± 0.18	1.93 ± 0.51	1.01 ± 0.17	2.51 ± 0.53	2.51 ± 0.53	49	40	
AG 2134	0.86 ± 0.05	1.78 ± 0.18	0.80 ± 0.11	1.94 ± 0.47	1.94 ± 0.47	48	41	
Arizona	0.97 ± 0.08	2.13 ± 0.31	0.97 ± 0.03	2.05 ± 0.15	2.05 ± 0.15	46	47	
TR 37277	1.03 ± 0.16	2.49 ± 0.65	1.15 ± 0.05	2.73 ± 0.40	2.73 ± 0.40	41	42	
TR 68516	1.01 ± 0.13	2.48 ± 0.34	1.05 ± 0.03	2.80 ± 0.23	2.80 ± 0.23	41	37	
Ortalama	0.98	2.13	1.01	2.35	2.35	47	44	

Organik P* : Phytic Acid (Inositol hexaphosphoric acid)

Inorganik P** : Calcium bis(dihydrogenphosphate) Monohydrate

Farklı P kaynaklarının kullanıldığı düşük P uygulamalarında da ortalama kuru madde verimi oldukça benzer bulunmuştur. Buna göre düşük P uygulamalarında kuru madde üretimi inorganik P'de 0.98 g bitki⁻¹ ve organik P'de 1.01 g bitki⁻¹ olarak belirlenmiştir. Sonuçlar bu denemede uygulanan organik ve inorganik P dozlarında genotiplerin ortalama olarak benzer oranlarda yeşil aksam kuru madde verimi oluşturduklarını göstermektedir (Çizelge 4.4). Domates genotiplerinin ortalama kuru madde üretimlerindeki benzerliğe karşın genotipler arasında kuru madde üretimi bakımından önemli farklar oluşmuştur. Organik (% 47) ve inorganik (% 44) P uygulamalarında yetişen bitkilerde hesaplanan ortalama P etkinliği değerleri oldukça benzerdir. Ancak genotiplerin P etkinliği tek tek incelendiğinde her iki P kaynağında da P etkinliğinde önemli farklar olduğu belirlenmiştir. Fosfor etkinliği bakımından en yüksek değer hem organik P'de hem de inorganik P'da Urbana'da sırasıyla % 54 ve %54 olduğu, en düşük etkinliğin de TR 68516'da sırasıyla % 41 ve % 37 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Yeşil aksama benzer olarak, kök kuru madde verimi de, organik ve inorganik P uygulamaları için oldukça benzer bulunmuştur. Organik P uygulamasının yeterli düzeyinde ortalama kuru madde verimi 0.34 g bitki⁻¹ olup inorganik P uygulamasında ise bu değer 0.38 g bitki⁻¹'dir. Yetersiz P'de ise ortalama kuru madde verimleri hem organik hem de inorganik P uygulamalarında sırasıyla 0.23 ve 0.24 g bitki⁻¹ olmuştur (Çizelge 4.5). Hem organik hem de inorganik P uygulamalarında Urbana genotipi yeşil aksam ve kök kuru madde üretimi bakımından en yüksek değerleri almıştır. En düşük kuru madde üretimi ise AG 2134 genotipinde belirlenmiştir. (Çizelge 4.5).

Kullanılan farklı P kaynaklarından bağımsız olarak kök / yeşil aksam oranı yetersiz P uygulaması ile artmaktadır. Başka bir deyiş ile her iki P kaynağının da düşük oranda kullanılması sonucunda oluşan kuru madde kaybının yeşil aksamda daha fazla olduğu gösterilmiştir. Kök/yeşil aksam oranları ortalama anlamda benzer olmasına karşın, genotipler bireysel olarak tek tek incelendiğinde oldukça farklı değerler görülmekte olup en yüksek kök/yeşil aksam oranı Urbana ve Arizona genotiplerinde belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.5. Kontrollü koşullarda organik ve inorganik P kaynaklarının düşük (100 ve 25 $\mu\text{M P}$) ve yeterli (800 ve 250 $\mu\text{M P}$) uygulamaları altında 20 gün boyunca yetiştirilen 6 domates genotipinin kök kuru madde verimi.

Genotip	Kök Kuru Madde Verimi (g bitki^{-1})					
	Organik P*			İnorganik P**		
	100 $\mu\text{M P}$	800 $\mu\text{M P}$	25 $\mu\text{M P}$	250 $\mu\text{M P}$	25 $\mu\text{M P}$	250 $\mu\text{M P}$
Urbana	0.27 \pm 0.01	0.35 \pm 0.06	0.28 \pm 0.04	0.38 \pm 0.02	0.21 \pm 0.03	0.41 \pm 0.09
TR 62573	0.21 \pm 0.04	0.29 \pm 0.05	0.22 \pm 0.05	0.32 \pm 0.10	0.22 \pm 0.02	0.36 \pm 0.04
AG 2134	0.20 \pm 0.02	0.29 \pm 0.02	0.23 \pm 0.02	0.43 \pm 0.11	0.25 \pm 0.01	0.41 \pm 0.03
Arizona	0.26 \pm 0.02	0.35 \pm 0.06	0.25 \pm 0.01	0.41 \pm 0.03	0.25 \pm 0.01	0.41 \pm 0.03
TR 37277	0.23 \pm 0.03	0.38 \pm 0.11	0.25 \pm 0.01	0.41 \pm 0.03	0.25 \pm 0.01	0.41 \pm 0.03
TR 68516	0.23 \pm 0.01	0.37 \pm 0.06	0.25 \pm 0.01	0.41 \pm 0.03	0.25 \pm 0.01	0.41 \pm 0.03
Ortalama	0.23	0.34	0.24	0.38	0.24	0.38

Organik P* : Phytic Acid (Inositol hexaphosphoric acid)
İnorganik P** : Calcium bis(dihydrogenphosphate) Monohydrate

Çizelge 4.6. Kontrollü koşullarda organik ve inorganik P kaynaklarının düşük (100 ve 25 µM P) ve yeterli (800 ve 250 µM P) uygulamaları altında 20 gün boyunca yetiştirilen 6 domates genotipinin kök /yeşil aksam oranı

Genotip	Kök / Yeşil Aksam Oranı					
	Organik P*			İnorganik P**		
	100 µM P	800 µM P	25 µM P	250 µM P	25 µM P	250 µM P
Urbana	0.26 ± 0.02	0.18 ± 0.01	0.26 ± 0.02	0.19 ± 0.00	0.26 ± 0.02	0.19 ± 0.00
TR 62573	0.23 ± 0.02	0.15 ± 0.02	0.21 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.21 ± 0.02	0.16 ± 0.02
AG 2134	0.23 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.27 ± 0.05	0.16 ± 0.01	0.27 ± 0.05	0.16 ± 0.01
Arizona	0.26 ± 0.01	0.16 ± 0.02	0.24 ± 0.02	0.17 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.17 ± 0.01
TR 37277	0.23 ± 0.07	0.15 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.16 ± 0.04	0.22 ± 0.01	0.16 ± 0.04
TR 68516	0.23 ± 0.02	0.15 ± 0.02	0.24 ± 0.02	0.15 ± 0.00	0.24 ± 0.02	0.15 ± 0.00
Ortalama	0.24	0.16	0.24	0.16	0.24	0.16

Organik P* : Phytic Acid (Inositol hexaphosphoric acid)

İnorganik P** : Calcium bis(dihydrogenphosphate) Monohydrate

Organik ve inorganik P kaynakları ile düşük ve yeterli P düzeyinde yetiştirilen bitkilerin yeşil aksam P konsantrasyonu ve içeriğinde önemli değişimler oluşmuştur. Özellikle inorganik P formunun kullanıldığı uygulamada söz konusu değişimler daha da çarpıcı şekilde ortaya çıkmıştır. Örneğin inorganik P’de düşük ve yeterli uygulamalar arasında konsantrasyonda 3.5 kat, içerikte ise 8 katlık bir fark oluşmuştur. Organik P uygulamasında ise anılan değerler 2.0 ve 4.4 kat olarak belirlenmiştir.

Sonuçlar kuru madde üretiminde önemli farklar oluşmamasına karşın organik ve inorganik P kaynaklarının hem uygulamalar arasında hem de aynı uygulama içerisinde yeşil aksamın P konsantrasyonu ve içeriğine farklı etkiler yaptığını göstermektedir (Çizelge 4.7). Buna ek olarak organik ve inorganik kaynaklarla yapılan uygulamalarda konsantrasyon değerlerinde gözlenen varyasyonun bitki P içeriğinden daha fazla olduğu görülebilir. Örneğin yeterli inorganik P ile beslenen bitkilerin yeşil aksam P içeriği neredeyse aynı bulunurken P konsantrasyonu ise oldukça geniş bir varyasyon göstermiştir (Çizelge 4.7).

Köklerde yürütülen analizlerde farklı uygulamalar için yeşil aksamdakine benzer tepkiler olduğu belirlenmiştir. Örneğin düşük ve yeterli P uygulamalarında oluşan konsantrasyon ve içerik farkı köklerde de inorganik P uygulamasında daha fazladır. Köklerin P içeriği değerleri incelendiğinde mevcut P’un kökte kalan bölümünün organik P ile beslenen bitkilerde daha fazla olduğu, başka bir deyiş ile inorganik P’un yeşil aksama taşınma oranının organik P’den daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.7. Kontrollü koşullarda organik ve inorganik P kaynaklarının düşük (100 ve 25 $\mu\text{M P}$) ve yeterli (800 ve 250 $\mu\text{M P}$) uygulamaları altında 20 gün boyunca yetiştirilen 6 domates genotipinin yeşil aksam P konsantrasyonu ve P içeriği.

Genotip	Yeşil Aksam P Konsantrasyonu (%)						Yeşil Aksam P İçeriği (mg P bitki ⁻¹)							
	Organik P*			İnorganik P**			Organik P*			İnorganik P**				
	100 $\mu\text{M P}$	800 $\mu\text{M P}$	25 $\mu\text{M P}$	100 $\mu\text{M P}$	800 $\mu\text{M P}$	25 $\mu\text{M P}$	100 $\mu\text{M P}$	800 $\mu\text{M P}$	25 $\mu\text{M P}$	100 $\mu\text{M P}$	800 $\mu\text{M P}$	25 $\mu\text{M P}$	250 $\mu\text{M P}$	
Urbana	0.25 ± 0.01	0.54 ± 0.13	0.14 ± 0.01	0.68 ± 0.03	2.63 ± 0.22	10.33 ± 1.29	1.58 ± 0.05	13.80 ± 0.64	1.66 ± 0.07	13.40 ± 1.00	1.56 ± 0.09	12.62 ± 2.30	1.69 ± 0.10	13.14 ± 0.45
TR 62573	0.18 ± 0.04	0.52 ± 0.16	0.17 ± 0.03	0.55 ± 0.11	1.69 ± 0.67	9.43 ± 1.99	1.66 ± 0.07	13.40 ± 1.00	1.66 ± 0.07	13.40 ± 1.00	1.66 ± 0.07	13.40 ± 1.00	1.66 ± 0.07	13.40 ± 1.00
AG 2134	0.24 ± 0.04	0.45 ± 0.04	0.20 ± 0.02	0.66 ± 0.07	2.07 ± 0.24	8.02 ± 0.20	1.56 ± 0.09	12.62 ± 2.30	1.56 ± 0.09	12.62 ± 2.30	1.56 ± 0.09	12.62 ± 2.30	1.56 ± 0.09	12.62 ± 2.30
Arizona	0.26 ± 0.02	0.48 ± 0.08	0.17 ± 0.01	0.64 ± 0.06	2.58 ± 0.32	10.08 ± 0.65	1.69 ± 0.10	13.14 ± 0.45	1.69 ± 0.10	13.14 ± 0.45	1.69 ± 0.10	13.14 ± 0.45	1.69 ± 0.10	13.14 ± 0.45
TR 37277	0.21 ± 0.02	0.35 ± 0.07	0.17 ± 0.07	0.51 ± 0.07	2.13 ± 0.43	8.40 ± 1.01	1.96 ± 0.72	13.76 ± 1.09	1.96 ± 0.72	13.76 ± 1.09	1.96 ± 0.72	13.76 ± 1.09	1.96 ± 0.72	13.76 ± 1.09
TR 68516	0.23 ± 0.04	0.49 ± 0.05	0.15 ± 0.00	0.49 ± 0.01	2.25 ± 0.21	12.07 ± 0.65	1.57 ± 0.06	13.67 ± 0.77	1.57 ± 0.06	13.67 ± 0.77	1.57 ± 0.06	13.67 ± 0.77	1.57 ± 0.06	13.67 ± 0.77
Ortalama	0.23	0.47	0.17	0.59	2.23	9.72	1.67	13.40	1.67	13.40	1.67	13.40	1.67	13.40

Organik P* : Phytic Acid (Inositol hexaphosphoric acid)
İnorganik P** : Calcium bis(dihydrogenphosphate) Monohydrate

Çizelge 4.8. Kontrollü koşullarda organik ve inorganik P kaynaklarının düşük (100 ve 25 µM P) ve yeterli (800 ve 250 µM P) uygulamaları altında 20 gün boyunca yetiştirilen 6 domates genotipinin kök P konsantrasyonu ve P içeriği.

