ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Kürşat KORKMAZ

KİREÇLİ TOPRAKLARIN FOSFOR DURUMLARININ BELİRLENMESİ VE FOSFOR UYGULAMASININ MISIR VERİMİNE ETKİSİ

TOPRAK ANABİLİM DALI

ADANA, 2005

ÖZ

DOKTORA TEZİ

KİREÇLİ TOPRAKLARIN FOSFOR DURUMLARININ BELİRLENMESİ VE FOSFOR UYGULAMASININ MISIR VERİMİNE ETKİSİ

Kürşat KORKMAZ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Hayriye İBRİKÇİ
Yıl : 2005, Sayfa:126
Jüri : Prof. Dr. Hayriye İBRİKÇİ
Prof. Dr. Zülküf KAYA
Prof. Dr. Ahmet Can ÜLGER
Prof. Dr. Yusuf KIRTOK
Yrd. Doç. Dr. Sema KARANLIK

Fosfor (P) bitki gelişimi için mutlak gerekli olan elementlerden birisidir. Ülkemiz toprakları, sürekli olarak fosfor ilave edilmesine rağmen, yüksek kil ve kireç içerikleri nedeniyle fosfor düzeyi ürün gelişimi açısından değerlendirildiğinde kritik seviyededir. GAP bölgesinde yaygın olarak kullanılan 10 mısır çeşidinin P etkinliklerini saptamak üzere, bölgede yaygın 3 toprak serisine ait topraklar kullanılarak sera denemesi yürütülmüştür. Ekim öncesi her saksıya beş farklı dozda fosfor (0, 25, 50, 100 ve 200 mg kg^{-1}) ilave edilmiştir. Deneme sonuçlarına göre, fosfor uygulamaları bitki kuru madde verimi ve P alımı açısından önemli derecede etkili bulunmuştur. Sonuçlara göre Pegasso ve C 7993 çeşidi etkin ve duyarlı, Sele, Tector, DK 626 ve DK 585 etkin olmayan duyarlı, DK 6022 çeşidi etkin ve duyarsız ve P 3394, Teater, RX 770 çeşitleri etkin olmayan duyarsız olarak sınıflandırılmıştır.

Buna ilave olarak deneme topraklarında P fraksiyonları ve adsorpsiyon çalışmaları yapılarak Langmuir izotermleri çalışılmıştır. Analiz sonuçlarına göre bölge topraklarında total P'un Ca-P>CDB-P>CB-P>Al-P+Fe-P şeklinde dağılım gösteridiği ve adsorpsiyon maksimumu olan b değerleri 263-400 μg g^{-1} arasında değişirken, adsorpsiyon enerji katsayısı k, 0.70 to 0.76 ml μg^{-1} arasında değişiklik göstermiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde kil tipi, kireç ve Fe oksitler ile P adsorpsiyonu arasında önemli ilişkiler belirlenmiştir.

Sera denemesi sonuçlarına göre seçilen etkinliği farklı genotipler, GAP bölgesi topraklarında 2 farklı lokasyonda, fosfor kullanımları verim ilişkisi açısından 2 yıl süre ile tarla denemeleriyle araştırılmıştır. Denemede fosfor kaynağı olarak TSP (triple superphosphate) 0 (kontrol), 4, 8, 12 ve 16 kg da^{-1} dozlarında uygulanmıştır. Deneme sonuçları değerlendirildiğinde P uygulamaları mısır tane verimini istatistiksel olarak önemli oranda arttırmıştır. Deneme sonuçlarına göre bölge topraklarında mısır yetiştirebilmek için başlangıçta toprakta bulunan yarayışlı gosfor içeriğine bağlı olarak 8-12 kg da^{-1} önerilebileceği sonucuna varılmıştır.

Deneme sonuçlarındaki bulgular bölgede doğru bir gübreleme yönetimi açısından önemlidir. Özellikle bitkilerin farklı fosfor kullanım etkinliklerine sahip olmaları göz önünde bulundurulduğunda, aşırı miktarda kullanılan fosforlu gübrelerin azaltılmasını sağlayacağı için doğru gübreleme programlarının ve etkin bitki genotiplerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Fosfor (P), P Adsorpsiyonu, Etkinlik, P'lu gübreleme, Mısır

ABSTRACT
PhD THESIS

PHOSPHORUS STATUS DETERMINED OF CALCAREOUS SOILS AND PHOSPHORUS APPLICATION EFFECTS ON MAIZE YIELDS

Kürşat KORKMAZ

DEPATMENT OF SOIL SCIENCE INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE UNIVERSTY OF CUKUROVA

Supervisor : Prof. Dr. Hayriye İBRİKÇİ
Year : 2005, Pages:126
Jury : Prof. Dr. Hayriye İBRİKÇİ
Prof. Dr. Zülküf KAYA
Prof. Dr. Ahmet Can ÜLGER
Prof. Dr. Yusuf KIRTOK
Asist. Prof.. Dr. Sema KARANLIK

Phosphorus (P) is an essential macronutrient for plant growth and development, and its deficiency is a common limiting factor under many climatic conditions and clay and calcareous soils of the Southern Turkey because of it's low availability despite frequent phosphate applications. The pot experiments were carried out to select P-efficient corn genotypes grown on calcareous soils of GAP regions. Corn genotypes were screened for their ability to utilize phosphorus in a greenhouse experiment in Adana, and locally-common ten corn genotypes were grown on 3 soil series for eight weeks. The five rates of phosphorus (0, 25, 50, 100 and 200 mg kg^{-1}) were used. After harvest, tissue dry matter and P content in tissue were determined. Effect of P on dry matter and plant P uptake were found statistically significant, and these parameters were increased by the P rates. In addition, Corn genotypes acted differently to P rates. Teater and RX 770 found as inefficient-nonresponsive genotypes, DK 6022 efficient-nonresponsive, Sele, Tector, DK 626 ve DK 585 inefficient-responsive whereas Pegasso and C 7993 were efficient-responsive.

In addition, this research P fractions, P adsorption and desorption characteristics of three soil series of GAP region were determined This results revealed that total-P changed Ca-P>CDB-P>CB-P>Al-P+Fe-P in GAP region. Langmuir adsorption isotherm. According to results, the adsorptin maxima (b) ranged from 263 to 400 μg g^{-1}, the adsorption energy coefficients (k), ranged from 0.70 to 0.76 ml μg^{-1}. Results revealed that were statistically significant relationships were found between adsorption parameters and soil properties, it can be suggested that the type of clay, lime and Fe oxides are important factors affecting phosphorus adsorption in these soil.

After greenhouse experiment, we selected genotypes for use field experiment, and we were contucted field experimet selected genotypes. A two year field experiment at corn genotypes were undertaken for determininig utilize phosphorus on two different location in GAP regions. The inorganic fertilizer was triple superphosphate (TSP), applied at 0 (control), 40, 80, 120 and 160 kg P_2O_5 ha^{-1}, and were used.. Results revealed that phosphorus applications were significantly effective on corn yield. The results suggest that corn production of this region depend on initial soil analaysis, a direct application of 80-120 kg P_2O_5 ha^{-1} to corn was sufficient to meet their P needs.

These findings are important for the regions, and need to be verified for the local-field P fertilizer trials, and plant genotypes equipped with mechanisms for utilizing the adsorbed P more efficiently can, therefore, enhance the effectiveness of P fertilization.

Key Words: Phosphorus (P), P Adsorption, Efficiency, P Fertilize, Maize

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince çalışmalarımda bana her türlü yardımı sağlayan ve ilgisini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Hayriye İBRİKÇİ'ye sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca Tez izleme komitesinde yer alan Prof. Dr. Ahmet Can Ülger ve Prof. Dr. Zülküf KAYA hocalarıma, GAP bölgesinde yürüttüğüm çalışmalarım boyunca ilgisini ve desteğini esirgemeyen Doç.Dr. Abdullah ÖKTEM'e ve Prof. Dr. Nuri GÜZEL'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Doktora çalışmamın çeşitli bölümlerimde hiçbir karşılık beklemeden görev alan desteklerini her zaman hissettiğim değerli arkadaşlarım Arş.Gör. Ebru KARNEZ'e, Arş.Gör. Ömer KONUSKAN'a, Yük. Zir. Müh. Hacer OĞUZ'a ve Zir. Müh. Mehmet GÜL'e teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca iyi ve kötü her durumda desteklerini hissettiğim, hayata atılmamda, lisans ve lisans üstü çalışmalarımda maddi ve manevi olarak beni destekleyen, babam Hüseyin KORKMAZ'a, annem Selvinaz KORKMAZ'a, ablam Neriman KARSLIGİL'e ve kardeşim Tuğba KORKMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ 1
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ VI
ŞEKİLLER DİZİNİ VIII
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 6
2.1. Fosforun Topraklardaki Durumu ve Fosfor Döngüsü 6
2.2. Bitkiler İçin Fosfor Alımı ve Önemi 15
2.2.1. Fosfor Etkinliği 19
2.2.2. Kök ile Fosforun Etkileşimi 21
2.3. Fosforun Mısır İçin Önemi, Fosfor Uygulamaları ve Noksanlığının Mısır Bitkisi Üzerine Olan Etkileri 28
3. MATERYAL VE METOD 36
3.1. Materyal 36
3.1.1. Deneme Toprakları (GAP ve Çukurova Bölgeleri) 36
3.1.2. Denemede Kullanılan Bitki Materyali 37
3.2. Metod 37
3.2.1 Deneme Topraklarının Özellikleri ve Toprakların Fosfor Durumları 37
3.2.2. Sera Denemesi 37
3.2.3. Tarla Denemesi 38
3.2.3.1 Denemenin Kurulması ve Yürütülmesi 38
3.2.4. Toprak Örneklerinde Yapılan Rutin Analizler ve Uygulama Metotları 39
3.2.5. Bitki Analizleri 39
3.2.6. Hasat 40
3.2.7. Topraklarda Total-P, Adsorpsiyon, Desorpsiyon ve P Fraksiyonlarının Belirlenmesi 40
3.2.8. Verilerin Değerlendirilmesi 42

4. BULGULAR VE TARTIŞMA 43
4.1. Deneme Topraklarının Önemli Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri 43
4.2. Deneme Topraklarında Fosfor Fraksiyon Çalışmaları 46
4.3. Topraklarda Adsorpsiyon İzoterm Çalışmaları 47
4.4. Toprakların Desorpsiyon Çalışmaları 55
4.5. Farklı Toprak Serilerinde Yürütülen Sera Denemesi 57
4.5.1 Genel 57
4.5.2 Mısır Bitkisi Kuru Madde Verimi 57
4.5.3. Mısır Bitkilerinin Dokularındaki Fosfor Konsantrasyonu 66
4.5.4. Mısır Çeşitlerinin Farklı Fosfor Uygulamaları ve Bu Uygulamalarla Topraktan Kaldırdıkları Fosfor Miktarları 72
4.5.5. Mısır Çeşitlerinin Farklı Fosfor Uygulamaları, Topraktan Kaldırdıkları Fosfor Miktarları ve Mısır Çeşitlerinin Fosfor Kullanım Etkinlikleri 78
4.6. Farklı Mısır Genotipleri ile Yürütülmüş Tarla Denemeleri 80
4.6.1. 2003-2004 Yılı Mısır Tarla Denemesi Yaprak Analiz Sonuçları 81
4.6.2. 2003-2004 Yılı Mısır Tarla Denemesi Verim Sonuçları 87
4.6.3. 2003-2004 Tarla Denemesi Mısır Tane Fosfor İçerikleri 94
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 103
KAYNAKLAR 108
ÖZGEÇMİŞ 125

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 4.1. Deneme Alanına Ait Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri..... 44
Çizelge 4.2. Deneme Alanı Topraklarına Ait DTPA'da Ekstrakte Edilebilir Cu, Mn, Fe, Zn ve Olsen-P Sonuçları 44
Çizelge 4.3. Deneme Topraklarına Ait Kil Fraksiyonları ve Kil Mineralleri 45
Çizelge 4.4. Deneme Topraklarına Ait Toplam Fosfor ve Toplam Fosforun Fraksiyonlarının mg P kg^{-1} Olarak Değerlendirilmesi 46
Çizelge 4.5. Deneme Alanına Ait Toprakların Başlangıç Çözeltisi C_0 (µg P), Denge çözeltisi C (µg P ml^{-1}), Topraklar Tarafından Adsorbe Olan Fosfor Miktarı (x/m) ve C/x/m Değerleri 50
Çizelge 4.6. Deneme Alanına Ait Toprakların Adsorpsiyon Maksimumu (b), Adsorpsiyon Enerji Katsayısı (k) Değerleri..... 50
Çizelge 4.7. Deneme Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ile Adsorpsiyon Parametreleri (b, k) Arasındaki Korelasyon ve Korelasyon Katsayıları 51
Çizelge 4.8. Deneme Topraklarının % Fosfor Adsorpsiyon Değerleri..... 52
Çizelge 4.9. Topraklarının Adsorpsiyon ve Desorpsiyon Değerleri Arasındaki İlişki 56
Çizelge 4.10. Fosfor Uygulamalarına Karşı Mısır Genotiplerinin Kuru Madde Sonuçları 61
Çizelge 4.11. Fosfor Uygulamalarına Karşı Mısır Bitkisinin Fosfor Konsantrasyonları 68
Çizelge 4.12. Fosfor Uygulamalarına Karşı Mısır Genotiplerinin Fosfor Alımları 73
Çizelge 4.13. Mısır Çeşitlerinin Fosfor Etkinliğine Ait Ortalama Değerler 79
Çizelge 4.14. Deneme Alanlarının 2003 Yılına Ait Mısır Bitkisi Yaprak Analiz Sonuçları 83

Çizelge 4.15. Deneme Alanlarının 2004 Yılına Ait Mısır Bitkisi Yaprak Analiz Sonuçları 85
Çizelge 4.16. Deneme Alanlarının 2003 Yılına Ait Mısır Verim Sonuçları 89
Çizelge 4.17. Deneme Alanlarının 2004 Yılına Ait Mısır Verim Sonuçları 90
Çizelge 4.18. Deneme Alanlarının 2003 Yılına Ait Mısır Tane Fosfor İçerikleri 97
Çizelge 4.19. Deneme Alanlarının 2004 Yılına Ait Mısır Tane Fosfor İçerikleri 98

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. pH'ya Bağımlı Olarak Fosfor Yarayışlılığı 2
Şekil 2.1 Toprakta Fosfor Dolaşımının Şematik Diyagramını 9
Şekil 2.2 Fosfor Kullanım Etkinliğinin Artan Fosfor Konsantrasyonu ve Verim ile İlişkisi 20
Şekil 2.3 Proteid Köklerden Asit Fosfataze Salgılanmasının Sistematik Şekli 25
Şekil 2.4. Bitki Kökleri ve Mikoriza Tarafından Fosforun Toprak Çözeltisinden Alımını Etkileyen İşlemler 27
Şekil 3.1 Deneme Alanında Örneklenen Noktalar 36
Şekil 4.1. GAP Bölgesi Topraklarına Ait Olsen-P (mg kg^{-1}) Değerleri 43
Şekil 4.2. Deneme Topraklarına Ait Fosfor Fraksiyonlarının Dağılımı 47
Şekil 4.3. Toprak Serilerine Ait (C/x/m)/C Değerleri ve Regrasyon Sonuçları ... 49
Şekil 4.4. Deneme Topraklarının Fosfor Adsorpsiyon Değerleri 52
Şekil 4.5. Deneme Topraklarının % $CaCO_3$, % Kil ve % P Adsorpsiyonları Arasındaki İlişki 54
Şekil 4.6. Topraklarının Adsorpsiyon ve Desorpsiyon Arasındaki % Olarak İlişki 55
Şekil 4.7. Sera Mısır Denemesi Kuru Madde Verimleri 64
Şekil 4.8. Sera Mısır Denemesinden Görüntüler 65
Şekil 4.9 Mısır Genotiplerinin Fosfor Konsantrasyonları 71
Şekil 4.10. Mısır Genotipleri Tarafından Kaldırılan P Miktarları 76
Şekil 4.11. Mısır Bitki Kuru Madde Verimleri 78
Şekil 4.12. 2003 Tarla Denemesi Mısır Genotiplerinin Fosfor Konsantrasyonları (%) 82
Şekil.4.13. 2004 Tarla Denemesi Mısır Genotiplerinin Fosfor Konsantrasyonları (%) 84
Şekil 4.14. Deneme Alanlarına Ait 2003 Yılı Mısır Tane Verimleri 91
Şekil 4.15. Deneme Alanlarına Ait 2004 Yılı Mısır Tane Verimleri 91
Şekil 16. 2003-2004 Yılı Tarla Denemelerinde Nisbi Olarak Mısır Çeşitlerindeki Verim Artışı 93

Şekil 4.17.Tarla Denemelerinin 2003 Yılına Ait Mısır Tane Fosfor Konsantrasyonları 99
Şekil 4.18.Tarla Denemelerinin 2004 Yılına Ait Mısır Tane Fosfor Konsantrasyonları 100
Şekil 4.19. 2003-2004 Tarla Denemeleri Sonucunda Mısır Bitki Dokularından Taneye Taşınan Fosfor Miktarları 101

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi dünya hızlı bir değişim içerisindedir, günümüzde de ülkemizin doğal konumu, hızla artan nüfus, doğal kaynakların dengesiz ve bilinçsiz kullanımı ve her geçen gün artan açlık tehlikesi tarımsal üretimin arttırılması gerekliliğini beraberinde getirmiştir. Üretimin arttırılması, ya birim alandan daha fazla verim elde edilebilecek kültürel önlemler ya da üretim alanlarının genişletilmesi ile söz konusu olabilecektir. Ancak üretim alanlarının genişletilmesinin söz konusu olmaması nedeniyle, artan besin maddesi gereksinimi, mevcut tarım alanlarından elde edilecek ürün artışına bağlı kalınması zorunluluğunu getirmektedir. Bu nedenle, mevcut birim alandan daha yüksek verim ve daha kaliteli ürün elde etmek öncelikli olmaktadır.

Türkiye'nin tarımsal yönden çok büyük potansiyele sahip olduğunu göz önüne alarak, bu potansiyeli olumlu bir şekilde değerlendirip, gelişen dünyada yer almaya çalışırken dengesiz bir gelişmenin, ülkemize yararı olmayacağı gibi büyük zararlar da getireceği bir gerçektir. Tarımın temel amacı, maksimum ürün elde etmek olmasına karşın, girdiler değerlendirildiğinde ulaşılan verimin çok sağlıklı ve ekonomik olmadığı görülmektedir.

Tarımsal olarak üretilen ürünün fazla ve kaliteli olabilmesi için, toprakta bulunan bitki besin elementlerinin miktarları önemli olduğu kadar, bitki besin elementlerinin birbirleri ile dengeli bir oranda olması da büyük önem taşımaktadır. Bitki besin elementleri toprakta dengeli olarak bulunmadığı koşullarda, bunların bitkiler tarafından alınımı sırasında birbirleri üzerine çeşitli olumsuz etkileri ortaya çıkacak ve bitki gelişimi olumsuz yönde etkilenecektir.

Bitkilerin verimliliklerinin artırılmasında yurdumuz toprakları için azottan sonra en çok noksanlığı görülen elementlerden birisi fosfordur. Bitki kuru maddesinin % 0.3-0.5'ini oluşturan fosfor; bitkilerin yapısında anahtar enzimlerin, nükleik asitlerin, fosfolipidlerin yapısında ve ATP ile ilgili reaksiyonlarda bitki gelişimi için mutlak gerekli olan besin elementlerinden birisidir (Schachtman 1998; Ragothama, 1999; Smith, 2002).

Fosfor, ortalama olarak yer kürenin üst kabuğunda % 0.1 (Brinck, 1978), topraklarda ise % 0.06 (Lindsay, 1979) düzeyinde bulunmaktadır. Fosforun tarım topraklarındaki miktarının genellikle az olması, ayrıca topraklarda çok değişik şekillerde reaksiyona girerek büyük bir kısmının topraklarda demir ve alüminyum oksitlerce ve kalsiyum fosfatlarca bitkilerin yararlanamayacağı formlarda tutulması nedeniyle, ihtiyaç duyulan önemli bir makro besin elementidir (Bertrand, ve ark. 1999; Lu and Cooner, 1999; McGechan ve Lewis 2002; Dodor ve ark., 2003; Gallet ve ark., 2003; Alam ve Ladha, 2004).

Ülkemiz içinde bulunduğu iklim kuşağı, jeolojik yapısı ve coğrafi konumundan dolayı, topraklar yüksek kil, kireç, yüksek pH ve düşük organik madde içeriklerine sahiptirler (Dinç ve ark., 1988). Bu tür kimyasal özellikler, topraklarda fosforun bitkilere yarayışlılığını önemli ölçüde sınırlamaktadır (Mengel ve Kirkby, 1987; Rodriguez ve ark., 2000; Gallet ve Ark., 2003; Fransson ve ark., 2003).

Topraklarda bitkiye yarayışlı fosfor miktarı düşük ve fosfor kullanımı da her geçen gün arttığından, bitki yetiştirmek için gerekli fosfor rezervlerinde her geçen gün azalma olmaktadır (Gahoonia ve ark., 1999). Diğer bitki besin elementlerinden farklı olarak, uygulanan fosforun büyük bir bölümü toprak tarafından büyük bir güçle tutulmakta ve toprağa uygulanan fosforlu gübrelerin %80'inden fazlası adsorpsiyon ve çökelme yoluyla veya organik bileşikler oluşturarak bitkilerin alamayacağı forma dönüşmektedir (Holford,1997; Richardson, 1994; Daroub ve ark., 2003; Leytem and Westermann 2003; Shibata and Yano 2003; Zhu ve ark., 2003; Shin ve ark., 2004).



Şekil 1.1. pH'ya Bağımlı Olarak Fosfor Yarayışlılığı

Bu nedenle fosfora karşı olan ilgi dünyada olduğu gibi ülkemizde de sürmektedir. Topraklarda toplam fosfor kapsamı normal, bazen de yüksek düzeyde bulunduğu halde, yarayışlı fosforun azlığı ve uygulanan fosforun fikse edilmesi nedeniyle, çiftçiler bitki ihtiyacının çok üzerinde fosforu gübre olarak uygulamaktadırlar. Bu aşırı uygulama, ekonomik zararı ve çevre kirliliğini de birlikte getirmektedir. Ham maddesinin tamamen ithal edilerek sağlandığı fosfatlı gübrelerin, sadece ülkemizde 2000 yılındaki tüketim miktarı ise 600 milyon tonun üzerindedir (FAO, 2000). Mevcut bulunan tüketim hızıyla yapılan hesaplamalar, önümüzdeki 60–90 yıl içerisinde dünyada yüksek saflıkta bulunan ham fosfat kayası kaynaklarının tükeneceğini göstermektedir (Runge-Metzger, 1995; Vance, 2003; Plaxton, 2004).

Fosforun çeşitli amaçlar için kullanılmasında bir rezerv kaygısından çok, özellikle iç sularda nitratla birlikte neden olduğu ötrofikasyon sorunu gündeme gelmektedir. Fosforun bu olumsuz etkisinden sorumlu tutulanlar da kuşkusuz tarım sektörü ve başta deterjan olmak üzere kimya endüstrisidir (Derici, 1996). Özellikle 20. yüzyılın son çeyreğinde fosfatlar önemli bir kirletici olarak nitratla aynı sınıfa konulmuştur. Gerçek kaynağı ne olursa olsun, çözünmüş fosfatların çok büyük bir bölümü toprakta tutunmakta, denizlere ulaşabilen bölümü de çökelerek milyonlarca yıl hapsedilmektedir. Fosforun bu şekilde veya erozyonla katı faz içerisinde denizlere taşınması, sadece bir kaynak kaybı değil aynı zamanda yerleşimin yoğun olduğu yerlerde önemli bir kirlilik kaynağı olarak da değerlendirilmekte olup, toprak tarafından fosforun adsorpsiyonu ve desorpsiyonu su kalitesi ve gübreleme açısından önemlidir (Zhang ve ark., 1997; Sharpley,2001;; Litaor ve ark., 2003; Mcdowell ve ark., 2003; Pote ve ark., 2003; Andraski ve Bundy, 2003; Hammond ve ark., 2004; Plaxton, 2004; Siemens ve ark., 2004). Ayrıca fosforlu gübrelerin bu denli fazla kullanılması fosforlu gübrelerin yapısında bulunan Cr, Cd, Pb, Ni ve Cu gibi bazı ağır metallerin de toprağa ve bitki bünyesine geçmesine neden olarak, olumsuz etkiler yaratmaktadır (Camelo ve ark. 1997; Richards, 1998). Hedef; ürün verimi ve kalite düzeyini düşürmeden çevre ile dost bir gübreleme programı uygulanabilirliğinin sağlanmasıdır.

Fosfora olan ilgi ve yapılan çalışmalar her geçen gün artmakta ve Türkiye'de 80'li yıllardan başlayarak, ticari gübrelerin aşırı ve bilinçsiz bir şekilde bitkisel üretimde kullanılması ve melez mısır ekiminin yaygınlaşması sonucunda birim alandan elde edilen mısır veriminde önemli artışlar olmuştur. Bu verim artışının başlıca nedenleri arasında; başta gübre olmak üzere artan tarımsal girdiler ve iyileşen yetiştirme teknikleri yanında, yüksek verim yeteneğine sahip, kaliteli ürün verebilen yeni melez çeşitlerinin geliştirilmiş olması da önemli rol oynamaktadır. Mısır dünyada buğday ve pirinçten sonra en çok ekim ve üretim alanına sahip olan bitkidir. Mısır çok geniş sıcaklık aralıklarında üretilebilmekte ve üretilen mısırın % 8-9'u insan beslenmesinde kullanılırken kalan kısmı hayvan yemi olarak ya da son yıllarda giderek artan ticari değeri ile birlikte endüstride yağ sanayinde, sabun üretiminde, vernik, boya sanayisinde, kağıt ve tekstil sanayinde kullanılmaya başlanmıştır (Igbal ve Chauhan, 2003). Mısır üretimi dünyanın değişik ülkelerinde yetiştirme tekniği, gübreleme, hasat gibi işlemler; bölgenin iklimi, üreticinin ekonomik durumu ve diğer pek çok faktöre bağlı olarak değişim göstermektedir (Kırtok, 1998). Mısır, Çukurova bölgesinde gerek birinci ürün gerekse buğdaydan sonra ikinci ürün olarak yaygın biçimde kullanılan önemli bitki türlerinden birisi olup üretim alanı Türkiye'de 2003 yılında 575.000 ha iken 2004 yılında ekim alanı 700.000 ha kadar çıkmıştır (FAO 2003, 2004). Türkiye'de mısır üretimi 2002 yılında, 2.200.000 t iken 2003 yılında 2.800.000 t ve 2004 yılında ise 3.000.000 t'a yükselmiş (FAO 2002, 2003, 2004) olup, ekim alanları ve üretilen ürün her geçen gün artmaktadır. Ülkemizde buğday ve arpadan sonra en çok alana sahip olan mısır; bu doğrultuda fosforla ilgili çalışmalarda test bitkisi olarak kullanılmıştır.

FAO' nun indikatör bitki olarak buğday ve mısır kullanmak suretiyle yaptıkları araştırmalara göre, Türkiye topraklarındaki $NaHCO_3$'de ektrakte olabilir fosfor içeriği düşük çıkmış, buğday ve mısır bitkisi için belirli dozlarda gübre verilmesine karşılık, yine de söz konusu bitkilerin ortalama fosfor içerikleri diğer çoğu ülkelere göre düşük düzeyde kalmıştır (Hauck, 1982). Yarayışlı fosfor içeriği bakımından değerlendirdiğimizde, Türkiye topraklarının % 58'inde bitkiler için yarayışlı fosforun (Olsen P) düşük düzeyde (<6 kg P_2O_5 da^{-1}) olduğu görülmektedir (Eyyüpoğlu,1999).

Toprakta, ekstrakte edilen fosfor dikkate alınmadan sürekli yapılan aşırı gübreleme sonucu, hem ülke ekonomimiz zarar görmekte hem de çevre ve insan sağlığı olumsuz yönde etkilenmektedir. Nziguheba ve ark., (2002) 'de yaptıkları araştırmada da aşırı fosfor gübrelemesinin bitki gelişimi için gerekli ve elverişli olmadığını bildirmişlerdir. Bu nedenle topraktaki artık fosfor da dikkate alınarak gübreleme yapılmalıdır (Amrani ve ark, 1999; Gallet ve ark., 2003). Buna ek olarak, bitkilerin kökleri aracılığı ile salgıladıkları organik salgıların toprakta düşük çözünürlülükte olan besin elementlerinin yarayışlılıklarını arttırdıkları birçok araştırmacı tarafından da rapor edilmiştir (Gardner et al., 1983; Hoffland et al.,1989; Hoffland, 1992; Ström et al. 1994; Marschner, 1997; Ström, 1997; Neumann and Romheld, 1999; Farrar and Jones, 2000; Neumann and Martinoia, 2002; Yun ve ark., 2001; Dessougi ve ark., 2003; Krasilnikoff and Nielsen 2003; Shane ve ark., 2003; Veneklass ve ark., 2003; Wasaki ve ark., 2003; Hammond ve ark., 2004). Bu nedenle gübreleme programında yetiştirilecek olan mısır çeşitlerinin de genotipsel farklılıklardan dolayı fosfora karşı olan duyarlılıklarının farklı olacağı dikkate alınmalıdır (Wissuwa ve ark., 2002).

Bitkiler, tüm gelişim dönemleri boyunca fosforu absorbe ederler; ancak koşulların elverişli olmadığı ve fosfordan yararlanamadıkları durumlarda fosfor yaşlı dokulardan genç dokulara doğru bitki bünyesinde hareket etmeye başlar. Bitkiler bir gelişme mevsimi boyunca toplam kuru madde üretimlerinin % 25'i kadarını tamamladıklarında; toplam fosfor gereksinimlerinin de % 50 kadarını absorbe etmiş olurlar. Bitkiler belli bir olgunluğa ulaştıkça bitki bünyesindeki fosforun çoğu, vegatatif organlardan tohum ve meyveye doğru taşınır özellikle bitki gelişiminin erken aşamalarında fosfora olan ihtiyaçları çok daha yüksektir (Kırtok, 1998).

Bu tez çalışmasında, Türkiye tarımının verimli toprakları olan GAP bölgesi koşullarında, mısır genotiplerinin fosfor kullanım etkinlikleri, toprağa uygulanan farklı fosfor dozlarının mısır bitkisinin kuru madde, verimlilik üzerine olan etkileri bunun yanı sıra, toprakların fosfor statüleri, fosfor adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermleri üzerine etkileri laboratuar çalışmaları, sera ve tarla denemeleri ile araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Fosforun Topraklardaki Durumu ve Fosfor Döngüsü

Fosfor (P) bitki gelişimi için mutlak gerekli olan elementlerden birisidir. Bu nedenle, yoğun tarımın yapıldığı topraklarda organik ve inorganik fosfor kaynaklarından sürekli olarak fosfor ilave edilmesine rağmen, toprakların fosfor düzeyi ürün gelişimi açısından değerlendirildiğinde kritik seviyededir (Sharpley, 1994; Ragothama, 1999; Smith, 2001; Dodor ve ark., 2003; Zhu ve ark., 2003).

Toprakların toplam fosfor kapsamlarının büyük farklılıklar göstermesi, oluştuğu ana materyalden kaynaklanmaktadır. Genellikle kireç taşı, marn ve benzeri materyallerden oluşmuş toprakların toplam fosfor kapsamları asidik veya kireçli olmayan materyallerden oluşmuş toprakların toplam fosfor kapsamlarına göre daha yüksektir. Bunun nedeni kireçli materyallerde bulunan kalsiyum karbonatın orijininin kalsiyum ve fosforca zengin, suda yaşayan canlıların kalıntıları, iskelet ve kabuklarından meydana gelmesidir. Topraklarda fosforun ana kaynağı apatittir. Apatit komplex bir bileşiktir ve kimyasal olarak $3[Ca_3(PO_4)_2]XCaX_2$, yapısında olup, X yerine F^-, Cl^-, OH^-, veya CO_3^{-2} iyonları gelebilmektedir. Toprakların toplam fosfor içeriği ana materyalin yapısına ve iklim koşullarına göre değişmekle birlikte 100-3000 mg kg^{-1} oranında değişmektedir (Frossard, ve ark., 2000; George, ve ark., 2003). Topraklarda fosfor, bitkilere yarayışlı fosfor içeriği açısından değerlendirildiğinde 8-25 mg kg^{-1} (Alpaslan ve ark., 1998), Torrent ve Delgado (2001) 10-15 mg kg-1, değerleri arasında bulunduğunda fosforun bitki gelişimi için yeterli olduğunu belirtmelerine rağmen fosfor, sıklıkla topraklarda bitki gelişimi için yetersiz konsantrasyonlarda bulunmaktadır.

Topraklarda fosfor genellikle; I) toprak çözeltisinde bulunan, II) labil-P (değişebilir), III) labil olmayan P (bağlı bulunan, değişmeyen) olmak üzere 3 kısımda sınıflandırılmıştır. Çözelti fosforu bitkiler için doğrudan yarayışlıdır ve bu fraksiyon II. fraksiyon ile hızlı bir şekilde dengeye gelerek tamponlanmaktadır, III. fraksiyon ise bağlı bulunan yarayışsız veya yavaş yarayışlı fosforu ifade etmektedir (Helal ve Dressler, 1989; Brohi ve ark., 1994; Güzel ve ark., 2002).

Toprakta fosfor (P), organik (P_{org}) ve inorganik (P_i) formlarda bulunmaktadır (Chacon ve Dezzo, 2004). Yapılan araştırmalarda topraklarda toplam P'un yaklaşık % 20-80'ini organik fosforun oluşturduğu belirtilmiştir (Ron Vaz ve ark., 1993; Richardson, 1994; Condron, 2003; Oehl ve ark., 2004).

Toprakların toplam fosfor içeriği ne kadar yüksek olursa olsun, bitkiler için yarayışlı olan fosfor konsantrasyonu kritik düzeydedir ve her yıl uygulanan fosforlu gübreler yaklaşık % 80-85 oranında topraklarda adsorpsiyon ve çökelme yoluyla veya organik bileşikler oluşturarak bitkilerin alamayacağı forma dönüşmektedir (Holford,1997; Schachtman ve ark., 1998; Richardson, 1994; Abel ve ark., 2002; Daroub ve ark., 2003; Leytem and Westermann 2003; Shibata and Yano 2003; Zhu ve ark., 2003; Korkmaz ve ark., 2004; Shin ve ark., 2004). Topraklarda 170 den daha fazla fosfor bileşiğinin bulunduğu bildirilmektedir (Holford, 1997).

Yang ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada ise kireçli topraklarda, inorganik P (Pi) ve olsen-P analizlerini yapmışlar ve total P'un % 75 den daha fazlasının inorganik P olduğunu, ilave edilen fosforla birlikte resin-P'nin arttığını belirtmişlerdir. Kireçli topraklarda resin-P ölçümünün, olsen-P'den fosfor yarayışlılığı ve etkisi için daha iyi bir gösterge olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan bir başka araştırmada araştırıcılar kullandıkları topraklarda total P'un % 57-87'sini inorganik fosforun oluşturduğunu belirtmişlerdir (Blake ve ark., 2003). Yine bu konuyla ilgili Chacon ve Dezzo (2004) yaptıkları çalışmada en yüksek fosfor içeriğinin toprağın üst katmanında olduğunu ve total P'un % 59-63 arasında değişerek, inorganik fosfordan oluştuğunu bildirmişlerdir.

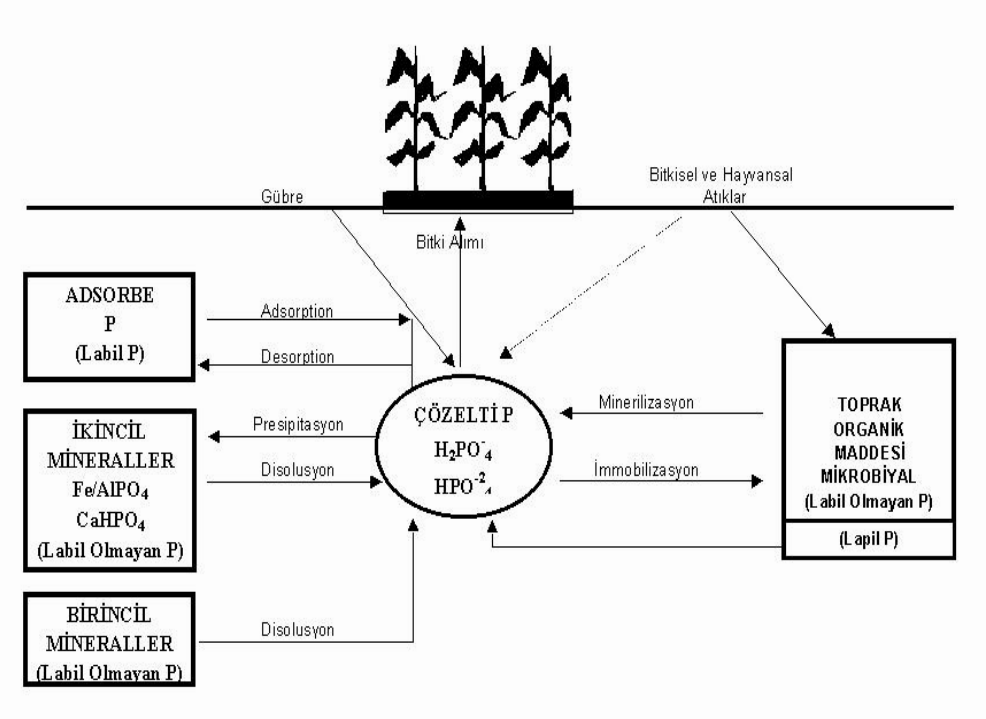
Toprakta fosforun büyük kısmı çözünmeyen bileşikler olduğundan toplam fosforun ancak % 1 veya daha düşük kısmı alınabilir durumdadır (Brohi, ark. 1994). Topraklarda fosforun hızlı bir dönüşümünün olduğu ve fosforun topraklarda kalsiyum fosfatlar, aluminyum oksitler ve yüzey altındaki ve derinliklerindeki demir bileşiklerince çökelerek yarayışsız hale geçtiği bildirilmiştir (Bertrand, ve ark., 1999; Lu and Cooner, 1999; Güzel ve ark.,2002; McGechan ve Lewis 2002; Scherer ve ark., 2002; Daroub, ve ark., 2003; Mcdowell ve ark., 2003; Pardo ve ark., 2003; Alam ve Ladha, 2004). Yapılan çalışmalarda araştırıcılar kurak ve yarı kurak iklim koşullarında, fosforun yüksek oranlarda Ca-fosfatlarca tutulduğunu, özellikle yüksek

pH, karbonat ve düşük organik madde içeriğinin fosforun çökelerek yarayışlılığının düşmesine neden olduğunu belirtmişlerdir (Sardi ve Csatho 2002; Braschi ve ark., 2003; Gahrooee, 2003).

Topraklarda fosfor bitki köklerince absorbe edildiğinde, toprak çözeltisinin P konsantrasyonunda ortaya çıkan azalma, toprakta hem inorganik hem de organik toprak fosforunca tamponlanmaktadır. Toprakların fosfor tamponlama güçleri özellikle çevre ile barışık bir gübreleme sistemi için dikkate alınması gereken önemli bir unsurdur (Ehleert ve ark., 2003). Yapılan bir diğer araştırmada ise araştırmacılar, bitkiye alınan toplam P'un % 23-34 oranında inorganik kaynaklardan ve % 48-59 oranında ise organik kaynaklardan sağlandığını ve mikorizal hiflerin topraktan fosfor alınımını artırdığını bildirilmiştir (Tarafdar ve Marschner, 1994).

Beck ve Sanchez (1994) uzun süreli fosfor gübrelemesi yaparak topraklarda fosforun değişimini inceledikleri araştırmada, özellikle fosforun zaman ile topraklarda yarayışsız hale geçerek biriktiğini ve 17 yıl süren denemede tüm yıllarda fosforlu gübre ile yılların ilişkisinin ($P<0.01$) önemli çıktığını bildirmişlerdir. Araştırıcılar gübreleme yapılan uygulamaların kontrol ile karşılaştırıldığında resin-P'un sürekli arttığını buna karşın kontrol dozunda inorganik P'un bir azalmaya maruz kaldığını belirtmişlerdir.

Gallet (2003) yedi yıllık bir çalışmada bitki gereksiniminin üzerinde toprağa uygulanan fosforlu gübrelerin özellikle yüzey toprağında (0-20 cm) biriktiğini, toplam ve inorganik formda bulunan fosfor içeriğinin arttığını, ilerleyen yıllarda uygulama yapılmayan topraklarda toplam, organik ve inorganik fosfor formlarının önemli oranlarda azaldığını belirtmiştir. Bir diğer araştırmacı konu ile ilgili yaptığı araştırmada, uygulanan fosforlu gübrelerle toprakların inorganik fosfor içeriklerinin arttığını ve topraklarda ilk yıl uygulamasından sonra artık etkinin oluştuğunu belirtmiştir (Sahrawat, 2000).



Şekil 2.1. Toprakta Fosfor Dolaşımının Şematik Diyagramını (Güzel ve ark., 2002)

Residual fosfor tarım topraklarında bitkilere fosfor sağlanması açısından önemli rol oynamaktadır (Matar, 1992, Gallet ve ark., 2003). Toprağa uygulanacak olan fosforlu gübrelerin miktarının belirlenmesinde residual fosforun da miktarının göz önüne alınması gerektiği ve bitkilerin residual fosfordan % 22.5 ile 62.7 oranında faydalandığı bildirilmektedir (Gallet ve ark., 2003). Kumlu ve killi topraklarda yapılan bir diğer araştırmada, uzun süre fosfor uygulanan tarım alanlarında fosfor doygunluğunun artmasıyla birlikte özellikle kumlu topraklarda yıkanmanın da fazla olduğunu artan fosfor uygulamaları ile birlikte toplam fosfor içeriği ve inorganik fosfor içeriğinin arttığı, organik fosfor içeriğinde ise bir değişmenin olmadığı bildirilmiştir (Zhang ve ark. 1997).

Amrani ve ark., (1999) buğday ve mısır üretiminde fosforlu gübrelerin ve residual fosforun bitki gelişimi üzerine olan etkilerini araştırmak için kurdukları sera denemesinde artan dozlarda fosforun (0, 3.4, 6.7, or 13.4 mg P^{-1}) ilk ürün buğdayda dane verimini önemli oranda etkilediğini ve toprakta başlangıçta bulunan yarayışlı fosforun bitkinin uygulanan fosfora karşı tepkisi için önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir. İkinci ürün olarak buğday bitkisinden sonra hiç fosforlu gübre

uygulamaksızın mısır bitkisi yetiştirilmiş ve 13 toprağın 5'inde residual fosforun etkisinden dolayı bitkinin dane veriminin arttığı bulunmuştur. Fosforun 0 ve 3.4 mg P kg^{-1} dozlarında bazı toprak serilerinde bitkilerde fosfor noksanlığına neden olduğunu bununla birlikte mısır sonrası tekrar ekilen buğday bitkisinde de benzer sonuçlar elde edildiğini belirtmişlerdir. Araştırıcılar, yüksek miktarlarda uygulanan fosforlu bileşiklerin residual etkilerinin olduğunu ve gübreleme yapmadan önce toprakta mevcut bulunan fosforun mutlaka dikkate alınması gerektiğini bildirmişlerdir.

Otto ve Kilian (2001) uzun süreli olarak 1982-1998 yılları arasında fosforlu gübre uygulaması ile yetiştirdikleri buğday bitkisine 0-45 kg P ha^{-1} arasında triple süperfosfat uygulaması yaparak 10 ile 15 kg P ha^{-1} dozunda optimum verimi elde etmişler, bununla birlikte uygulanan fosforlu gübreler ile birlikte bitki gelişiminin önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. Başlangıçta (1982 yılı) yaptıkları toprak analizlerinde toprakta 0-20 cm ve 20-40 cm derinliklerinde 8.7 ve 4.0 mg P kg^{-1} bulunduğunu ve uygulanan fosfor ile birlikte 1998 yılında yapılan toprak analizinde 0-20 cm toprak derinliğinde kontrol dozunda 12.51 mg P kg^{-1} ve 45 kg P ha^{-1} dozunda ise 44.46 mg P kg^{-1} düzeyinde fosfor belirlenmiştir. 20-40 cm derinliğinde ise 5.9 mg P kg^{-1} ve 45 kg P ha^{-1} dozunda 11.24 mg P kg^{-1} olup, toprağın yarayışlı fosfor içeriğinin 20 kg P ha^{-1} dozunun üzerinde gübreleme yapıldığında her yıl toprak içerisinde birikerek çok hızlı bir şekilde yükseldiğini belirtmişlerdir.

