



Alınış tarihi (Received): 12.11.2024

Kabul tarihi (Accepted): 05.12.2024

Farklı pH'ya Sahip Topraklarda Fosforlu Gübrelerin Organik Materyaller İle Birlikte Kullanımının Toprağın Fosfor Fraksiyonlarına Etkisi

Yağmur KAYA^{1,*}, Rasim KOÇYİĞİT¹, İrfan OĞUZ¹

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 60000, Tokat, Türkiye/yağmur.kaya@gop.edu.tr

*Sorumlu yazar: yağmur.kaya@gop.edu.tr

ÖZET: Dünyada gıdaya ve tarımsal üretime olan talebin sürekli artması, sürdürülebilir toprak ve besin maddesi yönetimini önemli hale getirmektedir. Topraktaki besin elementlerinin yayılabilirliği, başta pH olmak üzere toprak özelliklerinden etkilenmektedir. Bu çalışmada, farklı pH'ya sahip topraklarda organik materyaller (biyokömür, vermikompost ve çiftlik gübresi) ile birlikte kullanılan fosforlu gübrelerin (TSP ve fosfat kayası), topraktaki P fraksiyonlarına olan etkisi araştırılmıştır. İki farklı aşamada (inkübasyon ve saksı denemesi) yürütülen çalışmada fosfor fraksiyonlarındaki değişim gözlemlenmiştir. İnkübasyon çalışmasında, asit topraklarda TSP+Çiftlik (836 ppm P), nötr (987 ppm P) ve bazik (473 ppm P) topraklarda ise Ögütülmüş Fosfat+Çiftlik uygulamasının toplam fosforu (P_T) artırdığı tespit edilmiştir. İnorganik fosfor (P_i) içeriği asit toprakta Ögütülmüş Fosfat+Vermikompost ile 114 ppm P, nötr ve bazik topraklarda ise TSP+Çiftlik uygulaması ile 110 ppm P olarak en yüksek değerlerde bulunmuştur. Saksı çalışmasında, asit (726 ppm P) ve bazik (421 ppm P) topraklarda TSP+Çiftlik, nötr topraklarda ise Ögütülmüş Fosfat+Çiftlik uygulamasının toplam fosforu artırdığı görülmüştür. Sonuçlar, fosfor fraksiyonlarının toprak pH'ına ve uygulanan organik materyale bağlı olarak değiştiğini, çiftlik gübresi ve vermikompostun fosfor yayılabilirliğinde önemli artış sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler – Fosforlu gübre, Organik materyal, Fosfor fraksiyonları, Asit toprak, Nötr toprak, Bazik toprak

The Effects of Phosphorus Fertilizers With Organic Materials on Phosphorus Fractions of Soil Under Different Soil pH

ABSTRACT: The ever increasing demand for food and agricultural production in the world makes sustainable soil and nutrient management important. The availability of nutrients in soil is affected by soil properties, especially pH. In this study, the effect of phosphorus fertilizers (TSP and phosphate rock) used in combination with organic materials (biochar, vermicompost and farmyard manure) on soil P fractions in soils with different pH was investigated. The study was conducted in two different stages (incubation and pot experiment) and the changes in phosphorus fractions were observed. In the incubation study, it was found that TSP+Farm application increased total phosphorus (P_T) in acid soils (836 ppm P), while in neutral (987 ppm P) and basic (473 ppm P) soils, the application of Ground Phosphate+Farm increased total phosphorus (P_T). Inorganic phosphorus (P_i) content was found to be the highest at 114 ppm P in acid soil with Ground Phosphate+Vermicompost and 110 ppm P in neutral and basic soils with TSP+Farm application. In the pot study, it was observed that TSP+Farm application increased total phosphorus in acid (726 ppm P) and basic (421 ppm P) soils, while TSP+Farm application increased total phosphorus in neutral soils. The results showed that phosphorus fractions varied depending on soil pH and organic material applied, and farmyard manure and vermicompost significantly increased phosphorus availability.

Keywords – Phosphorus fertilizer, Organic materials, Phosphorus fractions, Acid soil, Neutral soil, Basic soil

1. Giriş

Tarımsal üretimde verim ve kalitenin artırılmasında toprakta besin elementlerinin yeterli düzeyde bulunması oldukça önemlidir. Topraklarda toplam fosfor düzeyi normal veya yüksek çıksa dahi fosforun topraktaki hareketi sınırlıdır. Ayrıca toprağa fosfor uygulandığında toprağın pH, kireç miktarı, organik madde miktarı, çözünür Ca, Mg, Al, Mn gibi 2 ve 3 değerlikli kanyonların miktarı, kil miktarı ve tipi, toprağın su miktarı, sıcaklık ve gübrenin uygulama şekline bağlı olarak uygulanan fosforun büyük kısmı (%70-90) fiksasyona uğramaktadır. Bu nedenle bitkiye yararılı fosfor miktarı azalmakta, dolayısıyla bitkiler tarafından alınması güçleşmektedir (Bertrand ve ark., 2006, Dinç ve ark., 1988; Fransson ve ark., 2003; Gallet ve ark., 2003).

Toprakta bitkiye yararılı fosforun düşük çıktığı durumlarda bitkisel üretimin devamlılığı için fosforlu gübreleme mecburiyeti doğmaktadır. Tarımda gübre olarak kullanılan fosforun diğer mutlak gerekli besin elementlerine kıyasla azottan sonra en çok kullanılan gübre olduğu bilinmektedir (Bundy ve ark., 2005; Brady ve Weil, 2008). Fosforlu gübre uygularken kullanılan gübrenin özellikleri, uygulama şekli ve zamanına bağlı olarak uygulanan fosforun büyük bir kısmının fikse olması (Suriyagoda ve ark., 2014; Roberts ve Johnston, 2015) ve bitki kök sisteminin gelişmiş olması gibi etkenlerde fosfor alımını etkilemektedir (Alıcı, 2010). Bu durum fosforun toprakta hareketini ve bitkiler tarafından kullanılabilirliğini sınırlandırmakta dolayısıyla fosfor kullanım miktarının artmasını etkilemektedir. Fosforlu gübrelerin ham maddesi olan ham fosfat kayası tarımsal faaliyetlerde tek başına kullanıldığı gibi farklı kimyasal ve organik gübrelerle birlikte kullanılmaktadır. Tarımda sıkça kullanılan fosforlu gübrelerden biri olan triple süper fosfatın (TSP) bitki büyümesinde etkili olduğu ve verimi arttırdığı bilinmektedir (Mehdi ve ark. 2003; Brohi ve ark. 2000; Sabir ve ark., 2021).