Genotip	Kök P Konsantrasyonu (%)						Kök P İçeriği (mg P bitki ⁻¹)					
	Organik P*			İnorganik P**			Organik P*			İnorganik P**		
	100 µM P	800 µM P	25 µM P	25 µM P	800 µM P	250 µM P	100 µM P	800 µM P	25 µM P	250 µM P	250 µM P	
Urbana	0.49 ± 0.01	0.60 ± 0.11	0.23 ± 0.01	0.88 ± 0.04	1.35 ± 0.03	2.06 ± 0.17	0.64 ± 0.05	3.33 ± 0.16	0.53 ± 0.07	3.18 ± 0.41	0.52 ± 0.07	2.90 ± 0.38
TR 62573	0.43 ± 0.06	0.60 ± 0.06	0.25 ± 0.02	0.79 ± 0.08	0.92 ± 0.25	1.69 ± 0.23	0.53 ± 0.07	3.18 ± 0.41	0.52 ± 0.07	2.90 ± 0.38	0.55 ± 0.04	3.34 ± 0.31
AG 2134	0.45 ± 0.07	0.58 ± 0.06	0.24 ± 0.03	0.97 ± 0.21	0.88 ± 0.10	1.69 ± 0.09	0.52 ± 0.07	2.90 ± 0.38	0.55 ± 0.04	3.34 ± 0.31	0.57 ± 0.02	3.15 ± 0.41
Arizona	0.48 ± 0.06	0.57 ± 0.05	0.24 ± 0.00	0.94 ± 0.09	1.22 ± 0.15	1.96 ± 0.28	0.55 ± 0.04	3.34 ± 0.31	0.57 ± 0.02	3.15 ± 0.41	0.52 ± 0.01	2.72 ± 0.12
TR 37277	0.47 ± 0.05	0.50 ± 0.04	0.23 ± 0.01	0.77 ± 0.13	1.07 ± 0.17	1.88 ± 0.44	0.57 ± 0.02	3.15 ± 0.41	0.52 ± 0.01	2.72 ± 0.12	0.52 ± 0.01	2.72 ± 0.12
TR 68516	0.42 ± 0.06	0.54 ± 0.05	0.21 ± 0.01	0.67 ± 0.06	0.95 ± 0.10	2.01 ± 0.24	0.52 ± 0.01	2.72 ± 0.12	0.52 ± 0.01	2.72 ± 0.12	0.52 ± 0.01	2.72 ± 0.12
Ortalama	0.46	0.56	0.23	0.83	1.07	1.88	0.55	3.10	0.55	3.10	0.55	3.10

Organik P* : Phytic Acid (Inositol hexaphosphoric acid)

İnorganik P** : Calcium bis(dihydrogenphosphate) Monohydrate

4.1.3. Asit Fosfataz ve Fitaz Enzim Aktiviteleri

4.1.3.1. Genel

Bitkilerin organik P kaynaklarından yararlanma mekanizmalarından biri olan asit fosfataz (APA) ve fitaz enzim aktivitelerinin belirlendiği bu çalışmada, bitkiler organik P (200 ve 800 μM P) ve kontrol olarak da yeterli inorganik P (250 μM P) uygulamaları altında 20 gün yetiştirilerek köklerin APA ve fitaz enzim aktivitelerindeki değişimler incelenmiştir.

4.1.3.2. Enzim Aktiviteleri

Yeterli düzeyde inorganik P ile beslenen bitkilerde APA aktivitesi 1.0 ile 1.5 arasında değişerek ortalama 1.3 $\text{ABS}_{405} \text{ g TA}^{-1} \text{ saat}^{-1}$ bulunmuştur. Yetiştirme ortamında P kaynağı olarak organik P formu kullanıldığında bu değer kısmen artarak 1.9'a yükselmektedir. Yetersiz düzeyde organik P uygulandığında ise APA aktivitesi 2.7 kat artmaktadır. Bu uygulamada APA aktivitesi 3.1 (Arizona) ile 6.4 (H8892 ve TR 68516) arasında değişerek ortalama 5.2 $\text{ABS}_{405} \text{ g TA}^{-1} \text{ saat}^{-1}$ olmuştur. (Çizelge 4.9).

Köklerin fitaz aktivitesinin organik P uygulandığında APA dan çok daha fazla etkilendiği anlaşılmaktadır. Yeterli düzeyde inorganik P kullanılan kontrol bitkileri ile karşılaştırıldığında, fitaz aktivitesi yeterli organik P'de 3.2 ve düşük organik P'de 17.8 katına çıkmaktadır. Yeterli düzeyde organik P'de 46 (H8892) ile 75 (Rio Grande) arasında değişen fitaz aktivitesi, yetersiz düzeyde organik P uygulandığında çarpıcı şekilde artarak 292 (TR 62573) ve 343 $\text{mU g TA}^{-1} \text{ dak}^{-1}$ (H 8892) arasında değişim göstermiştir.

Sonuçlar domates genotiplerinin toprak koşullarında gösterdiği P etkinliği ile bu denemede belirlenen kök APA veya fitaz aktivitesi arasında önemli bir ilişkinin olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.9). Ancak test edilen genotiplerin APA ve fitaz aktiviteleri arasında bazı önemli benzerlikler saptanmıştır. Örneğin Arizona genotipi düşük organik P uygulamasında hem APA hem de fitaz

aktivasyonu en düşük genotip olarak belirlenirken H 8892 ise hem APA hem de fitaz aktivasyonu en yüksek genotip olmuştur.

Çizelge 4.9. Kontrollü koşullarda organik (200 ve 800 $\mu\text{M P}$) ve yeterli inorganik P (250 $\mu\text{M P}$) uygulamaları altında

20 gün boyunca yetiştirilen 6 domates genotipinin köklerinde belirlenen asit fosfataz ve fitaz aktivitesi

Genotip	APA Aktivitesi			Fitaz Aktivitesi		
	Organik P		Inorganik P	Organik P		Inorganik P
	200 $\mu\text{M P}$	800 $\mu\text{M P}$	250 $\mu\text{M P}$	200 $\mu\text{M P}$	800 $\mu\text{M P}$	250 $\mu\text{M P}$
Urbana	5.3 \pm 0.4	1.9 \pm 0.3	1.45 \pm 0.3	328 \pm 52	47 \pm 14	16 \pm 4
Arizona	3.1 \pm 0.3	1.9 \pm 0.5	1.45 \pm 0.2	299 \pm 54	65 \pm 27	19 \pm 6
TR 62573	5.3 \pm 1.4	1.8 \pm 0.4	1.00 \pm 0.1	292 \pm 73	48 \pm 14	17 \pm 8
TR 68516	6.4 \pm 1.1	2.0 \pm 0.4	1.44 \pm 0.2	330 \pm 58	66 \pm 21	21 \pm 6
H 8892	6.4 \pm 1.3	1.6 \pm 0.2	1.37 \pm 0.2	343 \pm 28	46 \pm 10	15 \pm 4
Rio Grande	4.9 \pm 0.7	2.1 \pm 0.4	1.32 \pm 0.2	328 \pm 74	75 \pm 31	18 \pm 10
Ortalama	5.2	1.90	1.34	320	58	18

4.1.4. Fosfor Absorpsiyon Kapasitesinin Fosfor Etkinliği ile İlişkisi:

4.1.4.1. Genel

Sera koşullarında yeterli ve yetersiz P uygulamaları altında P etkinlikleri belirlenen dayanıklı (Urbana ve Falcon) ve duyarlı (AG 2134 ve H 8892 F1) domates genotiplerinde kontrollü koşullar altında çözelti ortamında zamana bağlı olarak P absorpsiyon kapasitesi araştırılmıştır. Bu amaçla bitkiler yetersiz (25 μM P) ve yeterli (250 μM P) P uygulamaları altında yetiştirilmiştir. Bitkilerde biomas olarak farkların başlamasıyla birlikte 20. günde bütün bitkiler aynı zamanda yeterli (250 μM P) uygulamasına alınmış ve zamana bağlı olarak 0, 3, 6 ve 23 saatte bitkilerin P absorpsiyonu ve P absorpsiyon hızları belirlenerek P etkinliği ile ilişkisi araştırılmıştır.

4.1.4.2. Kümülatif Fosfor Absorpsiyonu ve Fosfor Absorpsiyon Hızı

Denemede yetersiz P ile beslenen domates genotiplerinde P eksikliği stresinin başlamasıyla birlikte 33. günde dayanıklı olan genotiplerden Urbana ve Falcon'un yaşlı yaprak ayalarının turgid durumda olmasına karşın aşağı yönlü tropizm gösterdiği, yeterli P ile beslenen bitkilerde ise yaşlı yaprakların dik olduğu gözlenmiştir. Fosfor absorpsiyon testleri için önceden P stresine sokulan bitkilere yeterli P sağlandığında yaşlı yaprakların dikleşerek normale döndüğü gözlenmiştir.

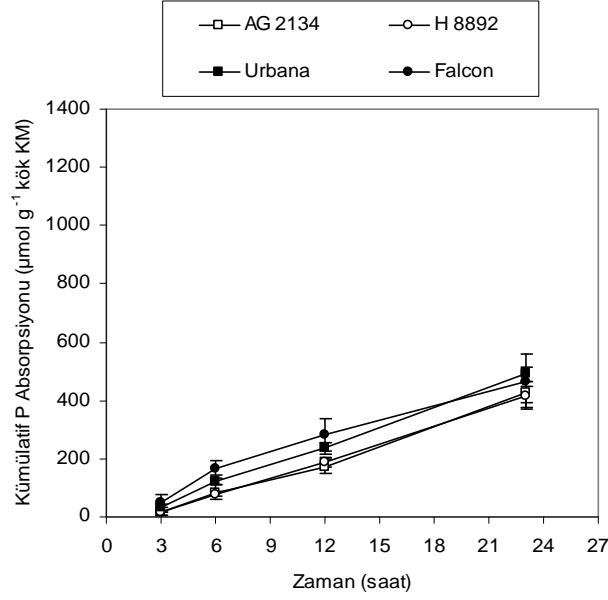
Yeterli (250 μM P) P ile beslenen domates genotiplerinin birim kök kuru madde başına kümülatif (birikimli) P absorpsiyonu Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Kümülatif P absorpsiyonu 3., 6., 12. ve 24. saatlerde duyarlı genotipler için ortalama 16, 83, 179, 420 $\mu\text{mol P g}^{-1}$ KM ve dayanıklı genotipler için 40, 145, 258 ve 478 $\mu\text{mol P g}^{-1}$ KM olmuştur. Benzer durum P absorpsiyon hızı bakımından da olmuştur. (Şekil 4.7). Yeterli P koşullarında yetişmelerine karşın, 3., 6., 12. ve 24. saatlerde duyarlı genotipler 4, 14, 15 ve 18 $\mu\text{mol P g}^{-1}$ KM saat⁻¹, dayanıklı genotipler de sırasıyla 18, 24, 21 ve 20 $\mu\text{mol P g}^{-1}$ KM saat⁻¹ ortalama absorpsiyon hızına sahip

olmuştur. Yeterli P ile beslenme koşullarında dayanıklı genotipler (Urbana ve Falcon) duyarlı genotiplere (AG2134 ve H 8892 F1) göre daha fazla kümülatif P absorpsiyonu ve P absorpsiyon hızına sahip olmuştur (Şekil 4.5 ve Şekil 4.7).