Toprağa kolay çözünen bileşikler şeklinde uygulanan fosforun kısa bir süre içerisinde basit ekstraksiyon yöntemleri ile geri alınmaması (desorpsiyon), toprağın katı faz tarafından kuvvetle tutulduğunu göstermektedir. Bunun sonucunda da toprakların çözelti fosfor konsantrasyonu 1 μg ml^{-1} üzerine pek çıkmamaktadır. Fosforun sıvı fazdan hızla katı faza çekilmesi bitkilere yarayışlılığını azaltmakta ve fosfor gübrelemesini gerekli kılmaktadır. Bu olayın kinetiği üzerinde çalışarak olayla ilgili bazı hız ve düzey parametrelerini saptamaya çalışan araştırmacılar "fosfor adsorpsiyonu" ifadesini benimsemişlerdir (Dinç ve ark., 1988).

Fosforun gübreleme yönetimi ve su kalitesi açısından değerlendirildiğinde topraklar tarafından adsorpsiyon ve desorpsiyonunun iyi anlaşılması gerekmektedir. Topraklarda fosfor adsorpsiyon özellikleri gerçekte katı, sıvı ve gazlar için

geliştirilmiş olan çeşitli adsorpsiyon izotermleri ile formüle edilmeye çalışılmaktadır. Adsorpsiyon izotermlerinin bir amacı da, topraklarda fosforun davranışını incelemek için, çok geniş bir konsantrasyon aralığında yapılan adsorpsiyon denemeleriyle elde edilen fazla sayıdaki verilerin uygun ve kullanılır biçimde özetlenmesidir (Hinrich ve ark., 1985; Ağca ve Derici, 1999). Fosfor adsorpsiyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılan Langmuir izoterminin uygun olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Olsen, ve WATANABE, 1957; Torrent ve Delgao, 2001; McGechan ve Lewis, 2002; Özaçar, 2003; Chacon ve Dezzeo, 2004; Schulz ve Herzog, 2004).

Ağca ve Derici (1999) yaptıkları araştırmada GAP bölgesinde bazı toprak serilerinin fosfor adsorpsiyon kapasitelerini incelemişler ve Freundlich ve Langmuir izotermlerine göre verileri değerlendirerek veriler arasında sırasıyla r^2= 0.931-0.994 ve r^2=0.950-0.999 yüksek ilişkiler bildirmişlerdir. Bununla birlikte özellikle adsorpsiyon üzerine kireç ve kil gibi toprak özelliklerinin etkilerinin olduğunu belirtmişlerdir.

Derici ve Ağca (1999) yaptıkları bir diğer çalışmada GAP bölgesinde bazı toprak serilerinde yaptıkları fosfor adsorpsiyon çalışmasında, toprakların adsorpsiyon karakteristiklerini belirlemek için Langmuir izotermini kullanmışlar ve toprakların b değerlerinin 58.1-113.3 μg ml^{-1} ve k değerlerinin ise 9.1-153.5 μg ml^{-1} arasında değişmekte olduğunu ve artan fosfor dozuna bağlı olarak denge çözeltilerinin de fosfor konsantrasyonlarının arttığını, bununla birlikte topraklar tarafından adsorbe olan fosfor miktarının da arttığını bildirmişlerdir.

Ryan ve ark., (1984) yaptıkları araştırmada, topraklarda P adsorpsiyonunda toplam kirecin bir etkisinin olmadığını, özellikle spesifik yüzeylerde bağlı bulunan reaktif kirecin etkili olduğunu ve topraklarda Fe-oksitlerce fosforun adsorbe olduğunu bildirmişlerdir. Fox ve Kamprath (1970) yaptıkları araştırmada özellikle kireçli topraklarda pH'nın önemli bir etkisinin olmasının yanı sıra toprakların kil içeriklerinin ve kil yüzeyinde bağlı bulunan Fe oksit bileşiklerinin fosfor adsorpsiyonunda önemli rol oynadıklarını belirtmiştir. Bu nedenlerden dolayı fosforun banda uygulama yöntemi ile toprakla temas yüzeyini azaltarak topraklarda fosforun tutulmasını engelleyerek, bitkiler için daha etkin bir kullanım sağlanabileceği belirtilmiştir (Raun ve Barreto, 1995). Fosforun özellikle potansiyel

olarak H^+ ve OH^- yüklü değişebilir yüzeylere sahip Fe-Al oksitlerce, Ca^{++} veya CO^-_3 iyonlarının oluşturduğu değişebilir yüzeylerce adsopsiyonu gerçekleşmektedir. Kristalize ve kristalize olmayan Fe oksitler tarafından P'un adsorpsiyonu nisbi olarak onların miktarına ve spesifik yüzey alanlarına bağlıdır. Kristalize olmayan Fe oksitlerin yüzey alanları 400 m^2 g^{-1} ve kristalize olanlarınki ise yaklaşık 100 m^2 g^{-1} civarındadır (Matar ve ark., 1992). Bununla birlikte özellikle fosfor adsorpsiyonunda Kaolinit tipi kil mineralleri (1:1) birim yüzey alanında, 2:1 tipi kil minerallerine göre daha yüksek oranda fosfor adsorpsiyon kapasitesine sahiptir (Matar ve ark., 1992; Güzel ve ark., 2002) .

Bakheit Said ve Dakermanji (1993) kireçli topraklarda fosforun dinamiği araştırmak üzere yaptıkları çalışmada, toprakların P adsorpsiyonlarının 44.7 ile 58.7 mg P kg^{-1} arasında değiştiğini ve P desorpsiyonun ise P adsorpsiyonun % 0.09 ile % 24.8 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Araştırıcılar, fosfor adsorpsiyon güçleri ile toprakların kil içerikleri arasında önemli ilişkiler belirlemişler ve bunun yanı sıra kireç ve adsorpsiyon arasında bir ilişki bulunamazken özellikle topraklarda Fe-oksitlerce fosforun adsorbe olduğunu belirtmişlerdir.

Torrent (2000) kireçli topraklarda fosforun dinamiği üzerine Fe oksitlerin rolünü anlamak için kum ile Fe oksit bileşiklerini farklı oranlarda karıştırarak (% 0, 10, 30, 50, 70, 80 ve 90) yine farklı dozlarda fosfor (0, 6, 12, 18 ve 72 mg kg^{-1}) uygulayarak yaptıkları çalışmada Fe oksitlerinin oranının artırılması ile birlikte topraklar tarafından adsorbe edilen fosfor miktarının da arttığını, % 0 Fe oksit ilavesi ile % 90 Fe oksit ilavesi karşılaştırıldığında 6 kat daha yüksek oranda fosforun adsorbe olduğunu belirtmişlerdir. Fe oksitin ilavesinin fosforsuz koşullarda ve 12 mg P kg^{-1} dozu uygulamasına kadar bitki kuru maddesi üzerinde bir etki olmazken, 12 mg P kg^{-1} dozu uygulamasından sonra özellikle fosfor alımı ve bitki kuru maddesi önemli oranda ($P<0.01$) azalmıştır. Fosforun 18 – 72 mg P kg^{-1} dozlarında Fe oksitin de artmasıyla total P'un % 44-83'ü bitkinin gövdesinde bulunmaktadır. Bununla birlikte bu uygulamalarda bitki kuru maddesinde önemli düşüşler meydana geldiği belirtilmiştir. Araştırıcılar sonuç olarak Fe oksitlerin üzerinde ligand değişimler ile fosforun bağlandığını özellikle fosforun adsorpsiyonunu ile kritik olsen-P düzeyinin

kilin mineralojisine bağlı olduğunu ve özellikle $CaCO_3$/Fe oksit oranının bu adsorpsiyon sürecinde önemli rol aldığını bildirmektedir.

Shen ve ark., (2003) yaptığı çalışmada toplam inorganik fosforun bileşiminde Ca-fosfatların baskın (% 69-71) olduğunu, bu formu Fe-fosfatların izlediğini ve bu şekilde tutulan fosforun Fe-oksitlerin içerisine absorbe olduklarını bildirmişlerdir. Başka bir araştırmacı yine Fe oksitlerle ilgili yaptığı araştırmada özellikle fosforun adsorpsiyonunda kil ile birlikte kilin yüzeyinde bağlı bulunan Fe oksitlerin fosforun hareketliliğinin azalmasında önemli rol oynadıklarını belirtmişlerdir (Siemens ve ark., 2004). Aynı konu üzerinde yapılan bir başka çalışmada fosforun topraklar tarafından sorpsiyonunu çalışan McBeath ve ark (2004) yaptıkları araştırmalarında total fosforun % 7.82 Fe oksit ve % 5.41 Al oksitlerin oluşturduğunu ve bu formların topraklarda özellikle fosforun adsorpsiyonunda önemli rol oynadığını bildirmişlerdir.

Fosforun adsorpsiyonu ve desorpsiyonu tarım topraklarında özellikle fosforun kullanılması ve çevre üzerine olumsuz etkilerinin artması sonucunda fosforun topraklarda dinamiğinin anlaşılması için giderek önem kazanmaya başlamıştır. Bu doğrultuda langmuir denklemini kullanarak fosforun adsorpsiyonu ve desorpsiyonu üzerine yapılan çalışmada araştırıcılar, başlangıç çözelti konsantrasyonun artması ile birlikte adsorbe olan fosfor konsantrasyonunun da arttığını ve maksimum alım oranının (b), 718, 819, 880 mg P kg^{-1} olduğunu ve adsorpsiyon enerji katsayısının da düşük (k=0.6) ve yüksek (k=0.3) sorpsiyon yeteneğine sahip olan topraklarda önemli derecede azaldığını belirtirken, özellikle pH, kil mineralleri ve diğer toprak özelliklerinin kompleks bir biçimde fosforun adsorpsiyonunda etkili olabileceğini belirtmişlerdir (Sui ve ark., 2000).

Griffin ve Jurineak (1973) yaptıkları çalışmada 2 farklı langmuir bölgesi oluşturarak kalsit üzerinde fosfor adsorpsiyonu çalışmalarında bulunmuşlar ve yaptıkları çalışmalar sonucunda özellikle 20 μM civarındaki konsantrasyona kadar doğrusal bir adsorpsiyonun olduğu ve daha sonra II bölgenin başladığını bildirmişler ve fosforun düşük konsantrasyonlarda kalsit yüzeylerince daha yüksek oranda adsorbe edilmiş olduğunu bildirmişlerdir. Fosforun sorpsiyonu ve desorpsiyonu üzerine yapılan bir diğer çalışmada araştırıcılar denge çözeltisinin düşük konsantrasyonlarını (0-1 μg ml^{-1}) doğrusal izoterme uydurarak (R^2=0.956-0.999)

yaptıkları regrasyon analizinde yüksek bir ilişki belirlerken, yüksek konsantrasyonlar için (1-400 μg mL^{-1}) Freundlich ve Langmuir izotermlerini uygulamışlar ve aynı şekilde R^2=0.960-0.998 ve R^2=0.914-0.988 arasında değişen yüksek ilişkiler belirlemişlerdir. Araştırıcılar özellikle yüksek konsantrasyonlarda fosfor uygulandığında kireçli-kil ve kil tarafından fosforun önemli oranlarda sorbe olduğunu belirtirken düşük fosfor uygulamalarında sadece kil ile fosfor arasında güçlü bir sorpsiyon ilişkisi belirlemişlerdir (Zhou ve Li 2001).

Zhang ve ark., (2003) fosforun adsorpsiyonu ve desorpsiyonu üzerine yaptıkları çalışmada Langmuir denklemini kullanmışlar ve özellikle düşük konsantrasyonlarda (40 mg l^{-1}), entisol ve ultisollerde % 38-61 veya yüksek konsantrasyonlarda (360 mg l^{-1}), % 52-153 oranında bir sorpsiyonun gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda fosfor denge çözeltisinin entisol ve ultisollerde düşük dozlarda % 96-97 oranında sorpsiyon ve yüksek dozlarda % 18-41 oranında soprsiyon belirleyerek, sorpsiyonda önemli oranda azalma olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca araştırıcılar, özellikle adsorpsiyon ve desorpsiyon arasındaki ilişkinin halen karmaşık olduğunu belirterek, özellikle Fe oksitlerce fosforun adsorpsiyonu arasında (r^2=0.965) önemli bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir.

Bilgili ve ark., (2004) yaptıkları araştırmada kil içerikleri % 17.3-37.2, kireç içerikleri % 1-35.5 arasında değişen 8 farklı toprakta fosfor adsorpsiyonu üzerine yaptıkları çalışmada Langmuir izotermini kullanarak, çözelti konsantrasyonlarını 0-1 μg ml^{-1} arasında I. bölge ve 1-150 μg ml^{-1} arasında II. bölge olarak tanımlayarak; I. bölgede maksimum adsorbsiyon oranı olan b_1'in 625 –1250 μg ml^{-1} arasında değiştiğini, adsorpsiyon enerji katsayısı olan k_1'in 0.159-0.800 μg ml^{-1} arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Araştırıcılar bunun yanı sıra yüksek konsantrasyon bulunan II. bölgede b ve k değerlerinin ve Langmuir izoterminin uyumunun azaldığını bildirmişler. Özellikle fosforun adsorpsiyonu ile toprakların kil ve kireç içerikleri arasında ve bununla birlikte Fe ve Al oksitler tarafından fosforun adsorpsiyonun arttığını belirtmişlerdir.

Chacon ve Dezzeo (2004) fosforun sorpsiyonu ile ilgili yaptıkları çalışmada, fosfor izotermlerini Langmuir denklemi ile tanımlamışlar ve 0.98-0.99 arasında bir korelasyon katsayısı belirlemişlerdir. Toprakların sorpsiyonlarının 76 –354 mg P kg^{-1}

arasında değişiklik göstermekte olduğunu bildiren araştırıcılar 0-10 ve 0-20 cm derinlikte özellikle b adsorbsiyon maksimumunun ($P<0.05$) önemli olduğunu belirtmişlerdir. Organik madde ve fosforun adsorpsiyonu arasında herhangi bir ilişki olmadığını belirten araştırıcılar organik maddenin Fe ve Al gibi metal komplekslerle oluşturduğu hidroksi gruplarının fosfor adsorpsiyonunda önemli rol oynadıklarını belirtmişlerdir.

Kireçli topraklarda fosfor adsorpsiyon izotermlerini hesaplayan araştırıcılar kireçli toprakların fosfor sorpsiyon kapasitesinin aktif kalsiyum karbonat (ACCE)> kalsiyum karbonat (CCE)> sitrat-bikarbonat dithioniteextractable Fe (CBD-Fe)> kil olarak azaldığını ve kalsit üzerine uygulanan fosforun da kalsiyum fosfatlar (Ca-P) şeklinde tutunduğu belirtilmiştir (Riffaldi ve ark. (2002).

Barros ve ark., (2005) etkili fosfor yönetimi ve inorganik fosforun döngüsünü iyi anlayabilmek için kil içerikleri % 13-81 arasında değişen topraklarda fosforun sorpsiyonu, desorpsiyonu ve resorpsiyonu üzerine yaptıkları araştırmada toprağın kil içeriğiyle sorpsiyon arasında r^2=0.99 oranında yüksek bir ilişki belirlemişler, bununla birlikte toprakların resorpsiyon ve desorpsiyonu ile kil içeriği arasında (r^2=0.59-0.99) değişen ilişkiler belirlemişlerdir.

2.2. Bitkiler İçin Fosfor Alımı ve Önemi

Tüm canlı organizmalar ve bitkiler için önemli olan esaslı bitki besin elementlerinden birisi olan fosfor, bitkilerde organik ve inorganik bileşikler halinde bulunmakta (Blair, 1993) ve bitki kuru ağırlığının yaklaşık % 0.3-0.5'ini oluşturmaktadır (Schachtman ve ark., 1998; Ragothama, 1999; Rausch and Bucher 2002). Bitkiler, toprak çözeltisinden fosfor elementini çoğunlukla $H_2PO^-_4$ ve $HPO^{=}_4$ şeklinde absorbe etmektedirler (Marschner, 1997; Ragothama, 1999; Hinsinger, 2001; Rausch and Bucher 2002; Smith, 2001; Dodor ve ark., 2003; Vance ve ark., 2003).

Fosfor, bitki bileşiminde, enerji transferi gibi hayatsal bir fonksiyonunun olmasının yanısıra nükleik asitler, koenzimler, nükleotidler, fosfoproteinler, fosfolipidler ve şeker fosfatlar gibi önemli işlevlerde gerekli olan birçok enzim için

de mutlak bulunması gereken bir elementtir. (Schactman ve ark., 1998; Rahothama, 1999; Rausch and Bucher 2002; Vance ve ark., 2003).

Toprak çözeltisinde yarayışlı fosfor konsantrasyonu nadiren 10 μM üzerine çıkar (Marschner, 1997; Schachtman ve ark., 1998; Ragothama, 1999; Hinsinger, 2001). Bir diğer araştırmacı ise gübrelenen alanlarda ki topraklarda toprak çözeltisindeki fosforun konsantrasyonun nadiren 8 μM'ı geçtiğini bildirirken (Hammond ve ark., 2004) çoğu topraklarda bu konsantrasyon toprak çözeltisinde 2 μM civarındadır (Ragothama, 1999). Bitki hücrelerinde bu konsantrasyonun toprak çözeltisinden 10.000 kat daha fazla olduğu düşünüldüğünde, bitkilerin toprak çözeltisinden fosforu almaları bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır (Rausch and Bucher 2002; Shin ve ark., 2004). Normal fizyolojik koşullar altında bitki de Pi konsantrasyonu toprağa göre daha yüksek olduğundan fosforun bitki hücrelerine alınması için enerji gerekmektedir, bu da aktif iyon alım prosesi ile açıklanmakta ve birçok araştırmacı tarafından bu görüş desteklenmektedir (Brohi ve ark., 1994; Marschner, 1997; Schachtman ve ark., 1998; Smith 2002; Vance ve ark., 2003; Hammond ve ark., 2004).

Bitkiler, topraklarda fosforun düşük olduğu koşullarda birçok morfolojik, fizyolojik, biokimyasal ve moleküler adaptasyon mekanizmaları geliştirebilirler (Ragathoma, 1999; Abel ve ark., 2002; Stone ve ark., 2003; Hammond ve ark., 2004; Plaxton, 2004). Topraklarda düşük fosfor koşullarında, fosforlu gübrelerin kullanımını azaltmak ve bitkilerin fosfor kullanım etkinliğini artırabilmek için bitkilerde genler üzerinde durulması gerekmektedir (Hammond ve ark., 2004). Fosfor noksanlığında bitkide meydana gelen tepkilerde gövde ve kökün her ikisinde de meydana gelen değişimler genler ile açıklanabilmektedir (Hammond ve ark., 2004). Ragathoma (1999) düşük fosfor koşullarında 100'den fazla genin fosfor kazanımı açısından bitkilerde önemli rolü olduğunu belirtmiştir. Bu konuyla ilgili yapılan araştırmalarda genler tanımlanarak, P noksanlığına bitkiler tarafından verilen tepkilerle gen sinyallerinin oldukça ilişkili olduğu belirtilip, bu konu halen netlik kazanmamasına rağmen özellikle stress ve düşük fosfor koşullarında özel genlerin düzenli olarak bitkiler tarafından harekete geçirildiği belirtilmiştir. Bu genler P noksanlığındaki tepkilere göre; erkencil genler ve geççil genler olarak tanımlanmış

olup, erkencil genler stress koşullarında hızla tepki verirken geçcil genler ise uzun süreli fosfor noksanlıklarında bitkilerin fiziksel ve morfolojik özelliklerini değiştirirerek tepki vermektedirler. Bu geçci genler, bitkiler içerisinde fosforun kullanım etkinliğini yükselterek fosforun alınımını genellikle artıran genlerdir (Vance ve ark., 2003; Hammond ve ark., 2004).

Fosforun bitkiler tarafından alınımını anlamak için birçok araştırmacı tarafından moleküler ve biokimyasal analizler yapılmış ve sonuçta P taşıyıcı sistemler, Pht1 ve Pht2 olmak üzere 2 farklı familyaya ayrılarak açıklanmıştır. Pht1 taşıyıcıları kök taşıyıcılarıdır ve hem kök hem de gövde dokularında olduğu belirlenerek iki alt familyaya ayrılmışlardır (Bucher ve ark., 2001). Pht1 familyasının 9 üyesinin 8'i fosforun topraklardan alımını ve gövdeye iletimini köklerdeki taşıyıcılar vasıtasıyla yapmaktadır (Shin ve ark., 2004) ve yaklaşık 58 kDA büyüklüğünde 520-550 amino asitten meydana gelmektedir (Smith, 2002). Bu proteinlerin % 75-85'lik kısmını oluşturmaktadır (Burcher, ve ark.,2001). Pht2 ise Pht1 familyasının üyelerinden farklı taşıyıcalardan oluşmaktadır, Pht2 çoğunlukla baskın olarak gövde dokularında belirlenmiştir ve 61 kDA büyüklüğüne sahiptir. Pht1 familyası yüksek afiniteye sahip taşıyıcılar iken, Pht2 taşıyıcıları düşük afiniteye sahip P taşıyıcılarıdır (Bucher ve ark., 2001; Smith, 2002).

Bitkiler tarafından iyonların aktif alımı, enzim aktivitesine benzer olarak Michaelis-Menten tarafından tanımlanan Vmax, Km ve Cmin kinetiklerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Maksimum taşınım oranı veya influx, (Vmax veya Imax) tüm aktif taşıyıcılar, taşınacak olan element ile yüklenildiğinde bulunabilir. Bir elementin alımı sırasında, iyonun kökten dışarı çıkması (outflux) ve içeri alımının (influx) bir sonucu olarak, o iyonunun yalnızca net alımı bulunur. Km, Michaelis-Menten sabitesidir ve maksimum taşınım oranındaki iyon konsantrasyonunun yarısıdır. Km ne kadar küçükse taşıyıcı ile iyonlar arasındaki affinite de o kadar yüksektir. Cmin ise toprak çözeltisindeki elementin, başlangıçtaki en düşük konsantrasyon düzeyini ifade etmektedir. Bitki kökleri düşük fosfor koşullarında özellikle fosforun alım kinetiğini değiştirerek; Vmax'ı artırabilirler ve bu koşullarda P-etkin bitki genotiplerinde Vmax ve Km kinetiklerinin düşük olduğu belirtilmiştir (Machado ve Furlani, 2004a). Yüksek afiniteye sahip bitkiler için Km, 3-7 μM

arasında değişirken, düşük afiniteye sahip bitkilerde Km, 50-330 μM arasında değişim göstermektedir (Schachthman ve ark., 1998).

Aktif iyon alımı plazma ve tonoplasta lokolize olmuş, ATP ile çalışan proton (H^+) pompaları sayesinde elektrokimyasal bir yük farkı meydana gelmesi ve bitki hücrelerinde oluşan bu negatif yük nedeniyle, toprak çözeltisinden fosfor iyonunun alınımı gerçekleşmektedir (Schachtman ve ark., 1998; Rausch and Bucher 2002; Smith, 2001). Fosfor noksanlığı bitki gelişimini sınırlandırmaktadır ve bitki içerisine P'un transferinin tam olarak nasıl gerçekleştiği kesin bir netlik kazanmamıştır. ^{31}P ile yapılan çalışmalarda fosforun tüm canlı hücrelerde dağılımı ve kinetik çalışmalarla fosforun genel fonksiyonları, plazma membranı ve tonoplastta Pi'nin transferi araştırılmıştır. Fosfor hareketliliği ve yarayışlılığının toprak micro florasından önemli derecede etkilendiği ve toprak çözeltisinde her zaman düşük Pi konsantrasyonlarının olduğu belirtilmiştir (Schachtman ve ark., 1998).

Bitki köklerince toprak çözeltisinden alınan fosfor daha sonra bitkinin kök üstü aksamına ksilem boruları ile taşınmaktadır. Fosfor noksanlığında, köklerden gövdeye sağlanan fosfor sınırlanmakta ve bu durumda yaşlı yapraklarda depolanmış olan fosfor bileşikleri hareketlilik kazanarak köke ve genç yapraklara doğru hareket etmektedir. Bu geri taşınım köklere, gövdeden ve gelişen gövdeye de yaşlı yapraklardan floem boruları ile sağlanmaktadır. Yaşlı yapraklarda depolanan ve hareket eden fosfor organik formdaki fosforun parçalanması ile oluşmaktadır. Bitkilerde depolanan toplam fosforun yaklaşık % 50'sini ve özellikle tahıllarda % 60-70'ini fitat gibi polifosfatlar oluşturmaktadır. Çimlenme esnasında fitat, fosfor sağlanması için enzim-fitata dönüşmekte ve bitkilerde diğer moleküller ile reaksiyona girmektedir. Hayvan beslenmesinde baklagillerde ve tahıl danelerinde fosforun en önemli kaynağı fitatdır. (Johnston, 2000). Bitki içerisinde bulunan inorganik fosforun neredeyse tamamı ksilemde bulunurken, floemde ise fosforun organik formu önemli miktarda bulunmaktadır (Marschner, 1997; Schachtman ve ark., 1998; Rausch and Bucher 2002).

Fosfor noksanlığında bitkilerin özellikle kuru ağırlıklarında ve yaprak alanlarında önemli bir azalma söz konusu olup, noksanlık ile birlikte bitki gelişimi ve fotosentez olumsuz yönde etkilenmektedir (Colomb, 2000; Rodriguez ve ark., 2000;

Assuero ve ark., 2004). Yapılan çalışmada araştırıcılar, yeterli fosfor bulunan bitki ile karşılaştırıldığında, fosfor stresi altında yetişen bitkilerin yaprak alanı % 83 oranında azaldığını ve buna bağlı olarak da bitkinin fotosentez oranının da % 50 azalma olduğunu bildirmişlerdir (Rodriquez ve ark., 1998). Plenet ve ark., (2000) fosfor noksanlığında bitki yaprak alan indeksinin yeterli fosfor koşulları ile karşılaştırıldığında % 60 oranında ve toplam yaprak alanının % 50 oranında azaldığı bildirmişlerdir.

Fosfor noksanlığında bitki gelişimi yavaşlamakta ve özellikle gövde gelişimi azalırken kök gelişimi artmaktadır. Yapılan çalışmada soya bitkisinde su stresi ve fosforun bitki gelişimine etkisi incelendiğinde, tüm fosfor dozlarında su stresinin etkisi benzerlik gösterirken fosfor noksanlığında özellikle bitki gelişimi yavaşlamış ve yüzey toprağında kök uzunluğu ve yoğunluğu artmıştır. Fosfor uygulanmayan doz diğer iki dozla karşılaştırıldığında ise kontrol dozunda yaprak alanında % 13-30 azalmalar olduğunu belirtmişlerdir. Sulama yapılan ve yapılmayan her iki koşulda da ürün üzerine yapılan fosfor gübrelemesi olumlu sonuçlar verdiğinden dolayı araştırıcılar, kurak koşullarda bile fosfor uygulaması gerektiğini bildirmişlerdir (Gutierrez-Boem ve Thomas 1999).

2.2.1. Fosfor Etkinliği

Topraklarda fosforun hareketliliğinin ve yarayışlılığının düşük olmasından dolayı, bitkiler yarayışsız durumdaki fosfordan yararlanabilmek için bir çok adaptasyon mekanizması geliştirmişlerdir (Abel ve ark., 2002; Stone ve ark., 2003; Hammond ve ark, 2004; Plaxton, 2004). Bitki türleri arasında ve hatta aynı türün genotipleri arasında fosforun etkinliği ve kullanımı açısından faklılıklar görülebilmektedir (Brohi ve ark., 1994; Dechassa ve ark., 2003). Bazı bitki türleri fosforun toprakta yarayışlılığının düşük olduğu durumlarda fosforun hareketliliğini artırabilmektedir (Blair, 1993; Horst ve ark., 2002; Shane ve ark., 2003; Stone ve ark., 2003).

Fageria ve Baligar (1999) yaptığı çalışmada 0 (düşük P), 75 mg P kg^{-1} (orta P) ve 150 mg P kg^{-1} (yüksek P) uygulayarak 15 buğday çeşidinin fosfor etkinliğini

araştırmışlar ve çeşitler arasında fosfor kullanımı açısından (P<0.01) önemli farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir. Konu ile ilgili yapılan bir diğer çalışmada Fageria ve Baligar (1997) düşük ve yüksek fosfor koşullarında yetiştirilen mısır genotiplerinin bitki ağırlıkları, gövde ve kök ağırlıkları, besin elementi alımı ve kullanımı açısından önemli farklılıklar gösterdiklerini rapor etmişlerdir.

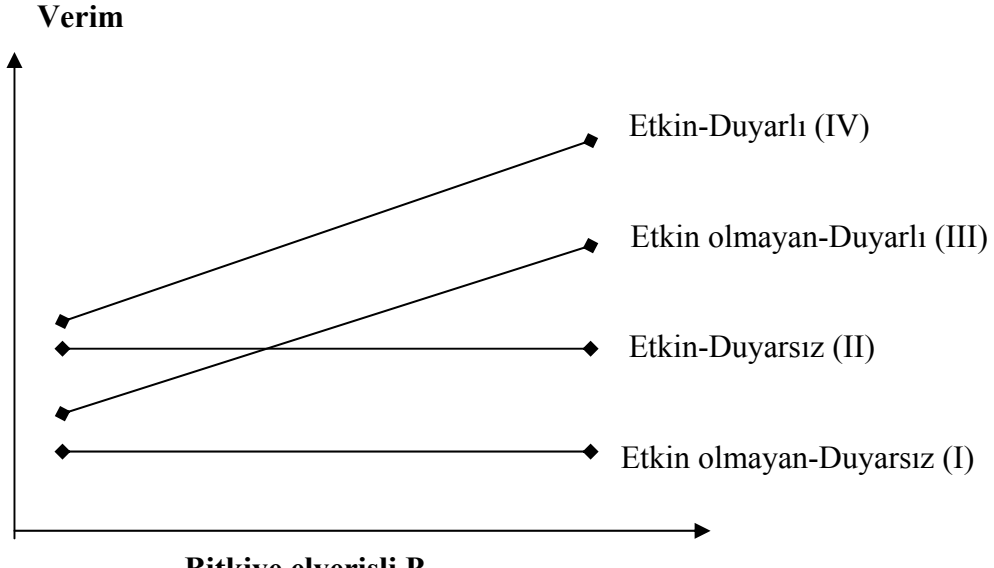
Gerloff (1977)ve Fageria ve Baligar (1999) bitkileri bu kullanım etkinlikleri bakımından 4 gruba ayırmıştır:

Etkin-Duyarlı; bu bitkiler besin miktarı artırıldığında veya düşük olduğu durumlarda bile verim arttırabilme yeteneğine sahiptir.

Etkin-Duyarsız; bu bitkiler düşük besin koşullarında verim arttırma yeteneğine sahipken besin miktarı arttırıldığında bitkiler olumlu bir tepki vermemektedir.

Etkin olmayan-Duyarlı; bu bitkiler düşük besin koşullarında düşük verim verirken besin ilavesi ile olumlu tepkiler veren yüksek verim sağlanabilen çeşitlerdir.

Etkin olmayan-Duyarsız; bu bitkiler ise hem düşük besin koşullarında hem de besin ilave edildiğinde düşük verim veren tepkisiz çeşitlerdir.



Şekil 2.2 Fosfor Kullanım Etkinliğinin Artan Fosfor Konsantrasyonu ve Verim ile İlişkisi Gerloff (1977)

Bitkilerin kökleri aracılığı ile salgıladıkları organik salgıların toprakta düşük çözünürlülükte olan besin elementlerinin yarayışlılıklarını arttırdıkları birçok araştırmacı tarafından da rapor edilmiştir (Gardner et al., 1983; Hoffland et al.,1989; Hoffland, 1992; Ström et al. 1994; Ragothama, 1999; Farrar and Jones, 2000; Gahoonia ve ark. 2001; Neumann and Martinoia, 2002; Vance ve ark., 2003; Hammond ve ark., 2004; Plaxton, 2004). Konu ile ilgili çeşitli bitkilerde yapılan çalışmalarda, Kamh ve ark., (1999), beyaz lupin, Bhadoria ve ark., (2002), buğday ve şeker pancarı bitkilerinde, Strom ve ark., (2002) mısır bitkisinde, Gahoonia ve Nielsen, (2003), yabani arpa çeşitlerinde, He ve ark., (2003), çeltikte, Krasilnikoff and Nielsen (2003), baklagillerde, Shane ve ark., (2003), beyaz lupinde, Shen ve ark., (2003), çeltikte, Stone ve ark., (2003), beyaz lupinde, Veneklass ve ark., (2003), nohut ve beyaz lupinde, Wasaki ve ark., (2003), beyaz lupinde, Machado ve Furlani (2004a), mısır bitkisinde yaptıkları çalışmalarda bitkilerin kök yapılarında değişiklik yaparak ya da kök salgıları vasıtasıyla bitki kök bölgesi olan rizosferde kimyasal değişiklikler sağlayarak topraklarda P yarayışlılığını arttırabilme yeteneğine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

2.2.2. Kök ile Fosforun Etkileşimi

Topraklarda fosfor difuzyonla hareket etmektedir, fosfor hareketi çok düşük olduğundan dolayı bitki kökleri toprakta ilerlerken toprak çözeltisindeki fosfatla temasa geçerler. (Marschner, 1997; Ragothama, 1999; Hinsinger, 2001; Rausch and Bucher 2002; Dodor ve ark., 2003; Vance ve ark., 2003). Köklerin P ihtiyacı fazla olduğunda, fosfat köklerce yüksek oranda absorbe edilmekte ve kök civarındaki toprak çözeltisi fosfatça fakirleşmektedir. Söz konusu boşalım, kök yüzeyi civarındaki fosfat konsantrasyonu ile tüm topraktaki fosfat konsantrasyonu arasında bir fark meydana getirir. Konsantrasyon düşüşü, fosfatın bitki köklerine doğru difuzyonun oranını ayarlamaktadır (Brohi ve ark. 1994; Kovar ve Barber, 1988; Smith, 2001).

Bitkiler fosfordan yararlanabilmek için özellikle kök yapılarında değişikliğe giderek kök yüzey alanını, kök ağırlığını ve miktarını artırabilirler, kök tüyleri ve

organik salgılarda düşük fosfor yarayışlılığını artırmada önemli rol oynamaktadırlar (Stone ve ark., 2003). Bu nedenle, bitkilerin kök morfolojisi, toprakta düşük P konsantrasyonlarında bitki beslenmesi açısından oldukça önemlidir. Toprakta yararlı fosfordan bitkilerin yararlanmasında türler arasındaki farklılıklar kısmen; kök morfolojisindeki farklılıklar yoluyla açıklanmaktadır (Barley, 1970; McLachlan, 1976; Föhse, ve ark., 1991; Ragothama, 1999; Ahmad ve ark., 2001; Wissuwave ark., 2002; He ve ark., 2003; Shane ve ark., 2003; Stone ve ark., 2003; Ho ve ark., 2004; Plaxton, 2004; Shen ve ark., 2005). Fosfor absorbsiyonunda etkili en önemli bitkisel parametreler kök büyüme hızı, kök çapı, kök uzunluğu, kök/yeşil aksam oranı ve kılcal kök yoğunluğu olarak sıralanabilir (Marshner, 1997; Machado ve ark., 2004a).

Fosfor noksanlığında yetiştirilen bitkilerin kök/yeşil aksam oranı artmakta böylece bitki daha fazla kök yaparak ortamda yetersiz durumda bulunan fosforun alımını artırmaktadır (Sanchez ve ark. 2001; Watt and Evans 2003; Zhu ve ark., 2003). Yapılan çalışmada lahana, havuç ve patates gibi faklı bitkileri kullanan araştırmacılar yetersiz fosfor koşullarında bitkilerin kök/gövde oranlarının lahana<havuç<patates olarak arttığını ve bitki çeşitlerine bağlı olarak fosfor kullanım etkinliklerinin farklı olduğunu bildirmişlerdir (Dechassa ve ark., 2003).

Drouillon ve Merckx (2003) özellikle yüksek P fiksasyon kapasitesine sahip topraklarda fosfor kazanımları için bitkiler tarafından salgılanan düşük molekül ağırlıklı karboksilatların (Sitrat) önemli olduğunu bildirmişlerdir. Bu tip salgıların özellikle direkt yarayışsız durumda olan P bileşiklerini ortam pH'sını etkileyerek yarayışlı hale getirdiklerini ve dolaylı olarak da P'un adorbe olacağı kompleks yapıları azaltarak, fosforun fiksasyonunun azaltılması yönünde etki ettiklerini bildirmişlerdir. Gyaneshwar ve ark., 1998 yaptıkları araştırmada fosforun serbestlenmesi ve pH'nın düşürülmesinde toprağın doğal bakteri populasyonunun etkili olmadığını ancak bu toprakların tamponlama kapasitelerinin yüksek olması ve salgılanan organik asitlerin pH'yı düşürerek, özellikle Ca tarafından tutulan fosfor bileşiklerinin çözünürlüklerini artırdığını bildirmişlerdir. Konu ile ilgili bir diğer çalışmada Bertrand ve ark. (1999), kireçli topraklarda fosfor hareketliliğinin düşük olduğunu, fosfor fiksasyonunda demir oksitler ve kalsitin etkili olduğunu ve bitki

köklerinin OH^- ve H^+ salgılayarak rizosfer pH'sını süratle değiştirebildiğini belirtmişlerdir. Mısır ve kolza bitkisinin kökleri aracılığı ile salgıladığı H^+ iyonları, rizosfer pH'sını düşürdüğünden, DTPA'da çözünebilir Fe miktarının arttırdığını da bildirmişlerdir. Bu reaksiyon sonucunda Götit mineralinin ayrışarak fosforun serbest hale geçtiği, dolayısıyla yarayışlılığının arttığı vurgulanmaktadır Bu nedenle, gübreleme programında, yetiştirilecek olan bitki çeşitlerinin de genotipik farklılıklardan dolayı fosfora karşı olan duyarlılıklarının farklı olacağı dikkate alınmalıdır (Horst ve ark., 2002; Wissuwa ve ark., 2002; Dessougi ve ark., 2003; Hammond ve ark., 2004).

Genetik farklılıklarından dolayı kök tüyleri daha iyi gelişen çeşitlerde, asit fosfotaze enzim aktivitesi daha yüksektir bu nedenle de P noksanlığı ve kılcal kökler arasında P'un yarayışlılığı açısından pozitif bir ilişki vardır. Kök tüylerinin topraklarda organik ve inorganik fosfordan daha fazla şekilde yararlandıkları ve fosfor alımında önemli rol oynadıkları bilinmektedir (Gahoonia ve ark. 2001; Yun ve ark., 2001; Gahoonia ve Nielsen, 2003; Stone ve ark., 2003; Wasaki ve ark., 2003; Li ve ark., 2004).

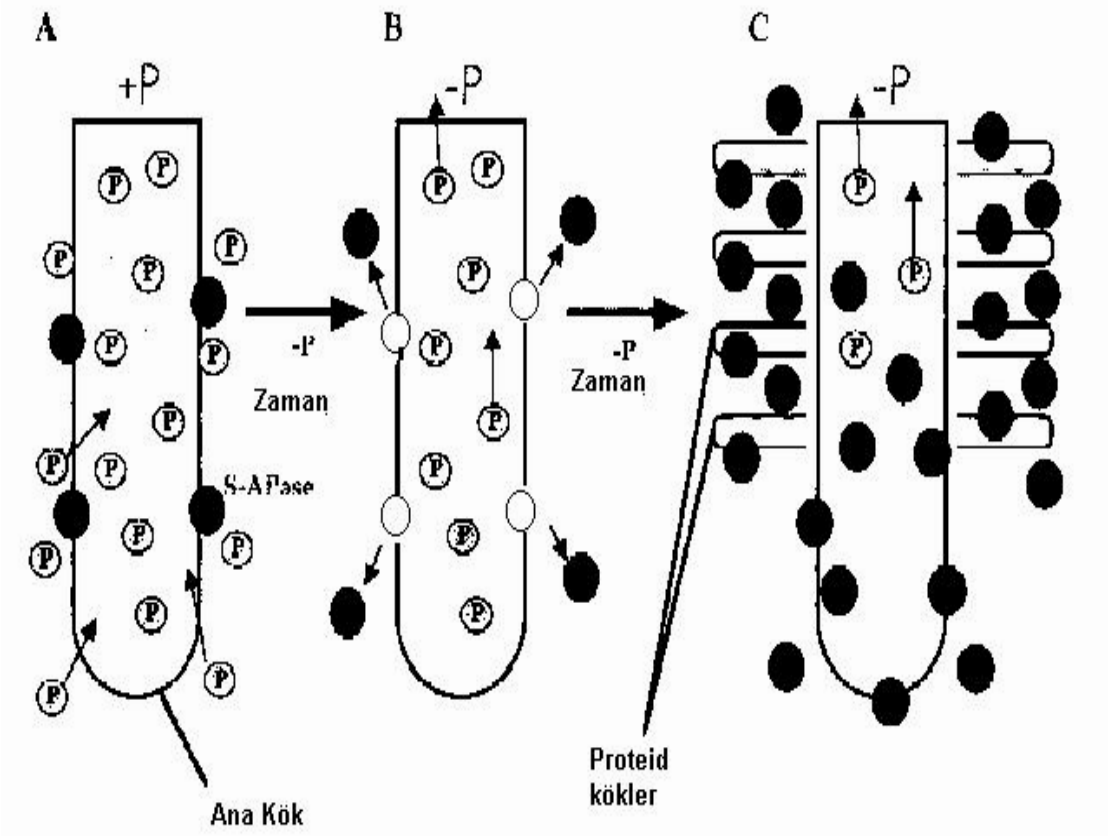
Fosfor yarayışlılığının düşük olduğu topraklarda kök tüyleri, absorbsiyon yüzeyini artırarak, çok düşük yarıçap oranı ile daha büyük toprak hacimlerine nüfuz ederek önemli ölçülerde P yarayışlılığını artırabilme yeteneğine sahiptirler (Fohse ve ark., 1991). Bitki türleri arasındaki bu genotipsel farklılıklardan dolayı bitkilerin uygulanan fosfora tepkileri de farklıdır. Soya ve beyaz lupin bitkisi karşılaştırıldığında, beyaz lupin bitkisinde proteid kök oranının yüksek olmasına karşın, soya bitkisinde lifimsi kök sistemi ve uzun dal şeklinde kök yapısı bulunmaktadır (Watt and Evans 2003). Proteid köklerle ilgili olarak yapılan çalışmalarda proteid köklerden, proteid olmayanlara göre daha fazla fosforun bitki bünyesine alındığı belirtilmiştir (Neumann ve ark., 2000). Uygulanan P ile birlikte soya bitkisinde toplam P içeriğini ikiye katlarken, biomas % 25 oranında artmış buna rağmen beyaz lupinde toplam P ve biomas ilave edilen fosfordan etkilenmemiştir. Beyaz lupin bitkisinde ilave edilen P ile birlikte protoid köklerin oranı azalmakta ve toplam kök ağırlığı artmaktadır (Watt and Evans 2003).

Proteid kökler, kök tüylerinin boylamsal olarak dizilerek salkım şeklinde bir küme oluşturmasıyla meydana gelmektedir (Lambers ve ark.,. 2001; Lambers ve ark., 2003; Peek ve ark., 2003; Stone ve ark., 2003) ve kök yüzey alanını 100 kat artırarak toprak ile kök arasında büyük bir temas yüzeyi meydana getirmektedirler (Schulze ve ark., 2002). Proteid kökler bu büyük temas yüzeyi ile bitkiye fosfor alımı açısından avantaj sağlarken, aynı zamanda organik bileşikler salgılarlar (malat ve sitrat) ve fosfor konsantrasyonu düştüğünde genotipsel farklılıklardan dolayı proteid köklerin oranı artarak, bitki tarafından fosforun alımı da artmaktadır (Neumann ve ark., 2000; Lambers ve ark.,. 2002; Shane ve ark., 2002; Shen ve ark., 2003; Veneklaas ve ark., 2003; Watt and Evans 2003). Yapılan araştırmada topraklardan fosforun % 63 oranında bitkilerin kılcal kökleri tarafından alındığı belirtilmiştir (Gohoonia ve Nielsen, 1998; Ragothama, 1999).