Toprakta hareketsiz durumdaki P'un mobilizasyonu, absorbe edilmiş inorganik fosfor (P_i) veya organik fosforun (P_o) ayrışarak yararılı formlara dönüşmesi yolu ile mümkündür (Mai ve ark., 2019, Lambers, 2021). Toplam P_i 'un %75'i asidik topraklarda demir/alüminyum fosforu (Fe/Al-P) ve alkali topraklarda kalsiyum fosforu (Ca-P)'dan oluşmaktadır (Marschner ve ark., 2005; Voort, 2010). Topraktaki P_o 'un büyük bir kısmı Fe-P ve Al-P'u olarak tutulmakta ve P_i 'un çoğu ise Ca-P'u formunda tutulmaktadır (Cross ve Schlesinger, 2001). Kireçli topraklarda P_i daha fazla kalsiyum fosfatlar halinde bulunmakta (%69-71) geriye kalan kısmı ise demir fosfatlar olarak tutulmaktadır (Cross ve Schlesinger, 2001; Shen ve ark., 2003). Fosforun topraktaki hareketliliği kireçli topraklarda düşüktür. Fosfor fiksasyonunda kalsitin ve demir oksitlerin etkisi görülmektedir. Ancak bitki kökleri hidroksil (OH^-) ve hidrojen (H^+) salgılayarak rizosfer pH'sını değiştirebilmekte ve bu sayede kök bölgesinde fosfor fiksasyonu nispeten azalmaktadır (Bertrand ve ark., 1999).

Organik maddenin, kirecin ve demir oksitlerin toprakların P'u üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmalar, ardışık fraksiyonlama ile P fraksiyonlarının karşılaştırıldığı çalışmalar yapılmış olmakla birlikte, toprakta P tutulmasını etkileyen toprak bileşenlerinin yapıldığı çalışmalar fazla değildir. Toprak bileşenlerinin, P adsorpsiyon kapasitesine etkisi ve bu etkinin P fraksiyonlarına katkısının bilinmesi, gübrelerin daha etkin kullanımına ve toprak yapısı bakımından açıklanmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Bitki yetiştiriciliğinde verimli ve sağlıklı ürün yetiştirebilmek için toprak bileşenlerinin ve uygulanan gübre çeşidi ve organik materyallerin toprağın P fraksiyonlarındaki değişikliğini gözlemleyerek, ortaya koymak amacıyla bu çalışma planlanmıştır. Çalışmada farklı pH'ya

sahip 3 toprak (asit, nötr ve bazik) kullanılmıştır. Topraklara fosforlu gübre (TSP ve ÖFK) ve organik materyal (çiftlik gübresi, vermikompost ve biochar) farklı oranlarda uygulanmıştır. Deneme sonunda da topraklardaki P fraksiyonlarının (P_T , P_O , ve P_i) tayini yapılarak toprak pH'sının ve farklı organik madde ile birlikte uygulanan TSP ve kaya fosfatının etkileri değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

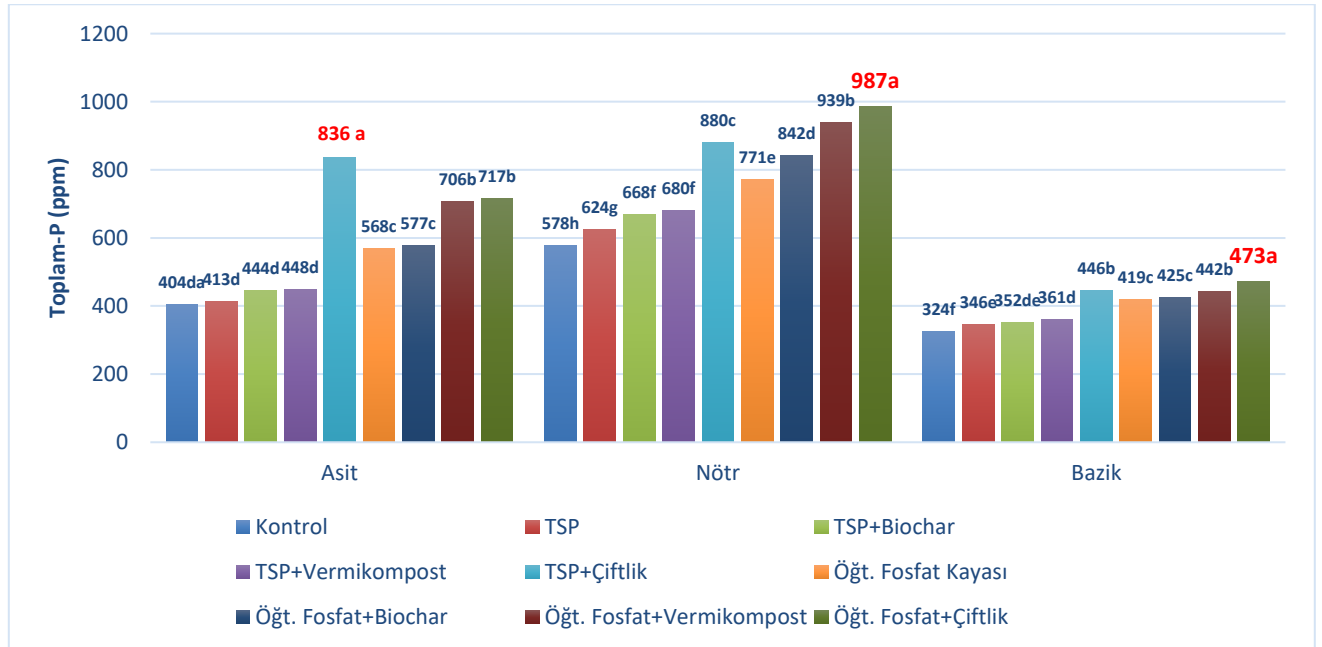
Araştırmada farklı pH'ya (asit, nötr ve alkali) sahip üç toprak kullanılmıştır. Asit karektere (pH 5.2) sahip toprak Trabzon'un Sürmene ilçesinde çay yetiştiriciliği yapılan bir araziden ($40^{\circ} 92' 73''$ K ve $40^{\circ} 23' 16''$ D), nötr toprak (pH 6.9) Tokat'ın Almus ilçesinden ($40^{\circ} 21' 53''$ K ve $36^{\circ} 45' 90''$ D), bazik (pH 8.0) toprak Tokat'ın Turhal ilçesinden ($40^{\circ} 32' 91''$ K ve $36^{\circ} 14' 57''$ D) alınmıştır. Denemede kullanılan topraklar 0-20 cm'den alınarak hava kuru hale getirildikten sonra 4 mm'lik elekten geçirilmiştir.