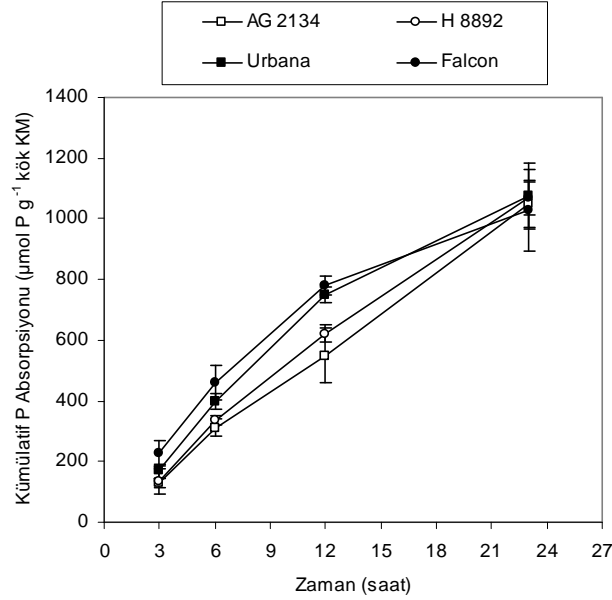
Yetersiz P(25 μM P) uygulamasında zamana bağlı kümülatif P absorpsiyon değerlerinin yeterli P (250 μM P) uygulamasının 2 katından fazla olduğu görülmektedir. Yetersiz P ile beslenen genotiplerin ilerleyen P eksikliği stresinin bir sonucu olarak birim zamanda kümülatif P absorpsiyonu çarpıcı şekilde artmıştır (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6). Yetersiz P ile beslenen genotiplerin kümülatif P absorpsiyonları duyarlı genotiplerde 3., 6., 12. ve 24. saatlerde ortalama olarak 133, 325, 586 ve 1058 $\mu\text{mol P g}^{-1}$ KM olurken dayanıklı genotiplerde ise sırasıyla 197, 428, 766 ve 1051 $\mu\text{mol P g}^{-1}$ KM bulunmuştur. Fosfor absorpsiyon hızı yetersiz P ile beslenen duyarlı genotipler için 3, 6, 12 ve 24. saatlerde ortalama 46, 54, 49 ve 44 $\mu\text{mol P g}^{-1}$ KM saat⁻¹ ve dayanıklı genotipler için de 66, 69, 64 ve 44 $\mu\text{mol P g}^{-1}$ KM saat⁻¹ olarak belirlenmiştir.(Şekil 4.8).

Genel olarak bakıldığında dayanıklı ve duyarlı domates genotiplerinin kümülatif P absorpsiyonu ve P absorpsiyon hızı bakımından farklı tepki gösterdiği görülmektedir. Bu durum, P dayanıklı genotiplerin birim zamanda ortamdan daha fazla P tüketimiyle P etkinliği arasındaki bir ilişkinin olabileceğine işaret etmektedir.

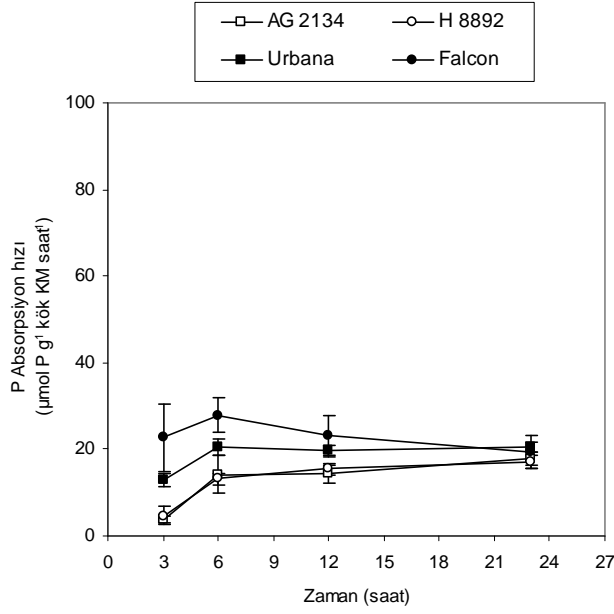
Fosfor absorpsiyon hızları bakımından P'ca yeterli ve yetersiz beslenen P etkin domates genotiplerinden Urbana ve Falconun, duyarlı AG2134 ve H8892 F1'e göre 24. saate kadar çok daha yüksek P absorpsiyon hızına sahip olmaları dikkat çekici önemli bir bulgudur. Dayanıklı çeşitler duyarlı çeşitlere göre ilk 6 saate kadar çok hızlı, daha sonraki saatlerde ise çözelti P konsantrasyonundaki azalmaya bağlı olarak azalan bir P absorpsiyonu kapasitesine sahip olmuşlardır. (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8).



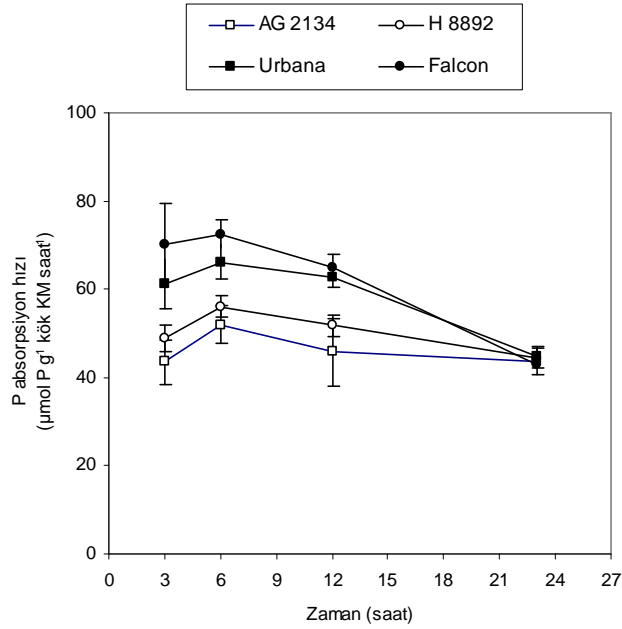
Şekil 4.5. Besin çözeltisinde kontrollü koşullar altında 20 gün süreyle yeterli P ile ($250 \mu\text{M P}$) yetiştirilen 4 domates genotipinin kümülatif P absorpsiyonu



Şekil 4.6. Besin çözeltisinde kontrollü koşullar altında 20 gün süreyle yetersiz P ile ($25 \mu\text{M P}$) yetiştirilen 4 domates genotipinin kümülatif P absorpsiyonu



Şekil 4.7. Besin çözeltisinde kontrollü koşullar altında 20 gün süreyle yetersiz P ile (250 µM P) yetiştirilen 4 domates genotipinin P absorpsiyon hızı



Şekil 4.8. Besin çözeltisinde kontrollü koşullar altında 20 gün süreyle yetersiz P ile (25 µM P) yetiştirilen 4 domates genotipinin P absorpsiyon hızı

4.1.5. Fosfor Eksikliğine Dayanıklı ve Duyarlı Seçilmiş Domates Genotipleri ile Yürütülen Sera Denemesi

4.1.5.1. Genel

Daha önce yapılan sera denemesinde dayanıklı (Urbana, Arizona, TR 62573, Falcon) ve duyarlı olarak (H 8892 F1, Rio Grande, TR 68516, AG 2134) belirlenen seçilmiş domates genotipleri kullanılarak yetersiz (50 mg P kg^{-1} toprak) ve yeterli (150 mg P kg^{-1} toprak) P koşullarında ayrı bir sera denemesi yürütülmüştür. Düşük P uygulaması ile yetiştirilen bitkilerin yeşil aksam biyo kütle üretimi görsel olarak kontrol koşullarındakinin yaklaşık yarısı olduğunda (ekimden sonra 29. günde) bitkiler hasat edilerek deneme sonlandırılmıştır.. Önceki sera denemesinden farklı olarak bu denemede bitki kökleri de topraktan yıkanarak yeşil aksam ile birlikte örneklenmiştir. Hasat edilen bitkilerde yeşil aksam ve kök kuru madde verimi, P konsantrasyonu ve P içeriği belirlenerek bu parametrelerin P etkinliği ile ilişkileri incelenmiştir.

4.1.5.2. Yeşil Aksam ve Kök Kuru Madde Verimi, P etkinliği, P Konsantrasyonu ve İçeriği

Domates genotiplerinin yetersiz (P50) ve yeterli (P150) P uygulamaları altında yeşil aksam kuru madde verimleri ortalama olarak sırasıyla 1.75 ve $3.83 \text{ g bitki}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. (Çizelge 4.10). Yetersiz P koşullarında duyarlı domates genotiplerinin yeşil aksam kuru madde verimleri 1.11 ile $1.48 \text{ g bitki}^{-1}$ arasında değişirken, dayanıklı genotiplerde ise 2.35 ile $2.61 \text{ g bitki}^{-1}$ arasında bulunmuştur. Test edilen domates genotipleri yeterli P uygulamalarında benzer yeşil aksam kuru madde verimine sahip olmuşlardır.

Seçilen domates genotiplerinin P etkinliğine bakıldığında Urbana, Falcon, Arizona dayanıklı TR 62573, H8892 F1, Rio Grande, TR 68516, AG 2134 genotipleri duyarlı olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10). TR 62573 genotipinin istisnai durumu dışında diğer genotiplerinin önceki sera denemesinde belirlenen P etkinliği

(Çizelge 4.1) ile bu denemede elde edilen P etkinliği değerlerinin oldukça benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Sera koşullarında düşük (50 mg P kg⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg⁻¹ toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin yeşil aksam kuru madde verimi ve P etkinliği.

Genotip	P 50	P 150	P Etkinliği
	(g bitki ⁻¹)		(%)
Urbana	2.61 ± 0.51	3.96 ± 0.50	66
Falcon	2.46 ± 0.59	3.87 ± 1.04	64
Arizona	2.35 ± 0.96	4.51 ± 0.46	52
TR 62573	1.46 ± 0.63	3.64 ± 0.75	40
H 8892 F1	1.21 ± 0.17	3.03 ± 1.18	40
Rio Grande	1.11 ± 0.49	3.28 ± 0.18	34
TR 68516	1.48 ± 0.20	4.40 ± 0.97	34
AG 2134	1.31 ± 0.20	3.97 ± 0.29	33
Ortalama	1.75	3.83	45

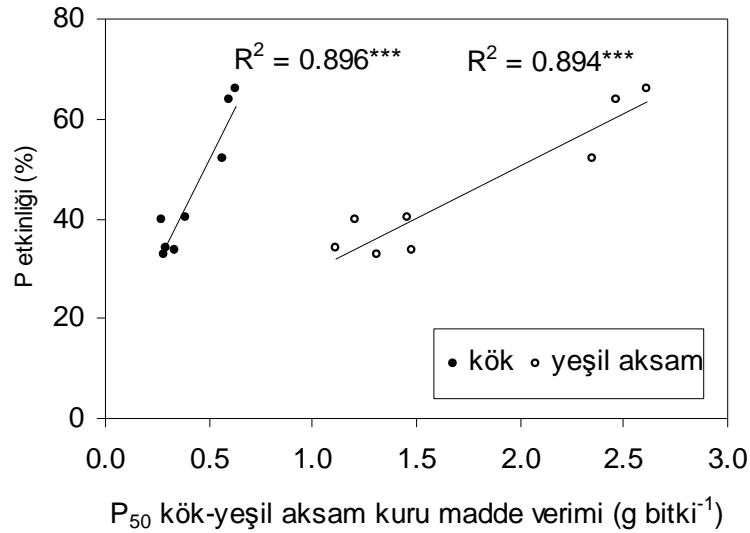
Genotipler yetersiz P uygulamasında 0.27 (H 8892) ile 0.63 (Urbana) aralığında ortalama 0.42 g bitki⁻¹ kök kuru madde verimi oluşturmuştur (Çizelge 4.11). Kök kuru madde veriminde özellikle yetersiz P uygulamasında önemli genotipsel farklar oluşmuştur. Sonuçlar P-etkin genotiplerin diğer genotiplere oranla yaklaşık 2 kat daha fazla kök kuru madde verimi oluşturduklarını göstermiştir (Çizelge 4.11). Fosfor-etkin olarak belirlenen Urbana, Falcon, Arizona genotiplerinin ortalama kök kuru madde verimi 0.60 g bitki⁻¹ iken duyarlı olarak belirlenen TR 62573, H8892 F1, Rio Grande, TR68516 ve AG2134 genotiplerinde ortalama kök kuru madde verimi 0.31 g bitki⁻¹ olmuştur. Yeterli P uygulamasında ise P-etkin ve P-etkin olmayan genotiplerin kök kuru madde verimleri benzer bulunmuştur (Çizelge 4.1).