Peek ve ark., (2003) proteid köklerle ilgili yaptıkları çalışmada, uygulanan fosforla birlikte proteid köklerde azalma olduğunu ancak toplam kök ağırlığının arttığını bununla birlikte proteid köklerin oluşumunun gövde gelişimine bağlı olduğunu ve gövdede ki fosfor konsantrasyonu ile proteid köklerin arasında ters bir ilişkinin olduğunu bildirmişlerdir.

Shen ve ark., (2005) yaptıkları araştırmada, beyaz lupin bitkisi kullanarak proteid kökler ve kök salgılarının fosfor noksanlığındaki etkilerini araştırmışlar ve denemede bitki köklerini ikiye bölerek; -P-P, -P+P ve +P+P şeklinde uygulamalarda bulunmuşlardır. -P-P ile –P+P uygulaması karşılaştırıldığında, kökün +P olan kısmında fosfor alımının % 19 arttığını belirtirken, özellikle proteid köklerin oluşumu, bu köklerden proton salgılanması, sitrat ve asit fosfataze enziminin –P koşullarında kökler tarafından daha fazla salgılandığını belirtmişleridir. Gövde artışını incelediklerinde ise özellikle -P+P uygulamasının –P-P uygulamasından daha yüksek olduğunu bununla birlikte +P+P uygulaması ile arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmadığı belirtilmiştir. Araştırıcılar özellikle proteid köklerin ve kök salgılarının oluşumunun gövde tarafından düzenlendiğini, buna ek olarak özellikle fosfor noksanlığında K, Mg ve S gibi elementlerin alımlarının da azaldığını belirtmişlerdir.

Kamh ve ark. (1999) kışlık buğdayın fosfor ile gübrelenmesi durumunda toprakta fosforun yarayışlılığını incelemişler ve bulgularında, fosfor noksanlığında P-etkin beyaz lupinin çeşitli organik salgılar yardımıyla (sitrat ve malat) toprakta yarayışsız halde bulunan artık fosforu yarayışlı hale getirerek fosfor çözünürlülüğünü artırdığını, bitkilerin proteid kökleri yardımıyla diğer köklere nazaran 10 kat daha fazla sitrat salgıladıklarını bildirmişlerdir. Buğday ile lupinin karışık ekimleri yapılarak, lupin bitkisinin fosforun çözünürlüğünü arttırması etkisinden yararlanılması gerektiğini ve mısırın fosfor alımının artırılması için de baklagillerle münavebe yapılmasının iyi olacağını belirtmişlerdir.



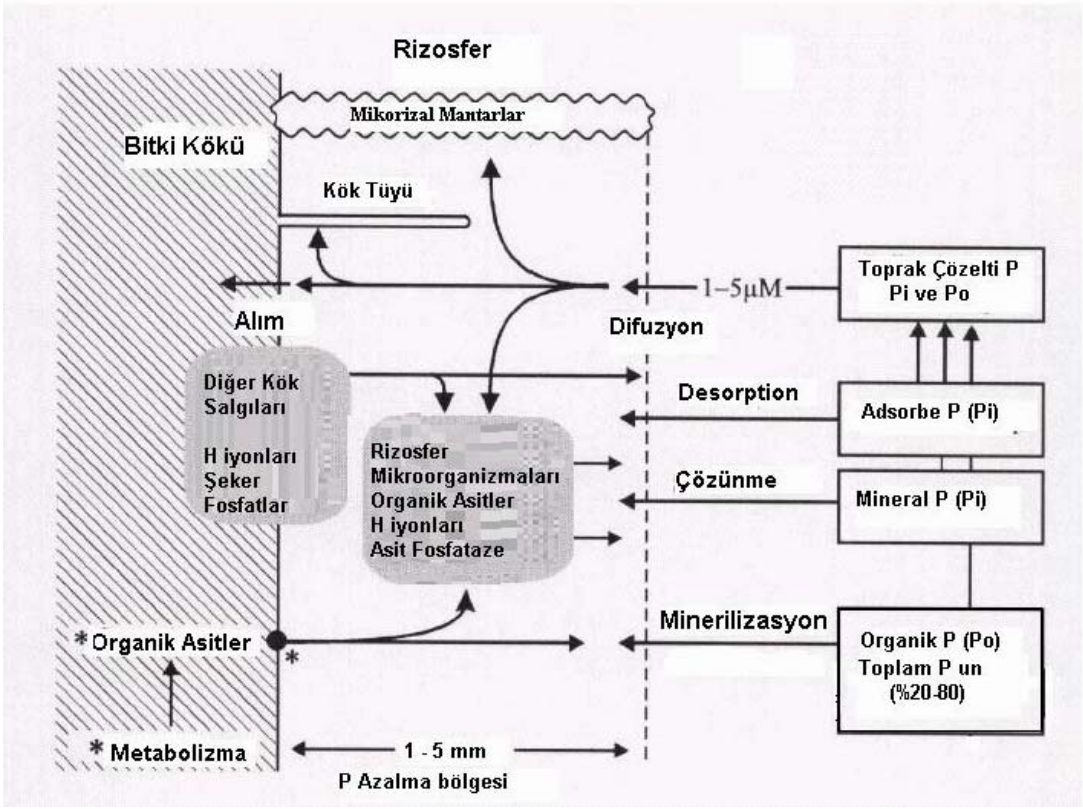
Şekil 2.3 Proteid Köklerden Asit Fosfataze Salgılanmasının Sistematik Şekli; A: Yeterli Fosfor Bulunan Koşullarda Asit Fosfataze Epidermal Kök Hücrelerinde Birikmekte, B: Zamanla Fosfor Noksanlığı Durumunda Asit Fosfataze Hızlı Bir Biçimde (12 Saat) Salgılanmakta, C: Fosfor Bitki Dokularında Önemli Oranda Azalmaya Başladığında, Proteid Kökler Oluşmakta ve Fosfor Alımı Önemli Ölçüde Artmaktadır (Wasaki ve ark., 2003).

Neumann and Martinoia (2002), mikorizal etkinin olmadığı verimliliği düşük topraklarda bitkilerin ortama adaptasyonlarının farklı olduğunu, proteoid kökleri yardımıyla adapte olabilen bitkilerin rizosferde (pH, kök salgıları, redox potansiyeli) kimyasal değişimler meydana getirerek besin elementlerinin (P, Zn, Mn, Fe) hareketliliğini artırdığını bildirmişlerdir.

Topraklarda fosforun yarayışlılığının düşük olduğu durumlarda, tahıl çeşitlerinin mutlaka fosfor gübrelemesine gereksinimleri vardır ve tahıl ıslah ve seçim çalışmalarıyla toprakta fosfor yarayışlılığını iyileştirmek için varolan tahıl çeşitlerinin fosfor etkinliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Araştırıcılar konu ile ilgili yapılan 30 yıllık bir çalışmada, farklı tahıl çeşitlerine 0, 10, 20 kg P ha^{-1} dozlarında fosfor uygulamışlar ve bu uygulanan dozlarda 0 kg P ha^{-1} dozunda bitki köklerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, kök uzunluklarının çeşitler arasında değiştiğini, artan fosfor dozlarına bağlı olarak kök uzunluğunun azaldığını ve özellikle düşük fosfor içerikli topraklarda arpa bitkisinin fosfor alım etkinliği için kök uzunluğunun tür seçimi için kriter olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir (Gahoonia ve ark., 1999).

Topraklarda fosfor yarayışlılığının düşük olduğu durumlarda gübrelemeden farklı olarak topraklarda mevcut bulunan, Fe, Al ve Ca fosfatlarca ve organik formda bulunarak yarayışsız durumdaki fosfor bileşiklerinin çözünürlülüğünün artmasında mikorizanın önemli etkisi olmaktadır. Mikorizanın bitki kök yüzey alanını artırarak özellikle bitkilerin fosfor beslenmesini artırdıkları ve bununla birlikte mikro organizmaların da elverişli fosfor içeriğini artırmak için etkili bir yol olduğu birçok araştırmacı tarafından desteklenmektedir (Gyaneshwar ve ark., 2002; Horst ve ark., 2002; Smith, 2001; Mcgonigle ve ark., 2003, Feng ve ark., 2003; Ryan and Angus 2003; Zhu ve ark., 2003; Aquino and Plassard 2004; Ibrikci ve ark., 2004).

Fransson ve ark., (2003) yaptığı araştırmada toprakta ekstrakte edilebilir fosforla karşılaştırıldığında bitki dokularında çok yüksek miktarda fosfor konsantrasyonuna rastlamışlar, bununla birlikte bu bitki türlerinin de kendi içerisinde fosfor alımı açısından farklılık gösterdiğini ve bu farklılığın, bitkilerin farklı mikorizal varlıklarından dolayı olabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.4. Bitki Kökleri ve Mikoriza Tarafından Fosforun Toprak Çözeltisinden Alımını Etkileyen İşlemler (Richard, 1994; Schachtman ve ark., 1998)

Fosfor yarayışlılığı, düşük kireçli topraklara mikoriza uygulamaları ile bitkinin toprağın organik kaynağından % 17-31, bitkinin topraktan fosfor alımını ise, % 53-65 oranında artırarak; mikorizanın toprakta fosfor döngüsünde ve fosfor alımında önemli rol oynadığını belirtilmiştir (Feng ve ark., 2003). Mikorizal infeksonun topraklarda bulunan yarayışsız durumdaki fosforun çözünürlüğünü ve alınabilirliğini kontrol bitkilerine göre 3, 6 ve 10 kat kadar artırdığını ve bitkiler arasında genotipik farklılıkların fosforun yarayışlılığı ve alınımı açısından önemli olduğu rapor edilmiştir (Shibata ve Yano 2003).

Topraklarda fosfor etkinliği üç farklı yolla arttırılabilir; ı) fosfor konsantrasyonunu bitkinin maximum ürün alabileceği seviye de tutarak, ıı) bitki için gerekli olan fosforu topraklardan alma yeteneğine sahip etkin kök sistemi olan bitkileri kullanarak, ııı) özellikle yüksek gelişim potansiyeline sahip olan bitkilerin topraktan besin elementi sağlayabilmek için daha fazla kök yapacağı

düşünüldüğünde, gövde gelişim hızının da fosfor alımı ve kullanımı açsından etkili olabileceği bildirilmektedir (Bhadoria ve ark., 2002).

Aquino ve Plassard (2004) yaptığı çalışmada topraklarda mikorizal infeksiyonu fosfor beslenmesi açısından değerlendirildiğinde, fosfor uygulaması yapılmayan koşullarda 4-6 haftalık gelişim periyodunda mikorizalı bitkilerin kök gelişiminin artarak kök/gövde oranının mikoriza infeksiyonu yapılmayan bitkilere oranla iki katı artırdığını bildirmişlerdir. Araştırıcılar, fosfor uygulaması yapılan koşullarda ise bitki ilk gelişim aşamasından 4 hafta geçen süreye kadar yine mikoriza uygulaması yapılan bitkilerin fazla kök yaparken gelişim periyodunun devam etmesiyle birlikte (6 hafta) özellikle gövde gelişimini artırdığını ve kök/gövde oranının önemli oranda düşerek mikorizalı bitkiye göre daha iyi gelişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Araştırıcılar, özellikle mikorizal hiflerin uzunluğunun fosfor uygulanan koşullarda %30-62 oranında azaldığını belirtmişlerdir.

2.3. Fosforun Mısır İçin Önemi, Fosfor Uygulamaları ve Noksanlığının Mısır Bitkisi Üzerine Olan Etkileri

Topraklarının çoğunda fosfor hareketsiz ve bitkiler için yarayışlılığı düşük düzeydedir. Fosfor bitki için en önemli besin maddelerinden birisidir, topraktaki toplam fosfor içeriği genellikle azot ve potasyum gibi diğer bitki besin maddelerine göre daha az oranda bulunmaktadır (Kırtok, 1998). Fosforun bitki dokularındaki oranı genellikle kuru ağırlığın % 0.3 ile 0.5'i arasında değişmektedir (Schachtman ve ark., 1998).

Mısır bitkisi fosfor gereksinimini kökleri vasıtasıyla topraktan H_2PO_4, ve HPO_4 şeklinde absorbe etmektedirler. Düşük pH'lı topraklarda H_2PO_4 iyonu konsantrasyonu artarken, yüksek pH'lı topraklarda ise HPO_4 iyonu konsantrasyonu artmaktadır (Kırtok, 1998; Schachtman ve ark., 1998; Güzel ve ark., 2002).

Bitki gelişiminin erken aşamalarında yeterli düzeyde fosforun bulunması, üreme organlarının oluşabilmesi için önemlidir (Brohi ve ark., 1994; Kırtok, 1998; Güzel ve ark., 2002). Araştırıcılar fosforun bitkinin tohum ve meyvelerinde, yaprak ve diğer kısımlarına nazaran daha fazla bulunduğunu bildirmektedirler (Ülgen ve

Yurtsever 1988; Kırtok, 1998). Lott ve ark., (2000) özellikle tahılların tohumlarında ve meyvelerinde fosforun fitik asit ve fitat formunda önemli oranlarda bulunduğunu ve bunun gerek bitkinin gelişim sırasında fosfor ihtiyacının karşılanması, gerekse insan ve hayvan beslenmesi açısından öneminin yanı sıra çevre açısından değerlendirildiğinde ise, ötrofikasyona neden olarak toprak ve su kirliliğinin de dengeli gübreleme ile azaltılabileceğini bildirmişlerdir. Fitik asit özellikle ökoryatik hücrelerde bulunmakla birlikte 12 hidrojen atomu ve 6 fosfat bileşiğinden meydana gelmektedir. Fitik asit özellikle güçlü bağlarla bağlanabilen çok değerli katyonlar için (Ca, K, Fe, Mn, Zn vb.) şelat görevi de yapmaktadır. Tohumdaki toplam fosforun % 50-80'ini fitat formları oluşturmaktadır.

Fosfor noksanlığında, özellikle azot ve potasyum yeteri kadar bulunduğu hallerde, gelişme azalır ve olgunluk devresi geriler. Gelişmede azalma özellikle genç bitkilerde daha açık görülür. Olgunluk dönemindeki gerileme ise daha çok döllenme evresindeki gecikmeden anlaşılır. Fosfor noksanlığında püskül gelişmesi yavaşlar, döllenme normal olmaz. Bunun bir sonucu olarak koçanlar normal gelişemedikleri gibi, danelerin koçan üzerindeki dizilişi de düzenli olmaz. Genç mısır bitkilerinde bodur büyüme ile birlikte fosfor noksanlığında yapraklarda koyu yeşil renk ve bazı hallerde yaprak ve sapta pembemsi bir renk görülür. Pembemsi renk bitkide şekerlerin birikmesinin sonucu olarak antosiyanin renk maddesinin meydana gelmesi ile açıklanmıştır. Ancak ilkbaharda uzun süren soğuk havalar gibi uygun olmayan gelişme koşulları altında da mısır bitkilerinde pembemsi renk ortaya çıkabilmektedir Kacar ve Katkat, 1997).

Fosfor noksanlığında mısır bitkisi, kök gelişimini artırarak kök/gövde oranını artırır ve bu şekilde fosfordan daha etkin bir şekilde yararlanmaktadır (Ahmad ve ark., 2001) Mısır bitkisinde fosfor noksanlığından etkilenen bir diğer parametrede yaprak alan indeksidir, toplam yaprak alanı fosfor stresi altında düşmekte ve fosfor noksanlığında yaprak alanı azaldığı için, fotosentezde de azalmalar meydana gelerek bitki gelişimi olumsuz yönde etkilenmektedir (Colomb ve ark., 2000; Rodriguez ve ark., 2000).

Mısır bitkisinin fosfor noksanlığı altında genotipik farklılıklarından dolayı fosfor kullanım etkinliklerinin farklı olduğu ve fosfor noksanlığı durumunda, kök

ağırlığını artırmanın yanı sıra kök salgıları ile (sitrat, malat, asit-fosfataz) yarayışsız durumda olan fosfor bileşiklerinin çözünürlüklerini artırarak alabildikleri bilinmektedir (Neumann and Romheld, 1999; Grimal ve ark., 2001; Yun ve ark., 2001; Dodor ve ark., 2003). Konuyla ilgili yapılan çalışmada, Li ve ark., (2004) fosfor noksanlık koşullarında, mısır bitkisinin kök uzunluğunu %24 oranında arttırdığını ve organik fosforun uygulandığı ya da fosfor uygulanmayan koşullar ile KH_2PO_4 formunda fosfor uygulanan koşullar karşılaştırıldığında, hem mono kültür mısır hem de nohut/mısır üretiminde, köklerden sırasıyla % 82 ve % 62 oranında daha fazla miktarlarda asit fosfataze (apase) salgılandığını bildirmişlerdir.

Liu ve ark., (2004) mısır bitkisiyle yaptıkları çalışmada P-etkin ve P-etkin olmayan, 2 farklı mısır çeşidi kullanmışlar ve özellikle düşük fosfor koşullarında fosforun topraklardan bitki tarafından alınabilmesinde kök salgılarının çok önemli olduğunu, fosfor noksanlığı koşullarında malic ve tartaric asit salgılarının, –P ve +P koşullarında % 203 ve % 131 oranlarında arttığını, bununla birlikte asit fosfataz (apase) aktivitesinde de önemli bir artış olduğunu bildirmişlerdir. Sonuçlarda P etkin olan mısır çeşidinde fosfor noksanlığında apase aktivitesi kök yüzeyinde % 54 artarken etkin olmayan çeşitte ise % 34'den daha az oranda bir artmanın söz konusu olduğunu bildirmişlerdir. P noksanlığında yüksek adaptasyon kapasitesine sahip olan çeşitte kök uzunluğu, kök ağırlığı ve kök yüzey alanı artmış ve buna ek olarak kökler yüksek oranlarda proton salgılayarak, rizosfer pH'ını düşürmek koşuluyla kireçli topraklarda yarayışsız durumda olan P'un yarayışlılığı artmıştır.

Yaptıkları araştırmada Machado ve Furlani (2004b), aynı yaşlı mısır bitkilerinde apase aktivitesini bazı genotiplerde birbirine çok yakın olduğunu, 17 günlük bir kök ile, 24 günlük bir kökün enzim aktivasyonunu karşılaştırdığında, yaşlı kökün enzim aktivasyonunun % 66 oranında daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Araştırıcılar, enzim aktivasyonunun bitki yaşı ile birlikte sıcaklıktan da önemli derecede etkilendiğini ve sıcaklığın 35 ^{o}C den 25 ^{o}C'ye düştüğünde mısır köklerinde apase aktivitesinin % 50 oranında azaldığını rapor etmişlerdir. Araştırıcılar, bitkilerin fosfor beslenmesi üzerine bitkilerde apase aktivasyonunun rolü hakkında 2 hipotez öne sürmüşlerdir; 1) bitkilerin yaşlı kısımlarından veya topraktan P'u daha fazla yarayışlı hale getirmek için bitkiler yapraklarda sentezleme ve kök salgılarıyla, P'u

tekrar mobilize ederek, gerek yaprak gerekse yüksek kök apase aktivitesi ile düşük fosfor koşullarına etkili fosfor alım mekanizması ile adapte olabilirler; 2) bitkilerin yüksek P ihtiyacı olduğu veya fosfor alım etkinliğinin düşük olduğu durumlarla karşılaştırıldığında, düşük fosfor koşullarına gerek yaprak gerekse kök apase aktiviteleri düşürerek (etkili fosfor alımı ve kullanımı) adapte olabileceklerini belirtmişlerdir.

Machado ve Furlani (2004a) yaptıkları araştırmada, maksimal P alım oranı (Vmax), Michalies-Menten katsayısı (Km) ve kök uzunluğu arasında çeşitler arasında farklılıklar gözlemişlerdir. Mısır bitkisinin fosfor noksanlığında kök parametreleri üzerindeki değişiklikleri incelediğinde, kök uzunluğu kök/gövde kuru madde oranı, kök çapı, kök yüzey alanı ölçümleri ve fosfor kullanım etkinliği arasında önemli faklılıklar olduğunu bildirmişlerdir. Bitki türleri arasında P alım oranı veya akışı bakımından farklılıkların olduğu kadar, özellikle bitkilerin gelişim aşamaları arasında da P alımı açısından farklılıklar bulunmaktadır. Bhadoria ve ark., (2004) yaptıkları araştırmada mısır bitkisi ve yerfıstığı ile çalışmışlar ve yer fıstığının gelişim döneminin başlangıcındaki, yüksek fosfor alım oranı veya akışından dolayı fosfor etkinliğinin çok yüksek olduğunu, bununla birlikte, mısır bitkisinin başlangıçta ki düşük P akışına karşılık, gelişmenin ilerleyen aşamalarında maksimum gelişim için yeterli P akışına sahip olduğunu, toprak çözeltisinde sadece 1µM P konsantrasyonunda bile mısırın maksimum veriminin % 90'ını, halbuki yerfıstığının ise bu konsantrasyonda, sadece maksimum veriminin % 20'sini üretebildiğini belirtmişlerdir. Mısır, yer fıstığına göre P'a karşı daha etkindir. Araştırıcılar, mısır bitkisinin yerfıstığına göre 6 kat daha yüksek Imax (Vmax), 3 kat daha yüksek Km değerine ulaştığını, bunun yanı sıra mısır bitkisinin düşük fosfor koşullarında kök/gövde oranını yerfıstığına göre 9 kat daha fazla artırdığını ve kök/gövde oranının fosfor etkinliğinin karşılaştırılması için kök uzunluğuna göre daha iyi bir gösterge olduğunu belirtmişlerdir.

Genotipik farklılıklarından dolayı mısır genotiplerinin fosfor noksanlığı olan koşulları ile fosforun mısır gelişimi için yeterli bulunduğu koşullar karşılaştırıldığında, yetersiz fosfor koşullarında yetişen mısır genotiplerinin her biriminde 2-3 kat daha fazla asit fosfataz aktivitesinin olduğu ve fosfor alımının

arttırıldığı belirtilmiştir (Yun ve ark., 2001). Yapılan araştırmada, 12 hibrit mısır bitkisi çeşidi kullanarak P noksanlığındaki tepkilerini araştıran araştırıcılar, P noksanlığında hibrit çeşitler arasında belirgin farklılıkların olduğunu ancak bu farklılıkların genotipik özelliklerden çok bu etkin çeşitlerde, tohumdaki farklı P konsantrasyonlarından kaynaklandığını bildirmişler, ayrıca fosfora etkin çeşitlerde bitki kök uzunluklarının arttığını, P etkin olmayan genotiplerde ise, bu karakteristik değişimlerin önemli olmadığını bildirmişlerdir (Alves ve ark., 2001).

Jiancan ve Barber (1992), yaptıkları tarla denemelerinde, artan dozlarda fosfor uygulamalarının kök yoğunluğunu azalttığını, gübre P'unun bitki sırasının yan ve altına gelecek şekilde uygulanmasının, mısır bitkisinin P alımını serpme metoduna göre artırdığını öne sürmüşlerdir. Böylece, P'un sınırlı toprak hacmine uygulanması, yararlılığı arttırmış ve gübre P dozunun yükseltilmesi ile de toprak çözeltisindeki P konsantrasyonu yükselmiştir. Mallarino (1995), koçan püskül aşamasında, koçan yaprağının toplam P içeriğinin, verim tahmini açısından güvenilir olmadığını rapor etmiştir. Tarla denemelerinde P uygulamasının, mısır yaprağında P içeriğini ve mısır verimini, toprakların % 85'inde arttırdığı, buna karşın toprakların % 46'sında verim artışının olmadığı bildirilmektedir. Ayrıca mısır verimi ve yaprak P konsantrasyonları arasındaki ilişkilere dayanarak, yaprakta kritik P konsantrasyonunun 2.3- 2.5 g kg^{-1} olduğu belirlenmiştir. Yaprakta P konsantrasyonu, toprakta yararlı P düzeyine paralel olarak artmakta ve bir düzeyden sonra yükselme eğrisi düzleşmektedir. Bu da toprakta fosfor konsantrasyonunun artışı ile P alımının da bir noktaya kadar artığını, ancak daha sonra bitkinin bu fosfordan yararlanamadığını göstermektedir. Öktem ve Ülger (1998) mısır bitkisinin fosfor kullanım etkinliğini saptamak amacı ile farklı dozlarda (0, 4, 8, 16 kg P_2O_5 da^{-1}) fosfor uygulaması yapmışlar ve kontrol uygulamasından başlamak üzere artan doz ile birlikte dane veriminde artışlar olduğunu belirtmişlerdir. Bölgede optimum ürün gelişimi için 8 kg P_2O_5 da^{-1} dozunu önererek, fosfor uygulamasına karşı da mısır çeşitleri arasında farklılıklar olduğunu bildirmişlerdir.

Colomb ve ark. (2000) yaptıkları araştırmada, mısırda yaprak gelişimine fosfor yarayışlılığının etkisini çok düşük, orta, yüksek ve çok yüksek fosfor seviyelerinde araştırmışlar ve fosfor noksanlığının genel olarak bitki kuru madde

miktarında düşüşe neden olduğunu belirtmişlerdir. Fosfor noksanlığında bitki yaprak alanında da önemli düşüşler meydana gelmektedir (Mollier ve ark., 1999). Yapılan araştırmada, Assuero ve ark., (2004), mısır bitkisinin gövde kuru ağırlığı, gövde P konsantrasyonu, yaprak uzama oranı (% 63 oranında), hücre üretimi ve hücre difuzyon bölgesinin uzunluğunun da (% 21 oranında) düşük fosfor koşullarında önemli oranlarda azalmış olduğunu belirtmişlerdir.

Mısır ve patates bitkisi ile yapılan bir çalışmada ise bitkilerin fosfor noksanlığını ilk 30 gün içerisinde belirgin olarak gösterdiklerini, kök uzunluğu ve yoğunluğunun artmasının, P noksanlığında bitkilerin topraktaki fosfordan yararlanmaları açısından son derece önemli olduğunu ve fosforun bitki kuru madde miktarını artırdığını belirtmişlerdir (Sanchez ve ark. 2001).

Arya ve Singh (2002), mısır bitkisi üzerine farklı fosfor ve Zn uygulamalarının etkisini araştırmışlar ve 90 kg P ha^{-1} uygulamasında 0, 30 ve 60 kg P/ha uygulamalarına göre ürünün protein içeriği ve kuru madde miktarında daha fazla artış sağlayarak uygun doz olduğunu bildirmişlerdir. Bi ve ark., (2003) artan fosfor uygulamaları ile Zn konsantrasyonunda azalmaların olduğunu bildirmişlerdir. Araştırıcılar, fosfor uygulamaları, Zn uygulamaları ve mikorizanın etkisini araştırmışlar ve 0, 50 400 mg Zn kg^{-1} 0 ve 100 mg P kg^{-1} fosfor ve – mikoriza ve + mikoriza uygulamaları sonucunda özellikle P uygulanan ve mikorizalı uygulamalarda bitki gövde ve kök ağırlığının arttığını Zn uygulamasının artması ile mikoriza inokulasyonunun azaldığını bildirmişlerdir. Bitkiler, dokularında mikoriza uygulaması yapılmayan kontrol dozunda % 0.1 P ve 19 mg kg^{-1} Zn konsantrasyonuna sahipken, artan fosfor uygulaması (100 mg kg^{-1}) ile birlikte fosfor konsantrasyonu % 0.23'e yükselirken Zn konsantrasyonu 17 mg kg^{-1}'a düşmüştür. Araştırıcılar, mikorizalı koşullarda artan fosfor uygulaması ile birlikte 27 mg kg^{-1} olan Zn konsantrasyonun 13 mg kg^{-1}'e düştüğünü, bununla birlikte mikorizalı ve Zn uygulanan koşullarda da Zn konsantrasyonunda artış olduğunu belirtmişlerdir.

Fosforun özellikle mısır gelişimi üzerine etkisini araştıran Iqbal ve Chauhan (2003) bitki gelişimini ve verim bileşenlerini etkileyen esas faktörün fosfor olduğunu belirterek, yaptıkları araştırmada mısır dane veriminin, yaprak uzama oranı ve yaprak alan indeksinin uygulanan fosfor dozu ile birlikte sırasıyla pozitif korelasyon

göstererek (r=0.740, 0.806 ve 0.814) değiştiğini, bu yaprak bileşenlerindeki artışla beraber bitkinin fotosentez oranında da artışların olduğunu belirtmişlerdir.

Nziguheba ve ark., (2002), fosfor noksanlığı bulunan topraklarda fosfor gübreleme stratejisi geliştirmek üzere mısırı test bitkisi olarak kullanarak bir çalışma yapmışlar ve bu araştırmada 0, 10, 25, 50, 150 kg P/ha dozlarında triplesuperfosfat olarak fosforlu gübre uygulamışlardır. Mısır bitkisinde ve toprakta P fraksiyonlarını belirlemişlerdir. Deneme sonunda saksıda, 10 kg P/ha dozunda, 16.8 Mg/ha iken 0 kg P/ha dozunda 8.8 Mg/ha ürün elde edilmiş, ancak topraktaki P içeriğinde bir artış olmadığını ve 150 kg P/ha dozunda mısır bitkisi 39 Mg/ha ürün verirken, toprakta inorganik P içeriğinin arttığını bildirmişlerdir. Sonuçta, araştırmacılar 25 kg P/ha dozunu, P'un kademeli olarak geri dönüşümü ile mısır bitkisi gelişimini artırabilecek yeterli doz olarak önermişlerdir.

Dessougi ve ark., (2003) yaptıkları çalışmada, özellikle fosfor yarayışlılığı ile karışık ürün ekiminin etkisini araştırmışlar ve araştırmada test bitkisi olarak ana ürün olarak mısır kullanan araştırıcılar mısır ile birlikte yerfıstığı, beyaz lupin, şeker pancarı ve kolza bitkilerini karışık ekim denemesi ile araştırmışlardır. Deneme sonuçlarında şeker pancarı, beyaz lupin ve kolza bitkisi ile beraber ekilen mısır bitkisinin P alımının ve kuru madde oranının düşmesine karşın, yerfıstığı ile birlikte ekildiğinde P alımı ve kuru madde miktarının gübre uygulaması yapılmayan kontrole ile karşılaştırıldığında 3 kat arttığını ve bu artışın 66 kg P ha^{-1} uygulamasında sağlanan artıştan daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Mısır bitkisindeki kuru madde ve P alımındaki düşüşün bitkiler arasındaki rekabet nedeniyle olduğunu belirtmişlerdir. Araştırıcılar fosfora etkin bir tür ile etkin olmayan türlerin birlikte ekildiğinde olumlu etkilerin olduğunu ve özellikle P uygulamalarının mısır kuru madde miktarını etkilediğini ve P noksanlığında mısır veriminin önemli ölçüde sınırlandırıldığını bildirmişleridir.

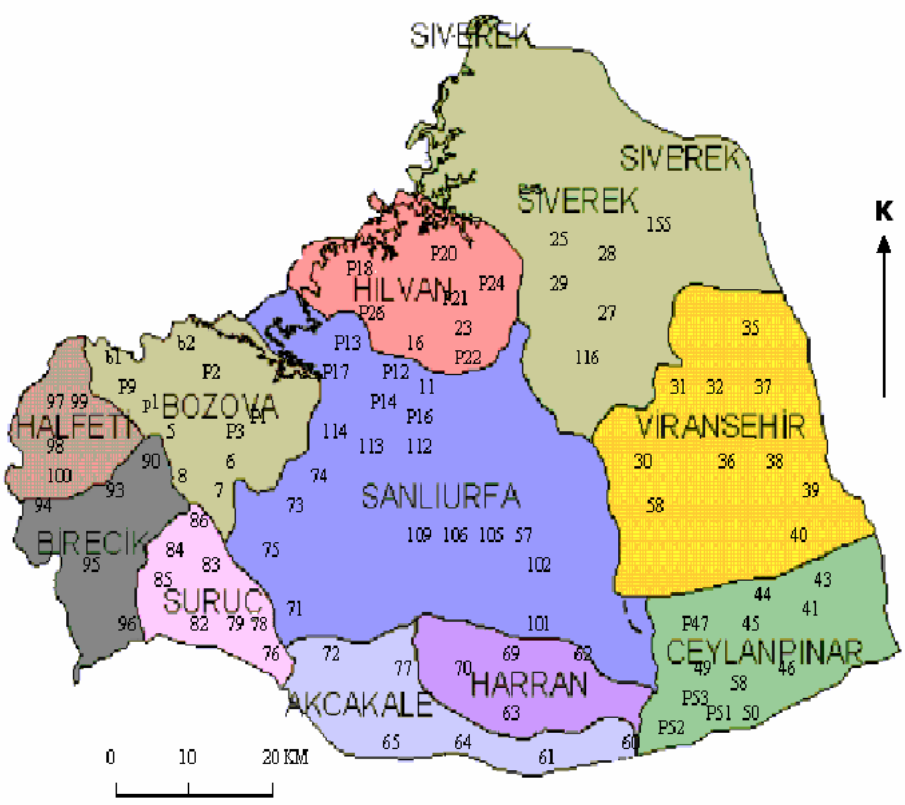
Alam ve Ladha (2004), yaptıkları araştırmada tatlı biber, mısır ve pirinç test bitkilerini kullanarak topraklara fosfor uygulamalarını değerlendirmiş ve tatlı biber için 84 kg P/ha bununla birlikte mısır ve pirinç için ise 54 kg P/ha uygulamasının iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları uygulamalarda fosforun toprak tarafından çabucak fikse olduğunu ve özellikle belirtilen dozların üzerine

çıkıldığında ekonomik olarak verim üzerine bir etkisinin olmadığını ve fosfor kirliliğini azaltmak içinde fosforun topraklarda birikimini azaltacak şekilde bir gübreleme yönetimi gerektiğini bildirmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme Toprakları (GAP ve Çukurova Bölgeleri)



Şekil 3.1 Deneme Alanında Örneklenen Noktalar

Deneme toprakları, Güney Doğu Anadolu (GAP) bölgesi topraklarından yoğun olarak tarım yapılan yaygın serilerden örneklemeler yapıldıktan sonra fosfor (P) içeriklerine bağlı olarak seçilmiş, sera ve tarla denemelerinde kullanmıştır. Denemeler kurulmadan önce GAP bölgesinden toplam 69 noktadan ve iki farklı (0-20 ve 20-40 cm) derinlikten toprak örnekleri alınmış ve bu topraklardaki Olsen-P değerleri belirlendikten sonra bölgede yaygın olan ve düşük fosfor içeriğine sahip seriler özellikle seçilmiştir. Sera denemesi Ç. Ü. Z. F. Toprak bölümü araştırma seralarında kurulmuş ve yürütülmüştür. Tarla denemeleri 2003 ve 2004 yılı II. Ürün

Mısır ekim döneminde, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma alanında ve Urfa Koruklu Araştırma İstasyonu deneme alanında kurulmuş ve yürütülmüştür.

3.1.2. Denemede Kullanılan Bitki Materyali

Sera denemesinde, özellikle bölgede yaygın olarak ekilen DK 6022, Tector, Teater, DK 585, DK 626, C 7993, Sele, P 3394, RX 770, Pegasso genotipleri kullanılmış ve Tarla denemelerinde ise genotipler sera denemesi sonuçlarına göre P kullanım etkinliği bakımından değerlendirilerek C 7993, Tector ve DK 6022 mısır genotipleri kullanılmıştır.

3.2. Metod

3.2.1 Deneme Topraklarının Özellikleri ve Toprakların Fosfor Durumları

Sera ve tarla denemelerinde kullanılan topraklar, özellikle GAP bölgesinde yoğun olarak tarım yapılan toprak serilerinden örneklemeler yapılarak, yarayışlı fosfor içerikleri düşük olan toprak serilerinden seçilmiştir. Sera denemesinde, İkizce, Harran I ve Çekçek toprak serileri kullanılmış ve sera denemesi sonuclarına göre toprak serileri belirlenerek İkizce ve Harran I serileri üzerine tarla denemeleri kurulmuştur.

3.2.2. Sera Denemesi

Konu ile ilgili deneme, Çukurova Üniversitesi Toprak Bölümü Seralarında her saksıya hava kurusu 2.5 kg toprak gelecek şekilde kurumuştur. Deneme 3 yinelemeli olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuş ve yürütülmüştür. Ekim öncesi her saksıya 350 mg N kg^{-1} Amonyum Sülfat (NH_4SO_4) azot, 100 mg K kg^{-1} Potasyum Nitrat (KNO_3) potasyum ve 0, 25, 50, 100, 200 mg P kg^{-1} Kalsiyum Hidrojen Fosfat ($CaH_4O_8P_2H_2O$) formunda olmak üzere 5 farklı fosfor dozu ve bölgede yaygın olarak ekilen ve gelecek vadeden farklı mısır genotipleri

seçilerek, her saksıya 7 bitki gelecek şekilde ekim yapılmıştır. Bitkiler, çimlenmeden hemen sonra, her saksıya 3 bitki gelecek şekilde seyreltme yapılmıştır. Ekimi takiben bitkiler 54 gün boyunca saf su ile sulanmış ve sonunda toprak yüzeyinin 1 cm üzerinde, tüm bitkiler eşit seviyeden kesilerek hasat edilmiştir. Hasat işlemi gerçekleştikten sonra bitki örnekleri saf su ile yıkanarak 65 ^{o}C'de etüvde kurutularak bitki dokularındaki fosfor içeriklerine bakılmıştır.

3.2.3. Tarla Denemesi

3.2.3.1 Denemenin Kurulması ve Yürütülmesi

Konu ile ilgili deneme, II. ürün mısır yetiştirme döneminde 2003-2004 yıllarında 2 yıl süre ile 5 farklı fosfor dozu ve sera denemesi sonuçlarına göre seçilen 3 farklı mısır genotipi belirlendikten sonra, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma alanında ve Urfa Koruklu Araştırma İstasyonu deneme alanında kurularak yürütülmüştür.

Denemede sıra arası aralık 70 cm ve sıra üzeri 20 cm olacak şekilde, elle ekim yapılmıştır. Parseller, sıra uzunluğu 5m olacak şekilde 4 sıra (2.80 x 5.00 m= 14.00 m^2) olarak düzenlenmiştir. Deneme bölünmüş parseller deneme desenine göre 4 yinelemeli olarak kurulmuştur. Ana parsellerde sera denemesinde seçilen mısır genotipleri ve alt parsellerde fosfor dozları (0, 25, 50, 100 ve 200 kg P da^{-1}) şeklinde ekim yapılmıştır. Ekimden önce parsellere markör çekilerek ve sıra arası ve sıra üzeri aralıklar belirlendikten sonra, her ocağa iki tohum gelecek şekilde 5-6 cm derinliğe tohumlar elle ekilmiştir.

Son toprak işleme sırasında tabana, dekara 15 kg saf N gelecek şekilde üre ve 10 kg saf K_2O gelecek şekilde potasyum sülfat gübresi ve üst gübre olarak 10 kg saf N gelecek şekilde üre, toprak analizleri ve sera denemesi sonuçlarımıza göre tespit edilen sonuçlara göre noksan olan Zn elementi de Zn SO_4 formunda dekara 2 kg gelecek şekilde ve 500 cc/da Primextra yabancı ot ilacı uygulaması yapılmıştır.

3.2.4. Toprak Örneklerinde Yapılan Rutin Analizler ve Uygulama Metotları

Toprak örnekleri, deneme alanını temsil edecek şekilde farklı noktalardan ekim öncesi ve hasat sonrasında 0-30, 30-60 cm toprak derinliğinden alınarak, plastik torbalar içinde laboratuara getirilip, kurutularak 2 mm'lik elekten geçirilmiş ve analize hazır hale getirilmiştir (Richard, 1954).

Toprakların bünye analizleri, hidrometre yöntemi ile (Bouyocous 1951), toprak reaksiyonu (pH), cam elektrotlu Beckman pH metresi ile doygunluk çamurunda ölçülmüştür (U. S. Salinity Laboratory Staff, 1954).

Total tuz, örneklerin doygunluk çamuru hazırlanarak kondaktivite aleti ile elektriksel geçirgenliğin ölçülmesi suretiyle belirlenmiştir (U.S. Soil Survey Staff, 1951). Kireç, Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir (Schlichting ve Blume, 1966) . Organik madde Lichterfelder yaş yakma yöntemine (Schlichting ve Blume, 1966) göre yapılmıştır.

Yarayışlı fosfor analizinde kullanılan sodyum bikarbonat çözeltisi ilk defa Olsen ve ark., (1954) tarafından geliştirilmiş ve bu yöntemin değiştirilmiş şeklinde, askorbik asit ve çok düşük konsantrasyonda antimonil içeren asitlendirilmiş tek bir amonyum molibdat çözeltisi kullanılması ile yapılmıştır (Watanabe ve Olsen, 1965; Murphy ve Riley, 1962).

Toprak örneklerinde alınabilir Fe, Zn, Mn ve Cu analizi kireçli topraklar için geliştirilen DTPA-TEA ekstraksiyon çözeltisi ile belirlenmiştir (Lindsay ve Norwell, 1978). Analiz sonuçları, bulgular ve tartışma kısmında verilmiştir.

3.2.5. Bitki Analizleri

Tarla denemelerinde mısırda çiçeklenme döneminde koçanın hemen altındaki yapraklardan örneklemeler yapılmıştır. Bitki örnekleri normal su ve saf su ile yıkanıp 65^{o}C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulularak (Walsh ve Beaton, 1973) öğütülmüş ve kimyasal analizler için hazırlanmıştır. Hasat sonrası alınan dane örnekleri de aynen yapraklarda olduğu gibi analize hazırlanmıştır. Bitki yaprak ve

dane örnekleri 550 ^{0}C'de 5 saat 30 dakika yakılarak, 0.3 M HCl çözeltisiyle çözündürülmelerinin ardından mavi band filtre kağıdından süzülmüştür.

Bitkideki fosfor içeriği fosfor konsantrasyonuna bağlı olarak oluşan molibdofosforik mavi renk; askorbik asit ve çok düşük konsantrasyonda antimonil içeren asitlendirilmiş tek bir amonyum molibdat çözeltisi kullanılması ile yapılmıştır (Murphy ve Riley, 1962). Bitki dokularından taneye geçen fosfor miktarları (%), bitki dokularındaki yaprak konsantrasyonları ile hasat sonrası tane örneklerindeki fosfor konsantrasyonlarının oranlanması ile hesaplanmıştır.

3.2.6. Hasat

Hasat, parsellerde yanlardan birer sıra ve kenarlardan yarım metre kenar etkisi atıldıktan sonra kalan alandaki (1.40 m x 4.00 m = 5.6 m^2) koçanların tamamı elle toplanarak aşağıdaki formule göre dekara verim hesaplanmıştır (ULGER, 1986).

$$\text{Tane Verimi} = \frac{\text{Parsel verimi (kg) x Parselde olması gereken bitki sayısı X 100}}{\text{Bitki sayısı + 0.5[Olması gereken bitki sayısı- Bitki sayısı] x Alan (m}^2\text{)}}$$

3.2.7. Topraklarda Total-P, Adsorpsiyon, Desorpsiyon ve P Fraksiyonlarının Belirlenmesi

Denemelere ait toprak örneklerinde fosfor adsorpsiyon çalışmalarında, 2 mm'lik elekten geçirilmiş hava kurusu toprak önekleri 2 g tartılarak, toprak örnekleri üzerine 2.5, 5, 10, 20, 30, 40 mg kg^{-1} P içeren 40 ml 0.01 M $CaCl_2$ çözeltisi ilave edilmiş ve 18 saat çalkalandıktan sonra 3000 devir/dakika 10 dakika santrifuj edilerek toprak örneklerindeki sıvı kısım mavi band filitre kağıdından süzülmüş ve ekstrakt çıkarılmıştır. Adsorpsiyon analizinden geri kalan topraklar oda sıcaklığında (25 ^{0}C) saklanarak iyice kurutulduktan sonra desorpsiyon analizi için toprak örnekleri üzerine 40 ml 0.01 M $CaCl_2$ çözeltisi ilave edilmiş ve tekrar 18 saat çalkalandıktan sonra topraklardan desorbe olan P miktarını belirlemek için örnekler tekrar 3000 devir/dakika'da 10 dakika santrifuj edilmiş, toprak örneklerindeki sıvı

kısım mavi band filitre kağıdından süzülerek ekstrakt çıkarılmıştır (Bakheit Said ve Dekarmanji, 1993). Ekstrakt çözeltileri askorbik asit ve çok düşük konsantrasyonda antimonil içeren asitlendirilmiş tek bir amonyum molibdat çözeltisi kullanılması ile mavi renk esasına göre çözeltideki P konsantrasyonları belirlenmiştir (Watanabe ve Olsen, 1965; Murphy ve Riley, 1962).