Araştırmada fosforlu gübre olarak triple süper fosfat (TSP) (%39 P_2O_5) ve öğütülmüş fosfat kayası (ÖFK) (%28 P_2O_5) kullanılmıştır. Organik gübre olarak $500^{\circ}C$ piroliz sıcaklığında üretilmiş çeltik kavuzu biyokömürü, vermikompost ve çiftlik gübresi kullanılmıştır. Çalışmada fosfor dozu olarak 0 ve 80 mg kg^{-1} , organik madde dozları olarak ise biyokömürün %2 dozu, vermikompost ile çiftlik gübresinin ise %4 dozu kullanılmıştır. İki farklı aşamada yürütülen bu çalışmanın ilk aşamasını inkübasyon denemesi, ikinci aşaması ile sera denemesi oluşturmaktadır. Denemelerin her iki aşamasında 3 farklı toprakta, 2 farklı fosforlu gübre ve fosforlu gübrelerle birlikte verilen 3 farklı organik gübre ile 4 tekerrürlü olarak toplam 108 saksıda yürütülmüştür. İnkübasyon çalışmasında 5 numara saksılara farklı pH'ya sahip 1'er kg toprak tartılmış ve bu topraklara yukarıda verilen fosfor ve organik madde dozları uygulanarak toprak ile homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Topraklar tarla kapasitesinin %60'ına denk gelecek şekilde ve inkübasyon süresince (90 gün) saksılar saf su ile sulanmıştır. Çalışmanın ikinci aşaması olan sera denemesi için 6 numara saksılara farklı pH'ya sahip 2'şer kg toprak tartılmış ve yukarıda verilen fosfor ve organik madde dozları uygulanarak toprak ile homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Saksılara ayrıca temel gübreleme olarak 150 ppm N (Üre %46 N) ve 150 ppm K (KNO_3 %45.5 K_2O) toprak ile homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Daha sonra her saksıya 4 adet mısır tohumu ekilmiş ve bitkiler günlük olarak tarla kapasitesinin %60'ına gelecek şekilde saf su ile sulanmıştır. Bitkiler 60 günlük iken hasat edilmiştir. Her iki denemenin sonunda her uygulamaya ait saksılardan toprak örnekleri alınarak analiz edilmiştir. Toprak örneklerinde toplam-P konsantrasyonları Hou ve ark. (1994)'na göre belirlenmiştir. Bu metoda göre; 0.25 mm'lik elekten geçirilmiş toprak örneğinden 0.3 g tartılmış üzerine 5 ml HF+4 ml HCl+1 ml HNO_3 ilave edilerek yüksek basınç (200 PSI) altında mikrodalga cihazında (Cem MarsXpress) yakılmıştır. Mikrodalgada yakılan örnekler deiyonize saf su ile 25 ml'ye tamamlanıp mavi bantlı filtre kâğıdı ile süzölmüştür. Süzölen örneklerin toplam-P miktarları ICP-OES (Agilent, 5110) cihazı ile okunmuştur. Toprak örneklerinin inorganik-P konsantrasyonları toprakların pH değerleri göz önünde bulundurularak iki farklı yöntem ile belirlenmiştir. Nötr ve bazik topraklarda inorganik-P Olsen ve ark. (1954) tarafından belirtilen 0.5 N $NaHCO_3$ ile elde edilen ekstraksiyon çözeltilisine geçen fosfor miktarı ile belirlenmiştir. Asit topraklarda ise Bray ve Kurtz, (1945) tarafından geliştirilen ekstrakt çözeltilisine (0.03 N NH_4F +0.025 N HCl) geçen fosfor molibdofosforik mavi renk yöntemine göre kolorimetrik olarak belirlenmiştir (Kacar, 2009). Toprak örneklerinin organik-P fraksiyonu Pierzynski (2000)'e göre toplam-P'dan inorganik-P'un çıkarılması ile bulunmuştur. Farklı pH'ya sahip

topraklarda fosfor ve organik gübrelerin fosfor fraksiyonlarına etkisi Duncan testi yapılarak $\alpha=0.05$ önem düzeyine göre gruplandırılmıştır (SPSS sürüm 22).

3. Bulgular ve Tartışma

İnkübasyon topraklarının uygulamalara göre toplam-P (P_T) içerikleri incelendiğinde asit topraklarda en yüksek P_T değeri 836 ppm P ile TSP+Çiftlik uygulamasında ölçülürken, en düşük değer ise kontrol uygulamasında 404 ppm P olarak ölçülmüştür ($p<0.05$) (Şekil 1). Buna karşın kontrol, TSP, TSP+Biochar ve TSP+Vermikompost grupları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark görülmemiştir. Nötr topraklarda en yüksek P_T ÖFK+Çiftlik gübresi uygulamasında (987 ppm P) ölçülürken, en düşük değer ise (578 ppm P) kontrol grubunda ölçülmüştür (Şekil 1). TSP, TSP+Biochar ve TSP+Vermikompost uygulamaları arasında da istatistiki olarak önemli ($p<0,05$) bir değişim olduğu tespit edilmiştir. Bazık özellikteki topraklara baktığımızda ise en yüksek toplam P koonsantrasyonunun (472 ppm P) ÖFK+Çiftlik gübresi uygulamasında, en düşük değer ise (324 ppm P) beklediği gibi kontrol grubunda olduğu ortaya çıkmıştır ($p<0.05$).