Yetersiz düzeyde P ile beslenen genotiplerin yeşil aksam ve kök kuru madde verimleri ile yeşil aksam P etkinliği arasında sırasıyla R²=0.894*** ve R²=0.896*** şeklinde pozitif yönlü bir ilişki olduğu (Şekil 4.9) belirlenmiştir. Ayrıca yeşil aksam P etkinliği ile kök P etkinliği (düşük P uygulamasında elde edilen kök ağırlığının yeterli P uygulamasıyla elde edilen kök ağırlığına oranı, kök P50 / kök P150) arasında oldukça önemli bir ilişkinin olduğu (R²=0.867***) saptanmıştır (Şekil

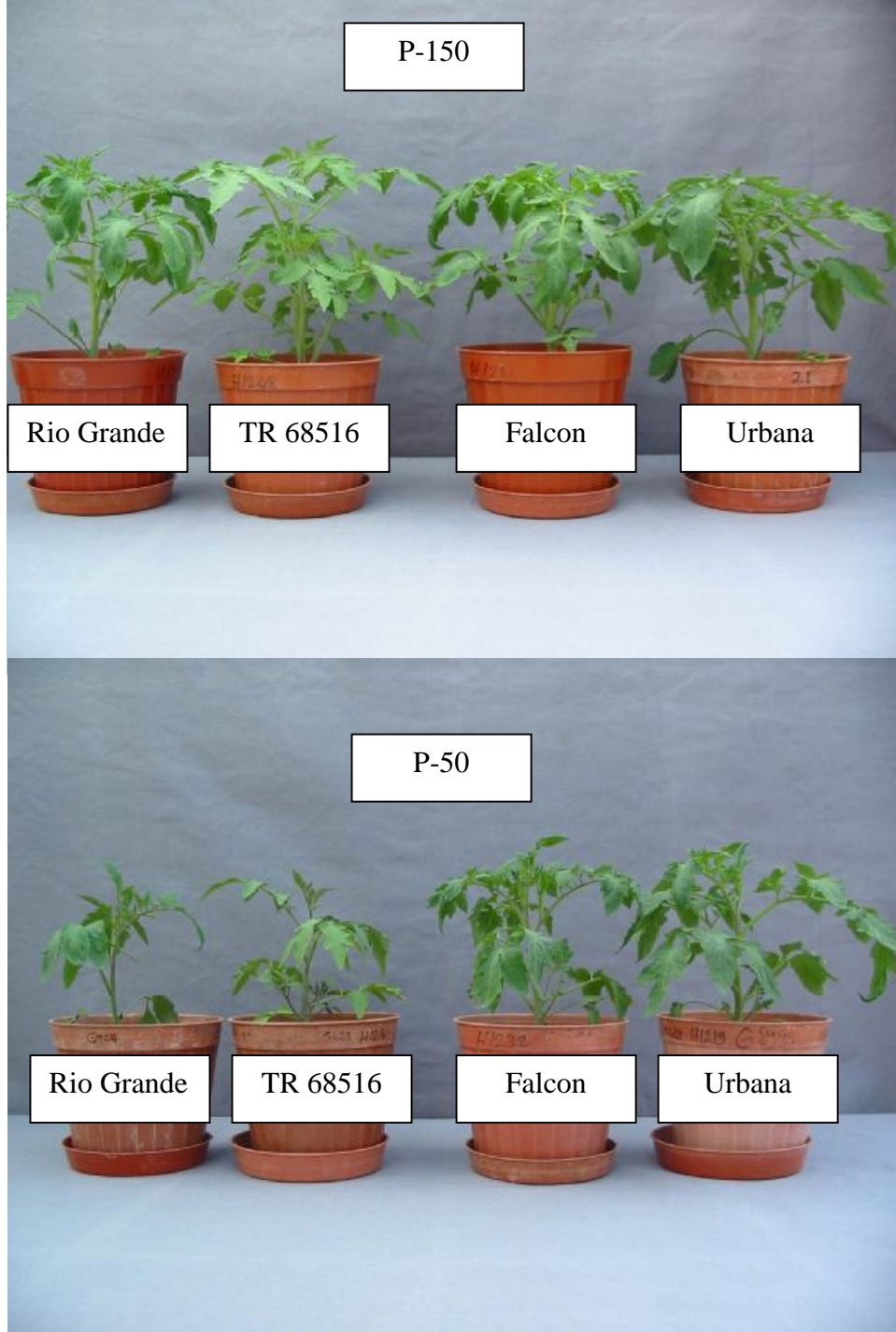
4.11). Sonuçlar P-etkin genotiplerin yetersiz P koşullarında oransal olarak daha fazla kök oluşturup bu yolla diğer genotiplere göre P eksikliği koşullarına daha iyi adapte olduğunu ve topraktaki mevcut P'dan yararlanmada önemli avantaj sağladığını göstermektedir. Düşük P koşullarında P etkin olan genotiplerin duyarlı genotiplere göre daha fazla kök yapması mevcut P'dan daha etkin yararlanması dolayısıyla da yeşil aksam veriminin daha fazla olmasını teşvik etmektedir (Şekil 4.10)

Çizelge 4.11. Sera koşullarında düşük (50 mg P kg⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg⁻¹ toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin kök kuru madde verimi ve P50/P150 oranı

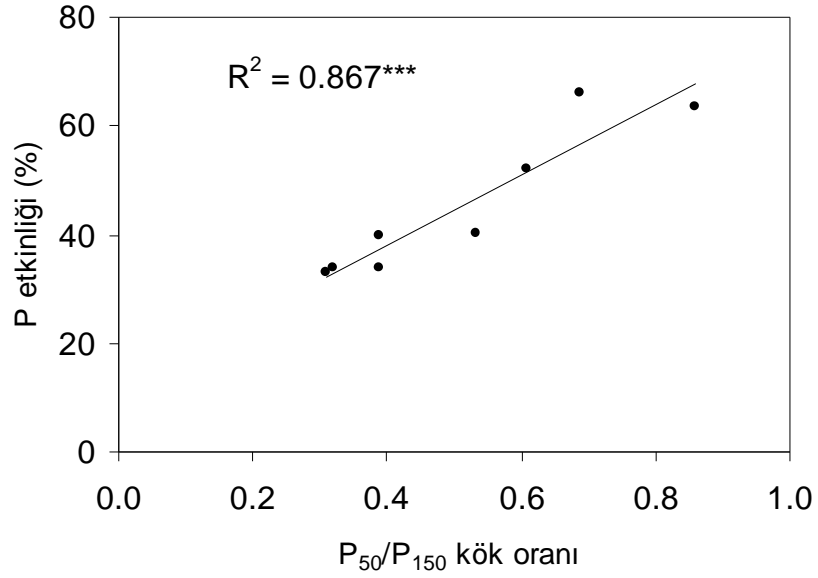
Genotip	P 50	P 150	P50 / P150
	(g bitki ⁻¹)		Oranı
Urbana	0.63 ± 0.12	0.92 ± 0.13	0.68
Falcon	0.60 ± 0.15	0.73 ± 0.15	0.82
Arizona	0.57 ± 0.25	0.94 ± 0.13	0.61
TR 62573	0.39 ± 0.20	0.68 ± 0.29	0.57
H 8892 F1	0.27 ± 0.06	0.70 ± 0.28	0.39
Rio Grande	0.29 ± 0.08	0.79 ± 0.03	0.37
TR 68516	0.34 ± 0.06	0.87 ± 0.13	0.39
AG 2134	0.28 ± 0.06	0.90 ± 0.04	0.31
Ortalama	0.42	0.82	0.51



Şekil 4.9. Sera koşullarında düşük (50 mg P kg⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg⁻¹ toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin yeşil aksam ve kök kuru madde verimi ve P etkinliği



Şekil 4.10. Yeterli (150 mg kg^{-1} P toprak) ve yetersiz P (50 mg kg^{-1} P toprak) uygulamasında 29 gün boyunca yetiştirilen duyarlı ve dayanıklı genotiplerden bir görünüm.



Şekil 4.11. Sera koşullarında düşük (50 mg P kg⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg⁻¹ toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin kök P₅₀ /P₁₅₀ oranı ile P etkinliği arasındaki ilişki

Yetersiz ve yeterli P ile beslenen bitkilerin yeşil aksamlarındaki ortalama P konsantrasyonları sırasıyla % 0.17 ve % 0.25 olarak bulunmuştur. Uygulamalar içerisinde yeşil aksam P konsantrasyonu yönünden genotipler arasında bir fark tespit edilememiştir (Çizelge 4.12). Fosfor etkin genotiplerin yeşil aksam P konsantrasyonlarının duyarlı genotiplerle benzer olması duyarlı genotiplere göre daha fazla yeşil aksam oluşturmaları bunun sonucunda da konsantrasyonda seyrelmeden kaynaklanmış olabilir. Test edilen genotiplerin kök P konsantrasyonları bakımından yetersiz ve yeterli P uygulamalarında ortalama olarak sırasıyla % 0.19 ve %0.25 olarak belirlenmiş olup uygulamalar içerisinde P konsantrasyonu açısından genotipsel bir fark tespit edilememiştir (Çizelge 4.12).

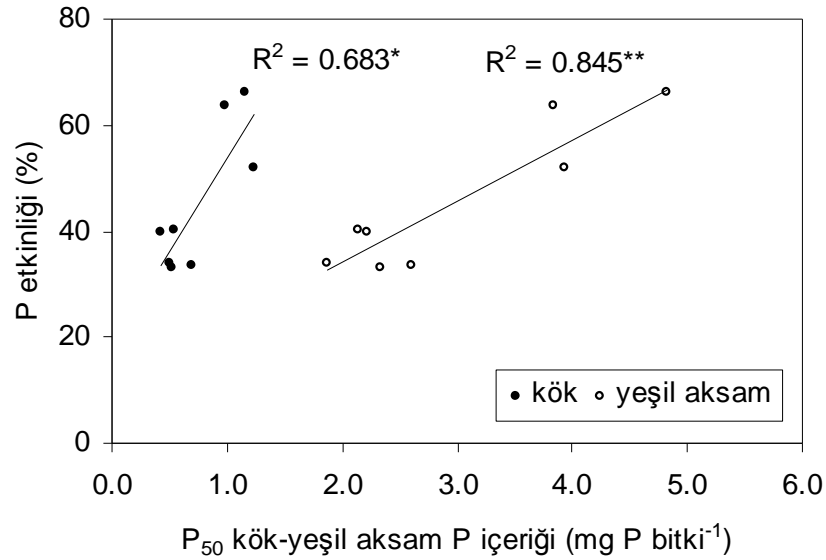
Çizelge 4.12. Sera koşullarında düşük (50 mg P kg⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg⁻¹ toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin yeşil aksam ve kök P konsantrasyonları

Genotip	Yeşil aksam P konsantrasyonu		Kök P konsantrasyonu	
	P 50	P 150	P 50	P 150
	(%)		(%)	
Urbana	0.18 ± 0.02	0.27 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.25 ± 0.03
Falcon	0.16 ± 0.02	0.28 ± 0.06	0.16 ± 0.01	0.26 ± 0.03
Arizona	0.17 ± 0.02	0.25 ± 0.03	0.22 ± 0.02	0.26 ± 0.01
TR 62573	0.15 ± 0.02	0.28 ± 0.03	0.19 ± 0.04	0.30 ± 0.06
H 8892 F1	0.18 ± 0.03	0.24 ± 0.03	0.21 ± 0.02	0.23 ± 0.03
Rio Grande	0.17 ± 0.03	0.26 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.22 ± 0.02
TR 68516	0.18 ± 0.03	0.23 ± 0.03	0.20 ± 0.05	0.24 ± 0.01
AG 2134	0.18 ± 0.01	0.23 ± 0.02	0.19 ± 0.03	0.25 ± 0.02
Ortalama	0.17	0.25	0.19	0.25

Seçilmiş genotiplerin bitki başına sahip oldukları P içerikleri Çizelge 4.13'de verilmiştir. Genotiplerin yeşil aksam P içeriği yetersiz P uygulamasında 1.87 ve 4.83 mg P bitki⁻¹ arasında değişirken ortalama P içeriği 2.97 mg P bitki⁻¹ olarak bulunmuştur. Urbana, Falcon ve Arizona domates genotiplerinin ortalama P içeriği 4.2 mg P bitki⁻¹ olurken TR 62573, H8892 F1, Rio Grande, TR68516 ve AG 2134'de ortalama P içeriği 2.23 mg P bitki⁻¹ olmuştur (Çizelge 4.13). Buna göre yeşil aksama alınabilen toplam P miktarı ile P-etkinliği arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Yeterli P uygulamasında ise genotiplerin ortalama P içerikleri 9.68 mg P bitki⁻¹ olup P içeriğinde önemli bir genotipsel varyasyon bulunmamıştır. Bu na karşın genotiplerin P etkinliği ile düşük P uygulamasındaki P içeriği arasında oldukça önemli düzeyde istatistikî ilişki ($p<0.01$) olduğu görülmektedir (Şekil 4.13). Genotiplerin kök P içerikleri yeşil aksam P içeriklerine oldukça benzer bulunmuştur (Çizelge 4.13). Fosfor eksikliğine dayanıklı genotiplerin duyarlı genotiplerden daha fazla P içeriğine sahip oldukları, yeterli P uygulamalarında genotiplerin P içeriklerinin benzer olduğu görülmektedir. (Çizelge 4.13). Fosfor etkinliği ile kök P içeriği arasında $p<0.05$ düzeyinde önemli bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.12).