Fosfor adsorpsiyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılan Langmuir izotermi (Olsen, ve Watanabe, 1957; Derici ve ark., 1995; Derici ve Ağca 1999; Özaçar, 2003, Bilgili ve ark., 2004; Schulz ve Herzog, 2004), toprakların adsorbe ettikleri fosfor miktarını (x/m) ve denge çözeltilerinin fosfor konsantrasyonlarını (C) olarak ifade etmektedir. Bu çalışmalarda analiz yoluyla bulunan C ve hesaplama yoluyla bulunan C/(x/m) değerlerine regrasyon analizi uygulanmaktadır. Regrasyon analizlerinin sonucunda ise Langmuir adsorpsiyon izoterminin aşağıda doğrusallaştırılmış denklemi belirlenmektedir.

$$C/(x/m) = (1/kb)+(C/b)$$

Bu denklemde; b, adsorpsiyon maksimumu, k ise adsorpsiyon enerji katsayısını ifade etmektedir. Bu katsayılar doğrusallaştırılmış Langmuir denkleminin sırasıyla 1/b (eğim) ve 1/kb (kayma) değerlerinde hesaplanmaktadır (Derici ve ark., 1995; Derici ve Ağca 1999; Ağca ve Derici, 1999; Bilgili ve ark., 2004).

Langmuir adsorpsiyon izotermine göre analiz verilerinin değerlendirilmesinde, C ve C/(x/m) değerleri arasında doğrusal ilişkilerin bulunduğu konsantrasyon aralıkları araştırılmıştır (Derici ve ark., 1995; Ağca ve Derici, 1999; Zhou ve Li, 2001; Bilgili ve ark., 2004).

Araştırmaya konu olan topraklarda P desorpsiyonu ise Bakheit Said ve Dekarmanji, (1993) ve Zhou ve Li (2001) ve tarafından aşağıda belirttikleri formule göre hesaplanmıştır;

$$\% \text{ P-Desorpsiyon} = \frac{\text{Çözeltiye serbestlenen P miktarı } (\mu g) \times 100}{\text{Toplam adsorbe olan P } (\mu g)}$$

Topraklarda P fraksiyonları Chang ve Jackson (1957) tarafından geliştirilen ve Syres ve ark. (1972) tarafından değiştirilen yönteme göre toprağın apatit, strengit ve variskit gibi minerallerinde bulunan fosfatı çözündürme güçleri farklı bir seri ekstrakt çözeltilerinde çözündürerek, çözeltiye geçen fosfor molibdofosforik mavi renk esasına göre belirlenmiştir.

1. Al-P+Fe-P : Alminyum ve demire bağlı oklude olmamış fosfor (0.1 N NaOH + 1M NaCl çözeltisinde çözünebilir fosfor).
2. CB-P : Karbonatlar tarafından tutulmuş fosfor (1 M NaCl + 0.3 M Sitrat + 0.1 M Na HCO_3 çözeltisinde çözünebilir fosfor).
3. CDB-P : Demir oksitler ile hidroksi oksitler içerisinde oklude olmuş fosfor (0.3 M Sitrat + Sodyum dithionit + 0.1 M $NaHCO_3$ çözeltisinde çözünebilir fosfor).
4. Ca-P : Kalsiyuma bağlı fosfor (1 N HCl çözeltisinde çözünebilir fosfor).

Topraklarda total P analizi, perklorik asit ($HClO_4$) ile yaş yakılan toprak örneğinde çözünemez halde bulunan fosforu çözebilir hale dönüştürdükten sonra vanadamolibdat ile oluşan sarı renk esasına göre kolorimetrik olarak belirlenmiştir (Kaçar, 1994)

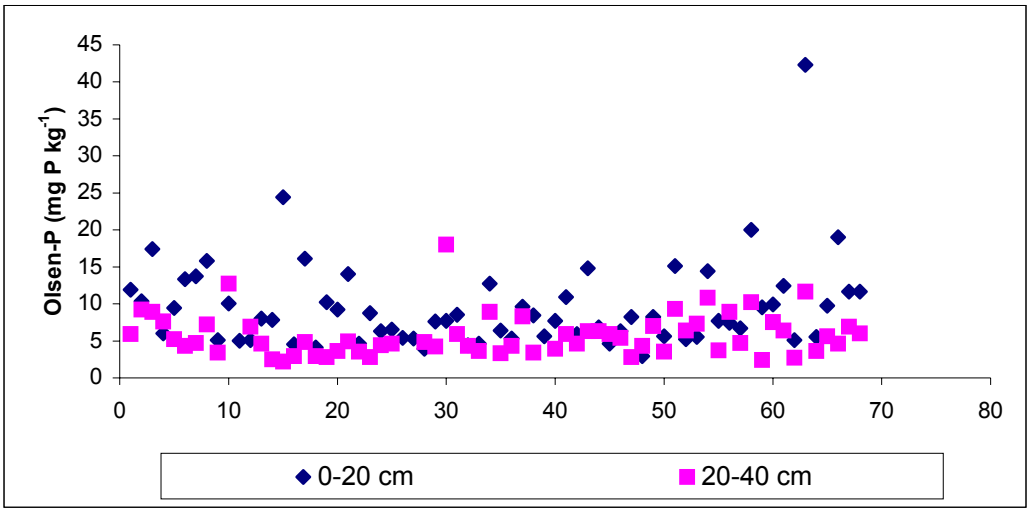
3.2.8. Verilerin Değerlendirilmesi

Araştırmada elde edilen tüm bitki, verim ve laboratuar verileri MSTAT-C bilgisayar paket programı kullanılarak bölünen bölünmüş parseller deneme desenine göre varyans analizi ve Duncan testi yapılarak uygulamalar arasında gruplamalar yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Deneme Topraklarının Önemli Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Araştırma konusu olan ve bölgede geniş olarak yayılım gösteren toprak serileri sera denemesinde ve tarla denemelerinde kullanılmak amacıyla detaylı olarak taranmış ve GAP bölgesi topraklarından toplam 69 noktadan ve iki farklı derinlikten (0-20 ve 20-40 cm) alınan toprak örneklerinde fosfor analizleri yapılarak, sonuçlar kritik fosfor değerleri açısından değerlendirildikten sonra seçilen topraklarda denemeler yürütülmüştür. GAP bölgesi topraklarında yapılan fosfor analizlerine ait değerler Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. GAP Bölgesi Topraklarına Ait Olsen-P (mg kg^{-1}) Değerleri.

Bölge topraklarında yapılan analizler dikkate alındığında, toprakların yarayışlı fosfor değerleri 2.2-42.3 mg kg^{-1} arasındaki geniş sınırlarda değişiklik göstermiştir. Topraklarda bitkiler için yeterli olan kritik fosfor düzeyinin 10-15 mg kg^{-1} (Torrent ve Delgado 2001) olduğu dikkate alındığında, bölge topraklarının % 65'inde fosfor noksanlığı gözükürken, % 20'sinde yeterli ve kalan % 15'inde ise aşırı ve bilinçsiz gübrelemeden dolayı yüksek düzeylerde fosfor bulunmaktadır.

Araştırma, GAP toprak serilerinde yapılan fosfor analizleri değerlerine göre seçilen İkizce, Harran I ve Çekçek toprak serileri sera denemesinde ve tarla

denemelerinde ise İkizce ve Harran I serileri üzerinde 2 yıl boyunca yürütülmüştür. Denemelerin kurulduğu toprak serilerinin önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4. 1. Deneme Alanına Ait Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Toprak Serisi	Toprak Sınıflandırma	Derinlik (cm)	Tuz (%)	pH	Tekstür			$CaCO_3$ (%)	O.M. (%)
					% Kum	% Silt	% Kil		
İkizce	Vertic Torrifluvent	0-30	0.078	7.6	6.5	27.2	66.3	12	1.1
		30-60	0.075	7.6	6.0	26.3	67.7	17	0.8
Harran I	Vertic Calciorthid	0-30	0.120	7.7	21.4	33.2	45.4	30	0.9
		30-60	0.112	7.8	20.1	29.4	50.5	30	0.8
Çekçek	Typic Torrifluvent	0-30	0.098	7.5	14.4	32.0	53.6	24	1.2
		30-60	0.115	7.6	13.2	29.8	57.0	26	0.9

Çizelge 4. 2. Deneme Alanı Topraklarına Ait DTPA'da Ekstrakte Edilebilir Cu, Mn, Fe, Zn ve Olsen-P Sonuçları

Toprak Serisi	Derinlik (cm)	Cu	Mn	Fe	Zn	Olsen-P	Olsen-P
		(mg kg^{-1})					(kg P_2O_5 ha^{-1})
İkizce	0-30	1.22	6.43	2.06	0.40	5.6	28.7
	30-60	1.21	3.62	2.79	0.48	2.4	12.3
Harran I	0-30	0.87	4.26	1.45	0.19	6.7	34.3
	30-60	0.74	4.00	2.78	0.17	3.6	18.5
Çekçek	0-30	0.85	3.06	1.31	0.29	6.9	35.4
	30-60	0.74	3.95	1.25	0.22	2.8	14.4

Çizelge 4.1 ve 4.2. incelendiğinde, denemelerde kullanılan toprak serilerinin, yüksek oranda kil içeriğinin (45.4-66.3) yanı sıra hafif alkalin pH (7.5-7.7) ve düşük organik madde içeriğine (% 0.9-1.3) sahip oldukları görülmektedir. Topraklar kireç içerikleri bakımından değerlendirildiklerinde ise İkizce serisi orta kireçli (% 12), Çekçek ve Harran I toprak serileri ise yüksek düzeylerde kireç oranlarına (% 24-30) sahiptirler.

Denemede kullanılan topraklar yarayışlı fosfor (olsen-P) açısından incelendiklerinde, fosfor içeriklerinin (5.6-6.9 mg kg^{-1}) yetersiz bulunduğu saptanmıştır ve genellikle 8-25 mg kg^{-1} arasında fosfor değerinin bitki beslenmesi açısından yeterli olduğu (Alpaslan ve ark., 1998) bildirilmektedir.

Deneme toprakları mikro elementler yönünden değerlendirildiklerinde ise yeterli oranda Cu (0.85-1.22 mg kg^{-1}), yeterli oranda Fe (1.31-2.06 mg kg^{-1}), Mn konsantrasyonu, Çekçek serisinde 3.06 mg kg^{-1} ile çok az iken, Harran I ve İkizce serilerinde (4.26-6.43 mg kg^{-1}) az, çinko konsantrasyonu açısından değerlendirildiğinde ise tüm serilerde (0.19-0.40 mg kg^{-1}) yetersiz konsantrasyonlardadır (Alpaslan ve ark., 1998).

Çizelge 4. 3. Deneme Topraklarına Ait Kil Fraksiyonları ve Kil Mineralleri (Dinç ve ark., 1988)

Toprak Serisi	Derinlik (cm)	Kaolinit	İllit+ paligorskit %	Vermikulit	Smektit
İkizce	18-39	21	16	28	35
	49-88	22	14	19	45
Harran I	14-25	15	28	11	46
	25-55	15	30	11	44
	87-135	15	19	28	35
Çekçek	14-50	16	8	2	74
	50-98	22	12	1	65

Denemede kullanılan toprakların kil fraksiyonu içerikleri (Çizelge 4.3) incelendiğinde, İkizce toprak serisinin yüzey horizonunda toplam genişleyebilir kil oranı sabit kalmakta ancak üst toprakta vermukulit ve alt toprakta ise Smektit baskın bulunurken, Harran I serisinin üst horizonu birbirine çok benzemekte ve alt horizonunda Kaolinit, illit + poligorskit ve Smektit aleyhine artmaktatır. Çekçek serisinde Smektit tipi kil mineralleri son derece baskın bulunmaktadır (Dinç ve ark., 1988).

İkizce toprak serisinin yüzey horizonu diğer serilerle karşılaştırıldığında özellikle Kaolinit tipi kil minerallerinin oranı % 21 iken, Harran I ve Çekçek serilerinde % 15-16 oranında Kaolinit tipi kil minerali bulunmaktadır.

4.2. Deneme Topraklarında Fosfor Fraksiyon Çalışmaları

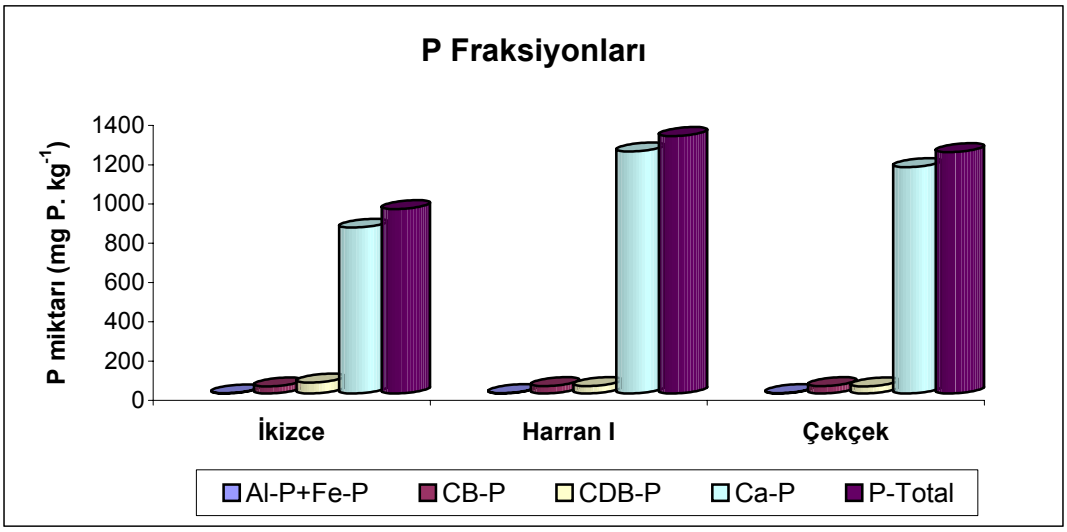
Araştırma konusu olan İkizce, Harran I ve Çekçek serileri topraklarının fosfor fraksiyonlarını gösteren değerler Çizelge 4.4'de ve bu değerlerle ilgili grafikler ise Şekil 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Deneme Topraklarına Ait Toplam Fosfor ve Toplam Fosforun Fraksiyonlarının mg P kg^{-1} Olarak Değerlendirilmesi

Toprak Serisi	Al-P+Fe-P	CB-P	CDB-P (mg P kg^{-1})	Ca-P	P_{inorg}-Total
İkizce	1.5	36.2	55.7	846.2	939.7
Harran I	1.8	38.0	38.5	1234.3	1312.6
Çekçek	1.8	38.0	36.5	1154.3	1230.5

Topraklarımızın organik madde içeriği çok düşük olduğundan dolayı mevcut bulunan organik fosfor miktarı, toplam fosforun % 10 15'i kadarını oluşturduğundan (Kaçar ve Katkat 1997) dikkate alınmamıştır. Çizelge 4.4 incelendiğinde, araştırmaya konu olan toprak serilerinde özellikle total-P_{inorg}'un büyük bir bölümünü kalsiyuma bağlı fosfor oluşturmaktadır. İkizce serisinde total-P_{inorg}'un % 90'ı, Harran I ve Çekçek serisinde ise % 94'ü kalsiyuma bağlı fosfordan oluşmaktadır. 8-25 mg P kg^{-1} fosfor değerlerinin toprakta bitkiler açısından yeterli olduğu düşünüldüğünde, total-P_{inorg} değerlerinin gerçekten dikkate değer biçimde, bitki ihtiyacının çok üzerinde (939.7-1230.5 mg P kg^{-1}) olduğu görülmekte, ancak bitkiye yarayışlı fosfor açısından değerlendirildiğinde (Çizelge 4.2) tüm serilerde yarayışlı fosfor miktarı bitki gereksiniminin çok altında (2.4-6.9 mg P kg^{-1}) bulunmaktadır. Çizelge 4.4 incelendiğinde, total inorganik fosfor içerisinde, fosforun fraksiyonlarının Ca-P>CDB-P>CB-P>Al-P+Fe-P şeklinde dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Yapılan birçok çalışmada, kireçli topraklarda fosforun özellikle kalsiyum tarafından bağlanarak bitkilere yarayışsız hale geldiği belirtilmektedir (Ryanve ark., 1985; Bakheit Said ve Dakermanji, 1993; McGechan 2002; McGechan ve Lewis, 2002; Riffaldi ve ark., 2002; Sardi ve Csatho 2002; Braschi ve ark., 2003; Gahrooee, 2003; Shen ve ark., 2003; Khırredine ve Abdennebi, 2004).

Demir oksitler açısından Çizelge 4.4 incelendiğinde, İkizce serisinde Fe oksitler ve sulu oksitlere tutunmuş olarak bağlı bulunan fosfor bileşiklerinin de total-P_{inorg}'un, % 6'sını ve Harran I ve Çekçek serilerinde % 3'ünü oluşturduğu görülmektedir. Demir oksitlerin özellikle kireçli topraklarda fosforun bağlanarak yarayışsız forma dönüştürülmesinde önemli rolü olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmektedir (Fox ve Kamprath, 1970; Ryan ve ark., 1985; Matar ve ark., 1992; Bakheit Said ve Dakermanji, 1993; Zhou ve Li, 2001; Shen ve ark., 2003; McBeath ve ark., 2004).



Şekil 4.2. Deneme Topraklarına Ait Fosfor Fraksiyonlarının Dağılımı

4.3. Topraklarda Adsorpsiyon İzoterm Çalışmaları

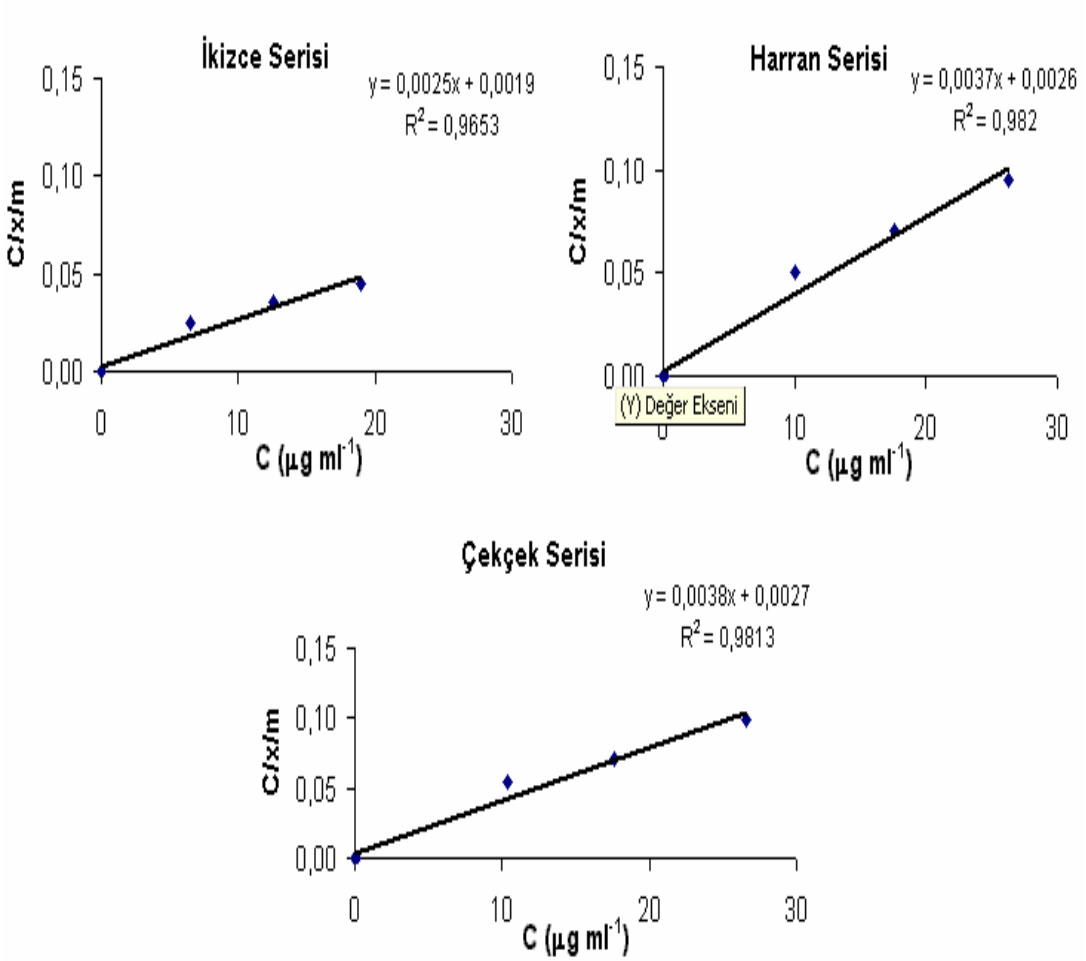
Araştırma konusu olan İkizce, Harran I ve Çekçek toprak serilerinde yapılan fosfor adsorpsiyonu ile ilgili çalışmada, orjinal fosfor çözeltisi konsantrasyonları C_0, denge çözeltisi fosfor konsantrasyonları C, topraklar tarafından adsorbe edilen fosfor miktarları x/m ve C/x/m değerleri Çizelge 4.5'de ve bu değerlere ait serilerin (C/x/m)/C değerlerini ve bu değerlere ait regresyon eğrilerini gösteren grafikler Şekil 4.3'de, uygulamalardan sonra elde edilen denge çözeltilerinin b, adsorpsiyon maksimumu ve k, adsorpsiyon enerji katsayılarıyla birlikte istatistiksel veriler Çizelge 4.6'da verilmiştir. Toprakların fosfor adsorpsiyonu ile % adsorpsiyon

değerleri Çizelge 4.8 ve bu değerlere ait grafik ise Şekil 4.4'de, Çizelge 4.7' de deneme topraklarının bazı fiziksel, kimyasal özellikleri ile adsorpsiyon parametreleri (b, k) arasındaki korelasyon ve korelasyon katsayıları verilmiştir. Deneme topraklarının % $CaCO_3$, % kil ve % P adsorpsiyonları arasında ki ilişki Şekil 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 incelendiğinde, topraklara başlangıçta benzer konsantrasyonlarda orijinal çözeltiler uygulanmasına karşın, topraklar tarafından adsorbe edilen fosfor miktarı ve buna bağlı olarak denge çözelti konsantrasyonları karşılaştırıldığında aralarında önemli farklılıkların olduğu görülmüştür. Toprak örneklerine uygulanan orijinal çözeltilerin fosfor konsantrasyonları aralığı 2.5-40 $\mu g\ ml^{-1}$ olmasına karşılık, denge çözeltilerinde bu aralık seriler arasında farklılıklar göstererek İkizce serisinde 0.026-18.95 $\mu g\ ml^{-1}$, Harran I serisinde 0.026-26.25 $\mu g\ ml^{-1}$ ve Çekçek serisinde 0.029-26.60 $\mu g\ ml^{-1}$ arasında değişiklikler göstermiştir. Başlangıç çözeltisinin fosfor konsantrasyonlarına bağlı olarak denge çözeltisinin fosfor konsantrasyonları da artış göstermiştir (Derici ve ark., 1995; Ağca ve Derici, 1999; Derici ve Ağca, 1999; Bakheit Said ve Dakermanji, 1993; Sui ve ark., 2000; Zhou ve Li 2001; Bilgili ve ark., 2004).

Deneme topraklarına uygulanan 100 ve 200 μg P uygulamaları, 50 μg P uygulaması ile karşılaştırıldığında C/x/m değerleri önce azalmış ve daha sonra artan fosfor konsantrasyonu ile birlikte artış göstermiştir (Ağca ve Derici, 1999). Bu azalma özellikle düşük konsantrasyonda uygulanan fosforun daha yüksek oranda topraklar tarafından adsorbe olunduğunu ve yapılan fosfor uygulamalarında toprakların önce fosforca doygun düzeye gelerek, adsorpsiyon güçlerinin düşmesi veya adsorpsiyon noktalarının doygunluğa ulaşması ile açıklanabilir (Griffin ve Jurinak, 1973).

Araştırma konusu topraklarla ilgili C/(x/m) ve C arasındaki ilişki incelendiğinde (Şekil 4. 3), İkizce toprak serisine uygulanan Langmuir denklemi r^2=0.9653, Harran I serisi r^2=0.982 ve Çekçek serisinde ise r^2=0.9813 gibi yüksek korelasyonlar göstererek özellikle fosforun konsantrasyonu ve topraklar tarafından adsorbe olan fosfor arasında yüksek bir ilişkiyle birlikte araştırmaya konu olan topraklarda Langmuir izoterminin de uyguluğunu göstermektedir.



Şekil 4. 3. Toprak Serilerine Ait (C/x/m)/C Değerleri ve Regresyon Sonuçları

Toprak serilerine ait adsorbsiyon maksimumu olan b ve adsorpsiyon enerji katsayısı olan k, açısından Çizelge 4.5 ve 4.6 incelendiğinde, İkizce toprak serisi 400 µg g^{-1}, Harran I serisinde 270 µg g^{-1} ve Çekçek serisinde ise 263 µg g^{-1} arasında bir değişiklik göstermektedir. Deneme topraklarının adsorpsiyon enerji katsayıları incelendiğinde ise, İkizce serisi 0.76 ml μg^{-1}, Harran I serisi 0.71 ml μg^{-1} ve Çekçek serisinde ise 0.70 ml μg^{-1} olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda İkizce serisinde diğer serilere göre daha yüksek bir fosfor tutma gücü olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. 5. Deneme Alanına Ait Toprakların Başlangıç Çözeltisi C_0 (µg P), Denge Çözeltisi C (µg P ml^{-1}), Topraklar Tarafından Adsorbe Olan Fosfor Miktarı (x/m) ve C/x/m Değerleri

Toprak Serisi	C_0 (µg P ml^{-1})	C_0 (µg P)	C (µg P ml^{-1})	x/m (µg P)	C/x/m
İkizce	2.5	50	0.026	49.5	0.0005
	5	100	0.029	99.4	0.0003
	10	200	0.053	198.9	0.0003
	20	400	6.550	269.0	0.0243
	30	600	12.550	349.0	0.0360
	40	800	18.950	421.0	0.0450
Harran I	2.5	50	0.026	49.5	0.0005
	5	100	0.038	99.2	0.0004
	10	200	0.080	198.4	0.0004
	20	400	10.050	199.0	0.0505
	30	600	17.600	248.0	0.0710
	40	800	26.250	275.0	0.0955
Çekçek	2.5	50	0.029	49.4	0.0006
	5	100	0.042	99.2	0.0004
	10	200	0.082	198.4	0.0004
	20	400	10.350	193.0	0.0536
	30	600	17.650	247.0	0.0715
	40	800	26.600	268.0	0.0993

Çizelge 4. 6. Deneme Alanına Ait Toprakların Adsorpsiyon Maksimumu (b), Adsorpsiyon Enerji Katsayısı (k) Değerleri

Toprak Serisi	k (ml µg^{-1})	b (µg g^{-1})	r^2	F	P
İkizce	0.76	400	0.965	111.982	0.0001
Harran I	0.70	270	0.982	219.027	0.0001
Çekçek	0.71	263	0.981	211.107	0.0001

Çizelge 4. 7. Deneme Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ile Adsorpsiyon Parametreleri (b, k) Arasındaki Korelasyon ve Korelasyon Katsayıları

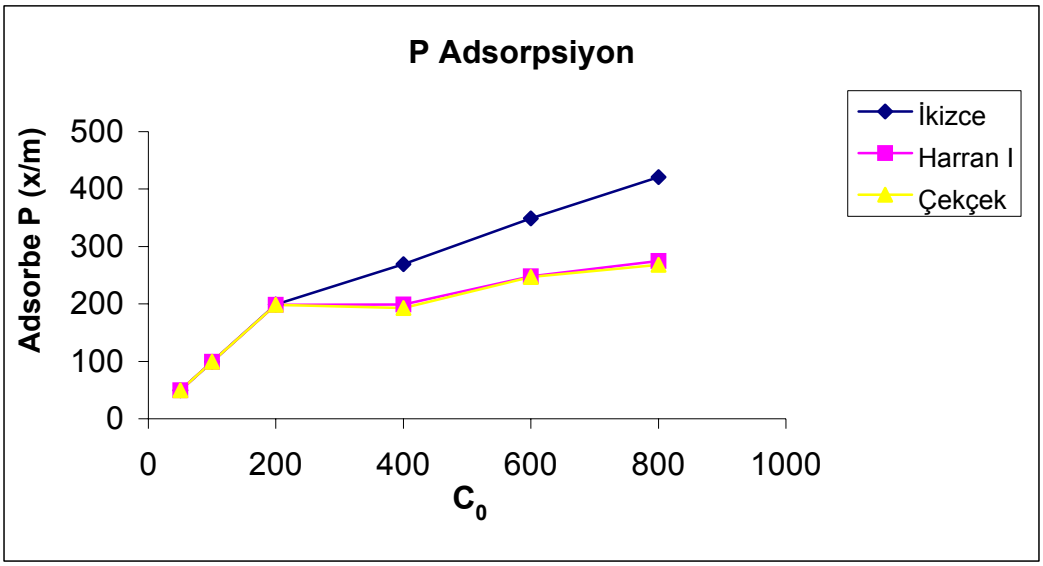
	k (ml μg^{-1})	b ($\mu g\ g^{-1}$)
k		0.980
b	0.980	
pH	-0.156	0.045
Kum	-0.945	0.861
Silt	-0.999*	-0.972
Kil	0.970	0.902
$CaCO_3$	-0.984	-0.929
O.M.	0.156	-0.045
Al-P+Fe-P	0.629	0.46
CB-P	0.629	0.460
CDB-P	-0.551	-0.373
Ca-P	0.768	0.625
Kaolinit	1.000***	0.980
İllit + Poligorskit	-0.268	-0.070
Vermukulit	0.876	0.955
Smektit	-0.601	-0.749

*, *** sırasıyla istatistiksel olarak önem seviyeleri 0.05 ve 0.001'dir.

Toprakların özellikle adsorpsiyon maksimumu olan b ve adsorpsiyon enerji katsayısı olan k değerleri, toprakların fosforu adsorbe etmeleri açısından önemli bir gösterge oluşturmaktadır. Toprakların artan adsorbsiyon maksimumu b ve adsorpsiyon enerji katsayısı olan k değerleri ile beraber fosfor adsorpsiyonu da artış göstererek, topraklarda fosfor yarayışsız hale gelmektedir. Analiz sonuçlarında elde edilen b ve k değerleri literatür verileri ile benzerlik göstermektedir (Derici ve ark., 1995, Ağca ve Derici, 1999, Sui ve ark., 2000, Bilgili ve ark., 2004). Toprakların adsorsiyon maksimumu olan b ve adsorpsiyon enerji katsayısı olan k değerleri ile pH, kum, silt, $CaCO_3$, Fe oksitler ve sulu oksitlerce tutunmuş P (CDB-P) ve illit + Poligorskit gibi bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri arasında negatif bir ilişki gösterirken; organik madde, Al ve Fe bileşiklerince oklude olmuş fosfor (Al P+Fe P), Karbonatlar tarafından tutulmuş P (CB-P), Ca ile bağlı P (Ca P) ve diğer kil tiplerinin arasında ise pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Özellikle toprakların Kaolinit ($P<0.001$) içeriğinin artması ile birlikte adsorbe olan fosfor miktarında da belirgin bir artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. 8. Deneme Topraklarının % Fosfor Adsorpsiyon Değerleri

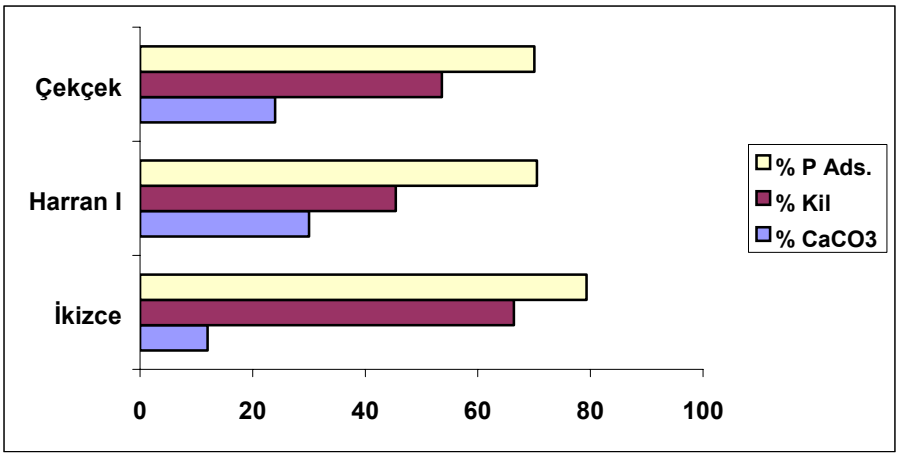
Toprak Serisi	C_0 (µg P)	x/m (µg P)	Adsorpsiyon (%)
İkizce	50	49.5	99.0
	100	99.4	99.4
	200	198.9	99.5
	400	269.0	67.3
	600	349.0	58.2
	800	421.0	52.6
Harran I	50	49.5	99.0
	100	99.2	99.2
	200	198.4	99.2
	400	199.0	49.8
	600	248.0	41.3
	800	275.0	34.4
Çekçek	50	49.4	98.8
	100	99.2	99.2
	200	198.4	99.2
	400	193.0	48.3
	600	247.0	41.2
	800	268.0	33.5



Şekil 4. 4. Deneme Topraklarının Fosfor Adsorpsiyon Değerleri.

Deneme topraklarının fosfor adsorpsiyon değerleri incelendiğinde ise, Çizelge 4. 8'de ve Şekil 4. 4'de görüldüğü gibi, İkizce ve Harran I serilerinde 50 μg P uygulamasında % 99'luk bir fosfor adsorpsiyonu gerçekleşmişken, Çekçek serisinde % 98.8'lik bir oran belirlenmiştir. Uygulanan fosforun konsantrasyonunun, düşük fosfor düzeyinden yüksek fosfor konsantrasyon düzeylerine doğru artması ile adsorbe olan fosfor miktarı da artmıştır. Uygulamalardaki en yüksek doz olan 800 μg P uygulamasında ise, İkizce serisinde % 52.6, Çekçek serisinde % 33.5 ve Harran I serisinde ise % 34.4 bir adsorbe oranı ile uygulanan fosfor çözeltisinin İkizce serisinde 421 μg P, Harran I serisinde 275 μg P ve Çekçek serinde 268 μg P'lik bir kısmının toprak tarafından bağlanmış olduğu belirlenmiştir. Toprakların fosfor adsorpsiyonları özellikle orijinal çözelti konsantrasyonunun 50-200 μg P olduğu uygulamalarda, toprağa uygulanan fosforun büyük bir çoğunluğu topraklar tarafından adsorbe olunmuştur. Topraklar fosfor adsorpsiyonu açısından değerlendirildiğinde, İkizce serisinin diğer toprak serileri ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir adsorbsiyon kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Uygulanan fosfor çözeltileri değerlendirildiğinde artan fosfor konsantrasyonu ile topraklar tarafından adsorbe olan fosfor miktarı artarken, % adsorpsiyon değerleri fosfor çözeltisinin konsantrasyonunun artması ile azalarak aralarında negatif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Özellikle 50, 100 ve 200 μg P uygulamalarından yaklaşık aynı oranda adsorpsiyon yüzdesi belirlenirken, artan fosfor dozu ile birlikte adsorbe olan fosfor konsantrasyonunda, yüzde olarak bir düşüş olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Yapılan bir diğer çalışmada da artan fosfor dozuna bağlı olarak topraklar tarafından adsorbe olan fosfor miktarının arttığı, aynı zamanda % adsorpsiyonunun azalarak, toprakların fosfor ile doygun hale gelerek adsorpsiyon yüzdesinin azaldığı araştırıcılar (Bakheit Said ve Dakermanji, 1993; Zhou ve Li 2001; Zhang ve ark., 2003) tarafından rapor edilmiştir.

Toprakların P adsorpsiyonları ve % $CaCO_3$ ile % kil arasındaki ilişkiler incelendiğinde, özellikle İkizce serisi diğerleri ile karşılaştırıldığında, düşük kireç içeriğine rağmen yüksek adsorpsiyon oranına sahip bulunurken, bunun aksine Harran I serisinde ise düşük kil içeriğine rağmen özellikle ortalama % P adsorpsiyon değerlerinin yüksek olması dikkat çekicidir (Şekil 4. 4).



Şekil 4.5. Deneme Topraklarının % $CaCO_3$, % Kil ve % P Adsorpsiyonları Arasındaki İlişki.

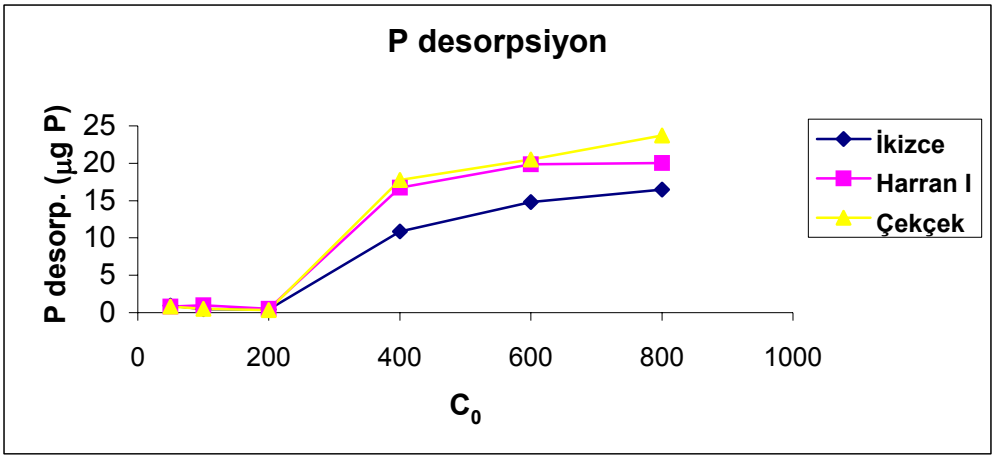
Kireç ve toprakların P adsorpsiyonu arasında negatif ilişki görülmektedir (Çizelge 4.7). Bu konu ile ilgili birçok çalışmada özellikle fosforun topraklar tarafından adsorpsiyonunda kirecin (% $CaCO_3$) önemli bir etkisinin olduğu ve kil içeriğinin ve kil tipinin topraklarda fosfor adsorpsiyonunu önemli oranda artırdığı birçok araştırmacı (Fox ve Kamprath, 1970; Ryan ve ark., 1985; Bakheit Said ve Dakermanji, 1993; Zhou ve Li 2001; Scherer ve Sharma, 2002; Shen ve ark., 2003; Barros ve ark., 2005) tarafından rapor edilmiştir.

İkizce serisinde diğer seriler göre, topraklarda fosfor adsorpsiyonunun yüksek olması Kaolinit tipi kil mineralinin özellikle yüzey toprağında diğer serilere göre daha baskın olmasından kaynaklanabilir; Kaolinitin adsorbsiyon enerji katsayısı üzerine ($P<0.001$) belirgin bir etkisi vardır (Çizelge 4.7). Konu ile ilgili yapılan birçok çalışmada özellikle fosforun adsorpsiyonu açısından değerlendirildiğinde topraklarda, % kil oranından daha çok, kil tipinin önemli rol oynadığı ve Kaolinit tipi kil minerallerinin fosfor adsorpsiyonunda önemli etki ettiği belirtilmektedir (Matar ve ark., 1992; Güzel ve ark., 2002). Ayrıca İkizce serisinin diğer serilerden farklı olarak Fe oksitlerce bağlı bulunan fosfor miktarı da total P'un % 6'sını oluşturmaktadır. Birçok araştırmacı (Fox ve Kamprath, 1970; Ryanve ark., 1985; Bakheit Said ve Dakermanji, 1993; Torrent, 2000; Zhou ve Li 2001; Scherer ve Sharma, 2002; Shen ve ark., 2003; Siemens ve ark., 2004) tarafından kireçli topraklarda özellikle kalsiyuma bağlı fosforun yanı sıra topraklarda mevcut bulunan

Fe oksitler ve sulu oksitlerinden de fosforun bitkiler için yarayışsız hale geçmesinde önemli rol oynadığı belirtilmiştir.

4.4. Toprakların Desorpsiyon Çalışmaları

Araştırma konusu olan İkizce, Harran I ve Çekçek toprak serileri üzerinde uygulamalardan sonra elde edilen denge çözeltilerindeki adsorpsiyon ve desorpsiyon arasındaki ilişki % olarak Çizelge 4.9'da ve konuyla ilişkili grafikler ise Şekil 4. 6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Topraklarının Adsorpsiyon ve Desorpsiyon Arasındaki % Olarak İlişki

Çizelge 4. 9 ve Şekil 4.6 incelendiğinde deneme topraklarının desorpsiyon özelliklerinin farklı olduğu ve uygulanan doz ile birlikte topraklarda desorbe olan fosfor miktarının arttığı görülmektedir. Özellikle topraklar birbiri ile karşılaştırıldığında İkizce serisi 50 µg P içeren orijinal çözeltinin 49.5 µg P'luk kısmını adsorbe ederken, adsorbe edilen miktarın, $CaCl_2$ çözeltisi uygulandığında % 0.96'lık kısmını desorbe etmiş ve 100 ve 200 µg P uygulamasında ise uygulama dozunun artırılmasına karşın desorpsiyon miktarı artmakla beraber desorpsiyon oranı (% 0.48-0.44) belirgin bir biçimde değişmemiştir.

Çizelge 4. 9. Topraklarının Adsorpsiyon ve Desorpsiyon Değerleri Arasındaki İlişki

Toprak Serisi	C_0 (µg P)	x/m (µg P)	Desorpsiyon (µg P)	Desorpsiyon (%)
İkizce	50	49.5	0.48	0.96
	100	99.4	0.48	0.48
	200	198.9	0.88	0.44
	400	269.0	29.22	10.86
	600	349.0	51.65	14.80
	800	421.0	69.32	16.46
Harran I	50	49.5	0.41	0.82
	100	99.2	0.99	0.99
	200	198.4	0.99	0.50
	400	199.0	33.30	16.73
	600	248.0	49.27	19.87
	800	275.0	55.05	20.02
Çekçek	50	49.4	0.41	0.83
	100	99.2	0.51	0.51
	200	198.4	0.71	0.36
	400	193.0	34.32	17.78
	600	247.0	50.63	20.50
	800	268.0	63.54	23.71

Uygulama dozunun 400, 600 ve 800 µg P'a yükseltilmesi ile topraklarda desorpsiyon oranı da (% 10.86, 14.80 ve 16.46) artmıştır. Harran I serisinde desorpsiyon oranı sırasıyla % 0.82, 0.99, 0.50, 16.73, 19.87 ve 20.02 oranında artarken, Çekçek serisinde % 0.83, 0.51, 0.36, 17.78, 20.50 ve 23.71 oranında bir desorpsiyon gerçekleşmiştir. Toprakların tıpkı adsorpsiyon güçlerinin farklı olduğu gibi desorpsiyon güçlerinin de farklı olduğu görülmektedir ve uygulanan fosfor dozunun artırılması ile beraber desorpsiyon güçlerinin de arttığı (Bakheit Said ve Dakermanji, 1993, Barros ve ark., 2005), buna karşın fosforun büyük bir çoğunluğunun topraklar tarafından bağlanarak artık etkinin oluştuğu, doğru bir gübreleme açısından ve çevre üzerine olan olumsuz etkilerinden dolayı uygulamada özellikle dikkatli olunması gerçeği birçok araştırmacı (Beck ve Sanchez, 1994; Amrani ve ark., 1999; Gallet ve ark., 2003) tarafından bildirilmektedir.

4.5. Farklı Toprak Serilerinde Yürütülen Sera Denemesi

4.5.1 Genel

GAP ve Çukurova koşullarında yaygın olarak kullanılan 10 farklı genotipin sera koşullarında fosfor etkinlikleri araştırılmış ve özellikle bölgede yaygın olarak ekilen DK 6022, Tector, Teater, DK 585, DK 626, C 7993, Sele, P 3394, RX 770, Pegasso genotipleri sera denemesinde kullanılmıştır. Bu amaçla deneme 54 gün süreyle yürütülmüş ve hasat sonrası analizler yapılarak veriler değerlendirilmiştir.

4.5.2 Mısır Bitkisi Kuru Madde Verimi

Araştırmada kullanılan 10 farklı mısır çeşidinin, beş farklı dozda fosfor (0, 25, 50, 100 ve 200 mg kg^{-1}) uygulamaları altında ortalama kuru madde verimiyle ilgili istatistiki veriler ve Duncan çoklu karşılaştırmalarına ait veriler Çizelge 4.10'da ve bu verilere ait grafikler Şekil 4.7'de verilmiştir.