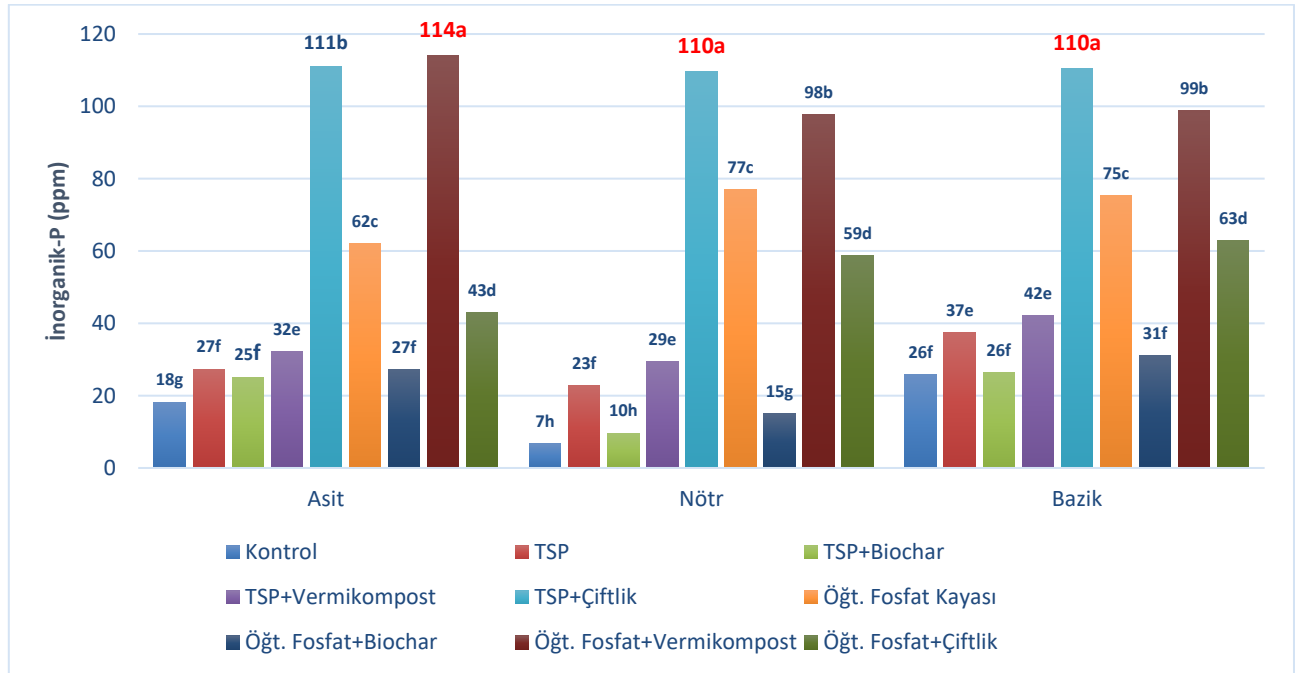
Şekil 1. İnkübasyon denemesi topraklarının toplam P (P_T) değerleri. Farklı harfler aynı toprak grupları içinde istatistik olarak $p<0,05$ düzeyinde farkı ifade etmektedir.

Figure 1. Total P (P_T) values of the incubation trial soils. Different letters indicate statistical difference within the same soil groups at $p<0.05$ level.

Organik materyaller arasında çiftlik gübresinin diğer organik materyallere nazaran P_T miktarını daha fazla arttırdığı ortaya çıkmıştır. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde nötr toprakların en yüksek P_T değerlerine sahip olurken, bunu asit ve bazık topraklar takip etmiştir (Şekil 1). Lee ve ark. (2011)'nin çeltik yetiştiriciliği yapılan bir tarım arazisine organik gübre uygulamasının topraktaki fosfor değişimini olan etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; hayvan gübresi uygulamalarının topraktaki P_T 'u arttırdığını bildirmişlerdir. Yine benzer şekilde Motavalli ve Miles'in (2002); 111 yıl boyunca mısır, buğday ve kırmızı yonca ekimi yapılan arazilerden farklı yıllarda (1888, 1915, 1938, 1962 ve 1999) alınan toprak örnekleri üzerine yaptığı incelemeler sonucunda çiftlik gübresinin, gübre uygulanmayan ve yalnızca kimyasal gübre uygulanan alanlara göre P_T , P_i ve P_o 'u

arttırdığını, uygulamaların özellikle P_0 üzerinde önemli etkileri olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan bu çalışmalar elde ettiğimiz sonuçları destekler niteliktedir.