Çizelge 4.13. Sera koşullarında düşük (50 mg P kg⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg⁻¹ toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin yeşil aksam ve kök P içerikleri

Genotip	Yeşil aksam P içeriği		Kök P içeriği	
	P 50	P 150	P 50	P 150
	(mg P bitki ⁻¹)		(mg P bitki ⁻¹)	
Urbana	4.83 ± 1.16	10.54 ± 1.99	1.15 ± 0.34	2.25 ± 0.24
Falcon	3.83 ± 0.94	10.56 ± 2.87	0.98 ± 0.26	1.85 ± 0.19
Arizona	3.94 ± 1.53	11.05 ± 1.07	1.23 ± 0.48	2.43 ± 0.26
TR 62573	2.14 ± 0.65	9.98 ± 3.08	0.54 ± 0.45	1.89 ± 0.66
H 8892 F1	2.22 ± 0.67	7.44 ± 3.21	0.42 ± 0.29	1.65 ± 0.79
Rio Grande	1.87 ± 0.69	8.44 ± 0.20	0.51 ± 0.21	1.75 ± 0.15
TR 68516	2.60 ± 0.45	10.22 ± 3.53	0.69 ± 0.15	2.04 ± 0.20
AG 2134	2.33 ± 0.39	9.24 ± 1.40	0.53 ± 0.16	2.22 ± 0.22
Ortalama	2.97	9.68	0.76	2.01



Şekil 4.12. Sera koşullarında düşük (50 mg P kg⁻¹ toprak) ve yeterli (150 mg P kg⁻¹ toprak) P uygulamaları altında 29 gün boyunca yetiştirilen P eksikliğine duyarlı ve dayanıklı 8 domates genotipinin yeşil aksam ve kök P içeriklerinin P etkinliği ile ilişkisi.

4.2. Tartışma

Bitkilerin P etkinliği ve etkinlik mekanizmaları literatürde sıkça rastlanan bir konudur. Yapılan önceki araştırmalarda ağırlıklı olarak tarla bitkilerinde P etkinliği araştırılmıştır. Bu araştırmalara örnek olarak buğday (Horst ve ark., 1993 ; Fageria ve Baligar, 1999; Osborne ve Rengel 2002; Ozturk ve ark. 2005) çeltik (Fageria ve Baligar, 1997; Kirk ve ark., 1998) fasulye (Lyncy ve Bebe, 1995 ; Shen ve ark., 2002 tür ve çeşitlerinde yapılan çalışmalar gösterilebilir. Anılan araştırmaların tamamında konu edilen tahıl türlerinde P etkinliğinin genotipik olarak çok geniş bir varyasyon gösterdiği bildirilmektedir.

Bu çalışmada, 61 domates genotipi ile sera koşullarında toprakta yetersiz ve yeterli P uygulamalarıyla yürütülen saksı denemeleri sonucunda domates genotiplerinin P etkinliği yönünden oldukça geniş bir varyasyona sahip olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.10). Sera koşullarında 61 genotiple yapılan P etkinliği tarama çalışmasında ($p < 0.001$, $R^2 = 0.410$) ve buradan seçilen ekstrem genotiplerle (P etkinliği en yüksek ve en düşükler arasından seçilen) yapılan diğer sera denemesinde ($p < 0.001$, $R^2 = 0.896$) elde edilen bulgular yeşil aksam kuru madde verimi ile genotiplerin P etkinliği arasında istatistiksel olarak çok önemli ve pozitif yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.9). Fosfor-etkin olarak belirlenen genotipler toprakta P yetersizliği koşullarında genel olarak kuru madde verimi yönünden ortalamanın üzerinde değerlere sahip olurken duyarlı (P-etkinliği düşük) olarak belirlenen genotipler ise daha az kuru madde oluşturabilmiştir. Örneğin 61 genotiplik tarama denemesinde P-etkin olarak belirlenen TR 62573, Urbana, Arizona ve Falcon domates genotiplerinin yeşil aksam kuru madde verimi, duyarlı olarak belirlenen Rio Grande, H 8892 F1, TR 68516, AG 2134 Cambell 37 domates genotiplerinden hem çok daha fazla hem de genel ortalamanın üzerinde kuru madde verimi oluşturmuştur (Çizelge 4.1). Ekstrem genotiplerle yürütülen sera denemesinde TR 62573 genotipi dışında diğer tüm genotiplerin yetersiz P koşullarındaki kuru madde verimleri duyarlı genotiplerden çok daha yüksek bulunmuş ve seçilen genotiplerin P etkinliğinin ilk deneme bulguları ile benzer olduğu, dolayısı ile elde edilen sonuçların bir anlamda tekrarlanabilirliği gösterilmiştir (Çizelge 4.1 ve Çizelge

4.10). Bu denemede TR 62573 genotipinin istisnai şekilde tarama denemesindekinden farklı şekilde tepki vermesi, bu genotipin durulmamış bir hat olabileceğinden genetik açılım göstermesi ile ilişkili olabilir. Diğer F1 hibrit çeşitlerde elde edilen istikrarlı sonuçlar bu olasılığı desteklemektedir. Bu nedenle P etkinliği mekanizmalarının açılım göstermeyen ileri hatlarla ve/veya F1 hibrit çeşitlerle yürütülmesinin daha anlamlı ve güvenilir sonuçlar üreteceğini anlaşılmıştır. Bu çalışmada yapılan denemelerde gösterilen ve aynı bitki türünde düşük P koşullarında göreceli olarak yüksek kuru madde verimi oluşturabilecek genotiplerin bulunabileceği başka araştırmacılar tarafından da değişik bitki türlerinde gösterilmiştir.. Fosfor etkinliği yüksek çeşitlerin belirlemesi için yetersiz P koşullarındaki yeşil aksam kuru madde veriminin çeltik (Fageria ve ark., 1997), buğday (Fageria ve Baligar, 1999; Osborne ve Rengel 2002; Ozturk ve ark.,2005) ve domateste (Coltman ve ark., 1987) seçici kriter olabileceği bildirilmiştir.

Yürütülen tarama denemesinde P konsantrasyonu ile P etkinliği arasında $p < 0.05$ düzeyinde bir ilişki bulunurken (Şekil 4.2 ve Çizelge 4.2) seçilmiş genotiplerle yürütülen denemede ise benzer bir durum ortaya çıkmamıştır Fosfor etkin olan genotiplerin P konsantrasyonu yüksek iken seçilmiş olan genotiplerle yapılmış ikinci denemede yeşil aksam kuru madde veriminin artmasıyla P konsantrasyonu seyrelmiştir. (Çizelge 4.12). Nitekim, buğday ile yapılan çalışmalarda P etkinliği ile yeşil aksam P konsantrasyonu arasında bir ilişki bulunamadığı bildirilmiştir (Fageria ve Baligar, 1999 ; Ozturk ve ark., 2005). Yapılmış olan bu çalışma, bu tez çalışmasından elde edilen bulguları destekler nitelikte olduğunu, yeşil aksam P konsantrasyonunun P etkinliğini tek başına açıklayamayacağını göstermektedir.

Yürütülen sera denemelerinde domates genotiplerinin yeşil aksam P içeriği ile P etkinliği arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu ve genotipler arasında geniş bir varyasyon olduğu bulunmuştur (Şekil 4.2 ve Şekil 4.9). Fosfor etkinliği ile P içeriği arasındaki bu pozitif yönlü ilişki çeşitlerin yeşil aksam kuru verimleri ve P konsantrasyonuna bağlıdır. Örneğin, Urbana çeşidinde düşük P uygulamasında P içeriği $0.64 \text{ mg bitki}^{-1}$ iken, bu değer duyarlı AG 2134 çeşidinde $0.29 \text{ mg bitki}^{-1}$ olarak bulunmuştur. (Çizelge 4.2). Aynı çeşitlerin kuru madde verimlerine

bakıldığında da P içerikleriyle benzer eğilim altında oldukları görülmektedir. Fosfor etkinliği yönünden genotiplerin düşük P koşullarında oluşturdukları kuru madde verimi ve P içerikleri P etkinliğinde en önemli bir kriter olarak karşımıza çıkmaktadır.

Fosfor etkinliği bakımından ekstrem genotiplerle organik ve inorganik P kaynakları kullanılarak çözeltili kültürü ortamında yapılan denemede elde edilen P etkinliği, toprak ortamındaki P etkinliğinden oldukça farklılık göstermiştir (Çizelge 4.4). Test edilen genotiplerin organik ve inorganik P uygulamaları altındaki P etkinliğinin oldukça benzer olduğu genotiplerin düşük ve yeterli P uygulamaları altında oluşturdukları benzer yeşil aksam ve kök kuru madde verimlerinden anlaşılmaktadır (Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5). Fosfor eksikliğine bir tepki olarak bitkilerin kök/yeşil aksam oranları yeterli P uygulamalarına göre %50 düzeyinde artış göstermesi P eksikliğine karşı bitkilerin evrimleşme sürecinde oluşturdukları bir adaptasyon mekanizması olarak karşımıza çıkmaktadır (Marschner, 1995). Genotiplerin çözeltili ortamındaki P etkinliği toprak ortamına göre farklılık göstermektedir. Buna karşın toprak ortamında P etkin olarak belirlenen Urbana genotipi diğerlerinden farklı olarak çözeltili ortamında da yüksek P etkinliğine sahip olmuştur. Urbana genotipi ayrıca düşük P uygulamasında yüksek kök/yeşil aksam oranı ile hem organik hem de inorganik P uygulamalarında diğer genotiplerin önünde yer almaktadır. Bu özellikleri ile Urbana, uygulanan birim P'ü her iki yetiştirme ortamında da diğer genotiplerden daha fazla kullanma yeteneğindedir. Fosfor eksikliğine bağlı olarak kök/yeşil aksam oranındaki artışı, çoğu araştırmacı önemli bir P etkinlik mekanizması olarak kabul etmektedir (Vance ve ark., 2003; Lyncy ve Brown, 2001; Bates ve Lynch 1996; Gahoonia ve ark., 2001).