Deneme sonuçları incelenirken, bitki kuru madde verimleri dikkate alındığında yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre tüm serilerde, çeşitler arasında ($P<0.001$), uygulanan fosfor dozları ($P<0.001$) ve çeşit ile fosfor etkileşimi arasında istatistiksel olarak ($P<0.001$) önemli farklılıklar görülmüştür (Çizelge 4.10).

Çeşitler arasında bitki kuru madde verimleri değerlendirildiğinde (Çizelge 4.10'da), Çekçek serisinde en düşük kuru madde verimi Teater (7.51 g $saksı^{-1}$) çeşidinde ve en yüksek kuru madde verimi ise Pegasso (23.08 g $saksı^{-1}$) çeşidinde ve 23.95 g $saksı^{-1}$ DK 6022 çeşidinde elde edilmiştir. Harran I serisinde 4.65 g $saksı^{-1}$ ile en düşük kuru madde verimi Tector çeşidinde ve en yüksek kuru madde verimi Pegasso (19.46 g $saksı^{-1}$) çeşidinde elde edilmiştir. İkizce serisinde 9.48 g $saksı^{-1}$ ile en düşük kuru madde verimi Teater çeşidinde ve en yüksek kuru madde verimi ise DK 626 çeşidinde (22.82 g $saksı^{-1}$) elde edilmiştir. Toprak serileri ve çeşitler, kuru madde verimleri açısından incelendiğinde, diğer çeşitlerin kuru madde verimleri bu değerler arasında değişiklik göstermiştir.

Fosfor uygulamaları ve bitki kuru madde verimleri arasındaki ilişki incelendiğinde, Çekçek serisinde fosfor uygulaması yapılmayan kontrol dozunda kuru madde verimi 8.10 g saksı$^{-1}$ olurken, artan fosfor uygulamaları ile birlikte en yüksek bitki kuru madde miktarı 200 mg P kg^{-1} fosfor uygulamasında kontrol dozuna göre % 106 artış göstererek 16.73 g saksı$^{-1}$ kuru madde elde edilmiştir. İkizce serisinde kontrol dozunda bitki kuru madde verimi 7.16 g saksı$^{-1}$ iken artan fosfor dozu ile birlikte 200 mg P kg^{-1} dozunda % 132 artış göstererek 16.64 g saksı$^{-1}$ olmuştur. Harran serisinde (Çizelge 4.10) incelendiğinde, artan fosfor dozuna karşı mısır çeşitleri diğer iki seriden farklı bir tepki göstermişlerdir. Fosfor uygulanmayan kontrol dozunda 9.42 g saksı$^{-1}$ kuru madde elde edilirken artan fosfor uygulaması ile birlikte bitki kuru madde veriminde bir düşüş söz konusu olmuş ve % 21 azalarak fosforun 200 mg P kg^{-1} olan dozunda 7.43 g saksı$^{-1}$ kuru madde verimi elde edilmiştir.

Toprak serilerinde bitki kuru madde verimleri ayrı ayrı ÇeşitxDoz etkileşimi açısından incelendiğinde, Çekçek serisinde fosfor uygulaması yapılmayan kontrol dozunda en düşük kuru madde verimi 3.35 g saksı$^{-1}$ DK 626 çeşidinde elde edilirken, en yüksek kuru madde verimi ise fosforun en yüksek doz olduğu 200 mg kg^{-1} dozunda 32.63 g saksı$^{-1}$ ile Pegasso çeşidinde elde edilmiştir.

Harran I serisinde özellikle fosfor uygulamalarına karşı, çeşitler arasında farklı tepkiler elde edilmiştir. Harran I serisinde özellikle diğer toprak serilerinden farklı olarak Zn konsantrasyonu (0.19 mg kg^{-1}) bitki gelişimi için oldukça yetersiz ve kritik düzeydedir (Çizelge 4.2), özellikle artan fosfor uygulamaları ile toprakta bulunan Zn'nun, topraktan bitkiler tarafından alınamaması nedeniyle Pegasso (14.13-28.10 g saksı$^{-1}$) haricinde tüm çeşitlerde Zn elementinin noksanlığı ve buna ilaveten fosforun antogonistik etkisi nedeniyle özellikle kuru madde verimleri olumsuz yönde etkilenmiş olabilir (Çizelge 4.10, Şekil 4.7). Harran I serisinde en düşük kuru madde miktarı 3.45 g saksı$^{-1}$, RX 770 çeşidinde ve en yüksek doz olan 200 mg kg^{-1} dozunda ve en yüksek kuru madde miktarı ise yine fosforun 200 mg kg^{-1} dozunda Pegasso çeşidinde 28.10 g saksı$^{-1}$ olarak belirlenmiştir. İkizce serisinde ise, Çekçek serisine benzer olarak artan fosfor uygulamaları ile birlikte bitki kuru madde verimleri de artış göstererek en düşük kuru madde miktarı fosfor uygulanmayan kontrol dozunda

2.97 g saksı$^{-1}$ ile P 3394 çeşidinde ve en yüksek kuru madde verimi ise fosforun 200 mg kg^{-1} dozunda 33.43 g saksı$^{-1}$ ile RX 770 çeşidinde elde edilmiştir. Diğer ortalamalar bu değerlerin arasında dağılım göstermişlerdir.

Mısır ile ilgili yapılan sera denemesi sonuçlarına göre çeşitler arasında kuru madde verimleri ve fosfor kullanımları arasında önemli farklılıkların olması bu çeşitler arasında fosfor kullanım etkinliklerinin farklı olduğunu göstermektedir. Mısır bitkisinin fosfor noksanlığı altında genotipik farklılıklarından dolayı fosfor kullanım etkinliklerinin farklı olduğu literatürlerde bildirilmiştir (Öktem ve Ülger, 1998; Neumann and Romheld, 1999; Grimal ve ark., 2001; Yun ve ark., 2001; Dodor ve ark., 2003; Li ve ark 2004).

Konu ile ilgili yapılan birçok çalışmada özellikle fosforun bitki gelişimi açısından mutlak gerekli bir element olduğu (Schactman ve ark., 1998; Rahothama, 1999; Rausch and Bucher 2002; Vance ve ark., 2003), noksanlığında bitki verim parametrelerinin önemli oranlarda düşüş gösterdiği ve uygulanan fosforun ürün gelişimi ile birlikte verim parametrelerinde de önemli artışlar sağladığı birçok araştırmacı (Mallarino 1995; Fageria ve Baligar, 1997; Amrani ve ark., 1999; Alves ve ark., 2001; Otto ve Kilian 2001; Bhadoria ve ark., 2004; Liu ve ark., 2004) tarafından bildirilmiştir. Fosfor noksanlığında bitkilerin özellikle kuru ağırlıklarında ve yaprak alanlarında önemli bir azalma söz konusu olup, bunun sonucu olarak bitki gelişimi ve fotosentez olumsuz yönde etkilenmektedir (Colomb, 2000; Plenet ve ark., 2000; Rodriguez ve ark., 2000; Assuero ve ark., 2004). Bu konu ile ilgili yapılan çalışmada araştırıcılar, yeterli fosfor bulunan bitki ile karşılaştırıldığında, fosfor noksanlığı stresi altında yetişen bitkilerin yaprak alanının % 83 oranında azaldığını ve buna bağlı olarak da bitkinin fotosentez oranında % 50 düzeyinde azalma olduğunu bildirmişlerdir (Rodriquez ve ark., 1998). Plenet ve ark., (2000) yaptıkları çalışmada fosfor noksanlığı koşullarında bitki yaprak alan indeksinin fosforun yeterli olduğu koşullar ile karşılaştırıldığında % 60 oranında azaldığını, bununla birlikte bitkinin toplam yaprak alanında da % 50 düzeyinde bir azalmanın olduğunu bildirmişlerdir.

Fosfor noksanlığında bitki gelişimi yavaşlamakta ve özelikle gövde gelişimi azalırken kök gelişimi artmaktadır. Yapılan çalışmada soya bitkisi üzerinde su stresi

ve fosforun bitki gelişimine etkisi incelendiğinde, tüm fosfor dozlarında su stresinin etkisi benzerlik gösterirken, fosfor noksanlığında özellikle bitki gelişimi yavaşlamış ve yüzey toprağında kök uzunluğu ve yoğunlu artmıştır. Fosfor uygulanmayan doz diğer iki dozla karşılaştırıldığında ise, kontrol dozunda yaprak alanında % 13-30 azalmalar olduğu belirtilmiştir. Sulama yapılan ve yapılmayan her iki koşulda da ürün üzerine yapılan fosfor gübrelemesi olumlu sonuçlar verdiğinden dolayı araştırıcılar (Gutierrez-Boem and Thomas 1999) kurak koşullarda bile fosfor uygulaması gerektiğini bildirmişlerdir.

Bitki türleri ve hatta aynı türün genotipleri arasında fosforun etkinliği ve kullanımı açısından faklılıklar görülebilmektedir (Brohi ve ark., 1994, Dechassa ve ark., 2003). Fosforun toprakta yarayışlılığının düşük olduğu durumlarda, bazı bitki türleri fosforun hareketliliğini artırabilmektedir (Blair, 1993; Horst ve ark., 2002; Shane ve ark., 2003; Stone ve ark., 2003). Bitkiler fosfordan yararlanabilmek için özellikle kök yapılarında değişikliğe giderek kök yüzey alanını, kök ağırlığını ve miktarını artırabilirler, kök tüyleri ve organik salgılarda düşük fosfor yarayışlılığını artırmada önemli rol oynamaktadırlar (Stone ve ark., 2003). Bitkilerin kökleri aracılığı ile salgıladıkları organik salgıların toprakta düşük çözünürlülükte olan besin elementlerinin yarayışlılıklarını arttırdıkları birçok araştırmacı tarafından da rapor edilmiştir (Gardner et al., 1983; Hoffland et al.,1989; Hoffland, 1992; Ström et al. 1994; Marschner, 1997; Ström, 1997; Neumann and Romheld, 1999; Ragothama, 1999; Farrar and Jones, 2000; Gahoonia ve ark. 2001; Neumann and Martinoia, 2002; Vance ve ark., 2003;Hammond ve ark., 2004; Plaxton, 2004).

Çizelge 4.10. Fosfor Uygulamalarına Karşı Mısır Genotiplerinin Kuru Madde Sonuçları

P Dozları (mg kg^{-1})		0		25		50		100		200		Ort.
Seriler	**Çeşitler**	(g saksı$^{-1}$)										
Çekçek	DK 6022	19.10 ± 0.12	d-g	20.93 ± 2.33	c-f	24.10 ± 1.27	cd	25.40 ± 1.10	bc	30.20 ± 2.71	ab	**23.95 A**
	TECTOR	5.47 ± 0.67	p-s	9.20 ± 1.10	k-r	11.73 ± 0.79	ı-n	12.70 ± 0.75	h-l	14.47 ± 2.15	g-k	**10.71 CD**
	TEATER	4.87 ± 1.43	q-s	7.10 ± 1.21	m-s	8.27 ± 1.93	l-s	8.67 ± 0.49	l-r	8.70 ± 1.08	l-r	**7.51 F**
	DK 585	4.07 ± 0.82	rs	6.43 ± 0.55	o-s	10.90 ± 0.75	ı-o	11.93 ± 2.51	h-m	12.10 ± 1.91	h-m	**9.09 D-F**
	DK 626	3.37 ± 0.38	s	7.77 ± 1.07	l-s	10.13 ± 0.71	k-q	10.37 ± 2.47	j-p	9.43 ± 0.80	k-q	**8.21 EF**
	C 7993	6.57 ± 0.93	n-s	8.67 ± 0.20	l-r	9.07 ± 0.38	l-r	15.60 ± 3.27	g-j	17.20 ± 1.27	e-h	**11.41 C**
	SELE	9.37 ± 1.87	k-q	25.43 ± 0.80	bc	21.20 ± 1.21	c-f	15.60 ± 1.62	g-j	22.50 ± 0.40	cd	**18.82 B**
	P 3394	7.13 ± 0.27	m-s	7.63 ± 1.33	l-s	8.17 ± 1.00	l-s	10.07 ± 1.01	k-q	8.73 ± 1.07	l-r	**8.34 EF**
	RX 770	5.00 ± 0.67	q-s	9.60 ± 0.12	k-q	11.77 ± 0.95	ı-n	11.47 ± 0.49	ı-o	11.37 ± 0.95	ı-o	**9.83 C-E**
	PEGASSO	16.07 ± 1.51	f-ı	19.57 ± 2.45	d-g	22.00 ± 0.46	c-e	25.13 ± 2.27	bc	32.63 ± 1.34	a	**23.08 A**
		8.10 D		**12.23 B**		**13.73 BC**		**14.69 B**		**16.73 A**		
	F Test											
	Çeşit	***										
	Doz	***										
	Çeşit x Doz	***										

***, istatistiksel olarak 0.001 düzeyinde önemlidir

Çizelge 4.10'un Devamı

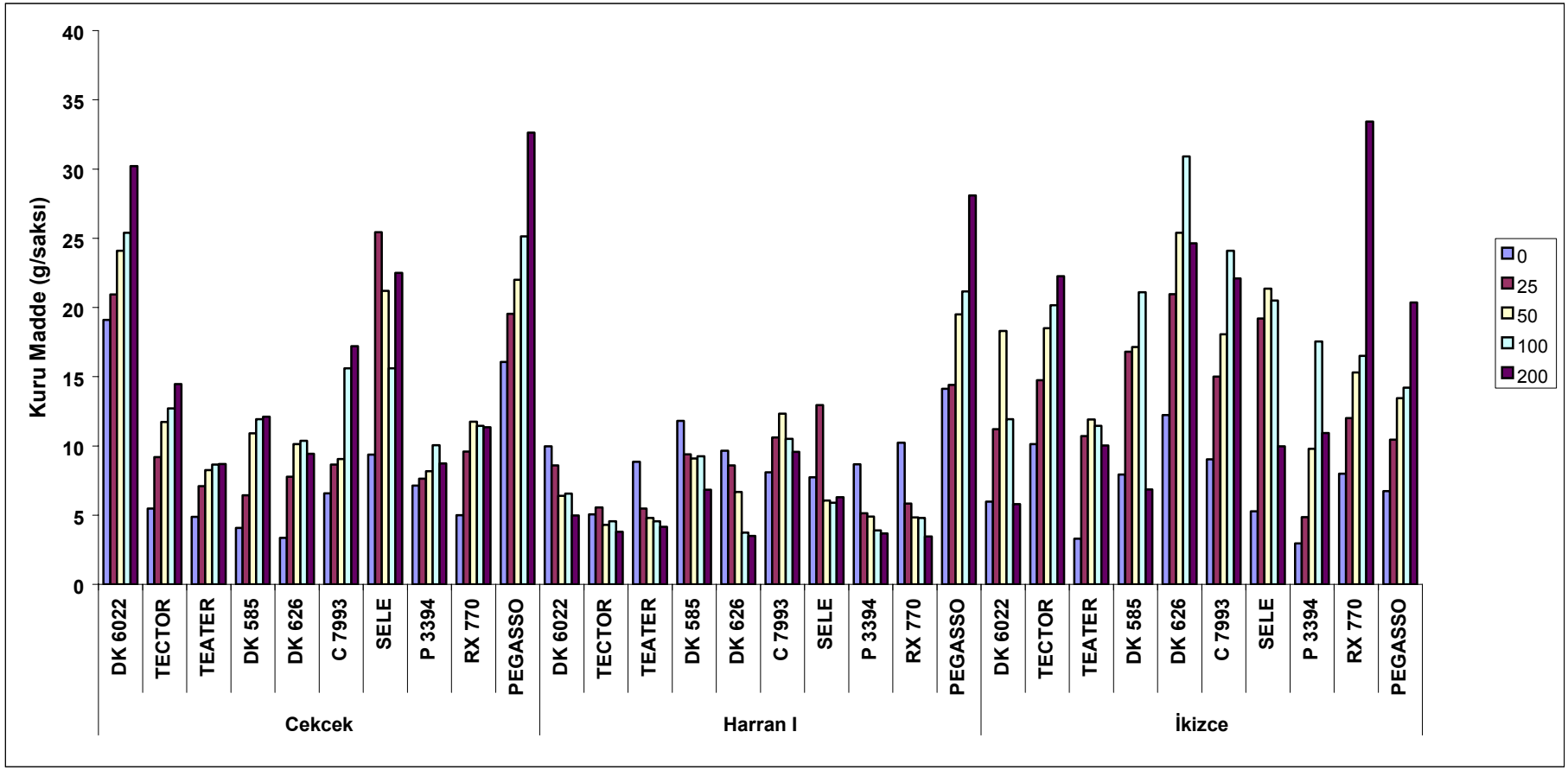
P Dozları (mg kg^{-1})		0		25		50		100		200		Ort.
Seriler	**Çeşitler**	(g saksı$^{-1}$)										
Harran I	DK 6022	9.97 ± 1.07	c-j	8.60 ± 0.57	e-p	6.40 ± 0.52	g-q	6.57 ± 0.43	g-q	4.97 ± 0.84	k-q	**7.30 C-E**
	TECTOR	5.07 ± 0.78	j-q	5.57 ± 1.07	h-q	4.30 ± 0.17	m-q	4.57 ± 0.15	l-q	3.80 ± 0.17	pq	**4.65 F**
	TEATER	8.87 ± 1.53	e-q	5.47 ± 0.76	ı-q	4.80 ± 0.06	k-q	4.57 ± 0.49	l-q	4.17 ± 0.43	n-q	**5.56 EF**
	DK 585	11.80 ± 0.80	c-f	9.40 ± 1.10	d-l	9.10 ± 0.87	e-n	9.27 ± 0.66	e-m	6.83 ± 2.13	g-q	**9.28 BC**
	DK 626	9.67 ± 0.26	d-k	8.60 ± 0.38	e-p	6.67 ± 1.26	g-q	3.73 ± 0.28	pq	3.50 ± 0.12	q	**6.43 D-F**
	C 7993	8.10 ± 1.27	e-q	10.60 ± 2.65	c-q	12.33 ± 2.78	c-f	10.50 ± 0.29	c-g	9.57 ± 1.74	d-l	**10.22 B**
	SELE	7.73 ± 1.07	f-q	12.97 ± 0.90	c-e	6.07 ± 0.43	g-q	5.90 ± 0.23	g-q	6.30 ± 0.75	g-q	**7.79 CD**
	P 3394	8.67 ± 1.29	e-p	5.13 ± 0.93	j-q	4.90 ± 0.06	k-q	3.90 ± 0.64	o-q	3.67 ± 0.27	pq	**5.25 E-F**
	RX 770	10.23 ± 1.57	c-ı	5.82 ± 0.85	g-q	4.83 ± 0.48	k-q	4.80 ± 0.87	k-q	3.47 ± 0.55	q	**5.83 D-F**
	PEGASSO	14.13 ± 0.96	cd	14.40 ± 1.06	c	19.50 ± 0.87	b	21.17 ± 1.82	b	28.10 ± 2.66	a	**19.46 A**
		9.42 A		**8.65 AB**		**7.89 B**		**7.49 B**		**7.43 B**		
	F Test											
	Çeşit	***										
	Doz	***										
	Çeşit x Doz	***										

***, istatistiksel olarak 0.001 düzeyinde önemlidir

Çizege 4.10'un Devamı

P Dozları (mg kg^{-1})		0		25		50		100		200		Ort.
Seriler	**Çeşitler**	(g saksı$^{-1}$)										
İkizce	DK 6022	5.97 ± 1.62	m-p	11.20 ± 0.42	g-p	18.30 ± 2.19	c-k	11.93 ± 0.33	f-p	5.80 ± 0.46	n-p	**10.64 CD**
	TECTOR	10.13 ± 1.72	h-p	14.77 ± 0.09	c-o	18.50 ± 0.12	c-k	20.17 ± 0.32	c-ı	22.27 ± 1.30	b-f	**17.16 B**
	TEATER	3.30 ± 0.73	p	10.70 ± 0.52	g-p	11.92 ± 1.60	f-p	11.45 ± 1.92	f-p	10.03 ± 1.19	h-p	**9.48 D**
	DK 585	7.93 ± 1.59	k-p	16.80 ± 0.23	c-m	17.13 ± 1.16	c-l	21.10 ± 3.12	b-g	6.85 ± 0.81	l-p	**13.96 B-D**
	DK 626	12.23 ± 3.59	f-p	20.97 ± 5.46	b-h	25.40 ± 2.63	a-c	30.90 ± 1.78	ab	24.63 ± 5.20	a-d	**22.82 A**
	C 7993	9.03 ± 1.37	j-p	15.00 ± 3.65	c-o	18.07 ± 1.94	c-k	24.10 ± 4.79	a-e	22.10 ± 1.71	b-f	**17.66 B**
	SELE	5.27 ± 0.82	op	19.20 ± 1.15	c-j	21.37 ± 1.79	b-g	20.50 ± 2.12	c-ı	9.97 ± 0.77	ı-p	**15.26 BC**
	P 3394	2.97 ± 0.72	p	4.85 ± 0.86	op	9.80 ± 0.92	ı-p	17.53 ± 3.35	c-l	10.93 ± 3.67	g-p	**9.22 D**
	RX 770	8.00 ± 0.90	k-p	12.00 ± 1.15	f-p	15.30 ± 2.45	c-o	16.50 ± 1.22	c-n	33.43 ± 9.72	a	**17.05 B**
	PEGASSO	6.73 ± 0.80	l-p	10.47 ± 0.43	g-p	13.47 ± 0.90	e-p	14.20 ± 2.08	d-o	20.37 ± 2.86	c-ı	**13.04 B-D**
		7.16 C		**13.59 B**		**16.92 A**		**18.84 A**		**16.64 A**		
	F Test											
	Çeşit	***										
	Doz	***										
	Çeşit x Doz	***										

***, istatistiksel olarak 0.001 düzeyinde önemlidir



Şekil 4.7. Sera Mısır Denemesi Kuru Madde Verimleri



Şekil 4.8. Sera Mısır Denemesinden Görüntüler

4.5.3. Mısır Bitkilerinin Dokularındaki Fosfor Konsantrasyonu

Araştırmada kullanılan 10 farklı mısır çeşidinin, beş farklı dozda fosfor (0, 25, 50, 100 ve 200 mg kg^{-1}) uygulamaları altında, dokularındaki % P oranları ile ilgili istatistiki veriler, Duncan çoklu karşılaştırmalarıyla ilgili veriler Çizelge 4.11' de ve verilere ait grafik Şekil 4.9'de verilmiştir.

Çizelge 4.11 incelendiğinde bitki dokularında bulunan fosfor konsantrasyonlarına ait yapılan istatistiksel analiz sonucunda, Çekçek ve Harran I serilerinde çeşitler arasında, uygulanan fosfor dozları ve ÇeşitxDoz interaksiyonu arasında istatistiksel olarak önemli ($P<0.001$) farklılıklar belirlenmiş olup bununla birlikte İkizce serisinde çeşitler arasında ($P<0.01$), Dozlar arasında ($P<0.001$) ve çeşitler fosfor uygulamalarının etkileşimi istatistiksel olarak önemli farklılıklar belirlenmemiştir. İkizce serinde çeşit ile fosfor etkileşimi arasında uygulanan fosfora karşı bitki dokularında ki fosfor konsantrasyonunun artış göstermesine rağmen uygulamalar arasında istatistiksel olarak farklılıklar saptanamamıştır.

Çeşitler arasında bitki dokularındaki % fosfor oranları önemli farklılıklar göstermiştir (Çizelge 4.11). Çekçek serisinde çeşitler arasında en düşük konsantrasyon % 0.137 ile Pegasso çeşidinde ve en yüksek konsantrasyon ise % 0.315 ile RX 770 çeşidinde elde edilirken, Harran I serisinde en düşük fosfor konsantrasyonu % 0.207 ile Pegasso çeşidinde ve en yüksek % 0.438 ile Sele çeşidinde elde edilmiştir. İkizce serisinde ise % 0.166 ile Sele en düşük fosfor konsantrasyonuna sahip iken DK 626 çeşidinde % 0.248 ile en yüksek fosfor konsantrasyonu elde edilmiştir, diğer ortalamalar bu değerler arasında dağılım göstermiştir

Uygulanan fosforun bitki dokularındaki fosfor konsantrasyonları üzerine etkisi incelendiğinde, Çekçek serisinde hiç uygulama yapılmayan kontrol dozunda bitki dokularındaki fosfor konsantrasyonu % 0.177 ve en yüksek fosfor dozu olan 200 mg P kg^{-1} ise % 70.6 artış göstererek % 0.302 olmuştur. Harran I serisinde kontrol dozunda % 0.130 ve en yüksek % 0.521 fosfor içeriği fosforun 200 mg P kg^{-1} dozunda elde edilmiştir. İkizce serisinde bitki dokularındaki ortalama fosfor

konsantrasyonu kontrol dozunda % 0.115 ve 200 mg P kg^{-1} fosfor dozunda ise % 0.291 oranında bulunmaktadır.

Çeşit ile fosfor etkileşimi istatistiksel olarak önemli çıkmasa da, bitki dokularındaki fosfor konsantrasyonları tüm serilerde incelendiğinde fosfor uygulamaları ile birlikte en yüksek % 0.750 ile Harran I serisinde fosforun 200 mg kg^{-1} olduğu Sele çeşidinde elde edilirken en düşük fosfor konsantrasyonu fosforun kontrol dozu olan 0 dozunda İkizce serisinde % 0.071 ile yine Sele çeşidinde belirlenmiştir. Bitkilerin fosfor konsantrasyonları bu iki değer arasında dağılım göstermişlerdir.

Deneme sonuçlarını gösteren Çizelge 4.11 incelendiğinde, tüm serilerde artan fosfor dozu ile birlikte bitki dokularındaki fosfor konsantrasyonu da artış göstermiştir. Harran I serisinde kuru madde verimi incelendiğinde, artan fosfor dozu ile birlikte kuru madde veriminin azalması ve bunun aksine, özellikle bitki dokularında yüksek fosfor konsantrasyonlarının bulunması; düşük Zn içeriği (Çizelge 4.2) nedeniyle, P'un uygulanması ile birlikte toprakta bulunan Zn'dan da bitkilerin faydalanamamasından dolayı bitkilerin kuru madde verimleri düşerken artan fosforla birlikte bitki dokularında fosforun birikimi gözlenmiştir. Bu konu ile ilgili yapılan birçok çalışmada araştırıcılar (Arya ve Singh 2002; Bi ve ark., 2003) artan dozlarda fosfor uygulamalarının Zn alımını gerilettiği ve özellikle bitki veriminde ve kuru ağırlığında önemli azalmalar meydana getirerek, fosforun bitki dokularında biriktiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4.11. Fosfor Uygulamalarına Karşı Mısır Bitkisinin Fosfor Konsantrasyonları

P Dozları (mg kg^{-1})	0	25	50	100	200	Ort.
Seriler Çeşit	(%)					
Çekçek DK 6022	0.140 ± 0.013 m-q	0.171 ± 0.010 k-q	0.232 ± 0.008 f-l	0.235 ± 0.018 e-l	0.271 ± 0.019 c-j	**0.210 CD**
TECTOR	0.210 ± 0.014 ı-o	0.282 ± 0.009 c-ı	0.304 ± 0.016 b-g	0.353 ± 0.010 a-c	0.310 ± 0.037 a-f	**0.290 AB**
TEATER	0.191 ± 0.003 j-p	0.220 ± 0.004 h-m	0.234 ± 0.005 e-l	0.246 ± 0.061 d-k	0.326 ± 0.024 a-d	**0.240 C**
DK 585	0.211 ± 0.014 ı-o	0.244 ± 0.025 d-k	0.276 ± 0.002 c-ı	0.311 ± 0.023 a-f	0.348 ± 0.007 a-c	**0.280 B**
DK 626	0.226 ± 0.014 g-l	0.315 ± 0.027 a-e	0.345 ± 0.052 a-c	0.307 ± 0.023 b-g	0.286 ± 0.038 c-ı	**0.300 AB**
C 7993	0.190 ± 0.009 k-p	0.246 ± 0.024 d-k	0.294 ± 0.019 c-h	0.333 ± 0.044 a-c	0.380 ± 0.048 ab	**0.290 AB**
SELE	0.132 ± 0.389 o-q	0.155 ± 0.011 l-q	0.222 ± 0.011 h-l	0.225 ± 0.002 g-l	0.277 ± 0.015 c-ı	**0.200 D**
P 3394	0.183 ± 0.005 k-p	0.192 ± 0.015 j-p	0.214 ± 0.022 h-n	0.240 ± 0.002 e-k	0.294 ± 0.037 c-h	**0.230 CD**
RX 770	0.186 ± 0.026 k-p	0.305 ± 0.027 b-g	0.345 ± 0.036 a-c	0.353 ± 0.023 a-c	0.388 ± 0.033 a	**0.320 A**
PEGASSO	0.101 ± 0.002 q	0.115 ± 0.011 pq	0.176 ± 0.009 k-q	0.157 ± 0.005 l-q	0.136 ± 0.015 n-q	**0.140 E**
	0.177 D	**0.225 C**	**0.264 B**	**0.276 B**	**0.302 A**	
F Test						
Çeşit	***					
Doz	***					
Çeşit x Doz	***					

*** istatistiksel olarak 0.001 düzeyinde önemlidir

Çizelge 4.11'in Devamı

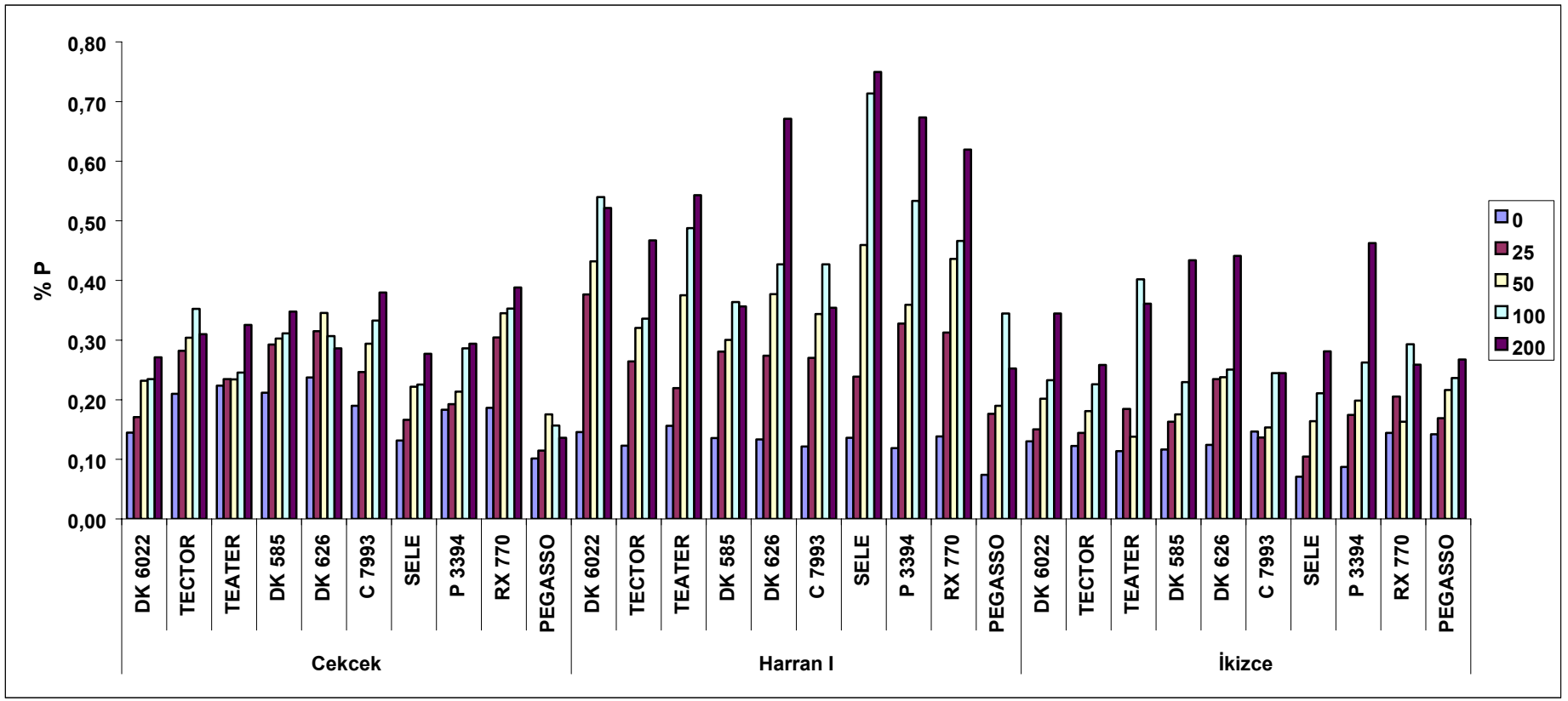
P Dozları (mg kg^{-1})		0		25		50		100		200		Ort.	
Seriler	Çeşit	(%)											
Harran I	DK 6022	0.146±0.016	o-r	0.377±0.056	e-k	0.432±0.064	d-j	0.540±0.105	b-f	0.522±0.039	b-h	**0.403**	**AB**
	TECTOR	0.123±0.005	qr	0.264±0.062	j-q	0.320±0.001	ı-o	0.336±0.012	ı-n	0.467±0.033	c-ı	**0.302**	**CD**
	TEATER	0.156±0.011	n-r	0.220±0.012	k-r	0.387±0.047	e-k	0.479±0.054	c-ı	0.543±0.091	b-e	**0.357**	**B-D**
	DK 585	0.136±0.007	p-r	0.281±0.053	j-q	0.300±0.059	ı-q	0.364±0.000	e-l	0.355±0.007	g-m	**0.287**	**DE**
	DK 626	0.133±0.014	p-r	0.274±0.028	j-q	0.377±0.041	e-k	0.427±0.028	d-j	0.671±0.110	ab	**0.376**	**A-C**
	C 7993	0.122±0.010	qr	0.270±0.006	j-q	0.344±0.030	h-m	0.427±0.040	d-j	0.354±0.023	g-m	**0.303**	**CD**
	SELE	0.136±0.013	p-r	0.239±0.050	k-r	0.471±0.018	c-ı	0.593±0.077	a-d	0.750±0.046	a	**0.438**	**A**
	P 3394	0.135±0.019	p-r	0.328±0.034	ı-n	0.398±0.023	f-l	0.534±0.004	b-g	0.673±0.056	ab	**0.413**	**AB**
	RX 770	0.138±0.009	p-r	0.313±0.026	ı-p	0.393±0.025	e-k	0.466±0.031	c-ı	0.619±0.053	abc	**0.386**	**AB**
	PEGASSO	0.074±0.010	r	0.177±0.006	m-r	0.190±0.014	l-r	0.345±0.039	h-m	0.252±0.018	j-r	**0.207**	**E**
		0.130 E		**0.274 D**		**0.361 C**		**0.451 B**		**0.521 A**			
	F Test												
	Çeşit	***											
	Doz	***											
	Çeşit x Doz	***											

*** istatistiksel olarak 0.001 düzeyinde önemlidir

Çizelge 4.11'in Devamı

P Dozları (mg kg^{-1})		0		25		50		100		200		Ort.
Seriler	Çeşit	(%)										
İkizce	**DK 6022**	0.130±0.021	f-m	0.151 ± 0.018	d-m	0.202 ± 0.047	d-m	0.233 ± 0.026	b-l	0.192 ± 0.048	d-m	**0.181 B**
	TECTOR	0.101±0.005	k-m	0.144 ± 0.002	e-m	0.181 ± 0.008	d-m	0.226 ± 0.011	b-l	0.258 ± 0.023	b-ı	**0.182 B**
	TEATER	0.112±0.001	j-m	0.151 ± 0.025	d-m	0.154 ± 0.017	d-m	0.235 ± 0.074	b-k	0.338 ± 0.086	a-c	**0.198 AB**
	DK 585	0.116±0.018	ı-m	0.165 ± 0.026	d-m	0.205 ± 0.010	d-m	0.268 ± 0.014	a-g	0.347 ± 0.058	a-c	**0.220 AB**
	DK 626	0.124±0.034	g-m	0.232 ± 0.024	b-l	0.238 ± 0.003	b-k	0.250 ± 0.001	b-j	0.394 ± 0.088	a	**0.248 A**
	C 7993	0.121±0.015	h-m	0.131 ± 0.008	f-m	0.172 ± 0.014	d-m	0.227 ± 0.048	b-l	0.273 ± 0.022	a-f	**0.185 B**
	SELE	0.071±0.001	n	0.105 ± 0.009	j-m	0.164 ± 0.028	d-m	0.211 ± 0.061	c-	0.281 ± 0.027	a-e	**0.166 B**
	P 3394	0.087±0.008	lm	0.151 ± 0.016	d-m	0.198 ± 0.005	d-m	0.247 ± 0.036	b-k	0.294 ± 0.018	a-d	**0.195 AB**
	RX 770	0.144±0.015	e-m	0.205 ± 0.001	d-m	0.184 ± 0.001	d-m	0.250 ± 0.008	b-j	0.262 ± 0.011	a-ı	**0.209 AB**
	PEGASSO	0.142±0.025	e-m	0.187 ± 0.024	d-m	0.216 ± 0.023	c-l	0.236 ± 0.039	b-k	0.267 ± 0.044	a-h	**0.210 AB**
		0.115 D		**0.162 C**		**0.191 C**		**0.238 B**		**0.291 A**		
	F Test											
	Çeşit	**										
	Doz	***										
	Çeşit x Doz	Ö.D.										

, * ve Ö.D. istatistiksel olarak sırasıyla 0.05, 0.001 düzeyinde ve önemli değildir



Şekil 4.9. Mısır Genotiplerinin Fosfor Konsantrasyonları

4.5.4. Mısır Çeşitlerinin Farklı Fosfor Uygulamaları ve Bu Uygulamalarla Topraktan Kaldırdıkları Fosfor Miktarları

Araştırmada kullanılan 10 farklı mısır çeşidinin ve 5 farklı dozda uygulanan fosfor (0, 25, 50, 100 ve 200 mg kg^{-1}) ile birlikte mısır çeşitlerinin topraktan kaldırdıkları fosfor miktarlarıyla ilgili ortalama değerler (mg P $saksı^{-1}$), Duncan çoklu karşılaştırılma testleri Çizelge 4.12'de ve verilere ait grafik Şekil 4.10'da verilmiştir.

Mısır çeşitlerinin topraktan kaldırdıkları fosfor miktarları karşılaştırıldığında Çekçek serisinde Teater çeşidinde 17.76 mg P $saksı^{-1}$ ile en düşük fosfor alımı gerçekleşirken, 51.95 mg P $saksı^{-1}$ ile DK 6022 çeşidinde en yüksek fosfor alımı bulunmuştur. Harran I serisinde en düşük 13.54 mg P $saksı^{-1}$ ile Tector ve en yüksek 43.34 mgP $saksı^{-1}$ ile Pegasso çeşidinde bulunmuştur. İkizce serisinde en düşük fosfor alımı 19.79 mg P $saksı^{-1}$ ile Teater çeşidinde ve en yüksek fosfor alımı 59.74 mg P $saksı^{-1}$ ile DK 626 çeşidinde gözlenmiştir. Genel olarak, mısır çeşitlerinin uygulanan farklı dozlardaki fosfora karşı göstermiş oldukları fosfor alım değerlerinin ortalamaları en düşük 13.54 mg P $saksı^{-1}$ Tector çeşidinde elde edilirken en yüksek fosfor alımı 59.74 mg P $saksı^{-1}$ DK 626 çeşidinde elde edilmiştir. Diğer ortalamalar bu iki değer arasında dağılım göstermektedir.

Fosfor uygulamalarının mısır çeşitlerinin fosfor alımına etkisi (Çizelge 4.12) incelendiğinde, Çekçek serisinde fosfor uygulaması yapılmayan kontrol dozunda çeşitlerin fosfor alımlarının ortalaması 12.71 mg P $saksı^{-1}$ iken fosfor dozunun 200 mg kg^{-1}'e çıkarılması ile % 266 artış göstererek 46.59 mg P $saksıya^{-1}$ yükselmiştir. Harran I serisinde kontrol dozunda 12.02 mg P $saksı^{-1}$ iken 200 mg kg^{-1} dozunda % 159 artış göstererek 31.19 mg P $saksıya^{-1}$, İkizce serisinde ise kontrol dozunda 8.45 mg P $saksı^{-1}$ ve 200 mg kg^{-1} dozunda % 475 artış göstererek 48.60 mg P $saksı^{-1}$ değerine ulaşan bir artış göstermiştir.