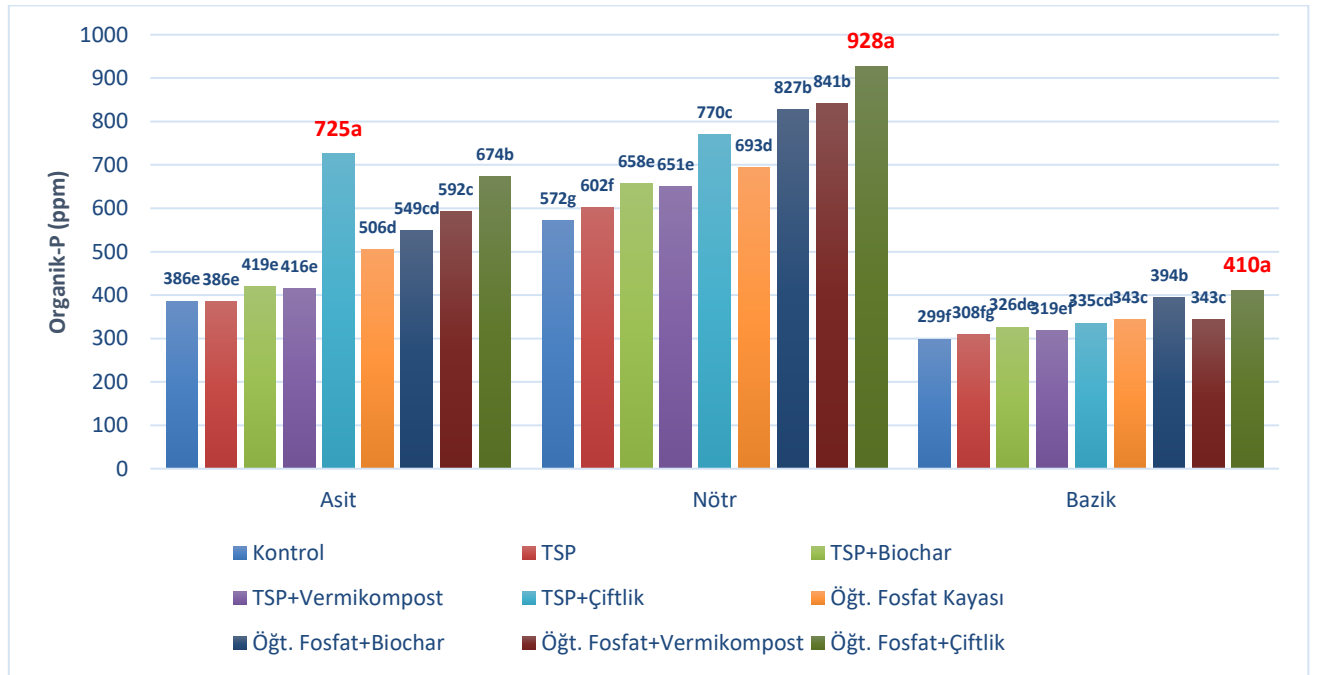
İnkübasyon topraklarının uygulamalara göre inorganik-P (P_i) içerikleri incelendiğinde asit topraklarda en yüksek P_i değeri 114 ppm P ile ÖFK+Vermikompost uygulamasında ölçülürken, en düşük değer ise kontrol uygulamasında 18 ppm olarak ölçülmüştür ($p<0.05$) (Şekil 2). Diğer uygulamalar içinde TSP, TSP+Biochar ve ÖFK+ Biochar arasında istatistiki olarak anlamlı bir fark olmadığı ve elde edilen sonuçların kontrol uygulamasına benzer olduğu ortaya çıkmıştır ($p<0,05$). Nötr topraklarda en yüksek P_i değeri TSP+Çiftlik uygulamasında 109 ppm P olarak ölçülürken, ÖFK+Vermikompost uygulamasında 98 ppm P olarak ölçülmüştür. En düşük değer ise kontrol ve TSP+Biochar uygulamalarında görülmüş olup sırasıyla 7 ppm P ve 10 ppm P olarak ölçülmüştür. Bazik topraklarda en yüksek P_i 110 ppm ile TSP+Çiftlik gübresi uygulamasında olduğu ortaya çıkmıştır. En düşük P_i değeri ise istatistiki olarak aralarında fark bulunmayan kontrol, TSP+Biochar ve ÖFK+Biochar gruplarından elde edilmiştir. Yapılan uygulamalar arasında TSP ve TSP+Vermikompost arasında anlamlı bir fark bulunmazken elde edilen değerlerin kontrol uygulamasına benzer olduğu görülmüştür. Yapılan uygulamaların P_i üzerine etkilerine baktığımızda ise çiftlik gübresinin TSP ile birlikte uygulandığında özellikle nötr ve bazik topraklarda P_i 'u arttırdığı görülmektedir. Bunun yanı sıra vermikompostun, öğütülmüş ham kaya fosfat ile birlikte kullanımının P_i 'u önemli derecede artırarak TSP+Çiftlik uygulamasına yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Akhtar ve ark. (2005) 1991-1997 yılları arasında dönüşümlü olarak toprağa hayvan gübresi uygulayarak ve P_i 'un değişimini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; çiftlik gübresinin P_i 'u 4 kat artırdığını belirlemişlerdir. Yapılan bazı araştırmalara göre çiftlik gübresinin toprağa kattığı organik madde içeriği, mikrobiyal aktiviteyi artırması, toprak kolloidlerine bağlanması gibi özellikleriyle topraktaki P'ü arttırdığını ve bunun yanında toprakta özellikle bitkiye yararlı P_i 'u açığa çıkarttığını söylemek mümkündür (McDowell ve Sharpley. 2001, Schwartz ve ark. 2011).



Şekil 2. İnkübasyon denemesi topraklarının inorganik P (P_i) değerleri. Farklı harfler aynı toprak grupları içinde istatistik olarak $p<0,05$ düzeyinde farkı ifade etmektedir.

Figure 2. Inorganic P (P_i) values of the incubation trial soils. Different letters indicate statistical difference within the same soil groups at $p<0.05$ level.

İnkübasyon topraklarının uygulamalara göre organik-P (P_o) içerikleri asit topraklarda en yüksek P_o değeri 725 ppm P ile TSP+Çiftlik uygulamasında, en düşük değer ise kontrol uygulamasında (386.21 ppm) olduğu görülmüştür ($p<0.05$) (Şekil 3). Ancak kontrol, TSP, TSP+Biochar ve TSP+ Vermikompost uygulamaları arasında istatistiki olarak önemli bir farklılık oluşmamıştır. Nötr topraklarda en yüksek P_o ÖFK+çiftlik gübresi uygulamasında (928 ppm P) iken, en düşük değer ise (572 ppm P) kontrol uygulamasında olduğu ortaya çıkmıştır. Diğer uygulamalar incelendiğinde TSP+Biochar ve TSP+Vermikompost arasında, ÖFK+Biochar ve ÖFK+Vermikompost arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Bazik topraklarda en yüksek P_o konsantrasyonu 410 ppm P ile ÖFK+Çiftlik uygulamasında, en düşük değer ise (299 ppm P) kontrol uygulamasında görülmüştür ($p<0.05$). Diğer uygulamalar arasında kontrol, TSP, TSP+Solucan ve TSP+Biochar uygulamaları birbirine yakın değerler vermiş olsa da aralarında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Genel olarak bakıldığında nötr toprakların en yüksek P_o değerine sahip olduğu, bunu asit ve bazik toprakların takip ettiği görülmektedir. Braus ve ark (2014), toprağa çiftlik gübresi uyguladıktan sonra 9 farklı zamanda (3, 7, 14, 21, 28, 49, 70, 91 ve 112. Gün) örnekleme yaparak topraktaki fosforu incelemişler ve araştırma sonucuna göre P_o miktarının ve buna bağlı olarak bitkilerin alabileceği formda P_i miktarının arttığını belirlemişlerdir. Bu çalışmada da benzer bir durum tespit edilmiştir.