Düşük fosfor uygulamalarında yaşlı yapraklarda viyoletleşme şeklinde gözlenen antosiyan birikimi genotipler arasında oldukça geniş bir varyasyon göstermiştir. Yapılan gözlemlerde antosiyan birikiminin özellikle P etkinliği düşük genotiplerde daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu sonuca göre test edilen domates genotiplerinde antosiyan birikimi ile P etkinliği arasında negatif yönde önemli bir ilişki bulunmaktadır ($p < 0.001$, $R^2 = 0.194^{***}$). Bitkilerde görsel olarak P eksikliğinin ayırt edici semptomlarında birisi de antosiyanin birikimidir (Marschner, 1995; Steyn, 2002). Antosiyan türevlerinin güçlü antioksidan özelliği ve bunun yanında yüksek

ışığın zararlı etkilerini azaltma yeteneği ile bitki dokularında stres koşullarında artan reaktif oksijen türevlerinin yok edilmesinde rol oynadığı sanılmaktadır (Nagata ve ark., 2003; Xu ve ark., 2004). Antosiyen birikimi P eksikliği koşullarında ribulozbisfosfat yenilenmesinde ve fotosentezde oluşan yavaşlama sonucunda yapraklarda aşırı miktarda şeker birikiminden kaynaklandığı sanılmaktadır (Rao ve Terry, 1995). Yüksek şeker konsantrasyonlarında antosiyen sentezinden sorumlu anahtara enzim olan chalcone synthase (CHS) aktivitesinin arttığı gösterilmiştir (Tsukaya et al., 1991; Takeuchi et al., 1994). Benzer şekilde dışarıdan uygulanan sakaroz ve heksoz şekerlerinin hücre süspansiyon kültürlerinde, kesilmiş yapraklarda ve yaprak disklerinde antosiyen biyosentezini şiddetli biçimde arttırdığı bilinmektedir (Murray et al., 1994; Decendit & Mérillon, 1996; Larronde et al., 1998). Fosfor eksikliğinde asimilant taşınımının bozulması ve sakaroz birikimi CHS'yi aktive etmektedir (Sadka et al., 1994). Sadka ve ark (1994) sakaroz'un yokluğunda dahi P eksikliğinin CHS'yi aktive ettiğini rapor etmiştir. Hücre kültürü (*vitis vinifera* ; asma) çalışmalarında N ve/veya P konsantrasyonu düşük olduğu zaman yüksek düzeyde antosiyenin birikimi olduğu (Dedaldechamp ve ark., 1995), ve N ilavesiyle de antosiyenin birikiminin azaltılabildiği bildirilmiştir (Sakamoto ve ark., 1994). Mısır türünde yürütülen bir çalışmada Gaume ve ark. (2001) düşük P koşullarında oluşan antosiyen birikimi ile P etkinliği arasında negatif yönlü doğrusal bir ilişki olduğu rapor edilmiştir. Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar literatürdeki bilgilerle uyumlu görünmektedir. Antosiyen biyosentezinin özellikle P etkinliği düşük (duyarlı) genotiplerde çok daha fazla oluşu bu genotiplerde fizyolojik anlamda P eksikliğinin daha hızlı ve şiddetli biçimde oluştuğuna işaret etmektedir. Elde edilen sonuçlar domates genotiplerinde P etkinliğinin belirlenmesinde antosiyen birikiminden yararlanılabileceğini göstermektedir.

Fosfor etkinliği mekanizmaları yeşil aksam ve kökle ilgili parametreleri kapsamaktadır. Dayanıklı ve duyarlı olarak seçilmiş domates genotiplerinin yeniden test edildiği çalışmada P etkinliği ile düşük P koşullarındaki kök kuru madde veriminin oldukça önemli olduğu ve bu iki parametrenin önemli düzeyde korelasyon gösterdiği ($p < 0.001$, $R^2 = 0.896$) anlaşılmıştır (Şekil 4.9). Sonuçlar P-etkin genotiplerin etkin olmayanlardan daha fazla kök kuru madde verimi oluşturduğunu göstermektedir

(Çizelge 4.11., Şekil 4.13). Fosfor eksikliği altında bitkilerin kök ağırlığının yanında kök uzunluğunun (Wu ve ark.,2005), kök morfolojisini ve kök tüyü miktarını (Bates ve Lynch 1996; Gahoonia ve ark., 2001) değiştirebildiği bildirilmiştir. Gahoonia ve ark. (1999) arpa genotiplerinin P alımında kök tüyü gelişimin etkili olduğunu P etkin olarak seçilecek arpa genotipleri için kök tüyü uzunluğunun uygun bir parametre olabileceğini ortaya sürmüşlerdir. Yapılan başka bir çalışmada da kök tüyü fazla olan yabani arpanın kök tüyü çok az olan mutant arpaya göre 2 kat fazla P absorbe ettiği rapor edilmiştir (Gahoonia ve ark., 2001). Aynı araştırmacılar bu iki arpada melezleme yaparak elde edilen F2 melezlerinde kök tüyü gelişiminde belirgin bir artış olduğunu ortaya koymuşlar ve kök tüyü oranının genetik geçişli bir özellik olduğunu belirtmişlerdir. Bu tez çalışmasında da domatesle yapılan denemelerde P etkinliğinin düşük P koşullarında yüksek oranda kök büyümesinin sağlanması ile ilişkili olduğu gösterilmiştir.

Fosfor etkinliğinin belirlenmesinde bitkilerin yeşil aksam ve kök verimi, P içeriği ve kök salgıları gibi parametreler kadar P alım kapasitesi ve hızı da önemlidir. Fosfor etkin ve duyarlı olarak seçilmiş genotiplerin P absorpsiyon kapasiteleri ve hızlarının belirlendiği çalışmada P etkinliğini açıklayıcı bilgiler elde edilmiştir. Bu çalışmada P etkin genotipler P açlığı altında yetiştirildikten sonra yeterli P koşullarında elde edilen kümülatif P absorpsiyonu bakımından dayanıklı genotiplerin duyarlı genotiplere göre birim zamanda çözelti ortamından daha fazla P alma yeteneğinde oldukları belirlenmiştir (Şekil 4.5, Şekil 4.6). Benzer şekilde P absorpsiyon hızları bakımından da dayanıklı genotipler duyarlı genotiplere göre daha hızlı P absorpsiyon kapasitesine sahip olmuştur (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8). Fosfor-etkin olarak seçilen ve absorpsiyon testlerinde kullanılan Urbana ve Falcon genotipleri 12 saatte duyarlı olarak seçilen AG2134 ve H8892 F1 genotiplerinden % 30 daha fazla P absorbe etmiştir. Etkinlik bakımından farklılık gösteren bu genotipler birim zamanda kök kuru maddesi başına gösterdikleri P absorpsiyon hızı bakımından da birbirinden ayrılmaktadır.. Bu bağlamda P etkin genotiplerin P absorpsiyon kapasitelerinin daha fazla olması P etkinliğini destekleyen bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Gahoonia ve Nielsen (2004) arpa genotiplerinde P absorpsiyon kinetiği çalışmalarıyla farklılıkların olduğu, düşük P durumunda daha fazla P alabilen genotiplerin P etkin

genotipler olduğunu ve besin çözeltisi ortamında bir çok genotiptin aynı anda P absorpsiyon kinetiklerinin çok basit bir şekilde belirlenebileceğini bildirmiştir. Moleküler düzeyde yapılan çalışmalarda P absorpsiyonunda bitkilerin P beslenme statülerine göre P taşıyıcı proteinlerinin sentezinin aktive edildiği belirlenmiştir. Liu ve ark. (1998) tarafından yapılan bu çalışmada domates bitkilerin köklerinde *LePT1* ve *LePT2* olarak adlandırılan P-taşıyıcı proteinlerin ve ayrıca *LePT1* geninin yapraklarda da sentezlendiği, bitkilerin P beslenmesi iyileştikten sonra anılan proteinlerin sentezinin durduğu bildirilmiştir.

Organik P kaynaklarından yararlanmada bitki köklerinin APA aktivasyonu yönünden genotipsel olarak önemli bir fark bulunmamıştır. (Çizelge 4.9). Fosfor eksikliğine karşı adaptif bir mekanizma olarak köklerde APA aktivasyonu bir çok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Helal ve Dressler, 1989; Tadano ve Sakai, 1991; Li ve ark. 1997a; Gilbert ve ark., 1999 Hayes ve ark. 1999). Farklı bitki türlerinde yürütülen bir çalışmada (Li ve ark. 1997b) P eksikliği koşullarında APA ve fitaz aktivitelerinin önemli düzeyde arttığı ve bu artışın bitki türlerine göre değişebildiği rapor edilmiştir. Gahoonia ve ark. (2001) P eksikliği koşullarında kök tüyü gelişimi ve APA aktivitesinin birlikte arttığını ve organik P kaynaklardan yararlanma açısından kök tüyü oluşumunun önemli olduğunu vurgulamıştır. Değişik mera bitkilerinde P kaynağı olarak fitat kullanılarak yapılan bir çalışmada Artan fitaz aktivitesi ile birlikte toprak mikroorganizmalarının da organik P kaynağından etkin bir şekilde yararlanmada önemli olduğu gösterilmiştir (Richardson ve ark., 2001). Fosfor kaynağı olarak fitat-P'nin kullanıldığı bir çalışmada buğday genotipleri arasında P etkinliği yönünden geniş bir varyasyon olduğu ve genotiplerin kök morfolojisinde meydana gelen farklılıkların organik kök salgıları, fenolik bileşikler, şekerler ve enzimlerle birlikte rizoferde mikrobiyel aktiviteyi kamçılayarak organik P'un kullanılabilirliğinde önemli genotipsel farklılıkların olabileceği ifade edilmiştir (Osborne ve Rengel 2002b). Ozturk ve arkadaşları (2005) değişik buğday genotiplerinin P eksikliği koşullarında APA aktivitesinin yeterli P koşullarına göre fazla olduğunu ancak APA aktivasyonunda genotipsel farkın bulunmadığını vurgulamışlardır. Buğdayda yürütülen bu çalışmanın sonuçları burada domateste elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir (Çizelge 4.9). Bu tez çalışmasında

domateste P eksikliğinde APA ve fitaz aktivitesinin çarpıcı şekilde arttığı ancak bunun genotiplerin sahip olduğu farklı P etkinliğini açıklamadığı gösterilmiştir. Sonuçlar domateste APA ve fitaz aktivasyonunun P eksikliğine karşı önemli bir adaptasyon mekanizması olduğunu doğrulamakla birlikte bunun P etkinliğinden direkt sorumlu bir özellik olmadığını işaret etmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fosfor eksikliğine dayanıklı domates genotiplerinin belirlemek ve etkinlik mekanizmalarının morfolojik ve fizyolojik açıdan incelemek üzere çok sayıda domates genotipi yeterli ve yetersiz P koşullarında test edilmiştir. Elde edilen veriler domates genotiplerinin P etkinliği bakımından çok geniş bir varyasyona sahip olduğunu göstermektedir.

Fosfor etkinliği düşük ve yeterli bulunan domates genotipleri arasında bulunan en önemli farkın düşük P uygulamasındaki yeşil aksam ve kök kuru madde verimi ve P içeriği olduğu saptanmıştır. Fosfor etkin genotiplerin daha fazla kök oluşturarak yetiştirme ortamındaki P'dan daha fazla yararlanabildiği ve buna bağlı olarak yeşil aksam verimini ve P içeriğini de arttırdığı anlaşılmaktadır.

Toprak ortamında yürütülen tarama denemesinde yeşil aksam P konsantrasyonu ve P etkinliği arasında önemli ilişki bulunurken ekstrem genotiplerle yürütülen diğer denemede benzer bir durum oluşmamıştır. Bu sonuç tek başına doku P konsantrasyonunun farklı P etkinliğini açıklayamadığını göstermektedir.

Yetersiz P koşullarında P eksiklik semptomu olarak yaprakların altında (abaksiyal bölge) viyoletleşme şeklinde ortaya çıkan antosiyan birikimi P duyarlı genotiplerde çok daha fazladır. Fosfor etkin genotiplerin belirlenmesinde diğer parametrelerle birlikte (kök ve yeşil aksam kuru madde verimi, P içeriği, P absorpsiyon kapasitesi) yapraklarda antosiyan birikiminin de önemli olduğu saptanmıştır. Fosfor eksikliğinde gözlenen antosiyan birikimi, domateste yüksek P etkinliği için hızlı bir görsel tarama parametresi olabilir.

Fosfor eksikliği koşullarında kök/yeşil aksam oranı test edilen genotiplerde benzer oranlarda artış gösterdiğinden bunun yüksek P etkinliği için seçici bir kriter olamayacağı anlaşılmıştır. Bunun yerine kök P etkinliğinin [düşük P kök KM /yeterli P kök KM] dikkate alınması daha doğru bir yaklaşım olabilir. Nitekim, bu çalışmada yeşil aksam P etkinliği ile kök P etkinliği arasında önemli bir ilişki olduğu gösterilmiştir.