Çizelge 4.12. Fosfor Uygulamalarına Karşı Mısır Genotiplerinin Fosfor Alımları

P Dozları (mg kg^{-1})		0		25		50		100		200		Ortalama
Seriler	Çeşit	(mg P saksı$^{-1}$)										
Çekçek	**DK 6022**	26.65±2.34	h-q	35.75±2.00	f-l	55.89±2.87	b-e	59.59±2.08	b-d	81.87±8.07	a	**51.95 A**
	TECTOR	11.48±1.56	n-q	25.94±3.91	h-q	35.69±2.88	f-l	44.79±3.74	c-h	44.81±6.96	c-h	**32.54 BC**
	TEATER	9.29±2.68	o-q	15.63±2.92	l-q	19.29±4.95	k-q	21.25±2.26	j-q	28.32±3.75	g-p	**18.76 D**
	DK 585	8.60±1.82	pq	15.73±0.28	l-q	30.05±2.20	f-n	37.16±10.75	e-k	42.09±7.22	d-ı	**26.73 CD**
	DK 626	7.56±0.81	q	24.46±5.62	h-q	35.00±7.19	f-l	31.81±9.45	f-m	26.98±3.78	h-q	**25.16 CD**
	C 7993	12.44±1.34	n-q	21.30±2.53	j-q	26.59±1.71	h-q	51.92±6.16	b-f	65.33±7.78	b	**35.52 BC**
	SELE	12.35±2.62	n-q	39.51±2.62	e-j	47.02±5.01	b-g	35.14±3.53	f-l	62.29±2.23	bc	**39.26 B**
	P 3394	13.08±0.73	m-q	14.69±1.38	m-q	17.44±3.85	l-q	24.12±2.57	ı-q	25.68±6.31	h-q	**19.00 D**
	RX 770	9.32±2.41	o-q	29.24±2.93	g-q	40.54±3.73	e-j	40.42±0.86	d-j	44.06±7.45	c-h	**32.72 BC**
	PEGASSO	16.30±1.29	l-q	22.41±4.93	ı-q	38.61±2.51	e-k	39.37±4.11	e-k	44.51±6.80	c-h	**32.24 BC**
		12.71 D		**24.47 C**		**34.61 B**		**38.56 B**		**46.59 A**		
	F Test											
	Çeşit	***										
	Doz	***										
	Çeşit x Doz	***										

***, istatistiksel olarak 0.001 düzeyinde önemlidir

Çizelge 4.12'nin Devamı

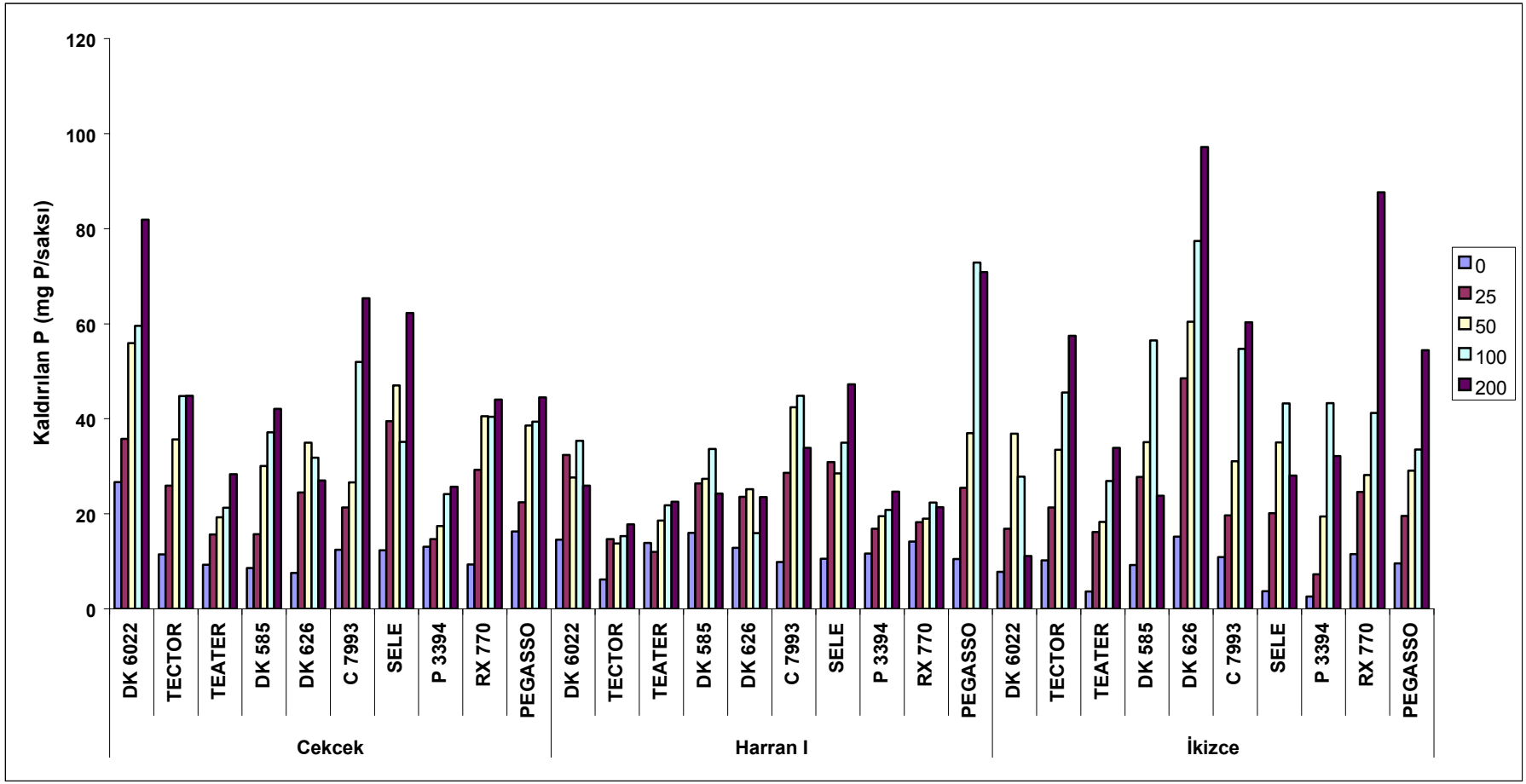
P Dozları (mg kg^{-1})		0		25		50		100		200			Ortalama
Seriler	Çeşit	(mg P saksı$^{-1}$)											
Harran I	DK 6022	14.55 ± 0.96	f-l	32.38 ± 4.18	b-ı	27.66 ± 1.85	b-k	35.36 ± 5.04	b-f	25.9 ± 2.75	c-l		27.17 BC
	TECTOR	6.21 ± 1.16	l	14.66 ± 6.44	f-l	13.78 ± 0.51	f-l	15.29 ± 0.06	f-l	17.75 ± 3.39	e-l		13.54 E
	TEATER	13.85 ± 2.01	f-l	12.00 ± 2.33	h-l	18.58 ± 1.93	e-l	21.77 ± 1.10	d-l	22.54 ± 3.17	d-l		17.75 DE
	DK 585	16.01 ± 1.24	f-l	26.40 ± 3.61	c-l	27.33 ± 2.84	c-l	33.66 ± 2.43	b-g	24.24 ± 7.35	d-l		25.53 B-D
	DK 626	12.87 ± 1.72	g-l	23.55 ± 3.26	d-l	25.15 ± 7.93	c-l	15.93 ± 2.28	f-l	23.48 ± 4.63	d-l		20.2 C-E
	C 7993	9.86 ± 1.85	kl	28.61 ± 7.81	b-k	42.41 ± 9.06	b-d	44.85 ± 5.78	bc	33.88 ± 4.51	b-h		31.92 B
	SELE	10.55 ± 0.67	kl	30.91 ± 8.08	b-j	28.50 ± 0.94	b-k	34.97 ± 3.90	b-f	47.23 ± 4.71	b		30.43 B
	P 3394	11.66 ± 2.66	ı-l	16.83 ± 2.36	f-l	19.50 ± 1.15	e-l	20.81 ± 3.23	d-l	24.68 ± 3.92	c-l		18.7 C-E
	RX 770	14.16 ± 2.11	f-l	18.21 ± 2.17	e-l	18.98 ± 0.99	e-l	22.38 ± 2.84	d-l	21.37 ± 4.74	d-l		19.02 C-E
	PEGASSO	10.49 ± 2.13	j-l	25.44 ± 1.96	c-l	36.99 ± 3.75	b-e	72.89 ± 13.34	a	70.86 ± 11.83	a		43.34 A
		12.02 D		22.9 C		25.89 BC		31.79 A		31.19 AB			
	F Test												
	Çeşit	***											
	Doz	***											
	Çeşit x Doz	***											

***, istatistiksel olarak 0.001 düzeyinde önemlidir

Çizelge 4.12'nin Devamı

P Dozları (mg kg^{-1})		0		25		50		100		200		Ortalama
Seriler	Çeşit	(mg P saksı$^{-1}$)										
İkizce	**DK 6022**	7.77 ± 2.41	kl	16.86 ± 2.54	ı-l	36.88 ± 10.46	d-k	27.79 ± 3.91	f-k	11.13 ± 2.97	j-l	**20.09 C**
	TECTOR	10.23 ± 1.36	j-l	21.30 ± 0.54	h-l	33.47 ± 1.27	d-l	45.50 ± 2.98	d-ı	57.48 ± 2.41	b-f	**33.60 BC**
	TEATER	3.68 ± 0.55	l	16.16 ± 2.52	ı-l	18.31 ± 0.55	l-l	26.91 ± 8.92	f-l	33.90 ± 9.93	d-l	**19.79 C**
	DK 585	9.23 ± 2.38	j-l	27.73 ± 4.80	f-l	35.07 ± 0.65	d-l	56.47 ± 11.45	b-f	23.79 ± 3.65	g-l	**30.46 BC**
	DK 626	15.19 ± 9.40	ı-l	48.52 ± 17.81	c-h	60.41 ± 5.50	b-d	77.39 ± 4.46	a-c	97.16 ± 18.83	a	**59.74 A**
	C 7993	10.90 ± 2.75	j-l	19.65 ± 4.99	h-l	31.07 ± 2.10	d-l	54.71 ± 5.65	c-h	60.33 ± 5.55	b-e	**35.33 BC**
	SELE	3.74 ± 0.62	l	20.14 ± 0.59	h-l	35.02 ± 3.72	d-l	43.24 ± 6.88	d-j	28.03 ± 4.80	e-l	**26.03 BC**
	P 3394	2.60 ± 0.84	l	7.30 ± 1.87	kl	19.43 ± 1.89	h-l	43.31 ± 15.02	d-j	32.15 ± 11.51	d-l	**20.96 C**
	RX 770	11.53 ± 2.18	j-l	24.62 ± 2.41	g-l	28.17 ± 3.25	f-l	41.25 ± 0.83	d-j	87.64 ± 23.50	ab	**38.64 B**
	PEGASSO	9.58 ± 1.28	j-l	19.55 ± 2.73	h-l	29.07 ± 4.22	d-l	33.54 ± 6.59	d-l	54.43 ± 10.14	c-g	**29.23 BC**
		8.45 D		**22.18 C**		**32.69 B**		**45.01 A**		**48.6 A**		
	F Test											
	Çeşit	***										
	Doz	***										
	Çeşit x Doz	***										

***, istatistiksel olarak 0.001 düzeyinde önemlidir



Şekil 4.10. Mısır Genotipleri Tarafından Kaldırılan P Miktarları

Çeşit ile fosfor dozunun etkileşimi incelendiğinde (Çizelge 4.12), Çekçek serisinde kontrol dozunda DK 626 çeşidi 7.56 mg P saksı$^{-1}$ ile en düşük ortalamayı verirken fosforun 200 mg kg^{-1} olduğu en yüksek dozunda bitki tarafından kaldırılan fosfor 81.87 mg P saksı$^{-1}$ ile DK 6022 çeşidinde belirlenmiştir. Harran I serisinde kontrol dozunda en düşük ortalama 6.21 mg P saksı$^{-1}$ ile Tector çeşidinde ve en yüksek ortalama 200 mg kg^{-1} dozunda 70.86 mg P saksı$^{-1}$ ile Pegasso çeşidinde elde olunmuş ve İkizce serinde kontrol dozunda 2.60 mg P saksı$^{-1}$ ile P 3394 çeşidi en düşük fosfor alımı gerçekleştirirken, 200 mg kg^{-1} dozunda C 7993 çeşidi 60.33 mg P saksı$^{-1}$ ile en yüksek fosfor alımını gerçekleştirmiştir (Şekil 4.10).

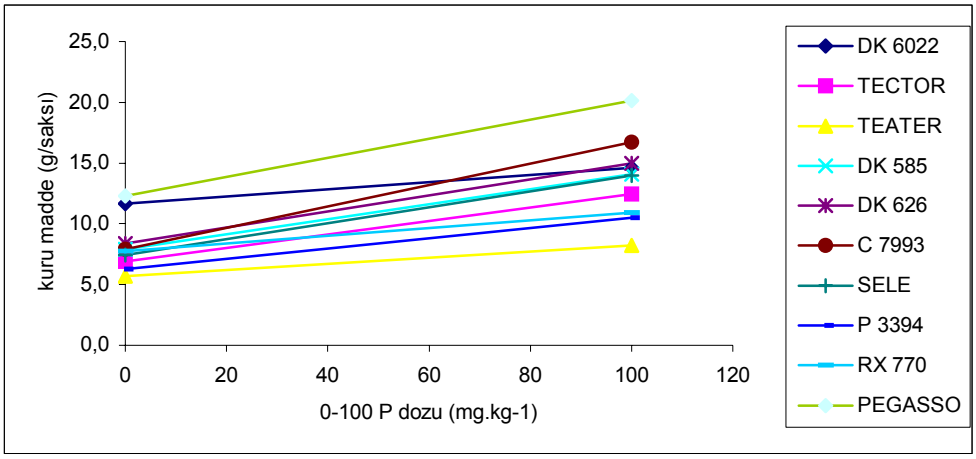
Deneme sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, tüm serilerde çeşitler arasında en düşük fosfor alımı kontrol dozunda 2.60 mg P saksı$^{-1}$ ile P 3394 çeşidinde ve en yüksek fosfor alımı ise fosfor dozunun en yüksek olduğu 200 mg kg^{-1} dozunda 81.87 mg P saksı$^{-1}$ ile DK 6022 çeşidinde belirlenmiş olup diğer ortalamalar bu iki değer arasında dağılım göstermiştir. Artan fosfor dozuna bağlı olarak bitki dokularda fosforun konsantrasyonunun artması ile birlikte, bitkilerin topraktan kaldırdıkları fosfor miktarı da doğrusal olarak bir artış göstermiştir.

Topraklara uygulanan fosfor dozundaki artışla birlikte kaldırılan fosforun da artması, gerek bitki kuru madde miktarlarındaki artış, gerekse bitki dokularının fosfor konsantrasyonundaki artış gibi dağılım göstererek, bitki gelişimini olumlu yönde etkilemektedir. Ancak çeşitler kendi aralarında değerlendirilerek karşılaştırıldıklarında, çeşitler arasında fosfor alımları ve kuru madde üretimleri arasında önemli farklılıklar ($P<0.001$) bulunması dikkat çekicidir. Konu ile ilgili daha önce yapılan birçok çalışmada çeşitler arasında fosfor alımları ve fosfor kullanım etkinlikleri açısından değerlendirildiğinde önemli farklılıkların olması bu çeşitlerin fosfor kullanım etkinliklerinin farklı olduğunu göstermektedir. Mısır bitkisinin fosfor noksanlığı altında genotipik farklılıklarından dolayı fosfor kullanım etkinliklerinin farklı olduğu birçok araştırmacı (Fageria ve Baligar, 1997; Fageria ve Baligar, 1999; Grimal ve ark., 2001; Yun ve ark., 2001; Dodor ve ark., 2003; Li ve ark 2004) tarafından bildirilmiştir.

4.5.5. Mısır Çeşitlerinin Farklı Fosfor Uygulamaları, Topraktan Kaldırdıkları Fosfor Miktarları ve Mısır Çeşitlerinin Fosfor Kullanım Etkinlikleri

Topraklarda fosforun hareketliliğinin ve yarayışlılığının düşük olmasından dolayı bitkiler yarayışsız durumdaki fosfordan yararlanabilmek için birçok adaptasyon mekanizması geliştirmişlerdir (Abel ve ark., 2002; Stone ve ark., 2003; Hammond ve ark, 2004; Plaxton, 2004). Öte yandan bitki türleri arasında ve hatta aynı türün genotipleri arasında fosforun etkinliği ve kullanımı açısından faklılıklar görülebilmektedir (Brohi ve ark., 1994; Dechassa ve ark., 2003).

Topraklarda fosforun yarayışlılığının düşük olduğu durumlarda, tahıl çeşitlerinin mutlaka fosfor gübrelemesine gereksinimleri vardır. Tahıl ıslah ve seçim çalışmalarıyla, toprakta fosfor yarayışlılığını iyileştirmek için varolan tahıl çeşitlerinin fosfor etkinliklerinin de bilinmesi gerekmektedir (Gahoonia ve ark., 1999).



Şekil 4.11. Mısır Bitkisi Kuru Madde Verimleri

Yürütülen sera denemesinde kullanılan bitki çeşitleri özellikle kontrol dozu ile kıyaslandığında 100 mg kg^{-1} fosfor uygulamasına kadar gerek bitki kuru madde miktarları ve gerekse bitki tarafından kaldırılan fosfor açısından değerlendirildiğinde bir artış göstermektedir (Çizelge 4.10, Çizelge 4.12). Ancak fosfor uygulamasının 200 mg kg^{-1}'a yükseltilmesi bununla birlikte bitki kuru madde ve kaldırılan fosfor

açısından değerlendirildiğinde bir düşüşün söz konusu olması nedeniyle bitkilerin fosfora karşı göstermiş olduğu etkinliğe göre gruplandırılarak etkinlik sınıflandırılması, 0-100 mg kg^{-1} uygulamaları dikkate alınarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.13, Şekil 4.11).

Çizelge 4.13. Mısır Çeşitlerinin Fosfor Etkinliğine Ait Ortalama Değerler

Etkinlik	Çeşit	Seriler	0	25	50	100	200
			g saksı$^{-1}$				
IV	PEGASSO	Çekçek	**16.1**	19.6	22.0	**25.1**	32.6
		Harran I	**14.1**	14.4	19.5	**21.2**	28.1
		İkizce	**6.7**	10.5	13.5	**14.2**	20.4
	C 7993	Çekçek	**6.6**	8.7	9.1	**15.6**	17.2
		Harran I	**8.1**	10.6	12.3	**10.5**	9.6
		İkizce	**9.0**	15.0	18.1	**24.1**	22.1
III	DK 626	Çekçek	**3.4**	7.8	10.1	**10.4**	9.4
		Harran I	**9.7**	8.6	6.7	**3.7**	3.5
		İkizce	**12.2**	21.0	25.4	**30.9**	24.6
	DK 585	Çekçek	**4.1**	6.4	10.9	**11.9**	12.1
		Harran I	**11.8**	9.4	9.1	**9.3**	6.8
		İkizce	**7.9**	16.8	17.1	**21.1**	6.9
	SELE	Çekçek	**9.4**	25.4	21.2	**15.6**	22.5
		Harran I	**7.7**	13.0	6.1	**5.9**	6.3
		İkizce	**5.3**	19.2	21.4	**20.5**	10.0
	TECTOR	Çekçek	**5.5**	9.2	11.7	**12.7**	14.5
		Harran I	**5.1**	5.6	4.3	**4.6**	3.8
		İkizce	**10.1**	14.8	18.5	**20.2**	22.3
II	DK 6022	Çekçek	**19.1**	20.9	24.1	**25.4**	30.2
		Harran I	**10.0**	8.6	6.4	**6.6**	5.0
		İkizce	**6.0**	11.2	18.3	**11.9**	5.8
I	P 3394	Çekçek	**7.1**	7.6	8.2	**10.1**	8.7
		Harran I	**8.7**	5.1	4.9	**3.9**	3.7
		İkizce	**3.0**	4.9	9.8	**17.5**	10.9
	RX 770	Çekçek	**5.0**	9.6	11.8	**11.5**	11.4
		Harran I	**10.2**	5.8	4.8	**4.8**	3.5
		İkizce	**8.0**	12.0	15.3	**16.5**	33.4
	TEATER	Çekçek	**4.9**	7.1	8.3	**8.7**	8.7
		Harran I	**8.9**	5.5	4.8	**4.6**	4.2
		İkizce	**3.3**	10.7	11.9	**11.5**	10.0

Yürütülen sera çalışmasında özellikle çeşitler arasında fosfor kullanımları açısından istatistiksel olarak da önemli farklılıklar ($P<0.001$) belirlenmiştir. Çeşitler fosfor etkinliği açısından değerlendirildiğinde, Pegasso çeşidi kontrol dozunda ortalama olarak 12.3 g saksı$^{-1}$ kuru madde üretirken, uygulanan fosfora karşı tepki göstererek fosforun 100 mg kg^{-1} dozuna artırılması ile % 63 artış göstererek 20.2 g saksı$^{-1}$ kuru madde üretmiştir. C 7993 çeşidi kontrol dozunda 7.9 g saksı$^{-1}$ kuru madde üretirken 100 mg kg^{-1} dozunda % 111 artışla 16.7 g saksı$^{-1}$ kuru madde üretmiştir.

Çizelge 4.13 incelendiğinde Pegasso ve C 7993 çeşidi, Gerloff (1977)'un yaptığı sınıflandırmaya göre etkin ve duyarlı (IV), Sele, Tector, DK 626 ve DK 585 genotipleri, uygulama yapılmayan kontrol dozu ile 100 mg kg^{-1} karşılaştırıldığında, % 87, 81, 78 ve 77 artış göstererek ürettikleri kuru madde verimleri incelendiğinde (Çizelge 4. 13) etkin olmayan duyarlı (III), DK 6022 çeşidi kontrol dozunda ürettiği 11.7 g saksı$^{-1}$ dozu ile diğer genotiplerde oldukça yüksek düzeyde kuru madde üretmesine karşın artan fosfor dozu ile birlikte çok fazla bir artış göstermemiş ve 100 mg P kg^{-}1 dozunda % 25'lik artış göstererek 14.6 g saksı$^{-1}$ kuru madde verimi ile etkin ve duyarsız (II) ve P 3394, Teater, RX 770 çeşitleri sırasıyla % 67, 44 ve 40 artış göstererek etkin olmayan duyarsız (I) sınıflarına girmektedirler.

Konu ile ilgili yapılan bir çalışmada Fageria ve Baligar (1997) düşük ve yüksek fosfor koşullarında yetiştirilen mısır genotiplerinin bitki ağırlıkları gövde ve kök ağırlıkları, besin elementi alımı ve kullanımı açısından önemli farklılıklar gösterdiklerini rapor etmişlerdir. Bu nedenle gübreleme programında yetiştirilecek olan bitki çeşitlerinin de genotipik farklılıklardan dolayı fosfora karşı olan duyarlılıklarının farklı olacağı dikkate alınmalıdır (Horst ve ark., 2002; Wissuwa ve ark., 2002; Dessougi ve ark., 2003; Hammond ve ark., 2004).

4.6. Farklı Toprak Serileri ve Mısır Genotipleri ile Yürütülmüş Tarla Denemeleri

Araştırma, bölgede önemli bir üretim payına sahip olan II. ürün olarak yetiştirilen mısır bitkilerine 5 farklı oranda fosfor dozu (0, 40, 80, 120, 160 kg P_2O_5

ha^{-1}) uygulaması yapılarak yürütülmüştür. Tarla denemelerinde kullanılacak mısır çeşitleri sera denemesi sonuçları doğrultusunda Gerloff (1977)tarafından belirtilen etkinlik sınıflandırmasına göre belirlenen C 7993, Tector ve DK 6022 mısır çeşitleri kullanılarak, 2003 ve 2004 üretim yılında 2 yıl süre ile tarla koşullarında İkizce ve Harran I serileri üzerinde yürütülmüştür.

4.6.1. 2003-2004 Yılı Mısır Tarla Denemesi Yaprak Analiz Sonuçları

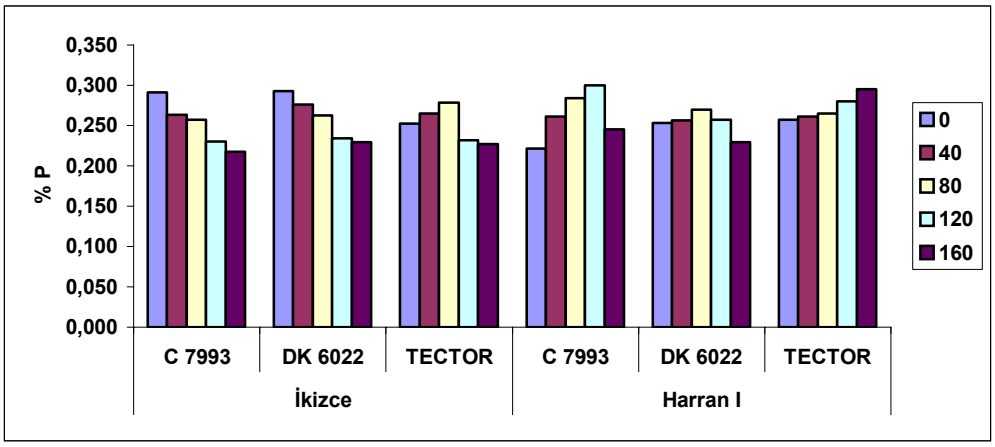
Harran ovası tarla koşullarında 2003-2004 yıllarında farklı P dozlarında yetiştirilen mısır çeşitlerinin tepe püskülü oluşum döneminde örneklenen yapraklara ait fosfor analiz sonuçları ve bu sonuçlara ait istatistiksel veriler ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Çizelge 4.14, Çizelge 15, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'de verilmiştir.

2003 yılında mısır bitkisi yaprak fosfor analiz değerleri incelendiğinde, her iki deneme alanında da ürün gelişimi için yapraktaki P içeriği yeterli sınırlarda (% 0.218-0.300) bulunmaktadır. İkizce toprak serisinde yürütülen tarla denemelerinde uygulanan fosfor dozunun yaprakta bulunan fosfor içeriğine istatistiksel olarak önemli oranda ($P<0.001$) etki ettiği belirlenmiştir. İkizce toprak serisinde çeşitler arasında ve ÇeşitxDoz etkileşimi arasında fosfor değerleri belirgin değişim göstermezken, aralarında istatistiksel olarak önemli bir fark görülmemiştir. Bununla birlikte Harran I serisinde çeşitler, Fosfor dozları ve ÇeşitxDoz etkileşimi arasında istatistiksel olarak ($P<0.05$) önemli bir fark gözlenmiştir (Çizelge 4.14).

Deneme sonuçları incelendiğinde, İkizce serisinde fosfor uygulaması yapılmayan kontrol parselinde % 0.279 ile en yüksek fosfor içeriği belirlenmişken, en düşük fosfor içeriği ise % 0.225 fosfor uygulamasının 160 kg P_2O_5 ha^{-1} olduğu en yüksek fosfor dozunda elde edilmiştir. Denemede diğer veriler % 0.218-0.300 arasında dağılım göstermiştir. Harran I serisinde çeşitler açısından değerlendirildiğinde, DK 6022 çeşidi % 0.253 ile en düşük yaprak fosfor içeriğine sahipken, C 7993 çeşidi % 0.262 ve Tector çeşidi % 0.272 ile en yüksek yaprak fosfor içeriğine sahiptir. Çeşitler arasında istatistiksel olarak belirgin farklılıklar vardır ($P<0.05$). Fosfor dozları açısından değerlendirildiğinde en düşük fosfor içeriği

% 0.244 ile kontrol parselinde elde edilmişken, en yüksek fosfor içeriği % 0.279 ile 120 kg P_2O_5 ha^{-1} fosfor uygulamasında elde edilmiş ve arttırılan fosfor dozu ile birlikte fosfor içeriği % 0.257'ye düşmüştür. Harran I serisinde fosfor uygulaması ile birlikte yapraklarda ölçülen fosfor içeriği genel olarak artış göstermiştir (Çizelge 4.14).

Harran I serisinde 2003 yılında yürütülen denemede ÇeşitxDoz etkileşimi incelendiğinde (Çizelge 4.14), en düşük fosfor içeriği % 0.222 ile C7993 çeşidinde kontrol dozunda elde edilirken, en yüksek fosfor içeriği % 0.300 ile yine C 7993 bitkisinde fosfor uygulamasının 120 kg P_2O_5 ha^{-1} olduğu dozda elde edilmiştir. Harran I serisinde yürütülen denemede diğer konsantrasyonlar bu iki değer arasında dağılım göstermiştir.



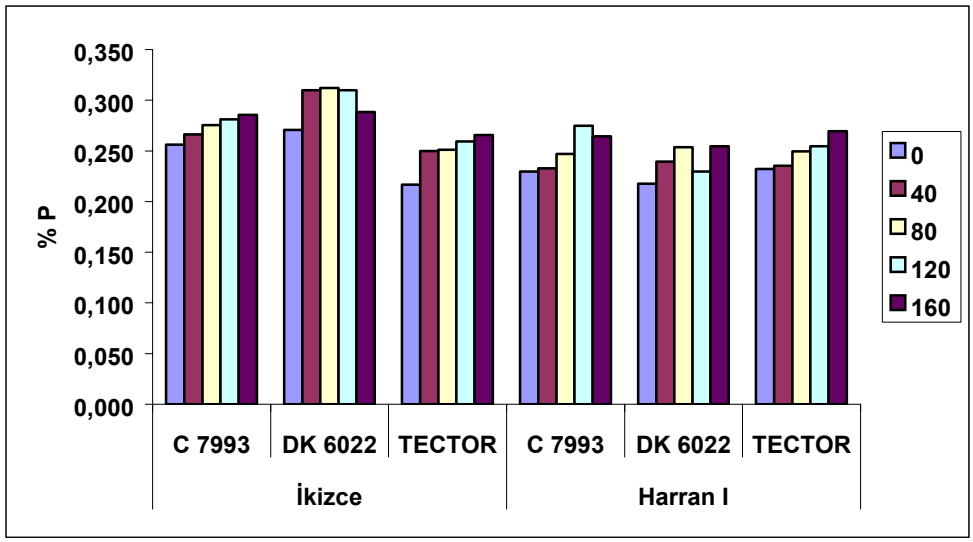
Şekil 4.12. 2003 Tarla Denemesi Mısır Genotiplerinin Fosfor Konsantrasyonları (%)

2004 yılı yaprak analiz sonuçlarına göre, 2003 yılında olduğu gibi her iki deneme alanında da bitki için gerekli olan fosfor içeriği (% 0.218-0.312) yeterlidir. İkizce serisinde çeşitler arasında ve fosfor dozları arasında istatistiksel olarak ($P<0.001$) önemli farklılıklar belirlenirken, ÇeşitxDoz etkileşimi arasında fosfor dozunun arttırılması ile bitki yaprak fosfor içeriğinde de düzenli bir artış olmasına karşın, bu artışlar istatistiksel olarak önemli olmamıştır (Çizelge 4.15). Harran I serisinde fosfor dozları arasında istatistiksel olarak ($P>0.01$) önemli farklılıklar belirlenirken, çeşitler arasında ve ÇeşitxDoz etkileşimi arasında istatistiksel olarak bir fark bulunamamıştır (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.14. Deneme Alanlarının 2003 Yılına Ait Mısır Bitkisi Yaprak Analiz Sonuçları

P dozları (kg P_2O_5 ha^{-1})		0	40	80	120	160	ORT.
Seri	**Çeşit**	(%)					
Ikizce	**C7993**	0.291 ± 0.002	0.264 ± 0.009	0.257 ± 0.009	0.230 ± 0.016	0.218 ± 0.009	**0.252**
	DK 6022	0.293 ± 0.012	0.276 ± 0.005	0.263 ± 0.014	0.234 ± 0.001	0.230 ± 0.004	**0.259**
	Tector	0.252 ± 0.012	0.265 ± 0.012	0.278 ± 0.004	0.232 ± 0.022	0.227 ± 0.003	**0.251**
		0.279 A	**0.268 AB**	**0.266 B**	**0.232 C**	**0.225 C**	
	F test++						
	Çeşit (Ç)	Ö.D.					
	Fosfor (P)	***					
	ÇxP	Ö.D.					
Harran I	**C7993**	0.222 ± 0.015 d	0.261 ± 0.023 a-d	0.284 ± 0.011 ab	0.300 ± 0.002 a	0.245 ± 0.021 b-d	**0.262 B**
	DK 6022	0.253 ± 0.015 a-d	0.256 ± 0.017 a-d	0.270 ± 0.010 a-d	0.257 ± 0.013 a-d	0.230 ± 0.011 cd	**0.253 C**
	Tector	0.257 ± 0.014 a-d	0.261 ± 0.006 a-d	0.265 ± 0.010 a-d	0.280 ± 0.018 a-c	0.295 ± 0.009 ab	**0.272 A**
		0.244 E	**0.260 C**	**0.273 B**	**0.279 A**	**0.257 D**	
	F test++						
	Çeşit (Ç)	*					
	Fosfor (P)	*					
	ÇxP	*					

*** , istatistiksel olarak 0.001 düzeyinde önemlidir



Şekil.4.13. 2004 Tarla Denemesi Mısır Genotiplerinin Fosfor Konsantrasyonları (%)

Yaprak analiz sonuçları incelendiğinde, çeşitler arasında İkizce serisinde en düşük yaprak fosfor içeriği % 0.249 ile Tector çeşidinde elde edilmiş ve DK 6022 çeşidinde % 0.298 ile en yüksek yaprak konsantrasyonu belirlenirken, C 7993 çeşidinde ise % 0.273 fosfor içeriği ölçülmüştür. Fosfor konsantrasyonları açısından değerlendirildiğinde (Çizelge 4.15), en düşük fosfor içeriği % 0.248 ile fosfor uygulaması yapılmayan kontrol parselinde belirlenirken en yüksek ortalama fosfor içeriği % 0.280 ile fosforun 80, 120 ve 160 kg P_2O_5 ha^{-1} uygulamalarının yapıldığı parsellerden elde edilmiştir, istatistiksel olarak bu uygulamalar arasında bir fark bulunamamıştır.

Deneme sonuçlarına göre, Harran I serisi fosfor uygulamaları açısından incelendiğinde (Çizelge 4.15) en düşük fosfor içeriği % 0.227 ie kontrol parselinde elde edilirken en yüksek fosfor içeriği % 15 artış göstererek % 0.263 ile 160 kg P_2O_5 ha^{-1} fosfor uygulamasının yapıldığı parselden elde edilmiştir. Harran I serisinde çeşitler arasında ve ÇeşitxDoz interaksiyonu arasında istatistiksel olarak önemli bulunmamış olsa da belirgin olmayan farklılıklar bulunmuştur.Yapılan birçok çalışmada özellikle fosforun bitki gelişimi açısından önemli olduğu ve uygulanan fosfor ile bitki dokularındaki fosfor konsantrasyonlarının doğrusal olarak arttığı birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Ragathoma, 1999; Güzel ve ark., 2002; Korkmaz ve ark., 2004; İbrikci ve ark., 2004).

Çizelge 4.15. Deneme Alanlarının 2004 Yılına Ait Mısır Bitkisi Yaprak Analiz Sonuçları

P dozları (kg P_2O_5 ha^{-1})		0	40	80	120	160	Ort.
Seri	**Çeşit**			**(%)**			
Ikizce	**C7993**	0.256 ±0.011	0.266 ±0.016	0.276 ±0.016	0.281 ±0.007	0.286 ±0.018	**0.273 B**
	DK 6022	0.271 ±0.014	0.310 ±0.009	0.312 ±0.005	0.310 ±0.007	0.289 ±0.009	**0.298 A**
	Tector	0.217 ±0.007	0.250 ±0.005	0.251 ±0.009	0.259 ±0.024	0.266 ±0.001	**0.249 C**
		0.248 B	**0.275 AB**	**0.280 A**	**0.2803 A**	**0.280 A**	
	F test						
	Çeşit (Ç)	***					
	Fosfor (P)	***					
	ÇxP						
Harran I	**C7993**	0.230 ±0.012	0.233 ±0.009	0.247 ±0.007	0.275 ±0.012	0.264 ±0.016	**0.25**
	DK 6022	0.218 ±0.010	0.240 ±0.015	0.254 ±0.016	0.230 ±0.006	0.255 ±0.006	**0.239**
	Tector	0.232 ±0.024	0.235 ±0.005	0.250 ±0.007	0.255 ±0.011	0.269 ±0.013	**0.248**
		0.227 B	**0.236 AB**	**0.250 AB**	**0.253 AB**	**0.263 A**	
	F test						
	Çeşit (Ç)	Ö.D.					
	Fosfor (P)	**					
	ÇxP	Ö.D					

,* ve Ö:D istatistiksel olarak sırasıyla 0.05, 0.001 düzeyinde önemli ve önemli değildir

Colomb ve ark. (2000), yaptıkları araştırmada mısırda yaprak gelişimine fosfor yarayışlılığının etkisini çok düşük, orta, yüksek ve çok yüksek fosfor seviyelerinde araştırmışlar ve fosfor noksanlığının genel olarak bitki kuru madde miktarında düşüşe neden olduğunu belirtmişlerdir. Fosfor noksanlığında bitki yaprak alanında da önemli düşüşler meydana gelmektedir (Mollier ve ark., 1999). Konu ile ilgili yapılan çalışmada, Assuero ve ark., (2004), mısır bitkisinin gövde kuru ağırlığı, gövde P konsantrasyonu, yaprak uzama oranı (% 63 oranında), hücre üretimi ve hücre difuzyon bölgesinin uzunluğunun (% 21 oranında), düşük fosfor koşullarında önemli oranlarda azalmış olduğunu belirtmişlerdir. Araştırıcılar fosfor noksanlığında bitkilerin özellikle kuru ağırlıklarında ve yaprak alanlarında önemli bir azalma söz konusu olduğunu, fosfor noksanlığı ile birlikte bitki gelişimi ve fotosentezin olumsuz yönde etkilenmekte olduğunu (Colomb, 2000; Plenet ve ark., 2000; Rodriguez ve ark., 2000; Assuero ve ark., 2004), yeterli fosfor içeriğine sahip bitkilerle karşılaştırıldığında, fosfor stresi altında yetişen bitkilerin önemli oranlarda düşük gelişim gösterdiklerini bildirmişlerdir (Rodriquez ve ark., 1998). Konu ile ilgili yapılan bir diğer çalışmada da, Mallarino (1995), koçan püskül aşamasında, koçan yaprağının toplam P içeriğinin, mısır veriminin tahmini açısından güvenilir bir yol olmadığını rapor etmiştir. Tarla denemelerinde P uygulamasının, mısır yaprağında P içeriğini ve mısır verimini artırdığını, buna karşın toprakların % 46'sında verim artışının olmadığı bildirilmektedir. Toprakta yararlı P düzeyine paralel olarak yaprakta P konsantrasyonu artmakta ve bir düzeyden sonra yükselme eğrisi düzleşmektedir. Bu da toprakta fosfor konsantrasyonunun artışı ile P alımının da bir noktaya kadar artığını, sonra bitkinin bu fosfordan yararlanmadığını göstermektedir.

Özellikle 2003 yılında, İkizce serisinde C 7993 ve DK 6022 çeşitlerinin yapraklarında izlenen fosfor içeriğindeki azalma, fosforun yüksek ve diğer faktörlerin uygun olduğu koşullarda artan bitki gelişimi ile birlikte artan kuru madde miktarı nedeniyle, bitki içerisinde fosfor konsantrasyonunun seyrelmesinden ileri gelebilir. 2003 ve 2004 yılı deneme sonuçları dikkate alındığında bitkilerin yaprak fosfor içerikleri 2003 yılında her iki deneme alanında da % 0.218-0.300, 2004 yılında ise % 0.218-0.312 arasında değişim göstermektedir. Her iki yılda yürütülen tarla

denemelerinde kullanılan test bitkilerinin yaprak fosfor içerikleri benzerlik göstermektedir (Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15).

4.6.2. 2003-2004 Yılı Mısır Tarla Denemesi Verim Sonuçları

Harran ovası koşullarında 2003-2004 yıllarında farklı P dozlarında yetiştirilen mısır çeşitlerinin fosfor uygulamaları ile ilgili tane verim sonuçları, ilgili istatistiksel veriler ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17'de verilere ait grafikler Şekil 4.14, 4.15 ve 2003-2004 yıllarında gerçekleşen mısır bitkisindeki nisbi verim artışları Şekil 4.16'da verilmiştir.

Yürütülen denemelerde 2003 ve 2004 yılı verim sonuçları incelendiğinde, (Çizelge 16, Çizelge 17) her iki deneme alanı içinde uygulanan fosfor dozları ve mısır verimleri arasında istatistiksel olarak ($P<0.001$) farklılıklar belirlenirken, çeşitler ve ÇeşitxDoz etkileşimi arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmamıştır. İkizce serisi üzerinde 2003 yılında yürütülen denemeye ait verim sonuçları incelendiğinde, artan fosfor uygulamaları ile birlikte mısır çeşitlerinin verimlerinde doğrusal bir artışın olduğu görülmektedir. Fosfor uygulamasının yapılmadığı kontrol dozunda, 11.43 t ha^{-1} ile en düşük mısır verim ortalaması elde edilirken, fosfor dozunun artırılması ile birlikte 40 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 15.5 artış göstererek 13.20 t ha^{-1}'a yükselmiş ve 80 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda kontrol dozuna göre % 22.6 artış ile 14.01 t ha^{-1}, 120 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 26.4 ile 14.45 t ha^{-1} ve 160 kg P_2O_5 ha^{-1} % 25.8 artış göstererek 14.38 t ha^{-1} verim elde edilmiştir. Mısır verimleri karşılaştırıldığında en yüksek verim fosfor uygulamasının 120 kg P_2O_5 ha^{-1} olduğu dozda 14.45 t ha^{-1} ile elde edilirken, artan fosfor uygulaması ile birlikte istatistiksel olarak aralarında fark olmaksızın 14.38 t ha^{-1} verim elde edilmiştir.

2003 yılına ait verim sonuçları incelendiğinde çeşitler arasında istatistiksel olarak bir fark belirlenmemiş olmasına rağmen, Tector çeşidinde 13.05 t ha^{-1} ile en düşük verim elde edilmiş olup, DK 6022 çeşidinde 13.55 t ha^{-1}, ve en yüksek verim 13.88 t ha^{-1} ile C 7993 çeşidinde elde edilmiştir. ÇeşitxDoz etkileşimi incelendiğinde uygulanan fosfor dozları ile birlikte verim değerleri değişiklik göstermiş ve verim değerleri 11.09 t ha^{-1} ile 15.42 t ha^{-1}arasında bulunmakla birlikte, verim artışı istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Harran I serisine ait 2003 yılı verim sonuçlarına göre (Çizelge 4.16) fosfor dozlarının mısır verimi üzerine olan etkileri istatistiksel olarak (P<0.001) düzeyinde önemli farklılıklar göstermiştir. İkizce serisinde olduğu gibi Harran I serisinde de mısır verimi kontrol dozu ile karşılaştırıldığında fosforun artırılması ile birlikte bir artış göstermesine karşın , en düşük mısır verimi kontrol dozunda 10.94 t ha^{-1} ile elde edilirken dozun 40, 80, 120 ve 160 kg P_2O_5 ha^{-1} çıkarılması ile sırasıyla % 18.8, 16.6, 17.1 ve 18.6 oranlarında belirgin olmayan bir verim artışı saptanmıştır. En yüksek verim 40 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda 13.0 t ha^{-1} ile elde edilmesine karşın, 80 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda 12.76 t ha^{-1}, 120 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda 12.81 t ha^{-1} ve 160 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda 12.98 t ha^{-1} verimler elde edilmiştir.

Harran I serisinde 2003 yılı tarla denemesi çeşitlerin verimleri açısından değerlendirildiğinde, İkizce serisine göre biraz daha düşük verimler elde edilmiştir. C 7993 çeşidinde 12.39 t ha^{-1} ile en düşük verim elde edilirken, DK 6022 çeşidinde 12.44 t ha^{-1} ve Tector çeşidinde ise en yüksek verim 12.66 t ha^{-1} elde edilmiş olup, çeşitler arasında istatistiksel olarak bir farklılık belirlenmemiştir. Harran I serisinde ÇeşitxDoz etkileşimi açısından durum değerlendirildiğinde istatistiksel olarak önemli bulunmamış olsa da, en düşük mısır verimi 10.59 t ha^{-1} ile Tector çeşidinde fosfor uygulanmayan kontrol dozunda elde edilirken en yüksek verim 13.45 t ha^{-1} ile yine Tector çeşidinde fosforun, 160 kg P_2O_5 ha^{-1} dozu uygulamasında elde edilmiş, diğer mısır verimlerinin bu iki değer arasında dağılım gösterdiği görülmektedir.

İkizce serisinde 2004 yılında yürütülen deneme sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.17), fosfor uygulamaları ile birlikte mısır veriminde de artışlar belirlenmiş olup, bu artışlar istatistiksel olarak P<0.001 düzeyinde önemli bulunmuştur. Fosfor uygulaması yapılmayan kontrol dozunda ortalama 10.77 t ha^{-1} verim elde edilmişken, fosforun 40 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda, kontrol dozu ile karşılaştırıldığında % 15.7 artışla 12.47 t ha^{-1}, 80 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 12.6 artışla 12.67, 120 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 12.6 artışla 12.67 t ha^{-1} ve 160 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 12.1 artış göstererek 12.43 t ha^{-1} verim elde edilmiştir. En düşük verim 10.77 t ha^{-1} ile fosfor uygulaması yapılamayan kontrol dozunda elde edilirken, en yüksek verim fosfor uygulamasının 80 kg P_2O_5 ha^{-1} olduğu dozda 12.67 t ha^{-1} ile elde edilmiştir. Artan fosfor uygulamaları ile birlikte tane veriminde belirgin bir değişim meydana gelmemiştir.