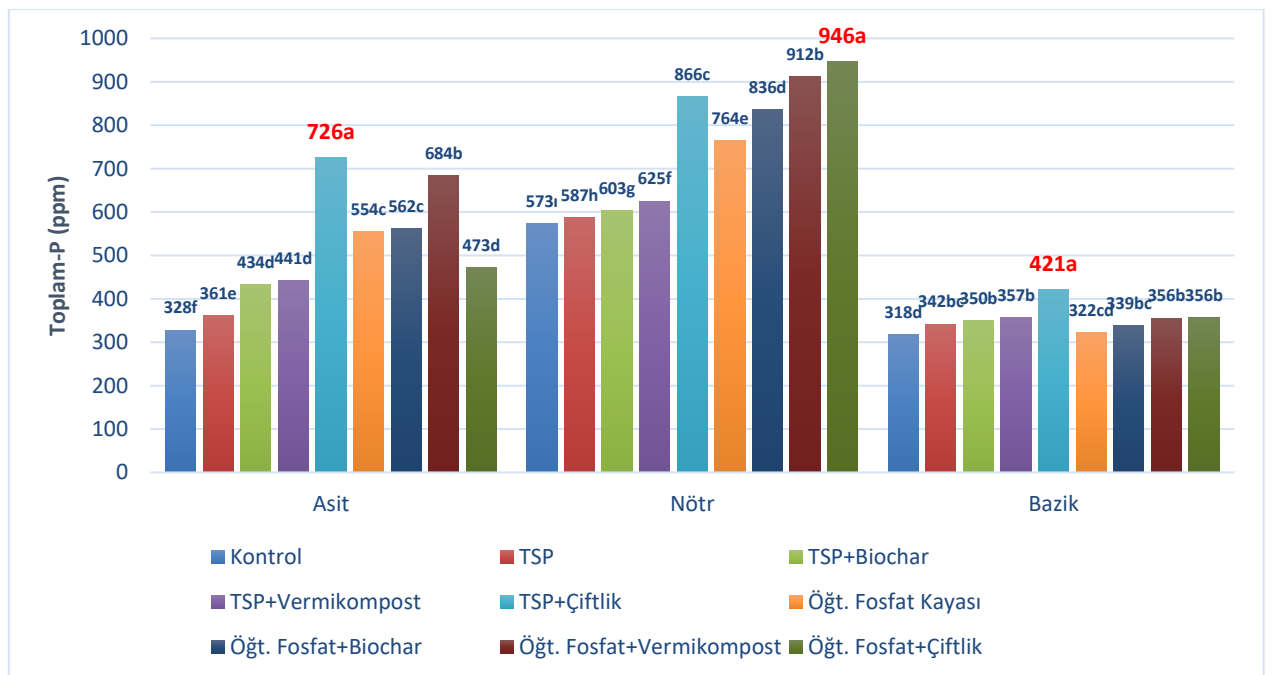
Şekil 3. İnkübasyon denemesi topraklarının organik P (P_o) değerleri. Farklı harfler aynı toprak grupları içinde istatistik olarak $p<0,05$ düzeyinde farkı ifade etmektedir.

Figure 3. Organic P (P_o) values of the incubation trial soils. Different letters indicate statistical difference within the same soil groups at $p<0.05$ level.

Sonuçları incelediğimizde özellikle biochar uygulanan topraklarda diğer uygulamalara göre P_T , P_i ve P_o değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Fakat özellikle P_i içeriğinde bu durum daha öne çıkmaktadır. Bunun Biocharın fosforu adsorbe etmesinden kaynaklı

olduğunu söylemek mümkündür (Sarkhot ve ark., 2013, Lehmann, 2007., Zhang ve ark., 2016).

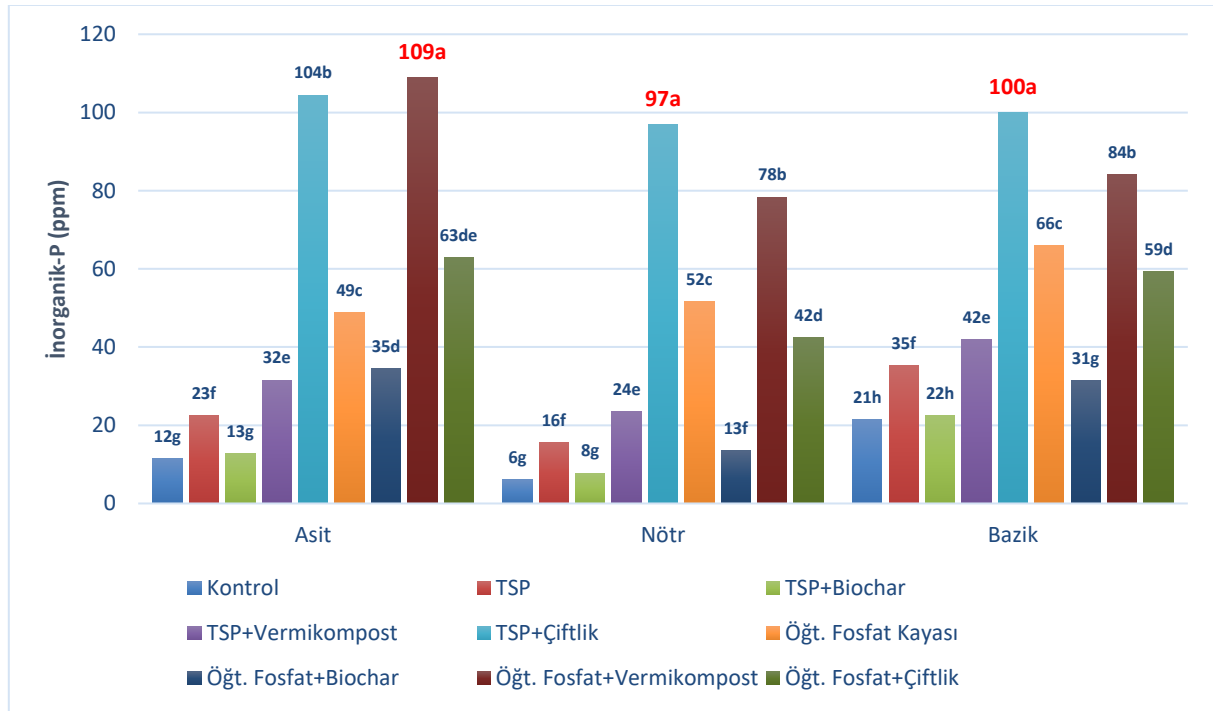
Sera denemesi topraklarının uygulamalara göre P_T içerikleri incelendiğinde farklı organik materyal ve fosforlu gübre uygulamaları toprakların toplam fosforda konsantrasyonlarında anlamlı değişime neden olduğu görülmüştür (Şekil 4). Asit topraklarda en yüksek P_T değeri 726 ppm P ile TSP+Çiftlik uygulamasında ölçülürken, en düşük değer ise kontrol uygulamasında 328 ppm P olarak ölçülmüştür ($p<0.05$). Diğer uygulamalar arasında TSP uygulamasının kontrole yakın değer verdiği görülmektedir. Asit topraklara yapılan uygulamalardan TSP+Biochar, TSP+ Vermikompost ve ÖFK uygulamaları arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Nötr topraklarda en yüksek P_T ÖFK+Çiftlik grubunda 946 ppm P olarak ölçülürken, ÖFK+Vermikompost uygulamasında 912 ppm P olarak ölçülmüştür. En düşük değer ise 572 ppm P ile kontrol grubunda tespit edilmiştir. Diğer uygulamaların tamamının arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Bazik topraklarda uygulamalara göre P_T değişimlerine baktığımızda en yüksek 421 ppm P ile TSP+Çiftlik grubunda, en düşük değer ise 318 ppm P ile kontrol grubunda olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Diğer uygulamalar arasında TSP+Biochar, TSP+Vermikompost, ÖFK+Vermikompost ve ÖFK+Çiftlik uygulamaları arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, sera denemesinden elde edilen sonuçların inkübasyon denemesi ile benzer olduğu, en yüksek P_T değerlerinin nötr toprakta bunu asit ve bazik toprakların takip ettiği görülmüştür. Organik madde uygulamaları bakımından ise tüm toprak gruplarında en yüksek P_T değerinin çiftlik gübresi uygulamasında elde edildiği ve bunu vermikompostun takip ettiği görülmüştür. Araştırma topraklarının P_T 'larına baktığımızda inkübasyon denemesinde çiftlik gübresi uygulandığından asit, nötr ve bazik toprakların üçünde de P_T 'un arttığı görülmüştür. Toprağın pH'sına göre etkili olan fosforlu gübre çeşidi değişim göstermiş olsada organik materyaller içinden çiftlik gübresi P_T açısından öne çıkmaktadır. Benzer durum sera denemesi topraklarında da görülmüştür. Griffin ve ark. (2003) toprağa MAP (KH_2PO_4) gübresini 100 ppm P olacak şekilde, çiftlik gübresi ile birlikte uygulayarak yaptıkları 90 günlük bir inkübasyon çalışması sonucunda çiftlik gübresinin P_T 'u arttırdığını belirtmişlerdir, bu çalışma bulgularımızı destekler niteliktedir.