Domates çeşitlerinin sahip olduğu farklı P etkinliği ile fosfor absorpsiyon kapasiteleri ve hızları arasında önemli ilişki bulunmuştur. P-etkin çeşitlerin duyarlı

çeşitlere göre hem kümülatif bakımdan hem de birim zamandaki absorpsiyon hızı bakımından daha iyi performans göstererek etkin genotiplerin uygulanan birim P'dan daha iyi yararlanabildiğine işaret etmektedir.

Köklerden salgılanan APA ve fitaz aktiviteleri düşük P koşullarında önemli düzeyde artış göstermiştir. Ancak, organik P kaynaklarını hidrolize edici bu enzimlerin test edilen genotiplerde benzer oranlarda aktive olduğu ve P etkinliğindeki varyasyonu açıklamadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle domateste yüksek P etkinliği için yapılacak ileriki çalışmalar için APA ve fitaz aktivitelerinin iyi bir seleksiyon parametresi olamayacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada P etkinliği büyümenin vejetatif gelişme dönemi için belirlenmiştir. Sonuçlar vejetatif dönemde yetersiz P koşullarında P-etkin olarak genotiplerin daha iyi kuru madde verimi oluşturabileceğini göstermektedir. Üretim amaçlı olarak kullanıldığında sözü edilen genotiplerin meyve verim potansiyeli önemli farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle bu çalışmada P-etkinliği yüksek olarak belirlenen genotipler ancak verim ve kalite yönünden de araştırıldıktan sonra üretim amaçlı olarak tavsiye edilebilir. Buna karşın yeni çeşitlerin geliştirilmesinde, P etkinliği oldukça yüksek bulunan domates genotiplerinin ıslah programlarına dahil edilmesin büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Düşük P uygulamasındaki yeşil aksam ve kök kuru madde verimi ve P alım hızının P etkinliği ile önemli düzeyde korelasyon göstermesi, yüksek P etkinliği için yapılacak ıslah ve seleksiyon çalışmalarında bu parametrelerin güvenilir bir şekilde kullanılabilceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- ALLOWAY, B.J., 1995. Heavy metals in soils. Blackie, London. Pp.122-152
- ASMAR, F., SINGH, T., NIELSEN, G., NIELSEN, N. 1995. Barley genotypes differ in activity of soluble extracellular phosphatase and depletion of organic phosphorus in the rhizosphere soil. *Plant and Soil*, 172:117-122.
- BARBER, S.A. 1984. Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. John Wiley and Sons, New York.
- BARTON, C., J. 1948. Photometric analysis on phosphate rock. *Ind. Anal. Eng. Chem.* 20:1068-1073.
- BATTEN, G., D., 1993. A review of phosphorus efficiency in wheat. *In: Genetic aspects of plant mineral nutrition. Eds. P., J., Randall et al.* Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 215-220.
- BHADORIA, P., B., KASELOWSKY, J., CLAASSEN, N., JUNK, A., 1991. Soil phosphate diffusion coefficients: Their dependence on phosphorus concentration and buffer power. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 56-60.
- BHAT, K., K., S. VE NYE, P., H., 1973. Diffusion of phosphate to plant roots in soil. I. Quantitative autoradiography of the depletion zone. *Plant Soil*, 38: 161-175.
- BOUYOUCUS, G., J., 1952. Recalibration of hydrometer for making mechanical analysis of soils. *Agron. Journal*, 43: 434-438.
- BUSO, G.S.C. VE BLISS, F.A. 1988. Variability among lettuce cultivars grown at two levels of available phosphorus. *Plant and Soil* 111: 67-73.
- ÇAĞLAR, K., Ö., 1949. Toprak Bilgisi. A. Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 10, Ankara.
- CLARK, 1975. Characterization of Phosphatase of intact maize roots. *J. Agric. Food Chem.*, 23 (3): 458-460.
- COLTMAN, R., R., GERLOFF, G., C., GABELMAN, W., H., 1986. Equivalent stress comparisons for evaluating physiological and morphological differences among tomato strains differentially tolerant to P deficiency. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 111(3): 422-426.

- DALAL, R.C. 1977. Soil organic phosphorus. *Adv. Agron.* 29, 83–117.
- DA SILVA, E., A. VE GABELMAN, H. W. 1993. Screening maize inbred lines for tolerance to low-P stress conditions. . *In Genetic aspects of plant mineral nutrition*, 233-239. Eds. P. J. Randall et al. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- DECENDÏT A, MÉRILLON JM. 1996. Condensed tannin and anthocyanin production in *Vitis vinifera* cell suspension cultures. *Plant Cell Reports* 15:762–765.
- DEDALDECHAMP, F., UHEL, C., MACHEÏX J-J. 1995. Enhancement of anthocyanin synthesis and dihydroflavonol reductase (DFR) activity in response to phosphate deprivation in grape cell suspensions. *Phytochemistry* 40:1357–1360.
- DERICI, M., R., 1996. Topraklarda fosfor dengesi. *Tr. J. of Agriculture and Forestry.* 20: 29-33.
- ELLIOTT, G. C. VE LAUCHLI, A. 1986. Evaluation of an acid phosphatase assay for detection of phosphorus deficiency in leaves of maize (*Zea mays* L.). *J. Plant Nutr.* 9, 1469-1477.
- EYÜPOĞLU, F. 1999. Türkiye topraklarının verimlilik durumu. *Toprak ve Gübre Arşt. Enst. Genel Yayınları No:220, Ankara.* 221 sayfa.
- FAGERIA N., K. VE BALIGAR, V., C. 1997. Upland rice genotypes evaluation for phosphorus use efficiency. *J. Plant Nutr.*, 20(4&5), 499-509.
- FAGERIA N., K. VE BALIGAR, V., C. 1999. Phosphorus-use efficiency in wheat genotypes. *J. Plant Nutr.*, 22(2), 331-340.
- FAO, 2001. FAOSTAT, Agriculture Database: <http://apps.fao.org>
- FÖHSE, D. VE JUNK, A., 1983. Influence of phosphate and nitrate supply on root hair formation of rape, spinach and tomato plants. *Plant Soil*, 74: 359-368.
- FOHSE, D., CLAASSEN, N., JUNK, A., 1991. Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant and Soil*, 132: 261-272.
- FURLANI, A., M., C., CLARK, R., B., MARANVILLE, J., W., ROSS, W., M. 1984. Root phosphatase activity of sorghum genotypes grown with

- organic and inorganic sources of phosphorus. *J. Plant Nutr.*, 7(11), 1583-1595.
- GAHOONIA, T.S. VE NIELSEN, N.E. 1997. Variation in root hairs of barley cultivars doubled soil phosphorus uptake. *Euphytica* 98: 177-182.
- 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: (2) 269-281
- GAHOONIA, T.S., NIELSEN, N.E., JOSHI, P.A., JAHOR, A. 2001. A root hairless barley mutant for elucidating genetic of root hairs and phosphorus uptake. *Plant and Soil*. 235 211-219.
- GAHOONIA, T.S.& NIELSEN, N.E. 2004. Root traits as tools for creating phosphorus efficient crop varieties. *Plant and Soil* 260: 47–57, 2004.
- GAUME, A., MÄCHLER, F., DE LE´ON, C., NARRO L. AND FROSSARD, E. 2001. Low-P tolerance by maize (*Zea mays* L.) genotypes: Significance of root growth, and organic acids and acid phosphatase root exudation. *Plant and Soil* 228: 253–264
- GERLOFF, G., C., 1977. Plant efficiencies in the use of N, P and K. *In: Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Ed. M. J. Wright., pp 164-174. Cornell University Press, New York.*
- GILBERT, G. A., KNIGHT, J. D., VANCE, C. P. VE ALLAN, D. L. 1999. Acid phosphatase activity in phosphorus-deficient white lupin roots. 22, 801-810.
- GREENWOOD, A.J., AND LEWIS, D.H. (1977). Phosphatases and the utilisation of inositol hexaphosphate by soil yeasts of the genus *Cryptococcus*. *Soil Biology and Biochemistry* 9, 161–166.
- GUO, F., YOST, R., S., HUE, N., V., EVENSEN, C., I, SILVE, J., A., 2000. Changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 64 (5): 1681-1689.
- HARA, A., EBINA, S., KONDO, A., AND FUNAGUMA, T. (1985). A new type of phytase from pollen of *Typha latifolia* L. *Agricultural and Biological Chemistry* 49, 3539–3544.

- HAYES J E, RICHARDSON A E AND SIMPSON R J 1999. Phytase and acid phosphatase activities in extracts from roots of temperate pasture grass and legume species. *Aust. J. Plant Physiol.* 26, 801–809.
- HELAL, H.M. VE DRESSLER, A. 1989. Mobilization and turnover of soil phosphorus in the rhizosphere. *Z Pflanzenernähr. Bodenk.* 152, 175-180.
- HOLFORD, I., C., R. 1997. Soil phosphorus – its measurement and its uptake by plants. *Aust. J. Soil Res.* 35(2), 227-239.
- HORST, W.J., ABDU, M. AND WIESLER, F. 1993. Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. *Plant and Soil*, 155/156:293-296.
- HUBEL, F., AND BECK, E. 1996. Maize root phytase. Purification, characterization, and localization of enzyme activity and its putative substrate. *Plant Physiology* 112, 1429–1436.
- HUNTER, D. A. VE MCMANUS, M. T. 1999. Comparison of acid phosphatase in two genotypes of white clover with different responses to applied phosphate. *J. Plant Nutr.* 22, 679-692.
- HORST WJ, KAMH M, JİBRİN JM, CHUDE VO. 2001. Agronomic measures for increasing P availability to crops. *Plant and Soil* 237, 211–223.
- ITOH, S. VE BARBER, S., A., 1983. Phosphorus uptake by six plant species as related to root hairs. *Agronomy Journal*, 75: 457-461.
- ISHERWOOD K.F., 2000. ‘Mineral fertilizer use and the environment.’ (International Fertilizer Industry Association/United Nations Environment Programme: Paris)
- JACKSON, M., L., 1959. Soil chemical analysis. *Eds.* Englewood Cliffs, New Jersey.
- JUNGK, A. AND CLAASEN, N. 1986. Availability of P and K as the result of interactions between root and soil in the rhizosphere. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 149: 411-427.
- KACAR, B., AMIN, S., M., R., ÇELEBI, G., TURAN, C., 1976. Antalya kıyı yöresi topraklarının fosfor durumu ve bu yore topraklarında alınabilir fosforun belirlenmesinde kullanılacak yöntemler üzerinde bir araştırma.

TÜBİTAK-Tarım ve Orman Araştırma Gurubu Seri No. 42, s. 1-100,
Ankara

- KACAR, B., 1997. Tarımda Fosfor. Bursa Ticaret Borsası Yayınları, No:5
- KAWADA, T. and SUZUKI, S. 1998. A Review on the Cadmium Content of Rice, Daily Cadmium Intake, and Accumulation in the Kidneys. *J Occup Health*; 40: 264–269.
- KIRK, G., J., D., GEORGE, T., COURTOIS, B. VE SENADHIRA, D. 1998. Opportunities to improve phosphorus efficiency and soil fertility in rainfed lowland and upland rice ecosystems. *Field Crops Res.* (56),73-92.
- KONGSHAUG G., BÖCKMAN O.C., KAARSTAD O., MORKA H., 1992. Inputs of Trace Elements to Soils and Plants. In *Chemical Climatology and Geomedical Problems*. Ed. J. Lag. pp 185-216.
- KONIETZNY, U., GREİNER, R., AND JANY, K.D. (1995). Purification and characterization of a phytase from spelt. *Journal of Food Biochemistry* 18, 165–183.
- KOVAR, J., L. VE BARBER, S., A., 1988. Phosphorus supply characteristics of 33 soils as influenced by seven rates of phosphorus addition. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52: 160-165.
- LABOURE, A.M., GAGNON, J., AND LESCURE, A.M. (1993). Purification and characterization of a phytase (*myo*-inositolhexakisphosphate phosphohydrolase) accumulated in maize (*Zea mays*) seedlings during germination. *Biochemical Journal* 295, 413–419.
- LAMBERS, H., SHANE, M.W., CRAMER, M.D., PEARSE S.J. & VENEKLAAS, E.J. 2006. Root Structure and Functioning for Efficient Acquisition of Phosphorus: Matching Morphological and Physiological Traits. *Annals of Botany* 98: 693–713, 2006
- LARRONDE F, KRİSA S, DECENDİT A, CHÉZE C, DEFFİEUX G, MÉRİLLON JM. 1998. Regulation of polyphenol production in *Vitis vinifera* cell suspension cultures by sugars. *Plant Cell Reports* 17: 946–950.