Çizelge 4.16. Deneme Alanlarının 2003 Yılına Ait Mısır Verim Sonuçları

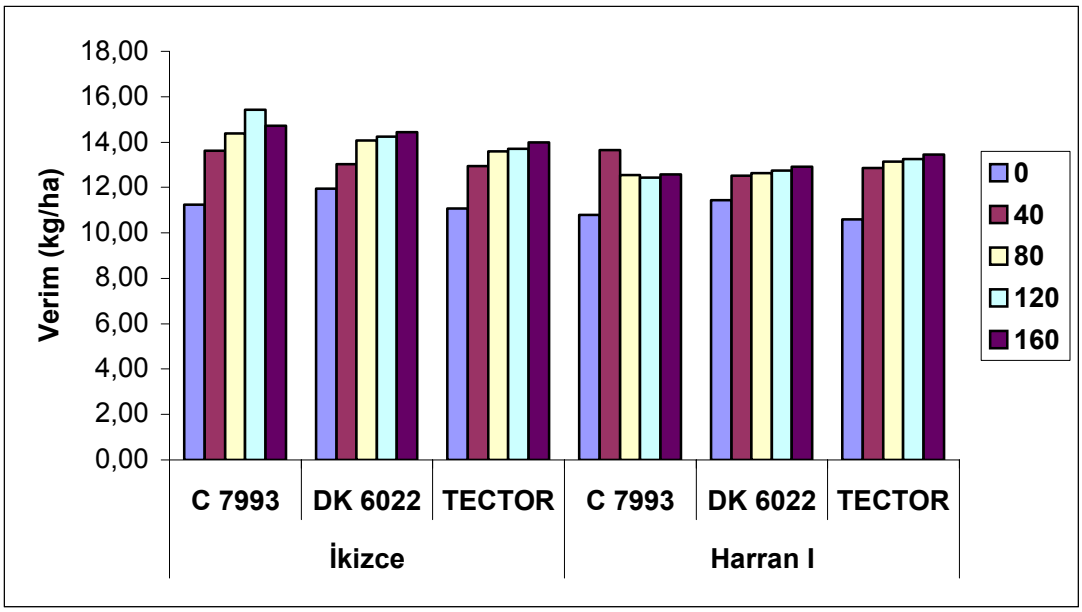
P Dozları (kg P_2O_5 ha^{-1})		0	40	80	120	160	
Seri	**Çeşit**			**t ha^{-1}**			**Ort.**
Ikizce	**C7993**	11.24 ± 0.166	13.63 ± 0.896	14.39 ± 0.791	15.42 ± 0.714	14.72 ± 0.117	**13.88**
	DK 6022	11.96 ± 0.274	13.03 ± 0.554	14.08 ± 0.510	14.25 ± 0.152	14.43 ± 0.237	**13.55**
	Tector	11.09 ± 0.089	12.93 ± 0.251	13.58 ± 0.039	13.69 ± 0.386	13.98 ± 0.108	**13.05**
		11.43 C	**13.20 B**	**14.01 AB**	**14.45 A A**	**14.38 A**	
	F test						
	Çeşit (Ç)	ÖD					
	Fosfor (P)	***					
	ÇxP	ÖD					
Harran I	**C7993**	10.79 ± 0.489	13.64 ± 0.526	12.53 ± 0.145	12.43 ± 0.557	12.56 ± 0.780	**12.39**
	DK 6022	11.43 ± 0.187	12.51 ± 0.064	12.63 ± 3.167	12.74 ± 0.472	12.91 ± 0.565	**12.44**
	Tector	10.59 ± 0.583	12.84 ± 0.846	13.13 ± 0.913	13.26 ± 0.593	13.45 ± 0.901	**12.66**
		10.94 B	**13.00 A**	**12.76 A**	**12.81 A**	**12.98 A**	
	F test						
	Çeşit (Ç)	ÖD					
	Fosfor (P)	***					
	ÇxP	ÖD					

,* ve Ö:D istatistiksel olarak sırasıyla 0.05, 0.001 düzeyinde önemli ve önemli değildir

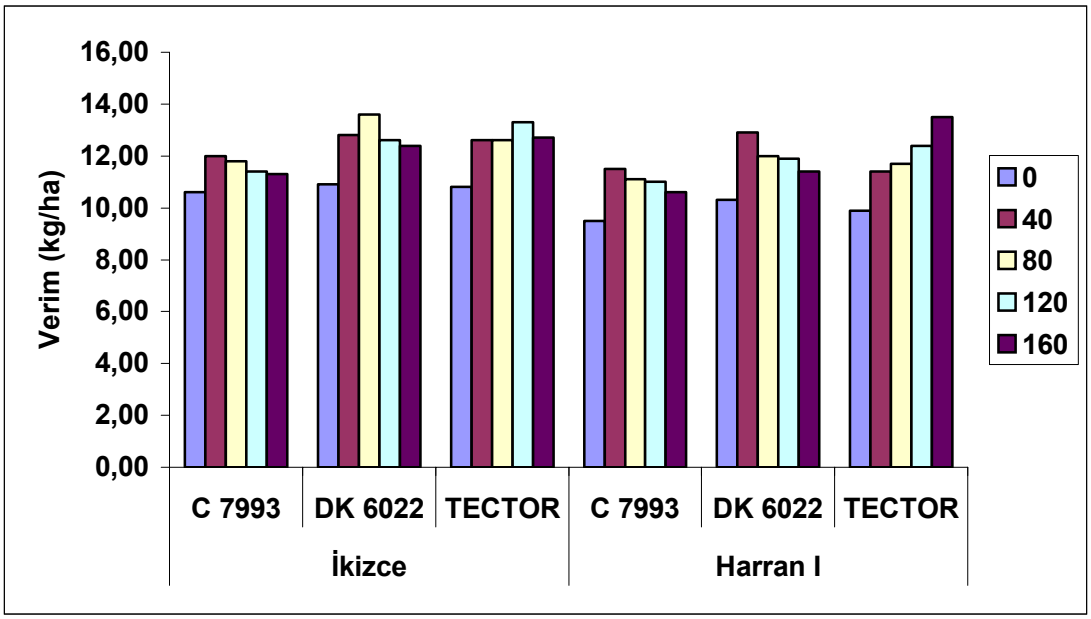
Çizelge 4.17. Deneme Alanlarının 2004 Yılına Ait Mısır Verim Sonuçları

P dozları (kg P_2O_5 ha^{-1})		0	40	80	120	160	Ort.
Seri	**Çeşit**			**t ha^{-1}**			
Ikizce	**C7993**	10.59 ± 1.06	12.03 ± 1.04	11.75 ± 0.38	11.38 ± 0.15	11.35 ± 0.69	**11.42**
	DK 6022	10.90 ± 0.30	12.82 ± 0.78	13.61 ± 0.82	12.63 ± 0.56	12.41 ± 0.60	**12.46**
	Tector	10.84 ± 0.13	12.63 ± 0.53	12.60 ± 0.35	13.26 ± 0.64	12.71 ± 0.56	**12.40**
		10.77 B	**12.47 A**	**12.67 A**	**12.67 A**	12.43 **A**	
	F test						
	Çeşit (Ç)	ÖD					
	Fosfor (P)	***					
	ÇxP	ÖD					
Harran I	**C7993**	9.49 ± 0.20	11.54 ± 0.25	11.11 ± 0.19	11.05 ± 0.29	10.65 ± 0.17	**10.74**
	DK 6022	10.35 ± 0.12	12.86 ± 1.20	12.03 ± 0.08	11.90 ± 0.41	11.44 ± 0.55	**11.70**
	Tector	9.86 ± 0.50	11.40 ± 0.72	11.73 ± 0.11	12.36 ± 1.45	13.46 ± 0.38	**11.78**
		9.90 B	**11.93 A**	**11.60 A**	**11.77 A**	**11.83 A**	
	F test						
	Çeşit (Ç)	ÖD					
	Fosfor (P)	***					
	ÇxP	ÖD					

*** ve Ö:D istatistiksel olarak sırasıyla 0.001 düzeyinde önemli ve önemli değildir



Şekil 4.14. Deneme Alanlarına Ait 2003 Yılı Mısır Tane Verimleri



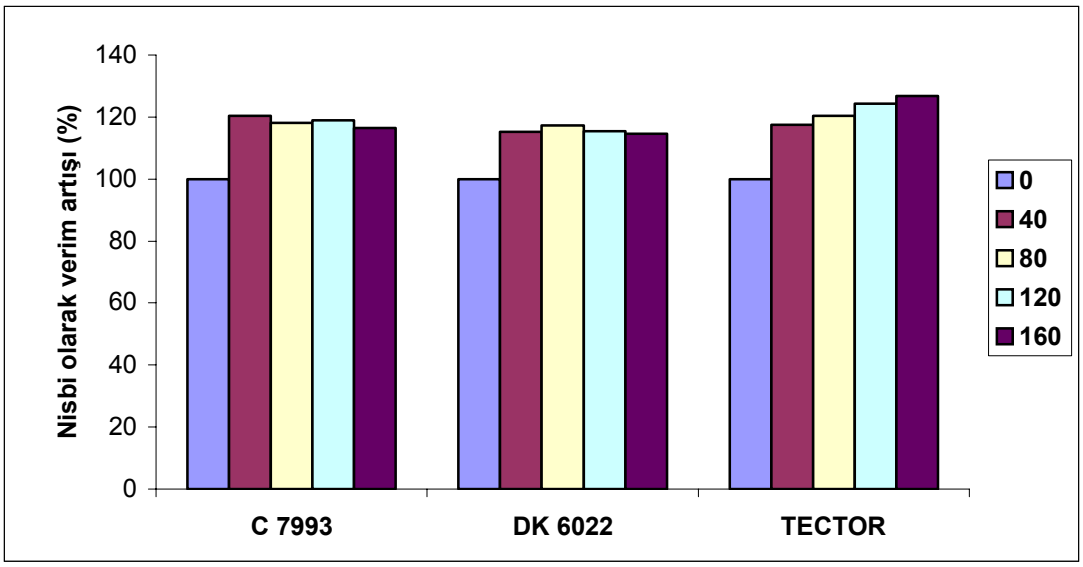
Şekil 4.15. Deneme Alanlarına Ait 2004 Yılı Mısır Tane Verimleri

Harran I serisinde ise İkizce serisine benzer olarak en düşük verim fosfor uygulanmayan kontrol dozunda ortalama olarak 9.90 t ha^{-1} ile elde edilirken kontrole göre fosfor dozunun 40 kg P_2O_5 ha^{-1} yükseltilmesi ile % 20.5 artışla 11.93 t ha^{-1} verim elde edilmiş olup, 80 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 17.1 artışla 11.60 t ha^{-1}, 120 kg

P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 18.8 artışla 11.77 t ha^{-1} ve 160 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 19.5 artışla 11.83 t ha^{-1} verim elde edilmiştir. Mısır verimleri incelendiğinde, en yüksek verim 11.93 t ha^{-1} ile 40 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda elde edilirken dozun artırılması ile birlikte mısır verimlerinde belirgin bir artış görülmemiştir. Çeşitler açısından verimler karşılaştırıldığında istatistiksel olarak aralarında bir fark gözükmese de, en düşük verim 10.74 t ha^{-1} ile C7993 çeşidinde en yüksek verim 11.78 t ha^{-1} ile Tector çeşidinde elde edilirken, DK 6022 çeşidinde 11.70 t ha^{-1} verim elde edilmiştir. ÇeşitxDoz etkileşimi incelendiğinde en düşük verim 9.50 t ha^{-1} ile C 7993 çeşidinde, en yüksek verim ise 13.50 t ha^{-1} ile Tector çeşidinde elde edilmiş, diğer ortalamalar bu değerler arasında dağılım göstermiştir.

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda özellikle fosforun ürün gelişimi için mutlak gerekli bir element olduğu (Ragothama, 1999; Smith, 2001; Dodor ve ark., 2003) fosfor noksanlığının genel olarak bitki kuru madde miktarında, ürün veriminde, fotosentez aktivitesinde, yaprak alan indeksi gibi bitki parametrelerinde düşüşe neden olduğu belirtilmiştir (Colomb ve ark. 2000; Plenet, 2000; Iqbal ve ark. 2003).

Bitki türleri arasında P alımı veya akışı bakımından farklılıklar olduğu kadar özellikle bitkilerin gelişim aşamaları arasında da P alımı açısından farklılıklar bulunduğu bildirilmektedir. Bhadoria ve ark., (2004) mısır bitkisinin başlangıçta düşük P akışına karşılık, gelişmenin ilerleyen aşamalarında maksimum gelişim için yeterli P akışına sahip olduğunu, toprak çözeltisinde sadece 1µM P konsantrasyonunda bile mısırın maksimum veriminin % 90'ını oluşturabileceğini bildirmişlerdir. Bitkiler bir gelişme mevsimi boyunca toplam kuru madde üretimlerinin % 25'i kadarını biriktirdiklerinde; toplam fosfor gereksinimlerinin de % 50 kadarını absorbe etmiş olurlar. Bitkiler belli bir olgunluğa ulaştıkça bitki bünyesindeki fosforun çoğu, vegatatif organlardan tohum ve meyveye doğru taşınır, özellikle bitki gelişiminin erken aşamalarında fosfora olan ihtiyaçları çok daha yüksektir (Kırtok, 1998).



Şekil 16. 2003-2004 Yılı Tarla Denemelerinde Nisbi Olarak Mısır Çeşitlerindeki Verim Artışı

Her iki yılda mısır bitkisi veriminde gözlenen nisbi verim artışları incelendiğinde, verim artışı % 120 civarında olmuştur, özellikle fosfor uygulaması yapılmayan kontrol koşullarında en düşük verimin alındığı görülmektedir (Çizelge 16, 17 ve Şekil 16). Fosfor uygulamaları ile birlikte literatür bulgularının belirttiğine benzer şekilde fosfor alımında artışlar söz konusu olurken, Mallarino (1995), farklı toprak serileri üzerinde yürüttükleri tarla denemelerinde, P uygulamalarının, mısır yaprağında P içeriğini ve mısır verimini, toprakların % 85'inde artırdığını, buna karşın toprakların % 46'sında verim artışının olmadığı bildirmektedir. Fosfor uygulamaları ile birlikte mısır yapraklarının P içeriği ve mısır verimi bir noktaya kadar artmakta ve bu aşamadan sonra da artış düzleşmektedir. Bu da, toprakta fosfor konsantrasyonunun artışı ile P alımının da bir noktaya kadar arttığını, daha sonra uygulanan fosfordan bitkinin yararlanmadığını ya da fosforun bitki dokularında organik bileşikler oluşturarak form değiştirmesi nedeniyle verime yansımaması şeklinde açıklanabilir. Lott ve ark., (2000) özellikle tahılların tohumlarında ve meyvelerinde fosforun fitik asit ve fitat formlarında önemli oranlarda bulunduğunu ve bunun gerek bitkinin gelişim sırasında fosfor ihtiyacının karşılanması gerekse insan ve hayvan beslenmesi açısından öneminin yanı sıra çevre açısından

değerlendirildiğinde ise ötrofikasyona ya da yıkanma ile oluşacak toprak ve su kirliliğinin de dengeli gübreleme ile azaltılabileceğini bildirmişlerdir.

Yapılan çalışmalarda araştırıcılar kurak ve yarı kurak iklim koşullarında, uygulanan fosforun yüksek oranlarda Ca-fosfatlar formunda tutunduğunu, özellikle yüksek pH, karbonat ve düşük organik madde içeriğinin fosforun çökelerek yarayışlılığının düşmesine neden olduğunu belirtmişlerdir (Sardi ve Csatho 2002; Braschi ve ark., 2003; Gahrooee, 2003). Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda da Öktem ve Ülger (1998), Alam ve Ladha (2004), yaptıkları araştırmalarda fosforun toprak tarafından çabucak ya da hızlıca fikse olunduğunu ve özellikle belirtilen dozların üzerine çıkıldığında, ekonomik olarak verim üzerine bir etkisinin olmadığını ve fosfor kirliliğini azaltmak içinde fosforun topraklarda birikimini azaltacak şekilde bir gübreleme yönetimi gerektiğini bildirmişlerdir.

Bu bulgular doğrultusunda 2003-2004 yılında fosfor uygulamaları ile birlikte üretim incelendiğinde kontrol dozuna göre nisbi olarak yaklaşık % 20 oranında bir verim artışı sağlanmıştır. Fosfor uygulamaları ile birlikte sağlanan verim artışları dikkate alındığında ise topraklara 80-120 kg P_2O_5 ha^{-1} dozlarında fosfor uygulamalarının bitki gelişimi için ideal olduğu ve bu uygulama dozunun aşılması ile mısır veriminde herhangi bir artışın meydana gelmediği görülmektedir (Şekil 4.16). Ancak genel olarak toprak özellikleri ve başlangıçta topraklarda mevcut bulunan fosfor içerikleri de dikkate alındığında (Çizelge 4.2), 40 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunun altına düşüldüğünde verim önemli oranda düşmektedir (Şekil 4.16), bu nedenle bu dozun altına düşülmemesi gerekmektedir. Özellikle bölge topraklarının yüksek adsorpsiyon güçleri de dikkate alındığında uygulanan fosfor hızla toprak tarafından adsorbe edilerek bitkilere yarayışsız forma dönüşmekte ve fosforun bitki verimine herhangi bir olumlu etkisi bulunmamaktadır (Şekil 4.16).

4.6.3. 2003-2004 Tarla Denemesi Mısır Tane Fosfor İçerikleri

Harran ovası koşullarında 2003-2004 yıllarında farklı dozlarda yetiştirilen mısır çeşitlerinin hasat sonrası tanelerine ait fosfor analiz sonuçları, bu sonuçlara ait istatistiksel veriler ile Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Çizelge 4.18 ve

Çizelge 4.19'da, bu verilere ait grafikler de Şekil 17 ve Şekil 4.18'de verilmiştir. 2003-2004 Tarla denemeleri sonucunda mısır bitki dokularından taneye taşınan fosfor miktarları ise Şekil 4.19'da verilmiştir.

2003 yılında mısır üretim döneminde İkizce ve Harran I serileri üzerinde yürütülen denemelerde, İkizce serisinde Çeşitler arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılık saptanmamasına karşın, dozlar arasında ($P<0.05$) ve ÇeşitxDoz etkileşimi arasında istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) düzeyde farklılıklar tespit edilmiştir. Harran I serinde ise çeşitler arasında, uygulanan fosfor dozları ve ÇeşitxDoz etkileşimi arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık belirlenmemiştir.

İkizce serisinde (Çizelge 4.18) çeşitler arasında önemli düzeyde bir farklılık belirlenmemesine karşın, en düşük tane fosfor içeriği % 0.159 ile C 7993 çeşidinde elde edilirken, en yüksek % 0,174 ile DK 6022 çeşidinde ve Tector çeşidinde ise % 0.165 fosfor içerikleri belirlenmiştir. Uygulanan fosfor dozları ve mısır çeşitlerinin tane fosfor içerikleri incelendiğinde (Çizelge 4.18), fosfor uygulaması yapılmayan kontrol dozunda % 0.157 ile en düşük tane fosfor içeriği elde edilirken, 40 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 0.165, 80 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 0.170, 120 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 0.161 ve 160 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 12.7 artış göstererek % 0.177 olarak tespit edilmiştir. Uygulanan fosfor ile birlikte tane fosfor içeriğinde de doğrusal bir artış görülmüştür. ÇeşitxDoz etkileşimi açısından tane fosfor içerikleri incelendiğinde en yüksek tane fosfor içeriği % 0.186 ile fosfor uygulamasının 80 kg P_2O_5 ha^{-1} olduğu DK 6022 çeşidinde elde edilirken en düşük fosfor içeriği, yine aynı çeşitte fosforun 120 kg P_2O_5 ha^{-1} olduğu uygulamada elde edilmiştir. Çizelge 4.18 incelendiğinde, kontrol dozu ile karşılaştırıldığında fosfor uygulamaları ile beraber mısır bitkilerinin tane fosfor içeriklerinin 120 kg P_2O_5 ha^{-1} dozuna kadar arttığı ve dozun 160 kg P_2O_5 ha^{-1} yükseltilmesi ile tekrar azaldığı görülmektedir (Şekil 4.18). 2003 yılında genel olarak veriler değerlendirildiğinde tane fosfor içerikleri % 0.142-0.186 arasında dağılım göstermektedir.

Harran I serisinde istatistiksel olarak önemli bulunmamış olsa da Çeşitler açısından tane fosfor içerikleri incelendiğinde, en düşük tane fosfor içeriği % 0.163 ile Tector çeşidinde, en yüksek tane fosfor içeriği % 0.178 ile DK 6022 çeşidinde

elde edilmiş ve C 7993 çeşidinde ise % 0.167 olarak belirlenmiştir. Fosfor dozları açısından değerlendirildiğinde, en düşük 40 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 0.164 ve en yüksek ise fosforun 160 kg P_2O_5 ha^{-1} olduğu uygulamada % 0.175 olarak belirlenirken diğer ortalamalar bu değerler arasında dağılım göstermiştir. ÇeşitxDoz etkileşimi incelendiğinde de tıpkı çeşit ve doz arasında olduğu gibi belirgin farklılık gözlenmezken, tane fosfor içerikleri % 0.160-0.193 arasında dağılım göstermektedir.

2004 yılı mısır tane fosfor analiz sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.19) İkizce toprak serisinde yürütülen denemede çeşitler arasında $P<0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar belirlenirken dozlar ve ÇeşitxDoz etkileşimi arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Harran I serisinde çeşitler ve dozlar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($P<0.001$) belirlenirken, ÇeşitxDoz etkileşimi arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir.

2004 yılına ait mısır tane fosfor içerikleri incelendiğinde, İkizce serisinde çeşitler arasındaki mısır tanesi fosfor içerikleri karşılaştırıldığında (Çizelge 4.19) en düşük % 0.086 ile C7993 çeşidinde, % 0.089 ile Tector çeşidinde ve en yüksek tane fosfor içeriği % 0.115 ile DK 6022 çeşidinde elde edilmiştir. Uygulama dozları ve tane açısından tane fosfor içeriklerine bakıldığında istatistiksel olarak önemli çıkmasa da en düşük, fosfor uygulaması yapılmayan kontrol dozunda % 0.085 ve en yüksek ise 80 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 0.108 ile elde edilirken artan dozlarda tane fosfor içeriği azalan bir değişim göstererek, 120 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 0.100 ve 160 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 0.098 olarak tespit edilmiştir. ÇeşitxDoz etkileşimi de fosfor uygulamaları gibi istatistiksel olarak önemli olmasa da değerler karşılaştırıldığında en düşük tane fosfor içeriği % 0.075 ile fosfor uygulamasının yapılmadığı kontrol dozunda C 7993 çeşidinde ve en yüksek % 141 ile fosfor uygulamasının 80 kg P_2O_5 ha^{-1} olduğu DK 6022 çeşidinde elde edilmiştir

Çizelge 4.18. Deneme Alanlarının 2003 Yılına Ait Mısır Tane Fosfor İçerikleri

P dozları (kg P_2O_5 ha^{-1})		0	40	80	120	160	Ort.
Seri	**Çeşit**	(%)					
Ikizce	**C7993**	0.147 ± 0.018 ı	0.156 ± 0.016 g	0.151 ± 0.009 h	0.175 ± 0.008 d	0.166 ± 0.002 f	**0.159**
	DK 6022	0.180 ± 0.008 c	0.182 ± 0.002 b	0.186 ± 0.006 a	0.142 ± 0.008 k	0.183 ± 0.013 b	**0.174**
	Tector	0.144 ± 0.007 j	0.157 ± 0.005 g	0.173 ± 0.008 e	0.167 ± 0.005 f	0.183 ± 0.003 b	**0.165**
		0.157 E	**0.165 C**	**0.170 B**	**0.161 D**	**0.177 A**	
	F test						
	Çeşit (Ç)						
	Fosfor (P)	*					
	ÇxP	**					
Harran I	**C7993**	0.181 ± 0.007	0.156 ± 0.005	0.168 ± 0.014	0.151 ± 0.009	0.176 ± 0.009	**0.167**
	DK 6022	0.163 ± 0.009	0.174 ± 0.014	0.186 ± 0.005	0.193 ± 0.011	0.171 ± 0.008	**0.178**
	Tector	0.161 ± 0.001	0.160 ± 0.010	0.161 ± 0.017	0.155 ± 0.005	0.179 ± 0.008	**0.163**
		0.168	**0.164**	**0.172**	**0.167**	**0.175**	
	F test						
	Çeşit (Ç)	Ö.D.					
	Fosfor (P)	Ö.D.					
	ÇxP	Ö.D.					

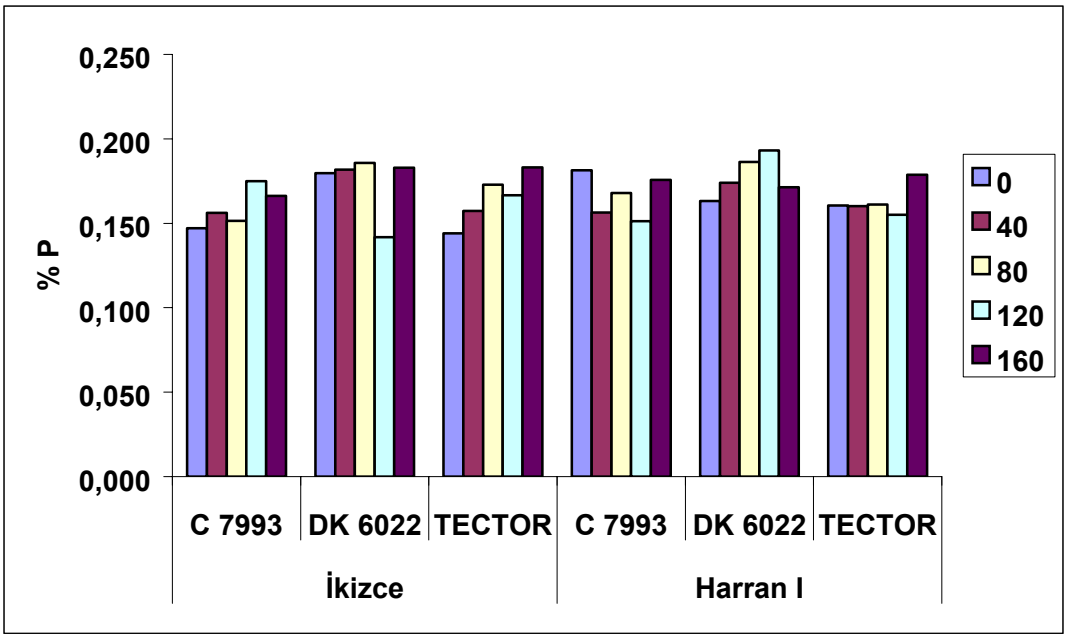
*, Ö. D. sırasıyla 0.05 düzeyinde önemli, önemli değildir

Çizelge 4.19. Deneme Alanlarının 2004 Yılına Ait Mısır Tane Fosfor İçerikleri

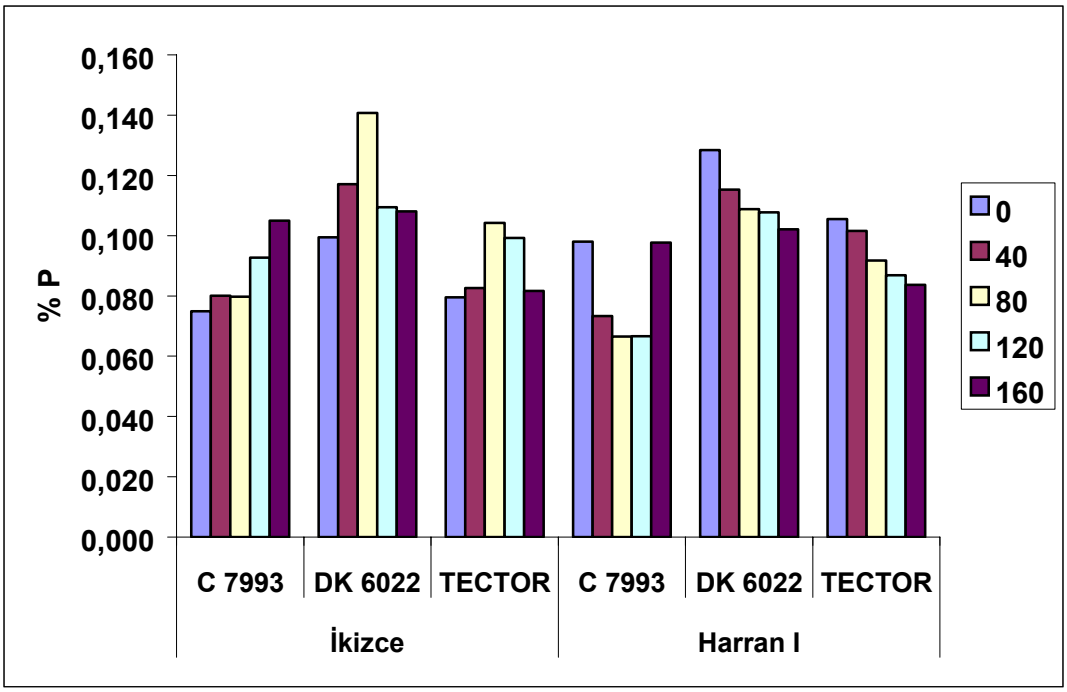
P dozları (kg P_2O_5 ha^{-1})		0	40	80	120	160	Ort.
Seri	**Çeşit**			(%)			
Ikizce	**C7993**	0.075 ± 0.006	0.080 ± 0.007	0.080 ± 0.011	0.093 ± 0.007	0.105 ± 0.005	**0.086 B**
	DK 6022	0.099 ± 0.003	0.117 ± 0.018	0.141 ± 0.002	0.109 ± 0.018	0.108 ± 0.017	**0.115 A**
	Tector	0.080 ± 0.012	0.083 ± 0.014	0.104 ± 0.013	0.099 ± 0.011	0.082 ± 0.010	**0.089 B**
		0.085	**0.093**	**0.108**	**0.100**	**0.098**	
	F test						
	Çeşit (Ç)	*					
	Fosfor (P)	Ö.D					
	ÇxP	Ö.D					
Harran I	**C7993**	0.098 ± 0.009	0.073 ± 0.006	0.067 ± 0.012	0.067 ± 0.002	0.098 ± 0.005	**0.080 C**
	DK 6022	0.128 ± 0.002	0.115 ± 0.008	0.109 ± 0.006	0.108 ± 0.007	0.102 ± 0.005	**0.112 A**
	Tector	0.105 ± 0.005	0.102 ± 0.005	0.092 ± 0.017	0.087 ± 0.004	0.084 ± 0.004	**0.094 B**
		0.111 A	**0.097 B**	**0.089 C**	**0.087 C**	**0.095 B**	
	F test						
	Çeşit (Ç)	***					
	Fosfor (P)	***					
	ÇxP	Ö.D					

*, ***, Ö. D. sırasıyla 0.05, 0.001 düzeyinde önemli, önemli değildir

Harran I serisinde 2004 yılı değerleri incelendiğinde (Çizelge 4.19), çeşitler arasındaki fosfor tane içerikleri karşılaştırıldığında en düşük % 0.080 ile C 7993, % 0.094 ile Tector ve en yüksek ise % 0.112 ile DK 6022 çeşidinde elde edilmiştir. Dozlar açısından verim değerlendirildiğinde ise İkizce serisinden farklı olarak daha önce yürütülen sera denemesi sonuçlarına benzer şekilde fosfor uygulanmayan kontrol parselinde % 0.111 ile en yüksek tane fosfor içeriği elde edilmişken dozun arttırılması ile birlikte, 40 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 0.097, 80 kg ha^{-1}, 80 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 0.089, 120 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 0.087 ve 160 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda % 0.095 olarak belirlenmiştir. ÇeşitxDoz etkileşimi istatistiksel olarak önemli olmasa da en düşük tane fosfor içeriği % 0.067 ile fosfor uygulamasının 80-120 kg P_2O_5 ha^{-1} olduğu dozda C 7993 çeşidinde ve en yüksek ise % 0.128 ile fosfor uygulaması yapılmayan kontrol parselinde DK 6022 çeşidinde elde edilirken, diğer tane fosfor içerikleri bu değerler arasında dağılım göstermektedir.



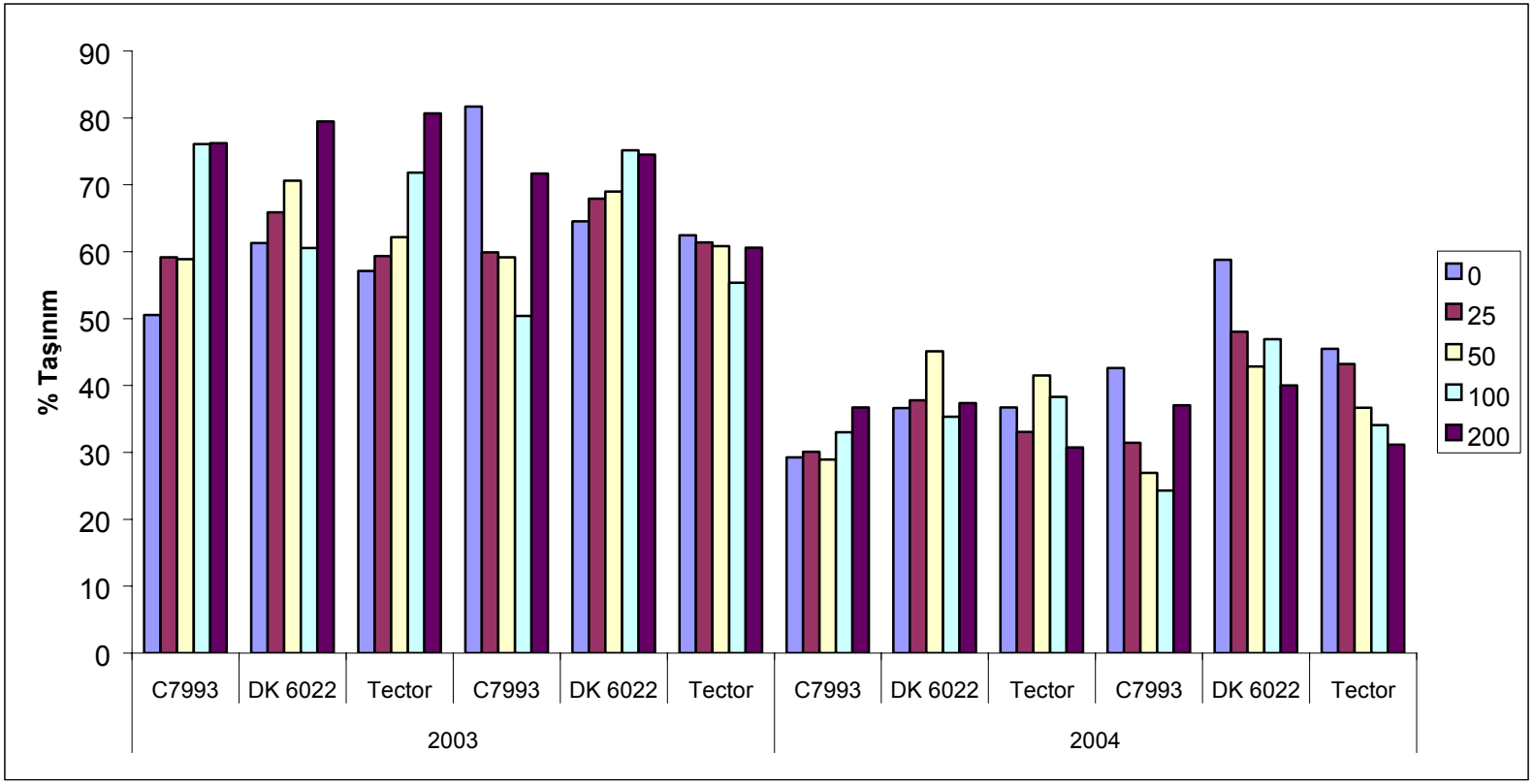
Şekil 4.17.Tarla Denemelerinin 2003 Yılına Ait Mısır Tane Fosfor Konsantrasyonları



Şekil 4.18.Tarla Denemelerinin 2004 Yılına Ait Mısır Tane Fosfor Konsantrasyonları

İki yıl sürdürülen denemelerin 2003 yılında, İkizce serisinde tepe püskülü oluşum döneminde koçan yaprağının örneklenmesi ile C 7993 çeşidinde elde edilen bitki fosfor içeriklerinin kontrol dozunda % 51'i ve 40, 80, 120 ve 160 kg P_2O_5 ha^{-1} dozlarında sırasıyla % 59, 59 76 ve 76, DK 6022 çeşidinde artan fosfor dozu ile birlikte sırasıyla % 61, 65, 71, 61 ve 79 ve Tector çeşidinde ise % 57, 59, 62, 72, 80 oranında taneye taşındığı görülmektedir. Harran I serisinde C 7993 çeşidinde artan doz ile birlikte sırasıyla % 82, 60, 59, 50 ve 72, DK 6022 çeşidinde % 65, 68, 69, 75 ve 75 ve Tector çeşidinde % 62, 61, 61, 55 ve 61 oranında taneye taşındığı görülmektedir (Şekil 4.19).

2004 yılına ait olan fosforun taneye taşınım oranları incelendiğinde ise İkizce serisinde C 7993 çeşidinde yukarıda belirtilen dozlardaki sırasıyla % 29, 30, 29, 33 ve 37, DK 6022 çeşidinde % 37, 38, 45, 35 ve 37 ve Tector çeşidinde ise 37, 33, 42, 35 ve 37 oranında taneye taşınırken, Harran I serisinde ise C 7993 çeşidinde % 43, 31, 27, 24 ve 37, DK 6022 çeşidinde % 59, 48, 43, 47 ve 40 ve Tector çeşidinde ise % 45, 43, 37, 34 ve 31 oranında taneye taşındığı görülmektedir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. 2003-2004 Tarla Denemeleri Sonucunda Mısır Bitki Dokularından Taneye Taşınan Fosfor Miktarları

Deneme sonuçları genel olarak incelendiğinde, 2003 yılında fosforun ortalama olarak % 60'ın üzerinde bir oranda taneye taşındığı görülürken, 2004 yılında yaklaşık % 40 oranında yapraklardan taneye taşınmıştır (Şekil 4.19). Sonuçlar değerlendirildiğinde ilk yıl yüksek bir taşınımın olması ve ilk yılı takiben yapraklardan taneye % 20 daha az bir fosfor taşınımının olması, iki yıl arasındaki iklim koşullarının değişikliğinden veya sulama koşullarından kaynaklanabilir. Ancak genel olarak yapraklarda bulunan fosforun büyük oranda tanede biriktiği görülmektedir. Konu ile ilgili olarak yapılan araştırmalarda da fosfor uygulamasının özellikle mısır verimi ve gelişimi açısından mutlak gerekli olduğu ve özellikle mısırın gelişim aşamalarında büyük bir çoğunlukla tanede biriktiği rapor edilmiştir (Brohi ve ark., 1994; Mollirano, 1995; Kırtok, 1998).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fosfor adsorpsiyonu açısından değerlendirildiğinde toprakların adsorpsiyon güçlerinin farklı olduğu ve özellikle İkizce serisinin diğer toprak serileri ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir adsorbsiyon kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Uygulanan fosfor çözeltilerinin, artan fosfor konsantrasyonu ile topraklar tarafından adsorbe olunan fosforun miktarı artar ve topraklar tarafından adsorbe olan fosfor (%) adsorpsiyon değerleri fosfor çözeltisinin konsantrasyonunun artması ile azalarak negatif bir ilişki göstermiştir.

İkizce serisinde topraklarda fosfor adsorpsiyonunun yüksek olması Kaolinit tipi kil mineralinin özellikle yüzey toprağında diğer serilere göre daha baskın olmasından kaynaklanabilir, Kaolinitin adsorbsiyon enerji katsayısı üzerine ($P<0.001$) belirgin bir etkisi vardır. Ayrıca toprak serilerinde adsorpe olan fosforun fraksiyonları, Ca-P>CDB-P>CB-P>Al-P+Fe-P şeklinde total fosfor içerisinde dağılım göstermektedir, İkizce serisinde total-P'un % 90'ı, Harran I ve Çekçek serisinde ise % 94'ü kalsiyuma bağlı fosfordan oluşmaktadır. Kireçli topraklarda fosforun özellikle kalsiyum tarafından bağlanarak yarayışız bileşik formuna dönüştüğü belirtilmektedir. İkizce serisinin diğer serilerden farklı olarak, Fe oksitlerce bağlı bulunan fosfor miktarı da total P'un % 6'sını oluşturmaktadır. Kireçli topraklarda özellikle kalsiyuma bağlı fosforun yanı sıra, topraklarda oluşmuş bulunan Fe oksitler ve sulu oksitlerinde, fosforun bitkiler için yarayışsız hale geçmesinde önemli rol oynadığı belirtilmiştir. Bu bulgular doğrultusunda kireçli ve pH'sı yüksek ve alkalin topraklarda fosforun adsorpsiyonu üzerine toprakların kalsiyum içeriği, kil tipi, kil içeriği ile Fe oksitler ve sulu oksitlerin fosfor bileşiklerinin topraklarda bağlanarak yarayışsız forma dönüştürülmesinde önemli rol oynadığı görülmektedir.

Araştırma konusu topraklarda C/(x/m) ve C arasındaki ilişki incelendiğinde, İkizce toprak serisine uygulanan Langmuir denklemi $r^2=0.9653$, Harran I serisi $r^2=0.982$ ve Çekçek serisinde ise $r^2=0.9813$ gibi yüksek korelasyonlar göstererek özellikle fosforun konsantrasyonu ve topraklarca adsorbe olan fosfor arasında yüksek

bir ilişkiyle birlikte bu topraklarda langmuir izoterminin de uygunluğunu görülmektedir.

Toprak serileriyle ilgili adsorpsiyon maksimumu olan b ve adsorpsiyon enerji katsayısı k, açısından, İkizce toprak serisi 400 μg g^{-1}, Harran I serisinde 270 μg g^{-1} ve Çekçek serisinde ise 263 μg g^{-1} arasında bir değişiklik göstermektedir. Deneme topraklarının adsorpsiyon enerji katsayıları incelendiğinde ise İkizce serisi 0.76 ml μg^{-1}, Harran I serisi 0.71 ml μg^{-1} ve Çekçek serisinde ise 0.70 ml μg^{-1} olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon maksimumu olan b ve adsorpsiyon enerji katsayısı olan k değerleri, İkizce serisinin daha yüksek P adsorpsiyon gücüne sahip olduğunu göstermektedir.

Toprakların tıpkı adsorpsiyon güçlerinin farklı olduğu gibi, desorpsiyon güçlerinin de farklı olduğu görülmektedir. Uygulanan fosfor dozunun artırılması ile beraber desorpsiyon güçlerinin de arttığı buna karşın topraklara çeşitli kaynaklardan gelen fosforun büyük bir çoğunluğunun topraklar tarafından bağlanarak artık bir birikimin oluştuğu ve özellikle doğru bir gübreleme açısından, çevre üzerine olan olumsuz etkilerinden dolayı uygulamada özellikle özen gösterilmesi ve bu biriken fosforun da göz önünde bulundurularak çevre ile barışık bir gübreleme programının yapılması gerekmektedir.

Deneme sonuçlarından anlaşıldığına göre özellikle sera koşullarında yapılan çalışmalarda, sınırlı toprak hacminde ve yetersiz fosfor koşullarında yetiştirilen bitkilere fosfor uygulanması ile birlikte bitkilerin kuru madde verimleri, fosfor içerikleri ve topraklardan kaldırdıkları fosfor miktarı önemli oranda artış göstermişleridir ($P<0.001$). Yetersiz fosfor koşullarında ve fosfor uygulanmayan koşullarda özellikle bitkiler kuru madde açısından gelişim göstermezken, fosfor uygulamaları ile birlikte doğrusal olarak önemli oranda artan kuru madde verimi elde edilmiştir. Sera denemesi sonuçlarına göre özellikle artan fosfor dozları ile birlikte kuru madde miktarları artmasına karşın, uygulanan fosfor özellikle Harran I serisinde topraklarda yetersiz konsantrasyonda bulunan mevcut Zn elementinin yarayışlılığını da azaltarak ürün gelişimini olumsuz yönde etkilemiştir. İkizce serisinde ise benzer şekilde 100 mg kg^{-1}dozundan sonra P'un, Zn üzerine olan antogonistik etkileri gözlenmiştir.

Yürütülen sera çalışmasında özellikle çeşitler arasında fosfor kullanımları açısından istatistiksel olarak da önemli farklılıklar ($P<0.001$) belirlenmiştir. Çeşitler fosfor etkinliği açısından değerlendirildiğinde, Pegasso çeşidi kontrol dozunda ortalama olarak 12.3 g saksı$^{-1}$ kuru madde üretirken, uygulanan fosfora karşı tepki göstererek fosforun 100 mg kg^{-1} dozuna artırılması ile % 63 artış göstererek 20.2 g saksı$^{-1}$ kuru madde üretmiştir. C 7993 çeşidi kontrol dozunda 7.9 g saksı$^{-1}$ kuru madde üretirken 100 mg kg^{-1} dozunda % 111 artışla 16.7 g saksı$^{-1}$ kuru madde üretmiştir. Pegasso ve C 7993 çeşidi Gerloff (1977) yaptığı sınıflandırmaya göre etkin ve duyarlı (IV), Sele, Tector, DK 626 ve DK 585 etkin olmayan duyarlı (III), DK 6022 çeşidi etkin ve duyarsız (II) ve P 3394, Teater, RX 770 çeşitleri etkin olmayan duyarsız (I) sınıflarına girmektedirler.