Şekil 4. Sera denemesi topraklarının toplam P (P_T) değerleri. Farklı harfler aynı toprak grupları içinde istatistik olarak $p<0,05$ düzeyinde farkı ifade etmektedir.

Figure 4. Total P (P_T) values of greenhouse trial soils. Different letters indicate statistical difference within the same soil groups at $p<0.05$ level.

Sera denemesinde P_i değerleri incelendiğinde asit topraklarda en yüksek P_i 109 ppm P ile ÖFK+Vermikompost uygulamasında ölçülürken, en düşük değer ise kontrol uygulamasında 12 ppm P olarak ölçülmüştür ($p<0.05$) (Şekil 5). Ancak kontrol ve TSP grupları arasında istatistiki olarak önemli bir farklılık çıkmamıştır. Nötr topraklarda en yüksek P_i TSP+çiftlik grubunda 97 ppm P olarak ölçülürken, en düşük değer ise 6 ppm P ile kontrol grubunda ölçülmüş, fakat kontrol ve TSP+Biochar grupları arasında bir farklılık oluşmamıştır. Ayrıca TSP ve ÖFK+Biochar uygulamaları arasında da anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir ($p<0,05$). Bazık topraklarda en yüksek P_i 100 ppm P ile TSP+Çiftlik grubunda, en düşük ise 21 ppm P ile kontrol grubunda olduğu, kontrol ve TSP+Biochar grupları arasında istatistiki olarak önemli bir farklılık oluşmamıştır. Diğer uygulamalar arasında ise anlamlı bir fark olduğu görülmektedir ($p<0,05$).

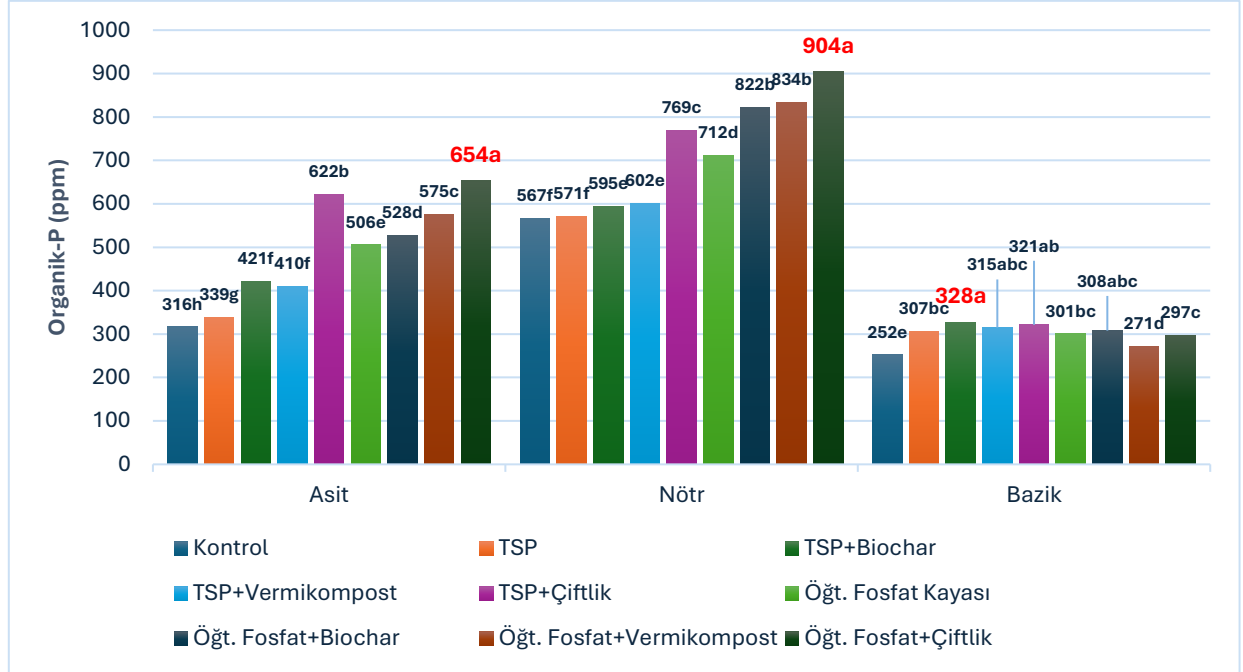


Şekil 5. Sera denemesi topraklarının inorganik P (P_i) değerleri. Farklı harfler aynı toprak grupları içinde istatistik olarak $p<0,05$ düzeyinde farkı ifade etmektedir.