- LINDSAY, W., L. VE NORVELL, W., A., 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 421-428.
- LI, M., OSAKI, M., HONMA, M., AND TADANO, T. (1997a). Purification and characterization of phytase induced in tomato roots under phosphorus deficient conditions. *Soil Science and Plant Nutrition* 43, 179–190.
- LI, M., OSAKI, M., RAO, I.M., AND TADANO, T. (1997b). Secretion of phytase from the roots of several plant species under phosphorus-deficient conditions. *Plant and Soil* 195, 161–169.
- LIU, C., MUCHAL, U.S., UTHAPPA, M., KONONOWICZ, A.K. and RAGOTHAMA, K.G. 1998. Tomato phosphate transport genes are differentially regulated in plant tissues by phosphorus. *Plant Physiology*. 116: 91-99.
- LYNCH, J., P. VE BEEBE, S, E. 1995. Adaptation of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to low Phosphorus availability. *Hort. Sci.* 30(6), 1165-1171.
- LYNCH JP, BROWN KM. 2001. Topsoil foraging: an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant and Soil* 237, 225–237.
- MANSKE, G.G.B., ORTÍZ-MONASTERIO, J.I., VAN GINKEL, M., GONZALEZ, R.M., RAJARAM, S., MOLINA, E., VLEK, P.L.G. 2000. Traits associated with improved P-uptake efficiency in CIMMYT's semidwarf spring bread wheat grown on an acid andisol in Mexico. *Plant and Soil*, 221:189-204.
- MARSCHNER, H., 1995. Rhizosphere pH effects on phosphorus nutrition. *In* Genetic manipulation of crop plants to enhance integrated nutrient management in cropping systems - 1. Phosphorus: proceedings of an FAO-ICRISAT Expert Consultancy Workshop 15-18 Mar 1994, ICRISAT Asia Center, Patancheru, India. Eds. J., C., Lee; K., K., Sharma; G., V., Subbaro and E., A., Kueneman. p. 107-115.
- MARSCHNER, H., 1997. Mineral nutrition of higher plants, 2nd edition. Acad. Press, London. 889 sayfa.
- MCLACHLAN, K. D. 1976. Comparative phosphorus responses in plants to a range of available phosphorus situations. *Aus. J. Agric. Res.* 27, 323-341.

- MCLACHLAN, K. D. 1980. Acid phosphatase activity of intact roots and phosphorus nutrition in plants. II Variations among wheat roots. *Aus. J. Agric. Res.* 31, 441-448.
- MCLAUGHLIN M.J., BAKER T.G., JAMES T.R., RUNDLE J.A 1990. Distribution and forms of phosphorus and aluminium in acidic topsoils under pastures in south-eastern Australia. *Aust. J. Soil Res.* 28, 371–385.
- MURRAY JR, SMITH AG, HACKETT WP. 1994. Differential dihydroflavonol reductase transcription and anthocyanin pigmentation in the juvenile and mature phases of ivy (*Hedera helix* L.). *Planta* 194: 102–109.
- NAGATA T, TODORIKI S, MASUMIZU T, SUDA I, FURUTA S, DU Z, KIKUCHI S. 2003. Levels of active oxygen species are controlled by ascorbic acid and anthocyanin in *Arabidopsis*. *J. Agric. Food Chem.* 51, 2992–2999
- NEUMANN, G. AND ROMHELD, V., 1999. Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants. *Plant and Soil*, 211: 121-130.
- NEUMANN, G., MASSONNEAU, A., MARTINOIA, E., RÖMHELD, V., 1999. Physiological adaptations to phosphorus deficiency during proteoid root development in white lupin. *Planta*, 208 (3): 373-382
- NIELSEN, N.E. 1976. A transport kinetic concept for ion uptake by plants. III. Test of the concept by results from water culture and pot experiments. *Plant Soil* 45: 659-677.
- NIELSEN, K.L., ESHEL, A., LYNCH, J.P. 2001. The effect of phosphorus availability on the carbon economy of contrasting common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *J Exp Bot* 52,329–339.
- OLSEN, S., R., COLE, C., V., WATANABE, F., S., DEAN, L., A., 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circ.*, 939. U. S. Gov. Print Office, Washington DC.
- OSBORNE, L.D. AND RENGEL, Z. 2002a. Genotypic differences in wheat for uptake and utilization of P from Iron Phosphate. *Aust. J. Agric. Res.* 53 837-844.

- OSBORNE, L.D. AND RENGEL, Z. 2002b Growth and P uptake by wheat genotypes supplied with phytate as the only P source. *Aust. J. Agric. Res.* 53 845-850.
- ÖZBEK, H., KAYA, Z., GÖK, M., KAPTAN, H., 1993. Toprak Bilmi. Ç. Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 73 Ders Kitapları No: 16.
- OZTURK, L., EKER, S., TORUN, B. AND ÇAKMAK, I. 2005. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. *Plant and Soil.* 269: 69–80.
- PISCATOR, M. 1985. Dietary exposure to cadmium and health effects: Impact of Environmental chances. *Environmental Health Perspectives.* 63.127-132.
- RAGHOTHAMA, K.G. 1999. Phosphate acquisition. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50:665-693.
- RAO IM, TERRY N. 1995. Leaf phosphate status, photosynthesis, and carbon partitioning in sugar beet. *Plant Physiology* 107: 1313–1321.
- RICHARDSON A E AND HADOBAS P A 1997 Soil isolates of *Pseudomonas* spp. that utilize inositol phosphates. *Can. J. Microbiol.* 43, 509–516.
- RICHARDSON, A.E. HADOBAS, P.A. AND HAYES, J.E. 2001a. Extracellular secretion of *Aspergillus* phytase from *Arabidopsis* roots enables plants to obtain phosphorus from phytate. *The Plant Journal* 25 (6), 641-649.
- RICHARDSON A.E., P.A. HADOBAS, J.E. HAYES, C.P. O’HARA & R.J. SİMPSON 2001b Utilization of phosphorus by pasture plants supplied with *myo*-inositol hexaphosphate is enhanced by the presence of soil micro-organisms *Plant and Soil* 229: 47–56
- RON VAZ, M., D., EDWARDS, A.C., SHAND, C. A., CRESSER, M., S., 1993. Phosphorus fractions in soil solution: influence of soil acidity and fertilizer addition. *Plant Soil*, 148: 175-183.
- SADKA A, DEWALD DB, MAY GD, PARK WD, MULLET JE. 1994. Phosphate modulates transcription of soybean *VspB* and other sugar-inducible genes. *Plant Cell* 6: 737–749.

- SAKAMOTO K, IIDA K, SAWAMURA K, HAJIRO K, ASADA Y, YOSHIKAWA T, FURUYA, T. 1994. Anthocyanin production in cultured cells of *Aralia cordata* Thunb. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 36: 21–26.
- SAS L., TANG C., RENGEL Z. 2001. Suitability of hydroxyapatite and iron phosphate as P sources for *Lupinus albus* grown in nutrient solution *Plant and Soil* 235: 159–166.
- SCHENK, M.K. AND BARBER, S.A. 1979. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. *Agron J.* 71: 921-924.
- SEELING, B. VE ZASOSKI, R., J., 1993. Microbial effects in maintaining organic and inorganic solution phosphorus concentrations in a grassland topsoil. *Plant Soil*, 148: 277-284.
- SHEN, H., XIAOLONG, Y, ZAO, M., ZHENG, S., WANG, X. 2002. Exudation of organic acids in common bean as related to mobilization of aluminum and iron bound phosphates. *Environ. Exp. Bot.* 48 1-9.
- STEYN, W.J., WAND, S.J.E., HOLCROFT, D.M. AND JACOBS, G. 2002. Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. *New Phytologist* 155: 349–361
- TADANO, T. VE SAKAI, H. 1991. Secretion of acid phosphatase by the roots of several crop species under phosphorus-deficient conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 37(1), 129-140.
- TAKEUCHI A, MATSUMOTO S, HAYATSU M. 1994. Chalcone synthase from *Camellia sinensis* : Isolation of the cDNAs and the organ-specific and sugar responsive expression of the genes. *Plant Cell Physiology* 35: 1011–1018.
- TARAFDAR, J., C. VE MARSCHNER, H. 1994. Phosphatase activity in the rhizosphere of VA-mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus. *Soil Biology Biochem.* 26, 387-395.
- TSUKAYA H, OHSHIMA T, NAITO S, CHINO M, KOMEDA Y. 1991. Sugar-dependent expression of the *CHS-A* gene for chalcone synthase from *Petunia* in transgenic *Arabidopsis*. *Plant Physiology* 97: 1414–1421.

- ULLAH, A.H.J., AND GIBSON, D.M. (1987). Extracellular phytase (E.C.3.1.3.8) from *Aspergillus ficuum* NRRL 3135: Purification and characterization. *Preparative Biochemistry* 17, 63–91.
- ÜLGEN, N., 1968. Karadeniz bölgesi topraklarının fosfor durumu ve bu bölge topraklarının fosfor ihtiyaçlarının tayininde kullanılacak metodlar üzerinde bir araştırma. A.Ü. Ziraat Fakültesi, Radyofizyoloji ve Toprak Verimliliği Kürsüsü (Rota), Ankara
- VANCE CP, UHDE-STONE C, ALLAN DL. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* 157, 423–447.
- WISSUWA, M. AND AE, N. 1999. Genotypic variation for phosphorus uptake from hardly soluble iron phosphate in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant and Soil*, 206: 163-171.
- WISSUWA, M. AND AE, N. 2001. Genotypic variation for tolerance to phosphorus deficiency in rice and the potential for its exploitation in rice improvement. *Plant Breeding*. 120 43-48.
- WISSUWA, M. 2005. Combining a modelling with a genetic approach in establishing associations between genetic and physiological effects in relation to phosphorus uptake. *Plant and Soil*
- WU, C., WEI, X., SUN H.L. and WANG Z.Q. 2005. Phosphate Availability Alters Lateral Root Anatomy and Root Architecture of *Fraxinus mandshurica* Rupr. Seedlings. *Journal of Integrative Plant Biology* 47 (3): 292–301
- YOON, S.J., CHOI, Y.J., MIN, H.K., CHO, K.K., KIM, J.W., LEE, S.C., AND JUNG, Y.H. (1996). Isolation and identification of phytase-producing bacterium, *Enterobacter* sp. 4, and enzymatic properties of phytase enzyme. *Enzyme and Microbial Technology* 18, 449–454.
- XU P, ROGERS SJ, ROOSSINCK MJ. 2004. Expression of antiapoptotic genes bcl-xL and ced-9 in tomato enhances tolerance to viral-induced necrosis and abiotic stress. *PNAS* 101:15805–15810.
- ZABUNOĞLU, S., 1967. Çarşamba ovası topraklarının fosfor durumu ve bu bölge topraklarının fosfor ihtiyaçlarının tayininde kullanılacak metodlar

üzerinde bir araştırma. A.Ü. Ziraat Fakültesi, Radyofizyoloji ve Toprak Verimliliği Kürsüsü (Rota), Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1974 Tunceli-Çemişgezek'te doğdum. İlk orta ve lise eğitimimi aynı yerde tamamladım. 1993 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünde Lisans öğrenimine başladım. 1997 yılında lisans öğrenimimi tamamladıktan sonar aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladım. 2000 yılında Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladım. 2001 yılında Yüksek Lisans öğrenimimi bitirdim. 2001 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalında Doktora öğrenimine başladım. 2004 yılında Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde Araştırma Görevlisi kadrosundan ayrıldım. Aynı yıl Sabancı Üniveristesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesinde çalışmaya başladım. Halen, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalında Doktora öğrenimine devam etmekteyim.