Düşük ve yüksek fosfor koşullarında yetiştirilen mısır genotipleri bitki ağırlıkları, besin elementi alımı ve kullanımı açısından önemli farklılıklar göstermişlerdir. Bu nedenle gübreleme programında yetiştirilecek olan bitki çeşitlerinin de toprakların adsorpsiyon güçlerinin yanı sıra genotipik farklılıklardan dolayı fosfora karşı olan duyarlılıklarının da farklı olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Tarla denemelerinde, çiçeklenme öncesi koçan yaprağının örneklenmesi ile belirlenen fosfor değerleri 2003-2004 yıllarında (sırasıyla % 0.218-0.300 ve % 0.218-0.312) ürün gelişimi için gerekli olan kritik sınırın üzerinde belirlenmiş olmasına karşın, artan fosfor uygulamaları ile birlikte mısır verimi üzerine fosfor büyük artışlar sağlamamıştır. 2003 yılında İkizce serisinde kontrol dozunda 11.43 t ha^{-1} verim elde edilirken en yüksek verim 120 kg P_2O_5 ha^{-1} uygulamasında 14.45 t ha^{-1} ile iki yıl süre ile yürütülen denemde en iyi sonuçlar alınmıştır. Harran I serisinde en düşük mısır verimi kontrol dozunda 10.94 t ha^{-1} ile elde edilirken en yüksek verim 40 kg P_2O_5 ha^{-1} P dozunda 13.0 t ha^{-1} ile elde edilmesine karşın, 80 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda 12.76 t ha^{-1}, 120 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda 12.81 t ha^{-1} ve 160 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunda 12.98 t ha^{-1} verimler elde edilmiştir. 40 kg P_2O_5 ha^{-1} P dozu ve artan dozlar arasında istatistiksel olarak fark belirlenmemiştir. 2004 yılına ait sonuçlar incelendiğinde, İkizce serisinde fosfor uygulaması yapılmayan kontrol dozunda 10.77 t ha^{-1} verim elde edilirken en yüksek verim fosfor uygulamasının 80

kg P_2O_5 ha^{-1} olduğu dozda 12.67 t ha^{-1} ile elde edilmiştir. Artan fosfor uygulamaları ile birlikte, ürün veriminde belirgin bir değişim meydana gelmemiştir. Harran I serisinde en düşük verim fosfor uygulanmayan kontrol dozunda 9.90 t ha^{-1} ile elde edilirken, en yüksek verim dozun 40 kg P_2O_5 ha^{-1} olması ile 11.93 t ha^{-1} olmuş ve dozun artırılması ile birlikte mısır verimlerinde istatistiksel olarak belirgin bir artış görülmemiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, özellikle mısır bitkisi yaprak örneklerinin fosfor içerikleri, uygulanan fosfor ile birlikte belirgin bir artış göstermesine karşın verim artışları yapraklardaki artış gibi bir değişim göstermemiştir. Bu doğrultuda yaprak fosfor içeriklerinin mısır veriminin tahmini açısından sağlıklı bir gösterge olmadığı söylenebilir.

Mısır verimleri incelendiğinde özellikle her iki deneme alanında da topraklarda başlangıçta bulunan Olsen-P'una (İkizce, 28.7 kg P_2O_5 ha^{-1} ve Harran I, 34.3 kg P_2O_5 ha^{-1}) ilave olarak uygulanan 80 kg P_2O_5 ha^{-1} fosfor uygulaması 2003-2004 yılında ve her iki deneme alanında kontrol dozuna göre önemli artışlar sağlarken, bu dozun üstündeki uygulamalar ekonomik olamaması ve toprakların yüksek adsorpsiyon güçleri de dikkate alındığında uygulanan fosfor hızla toprak tarafından adsorbe edilerek bitkilere yarayışsız forma dönüşmektedir. Uygulamalar karşılaştırıldığında verim artışının sağlanması için 40 kg P_2O_5 ha^{-1} dozunun altına düşülmemesi gerekmektedir.

Deneme sonuçları, çeşitlerin verim potansiyelleri açısından değerlendirildiklerinde, istatistiksel olarak belirgin bir farklılık görülmemiştir ($P>0.05$). Yürütülen sera denemesinde toprak hacminin sınırlı olması nedeniyle kök gelişimi de sınırlı olmaktadır. Bunun yanı sıra, topraklarda bitkiye yarayışlı Zn konsantrasyonlarının yetersiz olması ve fosforun Zn üzerine olan antogonistik etkisi belirgin bir şekilde ortaya çıkarken tarla koşullarında böyle bir etki belirgin olarak ortaya çıkmamıştır. Ancak daha iyi ve kaliteli ürün alabilmek için topraklara fosfor ilavesinin yanı sıra toprakların mikro element içerikleri mutlaka göz önünde bulundurularak gerekli dozda mikro element uygulaması yapılmalıdır.

Bu araştırma sonuçlarına göre; mısır üretiminde fosforun özellikle kuru madde miktarı ve bitki gelişimi açısından mutlak gerekli olduğu, mısır çeşitlerinin genotipsel farklılıklarından dolayı fosfor kullanım etkinliklerinin farklı olduğu ve

çevre ile barışık doğru bir gübreleme programı için önerilen dozların aşılmayarak fiksasyon kapasitesi yüksek olan bölge topraklarında kesinlikle artık etkinin de dikkate alınarak uygulama yapılmasına özen gösterilmelidir.

Yürütülen çalışmanın sonuçlarına göre, ülkemizde topraklarımızın organik madde içeriklerinin düşük olması, yüksek erozyon riski altında bulunması ve kaynağı tamamen dışardan ithal edilen fosforlu gübrelerin durumu dikkate alındığında hem ekonomik olarak, hem de çevre açısından değerlendirdiğimizde, özellikle toprakların fosfor fiksasyon kapasitesinin azaltılması ve daha etkili gübre kullanımı için mısır genotipleri ve diğer tahıl gruplarının, P kullanım etkinliklerinin belirlenerek, fosforun yetersiz olduğu koşullarda bile topraklarda bulunan fosfordan etkin bir şekilde yararlanabilecek etkin ve duyarlı çeşitlerin belirlenmesine gereksinim vardır.

KAYNAKLAR

ABEL, S., TICCONI, A. C. And DELATORRE, A., C. 2002. Phosphate Sensing in Higher Plants. Physiologia Plantarum 115:1-8.

AĞCA, N., DERİCİ, M. R., 1999. Adıyaman Çamağzı Ovası Topraklarının Fosfor Adsorpsiyonunun Değişik İzotermlerle Belirlenmesi. Tr. J. of Agriculture and Forestry 29 (2) :401-407.

AHMAD, Z., GILL, M. A. and QURESHI, R. H., 2001. Genotypic Variations of Phosphorus Utilization Efficiency of Crops. Journal of Plant Nutrition 24(8): 1149-1171.

ALAM, M. M., and LADHA, J. K., 2004. Optimizing Phosphorus Fertilization in An Intensive Vegetable-Rice Cropping System. Biol Fertil Soils 40: 277–283.

ALPASLAN, M., GÜNEŞ, A., İNAL, A., 1998. Deneme Tekniği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1501, Ders Kitabı: 455 s:437.

ALVES, V. M. C., PARENTONI, S. N., VASCONCELLOS, C. A., BAHIA FILHO, A. F. C., PITTA, G. V. E., SCHAFFERT, R. E., 2001. Mechanisms of Phosphorus Efficiency in Maize. Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-Ecosystems. 566-567.

AMRANI, M., WESTFALL, D. G. And MOUGHLI, L., 1999. Evaulation of Residual and Cumulative Phosphorus Effects in Contrasted Moroccon Calcareous Soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems 55:231-238.

ANDRASKI, T. W. and BUNDY, L. 2003. Relationships Between Phosphorus Levels in Soil and in Runoff from Corn Production Systems. J. Environ. Qual. 32:310–316.

ARYA, K. C., SINGH, S. N., 2002. Effect of Different Levels of Phosphorus and Zinc on Yield and Nutrients Uptake of Maize with and Without Irrigation. Plant and Soil 243 (1): 1-10.

ASSUERO, S. G., MOLLIER, A., PELLERIN, S., 2004. The Decrease in Growth of Phosphorus-Deficient Maize Leaves is Related to A Lower Cell Production. Plant, Cell and Environment 27, 887–895.

AQUINO, M. T., and PLASSARD, C., 2004. Dynamics of Ectomycorrhizal Mycelial Growth and P Transfer to The Host Plant in Response to Low and High Soil P Availability. Microbiology Ecology, 48(2):149-156.

AYDENİZ, A., BROHİ, A. R., 1987. Tarımımız Düğümleri ve Çözümleri, I. Tarımımızın Durumu Sorunları Nedenleri, C. Ü. Tokat Ziraat Fak. Yay.:1, Yardımcı Ders Kitabı:1, Tokat.

BAKHEIT SAID, M., DAKERMANJI, A., 1993. Phosphate Adsorption and Desorption by Calcareous Soils of Syria. Commun. Soil. Sci. Plant Anal., 24:197-210.

BARLEY, K. P., 1970. The Confugration of The Root System in Relation to Nutrient Uptake. Adv. Agron. 22:159-201.

BARROS, N. F., FILHO, N., COMERFORD, B., BARROS, N. F., 2005. Phosphorus Sorption, Desorption and Resorption by Soils of The Brazilian Cerrado Supporting Eucalypt. Biomass and Bioenergy 28:229-239.

BERTRAND, I., HINSINGER, P., JAILLARD, B., ARVIEU, J. C. 1999. Dynamics of Phosphorus in The Rhizosphere of Maize and Rape Grown on Synthetic, Phosphated Calcite and Goethite. Plant and Soil 211 (1): 111-119 1999.

BHADORIA, S. P., STEINGROBE, B., CLAASSEN, N., LIEBERSBACH, H., 2002. Phosphorus Efficiency of Wheat and Sugar Beet Seedlings Grown in Soils with Mainly Calcium, or Iron and Aliminium Phosphate. Plant and Soil 246: 41-52.

BHADORIA, S. P., DESSOUGI, H. E., LIEBERSBACH, H. and CLAASSEN, N., 2004. Phosphorus Uptake Kinetics, Size of Root System and Growth of Maize and Groundnut in Solution Culture. Plant and soil 262:327-336.

BILGILI, A. V., KARACA, S., USTA, S., DENGIZ, O. 2004. A Study on Phosphorus Adsorption in Some Great Soil Groups of Semi-arid Region of Turkey.Proceedings of The International Soil Congresss. (CD-Book). Erzurum, Turkey.

BLAKE, L., JOHNSTON, A.E., POULTON P.R. and GOULDING, K.W.T., 2003. Changes in Soil Phosphorus Fractions Following Positive and Negative Phosphorus Balances for Long Periods.. Plant and Soil 254: 245–261.

BLAIR, G., 1993. Nutrient Efficiency-What Do We Really Mean ? P. J. Randall et all. (eds) Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition, 205-213.

BOUYOCOUS, G.L., 1951. A Recalibration of Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soils. Agron. J. 43:434-438.

BRASCHI, H., CIAVATTA, C., GIOVANNINI, C. and GESSA, C., 2003. Combined Effect of Water and Organic Matter on Phosphorus Availability in Calcareous Soils. Nutrient Cyling in Agroecosystems 67:67-74.

BRINCK, J. N., 1978. World Resources of Phosphorus. In: Phosphorus in The Environment: Its Chemistry and Biochemistry. Ciba Faundation Sym. 57: 23-63.

BROHİ, A. R., AYDENİZ, A., KARAMAN, M. R., ERŞAHİN,S., 1994. Bitki Besleme. Gaziosmanpaşa Ünv. Ziraat Fak. Yay.:4 s:105-106 Tokat.

CAMELO, L. G. L., MIGUEZ, S. R. and MARBAN, L.,1997. Heavy Metals Input with Phosphate Fertilizers Used in Argentina. The Science of The Total Environment 204 (3): 245-250.

CHACON, N. and DEZZEO, N., 2004. Phosphorus Fractions and Sorption Processes in Soil Samples Taken in A Forest-Savanna Sequence of The Gran Saban in Southern Venezuella. Biol Fertil Soils 40:14-19.

CHANG, S. C. and JACKSON, M. L., 1957. Fractionation of Soil Phosphorus. Soil Sci. 84:134-144.

CHAUHAN, B. S., STEWART, J. W. B., and PAUL, E. A., 1981. Effect of Labile Inorganic Phosphate Status and Organic Carbon Additions on The Microbial Uptake of Phosphorus in Soils. Canadian Journal of Soil Science 61: 373-385.

COLOMB, B., KINIRY, R. J., DEBAEKE, P., 2000**.** Effect of Soil Phosphorus on Leaf Development and Senescence Dynamics of Field-Grown Maize. Agron J. 2: 428-435.

CONDRON, M. L., 2003. Dynamics and Availability of Organic Phosphorus in Soil. Proceedings of 2nd Internal Symposium on Phosphorus Dynamics in the Soil-Plant Contium p: 14-15.

DAROUB, S. H., GERAKIS, A., ITCHIE, J. T., FRIESEN, K. D., RYAN, J., 2003. Development of A Soil-Plant Phosphorus Simulation Model for Calcareous and Weathered Tropical soils. Agricultural Systems 76 (3): 1157-1181.

DECHASSA, N., SCHENK, M. K., CLAASSEN N., and STEINGROBE B., 2003. Phosphorus Efficiency of Cabbage (*Brassica Oleraceae* L. var. *Capitata*), Carrot (*Daucus Carota* L.), and Potato (*Solanum Tuberosum* L.). Plant and Soil 250: 215–224.

DERİCİ, M. R., BROHI, A. R., SALTALI, K., KILIÇ, M., KILIÇ, K. 1995. A Study on Phosphorus Adsorption of The Great Soil Groups of The Tokat Region. Soil Fertility and Fertilizer Management 9 th International Symposium of CIEC p:143-149 Kuşadası, Turkey.

DERİCİ, M. R., 1996. Topraklarda Fosfor Dengesi. J. of Agriculture and Forestry 20: 29-33.

DESSOUGI, H. E., DREELE, A. Z., CLAASSEN, N., 2003. Growth and Phosphorus Uptake of Maize Cultivated Alone, in Mixed Culture with Other Crops or After Incorporation of Their Residues. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 166 (2): 254-261.

DİNÇ, U., ŞENOL, S., SAYIN, M., KAPUR, S., GÜZEL, N., 1988. Güney Doğu Anadolu Bölgesi Toprakları (GAT) I. Harran Ovası, TÜBİTAK, Tarım Ormancılık Araştırma Grubu, Güdümlü Araştırma Projesi Kesin Sonuç Raporu, TAOG, 534, Adana.

DODOR, D. E. and TABATABAİ, M. A., 2003. Effect of Cropping Systems on Phosphatases in Soils. J. Plant Nutr. Soil Sci. 166:7-13.

DROUILLON M. and MERCKX, R., 2003. The Role of Citric Acid as A Phosphorus Mobilization Mechanism in Highly P-Fixing Soils Gayana Bot. 60(1): 55-62.

EYYÜPOĞLU, F., 1999. Türkiye Topraklarının Verimlilik Durumu. Toprak Gübre Araştırma Enst. Genel Yayınları No: 220, Ankara.

FAO., 2000, 2001, 2002, 2003 and 2004. Agriculture Database. http:/ apps.fao.org.

FAGERIA, N. K. and BALIGAR, V. C., 1997. Phosphorus-Efficiency in Corn Genotypes. J. Plant Nutr. 20: 1267-1277.

FAGERIA, N. K. and BALIGAR, V. C., 1999. Phosphorus-Efficiency in Wheat Genotypes. J. Plant Nutr. 22 (2) : 331-340.

FARRAR, J. F., JONES, D. L., 2000. The Control of Carbon Acquisition by Roots. New Phytologist 147, 43-53.

FENG, G., SONG, Y. C., LI, X. L., CHRISTIE, P., 2003. Contribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Utilization of Organic Sources of Phosphorus by Red Clover in A Calcareous Soil. Applied Soil Ecology 22 (2): 139-148.

FOHSE, D., CLAASSEN, N., JUNGK, A., 1991. Phosphorus Efficiency of Plants. Plant and Soil 132:261-272.

FOX, R. L. and KAMPRATH, E. J., 1970. Phosphate Sortion Isotherm for Evaluating The Phshate Requirements of Soils. Soil Sci. Soc. Amer. p: 902-907.

FRANSSON, A., AARLE, I. M., OLSSON, P. A., TYLER, G., 2003. Plantago Lanceolata L. and Rumex Acetosella L. Differ in Their Utilisation of Soil Phosphorus Fractions. Plant and Soil 248: 285-295.

FROSSARD, E., CONDRON, L. M., OBERSON, A., SINAJ, S. and FARDEAN, J. C., 2000. Procesess Governing Phosphorus Availability in Temperate Soils. Journal of Environmental Quality 29: 15-23.

GAHROOEE, R. F., 2003. Increased Microbial Activity Affects The Extractable Phosphorus in Ca-rich Arid and Semi-arid Soils. Proceedings of 2nd Internal Symposium on Phosphorus Dynamics in the Soil-Plant Contium p: 46-47.

GAHOONIA, T. S., NIELSEN, N. E., 1998. Direct Evidence on Participation of Root Hairs in Phosphorus (^{32}P) Uptake from Soil. Plant and Soil, 198: 147-152.

GAHOONIA, T. S., NIELSEN, E. N. and OLE, B. L., 1999. Phosphorus (P) Acquisition of Cereal Cultivars in The Field at Three Levels of P Fertilization. Plant and Soil 211: 269-281.

GAHOONIA, T. S., NIELSEN, N. E., JOSHI, A. P., JAHOOR, A., 2001. A Root Hairless Barley Mutant for Elucidating Genetic of Root Hairs and Phosphorus Uptake. Plant and Soil 235: 211-219.

GAHOONIA, T. S., NIELSEN, N. E., 2003. Phosphorus (P) Uptake and Growth of A Root Hairless Barley Mutant (bald root barley, brb) and Wild Type in Low-and High- P Soil. Plant, Cell and Environment 26, 1759-1766.

GALLET, A., FLISH, R., RYSER, J., FROSSARD, E. and SINAJ, S., 2003. Effect of Phosphate Fertilization on Crop Yield and Soil Phosphorus Status. J. Plant Nutr. Sci. 166: 568-578.

GALLET, A., FLISH, R., RYSER, J., NOSBERGER, J., FROSSARD, E. and SINAJ, S., 2003. Uptake of Residual Phosphate and Freshly Applied Diammonium Phosphate by Lolium Perenne and Trifolium Repens. J. Plant Nutr. Sci. 166: 557-567.

GARDNER, W. K., BARBER, D. A., PARBERRY, D. G., 1983. The Acquisition of Phosphorus by *Lupinus Albus* L. III. The Probable Mechanizm by which Phosphorus Movement in The Soil/Root Interface is Enhanced. Plant and Soil 70, 107-114.

GEORGE, T. S., RICHARDSON, A. E., HADOBAS, P. A. and SIMPSON, R. J., 2003. Rhizosphere Limitations to The Efficiency of Phytase-Phtate Interactions. Proceedings of 2nd Internal Symposium on Phosphorus Dynamics in the Soil-Plant Contium p: 48-49.

GERLOFF, G. C., 1977. Plant Efficiencies in The Use of N, P ve K. In Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Ed. M. J. Wright. pp. 161-174. Cornell Universty Press, New York.

GRIFFIN, R. A., and JURINAK, J. J. 1973. The Interaction of Phosphate with Calcite. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37 : 847-850.

GRIMAL, J. Y., FROSSARD, E., MOREL, J. L., 2001. Maize Root Mucilage Decreases Adsorption of Phosphate on Goethite. Biology and Fertility of Soils 33 (3): 226-230

GÜZEL, N., GÜLÜT, Y.K., BÜYÜK, G., 2002. Toprak Verimliliği ve Gübreler Ç. Ü. Ziraaat Fak. Genel Yayınları No: 246 Ders Kitapları Yayın No: A-80 s: 654 Adana.

GÜZEL, N. GÜLÜT, K.Y., ORTAŞ, İ., ve İBRİKÇİ, H., 1995. TO-316 Toprakta Verimlilik Analiz Yöntemleri Ç. Ü. Z.F. Ders Kitabı No:117.

GYANESHWAR, P., KUMAR, G. N., PAREKH, L. J., 1998. Effect of Buffering on The Phosphate-Solubilizing Ability of Microorganisms. World Journal of Microbiology and Biotechnology 14:669-673.

GYANESHWAR, P., KUMAR, G. N., PAREKH, L. J., POOLE, P.S., 2002. Role of Microorganisms in Improving P Nutrition of Plants. Plant and Soil 245: 83-93.

GUTIERREZ-BOEM, F. H. and THOMAS, G. W., 1999. Phosphorus Nutrition and Water Deficits in Field-Grown Soybeans. Plant and Soil 27 : 87-96

HAMMOND, J. P., BROADLEY, M. R., and WHITE, P.W., 2004 Genetic Responses to Phosphorus Deficiency. Annals of Botany 94: 323–332.

HAUCK, F.W., 1982. FAO Soils Bulletin, Micronutrients and The Nutrient Status of Soils, Rome.

HE, Y., LİAO, H. and YAN, X. 2003. Localized Supply of Phosphorus Induces Root Morphological and Architectural Changes of Rice in Split and Stratified Soil Cultures. Plant and Soil 248:247-256.

HELAL, M. H. and DRESSLER, A., 1989. Z. Pflanzenernahr Bodek 152:175-180.

HINRICH, L. B., BRIAN, L. M., GEORGE, A. O., 1985. Soil Chemistry. Second Editions New York 341 p.

HINSINGER, P., 2001. Bioavailability of Soil Inorganic P in The Rhizosphere as Affected by Root-Induced Chemical Changes. Pland and Soil 237: 173-195.

HO, M. D., MCCANNON, B. C., LYNCH, J. P., 2004. Optimization Modeling of Plant Root Architecture for Water and Phosphorus Acquisition. Journal of Theoretical Biology 226:331-340.

HOFFLAND, E., FINDENEGG, G. R., NELEMANS, J. A., 1989. Solubilization of Rock Phosphate by Rape . 2. Local Root Exudation of Organic Acids as A Response to P Starvation. Plant and soil 113, 161-165

HOFFLAND, E., 1992. Quantitative Evaluation of The Role of Organic-Acid Exudation in The Mobilization of Rock Phosphate by Rape. Plant and Soil 140, 279-289.

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., KAMH, M., JIBRIN, J. M., CHUDE, V. O., 2002. Agronomic Measures for Increasing P Availability to Crops. Plant and Soil 237: 211-223.

IBRIKCI, H., RYAN, J., YILDIRAN, U., GUZEL, N., ULGER, A. C., BUYUK, G., KARNEZ, E. and KORKMAZ, K., 2004. Phosphorous Fertilizer Efficiency and Mycorrhizal Infection in Corn Genotypes. Renewable Agriculture and Food Systems, vol. 19, no. 2, pp. 92-99(8).

IQBAL, M. R. and CHAUHAN, I. Q. H., 2003. Relationship Between Different Growth and Yield Parameters in Maize Under Varying Levels of Phosphorus. Journal of Biological Sciences 3 (10) : 921-925.

JIANCAI, Z., BARBER, S. A., 1992. Maize Root Distribition Between Phosphorus-Fertilized and Unfertilized Soils. Soil. Sci. Soc. Am. J. 56: 819-822.

JOHNSTON, A. E., 2000. Soil and Plant Phosphate. International Fertilizer Industry Association p: 1-45 Paris.

KAÇAR, B., 1994. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III.: Toprak Analizleri. Ankara Üniv. Ziraat Fak Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları N: 3 s: 223-253 Ankara.

KAÇAR, B. ve KATKAT, V. A, 1997. Tarımda Fosfor. Bursa Ticaret Borsası Yayınları No:5 s:131-132.

KAMH, M., HORST, W. L., AMAR, F., MOSTAFA, N., MAIER, P., 1999. Mobilization of Soil and Fertilizer Phosphate by Cover Crops. Plant and Soil 211 (1): 19-27

KIRTOK, Y., 1998. Mısır üretimi ve kullanımı. 445 sayfa. Adana.

KORKMAZ, K., IBRIKCI, H., KARNEZ, E., BUYUK, G., ULGER, A. C., YAGBASANLAR, T., OGUZ H., KONUSKAN O. 2004. Wheat Responses to Phosphorus Fertilizer Application on Calcareous Soils Under Greenhouse Conditions. Proceedings of The International Soil Congresss. (CD-Book). Erzurum, Turkey.

KOVAR, J. L., BARBER, S. A., 1988. Phosphorus Charecteristics of 33 Soils as Influenced by Seven Rates of Phosphorus Addition. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 160-165.

KRASILNIKOFF, G., GAHOONIA, T., NIELSEN, N. E., 2003 Variation in Phosphorus Uptake Efficiency by Genotypes of Cowpea (Vigna Unguiculata) Due to Differences in Root and Root Hair Length and Induced Rhizosphere Processes. Plant and Soil 251 (1): 83-91

LAMBERS, H., JUNIPER, D., CAWTHRAY, G.R., VENEKLAAS, E.J. & MARTINEZ, E. 2001. The Pattern of Carboxylate Exudation in Banksia Grandis (Proteaceae) is Affected by The Form of Phosphate Added to The Soil. Plant Soil 238: 112-122

LAMBERS, H., CRAMER, M. D., SHANE, M. W., WOUTERLOOD, M., Poot, P. and VENEKLASS, E. J., 2003. Structure and Functioning of Cluster Roots and Plant Responses to Phosphate Deficiency. Plant and Soil 248: 9-19.

LEYTEM, A. B., WESTERMANN, D. T., 2003. Phosphate Sorption by Pacific Northwest Calcareous Soils. Soil Science 168 (5): 368-375.

LI, M. S., ZHANG, S. F. and TANG, C., 2004. Acid Phosphatase Role in Chickpea/Maize Intercropping. Annals of Botany 94:297-303.

LIU, Y., MI, G., CHEN, F., ZHANG, J. and ZHANG, F. 2004. Rhizophere Effect and Root Growth of Maize (Zea Mays L.) Genotypes with Contrasting P Efficiency at Low P Availability. Plant Science 167:217-223.

LITAOR, M. I., REICHMANN, O., BELZER, M., AUERSWALD, K., NISHRI, A., SHENKER, M., 2003. Spatial Analysis of Phosphorus Sorption Capacity in A Semiarid Altered Wetland Journal of Envıronmental Quality 32 (1): 335-343.

LINDSAY, W.L., and NORWELL, W.A., 1978. Devellopment of DTPA Soil Test Zinc, Iron, Manganese and Copper, Soil Sci. Soc. Am. J. 42:421-428.

LINDSAY, W. L., 1979. Chemical Equilibriain Soils. John Wiley and Sons. New York.

LOTT, J. N. A., OCKENDEN, I., RABOY, V. and BATTEN, G. D., 2000. Phytic Acid and Phosphorus in Crop Seeds and Fruits: A Global Estimate. Seed Science Research 10:11–33.

LU P, O., CONNOR, G. A., 1999. Factors Affecting Phosphorus Reactions in Soils: Potential Sewage Sludge Effects. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings 58: 66-71.

MACHADO, T. T. C., FURLANI, C. M. A., 2004a. Kinetics of Phosphorus Uptake and Root Morphology of Local and Improved Varieties of Maize. Sci. Agric. V:61 N:1 p: 69-76.

MACHADO, T. T. C., FURLANI, C. M. A., 2004b. Root Phosphatase Activity, Plant Growth and Phosphorus Accumulation of Maize Genotypes. Sci. Agric. V:61 N:2 p:216-223.

MALLARINO, P. A., 1995. Evaluation of Excess Soil Phosphorus Supply for Corn by The Ear-Leaf Test.Agron. J. 87:687-691.

MARAIS, J. N., and D. WIERSMA. 1975. Phosphorus Uptake by Soybeans as Influenced by Moisture Stress in The Fertilizers Zone. Agron. J. 67: 777-781.

MARSCHNER, H., 1997. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. Academic Press, London 889 p.

MATAR, A., TORRENT, J. and RYAN, J., 1992. Soil and Fertilizer Phosphorus and Crop Responses in The Dryland Mediterranean Zone. Advances in Soil Science 18: 81-146.

MCBEATH, T.M., LOMBI, E. and MCLAUGHLIN, M., 2004. Sorption of Orthophosphate and Pyrophosphate in Australian soils. 3rd Australian New Zealand Soils Conference, 5 – 9

MCDOWELL, R. W., MAHIEU, N., BROOKES, P. C., POULTON, P. R., 2003. Mechanisms of Phosphorus Solubilisation in Limed Soil as A Function of pH. Chemosphere 51: 685-692.

MCGONIGLE, T. P., YANO, K., SHINHAMA, T., 2003. Mycorrhizal Phosphorus Enhancement of Plants in Undisturbed Soil Differ from Phosphorus Uptake Stimulation by Arbuscular Mycorrhizae over Non-Mycorrihizal Controls. Biol. Fertil. Soils 37:268-273.

MCLACHLAN, K. D., 1976. Comparatice P Responses in Polant to A Range of Available P Situations. Aust. J. Agric. Res. 27: 323-341.

MCGECHAN, M. B., LEWIS, D.R., 2002. Sorption of Phosphorus by Soil, Part 1: Principles, Equations and Models. Biosystems Engineering 82(1): 1-24.

MENGEL, K., KIRKBY, E. A., 1987. Principles of Plant Nutrition 4. ed. Int. Potash. Inst. Bern, Switzerland 655 p.

MOLLIER, A., PELLERIN, S., 1999. Maize Root System Growth and Development as Influenced by Phosphorus Deficiency. Journal of Experimental Botany 50, 333: 487.

MURPHY, J. and J.P. RILEY, 1962. A Modified Single Solution Method for The Determination of Phosphate in Natural Waters. Anal. Chem. Acta 27:31-36.

NEUMANN, G., ROMHELD, V., 1999. Root Excretion of Carboxylic Acids and Protons in Phosphorus-Deficient Plants. Plant and Soil 211 (1): 121-130.

NEUMANN G. , MASSONEAU A. , LANGLADE N. , DINKELAKER B. , HENGELER C. , ROMHELD V. , MARTINOIA E. 2000. Physiological Aspects of Cluster Root Function and Development in Phosphorus-Deficient White Lupin (Lupinus albus L.). Annals of Botany, Band 85: 909-919.

NEUMANN, G., MARTINOIA, E.,2002. Cluster Roots-An Underground Adaptation for Survival in Extreme Environments. Trends in Plant Science 7 (4): 162-167.

NZIGUHEBA, G., MERCKX, R., and PALM, CHERLY, A., 2002. Soil Phosphorus Dynamics and Maize Response to Different Rates of Phosphorus Fertilizer Applied to An Acrisol in Western Kenya. Plant and Soil 243:1-10.

OEHL, F., FROSSARD, E., FLIESSBACH, A., DUBOIS, D., OBERSON, A., 2004. Basal Organic Phosphorus Minerilization in Soils Under Different Farming Systems. Soil Biology and Biochemistry Soil Biology & Biochemistry. 36, 667 – 675.

OLSEN, S.R., COLE, C.V. WATANBE, F.S. and. DEAN, L.A., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate, USDA Cir. No. 939.

OLSEN, S.R., WATANABE, F.S., 1957. A Method to Determine A Phosphorus Adsorption Maximum for Soils As Measured by The Langmuir Isoterm. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 21: 144-149.

OTTO, M. W., and KILIAN, W. H., 2001. Response of Soil Phosphorus Content, Growth and Yield of Wheat to Long-Term Phosphorus Fertilization in A Conventional Cropping System. Nutrient Cyling in Agroecosystems 61: 283-292.

OZACAR, M., 2003. Equilibrium and Kinetic Modelling of Adsorption of Phosphorus on Calcined Alunite. Adsorption 9: 125–132.

ÖKTEM, A., ÜLGER, A. C. 1998. Harran Ovası Koşullarında 10 Mısır (*Zea Mays L.*) Genotipinin Fosfor Kullanımının Belirlenmesi. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2 (4): 71-80.

PARDO, P., LOPEZ-SANCHEZ, J. F., RAURET, G., 2003. Relationships Between Phosphorus Fractionation and Major Components in Sediments Using The SMT Harmonised Extraction Procedure. Anal Bional Chem. 376: 248-254.

PEEK, C. S., ROBSON, A. D., KUO, J., 2003. The Formation, Morphology and Anatomy of Cluster Root of Lupinua Albus L. as Dependent on Soil Type and Phosphorus Supply. Plant and Soil 248:237-246.

PLAXTON, W. C., 2004. Plant Responses to Stress: Biochemical Adaptations to Phosphate Deficiency. Encyclopedia of Plant and Crop Science p: 976-980.

PLENET, D., ETCHEBEST, A., MOLLIER, A. and PELLERIN, S. 2000. Growth Analysis of Maize Field Crops Under Phosphorus Deficiency. Plant and Soil 223:117-130.

POTE, D. H., LORY, J. A., ZHANG, H., 2003. Does Initial Soil P Level Affect Water-Extractable Soil P Response to Applied P. Advances in Environmental Research 7: 503-509

RAGOTHAMA, K. G., 1999. Phosphate Acquisition. Annual Review of Plant Phisiology and Plant Molecular Biology 50: 665-693.

RAUN, W. R., BARRETO, H. J., 1995. Regional Maize Grain Yield Response to Applied Phosphorus in Central America. Agron. J. 87:208-213.

RAUSCH, C., BUCHER, M., 2002. Molecular Mechanism of Phosphate Transport in Plants. Planta 216: 23-37.

RICHARD, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook, No: 60, U. S. Department of Agriculture. U. S. Grovement Priting Office, Washington D. C.

RICHARDS, I. R., CLAYTON, J. C., REEVE, A. J. K., 1998. Effects of Long-Term Fertilizer Phosphorus Application on Soil and Crop Phosphorus and Cadmium Contents. Journal of Agricultural Science 131: 187-195.

RICHARDSON, A. E. 1994. Soil Microorganisms and Phosphorus Avability. Soil Biota 17: 50-62.

RIFFALDI, R., SAVIOZZI, A., LEVI-MINZI, R., WAHBA, M. M., 2001. Phosphate Sorption by Some Egyptian and İtalian Calcareous Soils. Agrochimica 45(3-4): 147-158.

RODRİGUEZ, D., ANDRADE, F. H., GOUDRİAAN, J., 2000. Does Assimilate Supply Limit Leaf Expansion in Wheat Grown in The Field Under Low Phosphorus Availability. Field Crops Research 67: 227-238

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 and Soil, 148: 175-183.

RUNGE-METZGER, A., 1995. Closing the Cycle: Obstacles to Efficient P Management for Improved Global Food Security. In Phosphorus in The Global Environment: Transfers Cycles and Management. Ed. H. Tiessen, Wiley New York pp: 27-42.

RYAN, J., CURTİN, D., CHEEMA, M. A., 1984. Significance of Iron Oxide and Calcium Carbonate Particle Size in Phosphate Sorption by Calcareous Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:74-76.

RYAN, M.H., ANGUS, F. J., 2003. Arbuscular Mycorrhizae in Wheat and Field Pea Crops A Low P Soil: Increased Zn-Uptake but No Increase in P-Uptake or Yield. Plant and Soil 250: 225-239.

SAHRAWAT, K. L., 2000. Residual Phosphorus and Management Strategy for Grain Sorghum on A Vertisol. Communications in Soil Science and Plant Analysis 31 (19-20): 3103-3112.

SANCHEZ, E., ETCHEVERS, J.D., ORTIC, C. J., NUNEZ, E. R., MARTINEZ, G. A. and CASTELLANOS, J. Z., 2001. Phosphorus Nutrition of Potato and Maize Seedlings. Terra 19: 55-65 Mexico.

SARDI, K. and CSATHO P., 2002. Studies on The Phosphorus Dynamics in Pot Experiments with Different Soil Types. Communications in Soil Science and Plant Analysis , 33, (15): 3045 – 3058.

SCHACHTMAN, P. D., REID, J. R., and AYLING, S. M., 1998. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. Plant Physiol. 116: 447-453.

SCHERER, H. W. and SHARMA, S. P., 2002. Phosphorus Fractions and Phosphorus Delivery Potential of A Luvisol Derived from Loess Amended with Organic Materials. Biol Fertil Soils 35: 414-419.S

SCHLICTING, E., BLUME, H., 1966. Bodenkundliches Practikum. Parey Verlag, Hamburg, Berlin.

SCHULZ, M. and HERZOG, C., 2004. The Influence of Sorption Processes on The Phosphorus Mass Balance in A Eutrophic German Lowland River. Water, Air, and Soil Pollution 155: 291–301.

SCHULZE, J., TESFAYE, M., LITJENS, R. H. M. G., BUCCIARELLI, B., TREPP, G., MILLER, S., SAMAC, D., ALLAN D. and VANCE, C. P., 2002. Malate Plays A Central Role in Plant Nutrition. Plant and Soil 247: 133-139.

SHANE, M.W., DE VOS, M., DE ROOCK, S., CAWTHRAY, G.R. & LAMBERS, H. 2003. Effects of External Phosphorus Supply on Internal Phosphorus Concentrations and The Initiation, Growth and Exudation of Cluster Roots in Hakea Prostrata R.Br. Plant and Soil 248: 209-219.

SHARPLEY, A. N., MCDOWELL, R. W., KLEINMAN, P. J. A., 2001. Phosphorus Loss from Land to Water: Integrating Agricultural and Environmental Management. Plant and Soil 237(2): 287-307.

SHARPLEY, A. N., SIMS, J. T., PIERZYNSKI, G. M., 1994. Innovative Soil Phosphorus Availability Indices: Assessing Inorganic Phosphorus. In: Havlin J, Jacobsen J. (eds) Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendations. (SSSA special publication 40) Soil Science Society of America, Madison, Wis., pp 115-142.

SHEN, J., RENGEL, Z., TANG, C., and ZHANG, F., 2003. Role of Phosphorus Nutrition in Development of Cluster Roots and Release of Carboxylates in Soil-Grown Lupinus Albus. Plant and Soil 248 :199-206.

SHEN, J., LI, R., ZHANG, F., FAN, J., TANG, C., RENGEL, Z., 2004. Crop Yields, Soil Fertility and Phosphorus Fractions in Response to Long-Term Fertilization Under The Rice Monoculture System on A Calcareous Soil. Field Crops Research, 86:225-238.

SHEN, J., LI, H., NEUMANN, G., ZHANG, F. 2005. Nutrient Uptake, Cluster Root Formation and Exudation of Protons and Citrate in Lupinus Albus as Affected by Localized Supply of Phosphorus in A Split-Root System. Plant Science 168: 837–845.

SHIN, H., SHIN, H. S., DEWBRE, G. R., and HARRISON, M., 2004. Phosphate Transport in Arabidopsis: Pht1;1 and Pht1; 4 Play A Major Role in Phosphate Acquisition from Both Low and High Phosphate Environments. The Plant Journal 39:629-642.

SHIBATA, R., YANO, K., 2003. Phosphorus Acquisition From Non-Labile Sources in Peanut and Pigeonpea with Mycorrhizal Interaction. Applied Soil Ecology 24: 133-141.

SHLICHTING, E., and BLUME, H., 1977. Bodenkundliches Prakticum. Paul Verlag, Berlin, (1966).

SIEMENS, J., ILG, K., LANG, F. and KAUPENJOHANN, M., 2004. Adsorption Controlsmobilization of Colloids and Leaching of Dissolved Phosphorus European Journal of Soil Science, 55, 253–263

SMITH, F. W., 2001. Sulphur and phosphorus transport systems in plants. Plant and Soil 232: 109–118.

SMITH, F. W., 2002. The Phosphate Uptake Mechanism. Plant and Soil 245:105-114.

STONE, U. C., ZINN, K. E., YANEZ, M.R., LI, A., VANCE, C. P., ALLAN, D. L., 2003. Nylon Filter Arrays Reveal Differential Gene Expression in Proteid Roots of White Lupin in Response to Phosphorus Deficiency. Plant Physiology 131 (3):1064

STROM, L., OLSSON, T., TYLER, G., 1994. Differences Between Calcifuge and Acidifuge Plants in Root Exudation of Low Moleculer Organic-Acids. Plant Soil 167, 239-245.

STROM, L., 1997. Root Exudation of Organic Acids: Importance to Nutrient Avability and The Calcifuge and Calcicole Behaviour of Plants. Oikos 80, 459-466.

STROM, L., OWEN, G. A., GODBOLD, D. L. and JONES D. L., 2002. Organic Acid Mediated P Mobilization in The Rhizosphere and Uptkae by Maize Roots. Soil Biology and Biochemistry 34:703-710.

SUI, Y., THOMPSON, M. L., 2000. Phoshorus Sorption, Desorption, and Buffering Capacity in A Biosolids-Amended Mollisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:164-169.

SYERS, J. K., SMILLIE, G. W. and WILLIAMS, J. D. H., 1972. Calsium Fluoride Formation During Extraction of Calcareous Soils with Fluoride: I. Implications to Inorganic P Fractionation Schemes. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36:20-25.

TARAFDAR, J. C. and MARSCHNER, H., 1994. Phosphatase Activity in The Rhizosphere and Hyphosphere of VA Mycorrhizal Wheat Supplied with Inorganic and Organic Phosphorus. Soil Biology and Biochemistry 26 (3): 387-395.

TORRENT, J. R. and DELGADO, A., 2001. Using Phosphorus Concentration in The Soil Solution to Predict Phosphorus Desorption to Water. J. Environ. Qual. 30: 1829-1835.

TORRENT, J. R. 2000. Phosphorus Dynamics and Uptake by Wheat in A Model Calcite- Ferrihydrite System. Soil Science 165. 10: 803-812.

ULGER, A.C. 1986. Reaktion verschiedener Mais Inzuchtlinien und Hybriden auf Steigendes Strickstaffangebot Dissertation, Honhenheim Stuttgart/ W.Germany.

U.S. SOIL SURVEY STAFF, 1951. Bureau of Plant Industri, Soil and Agricultural Engineering. “Soil Survey” U.S. Department of Agriculture, U.S. Government Priting Office.

U.S. SALINITY LABORATORY STAFF., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Engineering. “Soil Survey” U.S. Department of Agriculture, U.S. Goverment Printing Office.

ÜLGEN, N., YURTSEVER, N., 1988 Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları Genel Yayın No: 151, Teknik Yayınlar No: T-59, Ankara

VANCE, P. C., UHDE-STONE, C., ALLAN, D., 2003. Phosphorus Acquisition and Use: Critical Adaptations by Plants for Securing A Nonrenewable Resource. New Phytologist 157: 423-447.

VENEKLASS, E. J., STEVENS, J., CAWTHRAY, G. R., TURNER, S., GRIGG, A. M., LAMBERS, H., 2003. Chickpea and White Lupin Rhizosphere Carboxylates Vary with Soil Properties and Enhance Phosphorus Uptake. Plant and Soil 248: 187-197.

WALSH, L.M., and BEATON, J.D., 1973. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Sci. Soc. of Am. Inc. Madison, Wisconsin, USA.

WASAKI, J., YAMAMURA, T., SHINANO, T., OSAKI, M., 2003. Secreted Acid Phosphatese is Expressed in Cluster Roots of Lupin in Responses to Phosphorus Deficiency. Plant and Soil 248: 129-136.

WATANABE, F.S. and OLSEN S.R., 1965. Test of an Ascorbic Acid Method for Determining Phosphorus in Water and $NaHCO_3$ Extracts from Soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29:677-678.

WATT, M., EVANS, J. R., 2003. Phosphorus Acquisition from Soil by White Lupin (Lupinus Albus L.) and Soybean (Glycine max L.), Species with Contrasting Root Development. Plant and Soil 248 (1-2): 271-283.

WISSUWA, M., A, N., 2002. Genotypic Differences in The Presence of Hairs on Roots and Gynophores of Peanuts (*Arachis Hypogaea* L.) and Their Significance for Phosphorus Uptake. Journal of Experimental Botany 52 (361): 1703-1710.

YUN, S. J., KAEPPLER, S.M., 2001. Induction of Maize Acid Phosphatase Activities Under Phosphorus Starvation. Plant and Soil 237 :109-115.

ZHANG, T. Q., MACKENZIE, A. F., 1997.Phosphorus in Zero Tension Soil Solution as İnfluenced by Long-Term Fertilization of Corn (Zea mays L.). Canadian Journal of Soil Science 77(4): 685-691.

ZHANG, Y., LIN, X., WERNER, W. 2003. The Effect of Soil Flooding on The Transformation of Fe Oxides and The Adsorption/Desortion Behavior of Phosphate. J. Plant Nutr. Soil Sci. 166:68-75.

ZHOU, M. F., LI, Y. C., 2001. Phosphorus-Sorption Charecteristics of Calcareous Soils and Limestone from The Southern Everglades and Adjacent Farmlands. Soil Sci. Soc. of Am. Jour. 65 (5): 1404-1412.

ZHU, Y., SMITH, F. A., SMITH, S. E., 2003. Phosphorus Efficiencies and Responses of Barley (Hordeum vulgare L.) to Arbuscular Mycorrhizal Fungi Grown in Highly Calcareous Soil. Mycorrhiza 13:93–100.

ÖZGEÇMİŞ

1977 Tokat doğumluyum, ilk öğrenimimi Tokat Cumhuriyet ilkokulunda, orta öğrenimimi, Atatürk ortaokulunda, lise öğrenimimi Tokat Gaziosmanpaşa Lisesinde, lisans (1994-1998) ve yüksek lisans (1998-2000) öğrenimimi Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünde tamamladım. 2000

yılında Çukurova Üniversitesinde doktora öğrenimime başladım. 1999 yılından KTÜ Ordu Ziraat fakültesine Araştırma görevlisi olarak atandım ve 2000 yılında YÖK'ün düzenlemiş olduğu 35. Madde programında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne araştırma görevlisi olarak atandım ve halen görevime devam etmekteyim.