Figure 5. Inorganic P (P_i) values of greenhouse trial soils. Different letters indicate statistical difference within the same soil groups at $p<0.05$ level.

Sera denemesi topraklarının uygulamalara göre P_o içerikleri incelendiğinde asit topraklarda en yüksek P_o 654 ppm P ile ÖFK+Çiftlik uygulamasında ölçülürken, en düşük değer ise kontrol uygulamasında 316 ppm P olarak belirlenmiştir ($p<0.05$) (Şekil 6). Asit toprağa yapılan uygulamalar arasında TSP+Biochar ve TSP+Vermikompost arasında anlamlı bir fark oluşmamıştır. Nötr topraklarda en yüksek P_o ÖFK+Çiftlik grubunda 904 ppm P olarak ölçülürken, en düşük değer ise 567 ppm P ile kontrol grubunda ölçülmüş, kontrol ve TSP grupları arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Ayrıca ÖFK+Biochar ve ÖFK+Vermikompost uygulamaları arasında istatistiki bir fark olmadığı ve ÖFK+Çiftlik

uygulamasından sonra en yüksek değerleri verdiği görülmektedir. Diğer uygulamalar içinde TSP+Biochar ve TSP+Vermikompost arasında da anlamlı bir fark oluşmamıştır. Bazik topraklarda P_o 'daki değişimlere baktığımızda en yüksek P_o değerinin 328 ppm P ile TSP+Biochar grubunda, en düşük ölçümün ise 252 ppm P ile kontrol grubunda olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Diğer uygulamalar arasında TSP, TSP+Biochar, TSP+Çiftlik, ÖFK ve ÖFK+Biochar gruplarının birbirine yakın sonuçlar vermesine rağmen aralarında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir ($p<0,05$).



Şekil 6. Sera denemesi topraklarının organik P (P_o) değerleri. Farklı harfler aynı toprak grupları içinde istatistik olarak $p<0,05$ düzeyinde farkı ifade etmektedir.

Figure 6. Organic P (P_o) values of greenhouse trial soils. Different letters indicate statistical difference within the same soil groups at $p<0.05$ level.

TSP gübresinin tek başına kullanıldığı ve başka fosforlu kimyasal gübreler ve organik materyallerle birlikte kullanıldığı çalışmalarda mevcuttur. Yapılan bir çalışmada; kaya fosfat ve TSP (triple süper fosfat) gübresi beraber kullanılarak topraklarda alınabilir P ile toprakların biyolojik özellikleri (toprak solunumu, mikrobiyal biyomas C, dehidrogenaz, fosfataz aktivitesi) üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda; TSP gübresi uygulamalarının kaya fosfata göre alınabilir P içeriğinin daha fazla olduğunu belirlemişlerdir (Bayraklı, 2020). Fosforlu kimyasal gübrelerin tarımda uygulamaları ve verimi nasıl etkilediği yönünde pek çok çalışma mevcuttur. Fakat genel olarak toprakta yeterli organik madde bulunduğu veya organik gübre, toprak düzenleyici gibi materyallerle birlikte kullanıldıklarında verimin arttığı veya daha az kimyasal gübre girdisiyle benzer sonuçlar alındığı bilinmektedir. Bu çalışmaların bazılarında organik materyallerin bitkide fosfor miktarını arttırdığından söz edilirken bazılarında ortaya çıkan etkinin istatistiki olarak fark yaratmadığından söz edilmektedir (Erdal ve ark, 2000; Yağmur ve Okur, 2018). Toprağa karıştırılan organik materyallerin toprak fosforunu ve toprağa uygulanan fosforlu gübrelerin bitkilere daha fazla yararlı hale dönüştürdüğünü göstermektedir (Verma ve ark. 2005; Yaman ve Olhan, 2011; Demirtaş ve ark. 2012; Yu ve ark. 2013; Korkmaz ve ark. 2020; Tamer ve ark. 2021).

4. Sonuç

Bu araştırmada topraktaki fosfor fraksiyonları ve fosforun yarayırlılığının artırılmasında çiftlik gübresi öne çıkarken bunu vermikompost uygulamasının takip ettiği görülmektedir. Farklı toprak reaksiyonlarında organik gübrelerin fosforun fraksiyonları ve yarayırlılığı üzerine benzer etki gösterdiği ve fosforlu gübrelerin organik gübrelerle birlikte uygulanmasının bitkiye yarayırlı P miktarını önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Bu durum fosforlu gübrelerin organik gübrelerle birlikte uygulanmasını önemini ortaya koymaktadır. Araştırma bulguları topraktaki fosfor ve yarayırlılığı üzerine yapılan ve yapılabilecek çalışmalara katkı sağlamaktadır.

5. Teşekkür

Araştırma Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2022/48 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Araştırmanın yürütülmesi ve analizlerin yapılmasında Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümüne ait laboratuvarlar kullanılmıştır. Bu hususta ilgili birimlere teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- Akhtar, M., McCallister, D.L., Francis, D.D. ve Schepers J.S., 2005. Manure Source Effects on Soil Phosphorus Fractions and Their Distribution. *Soil Science*, 170(3). DOI: 10.1097/01.ss.0000160030.00061.c2
- Alicı, Ü., 2010, Gübreleme ve Sulama Arasındaki İlişkiler, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi. 12 (1).
- Bayraklı, B., 2020. Kaya fosfat ve TSP gübresi ile uygulanan *Micrococcus luteus* AR-72'nin toprağın bazı biyolojik özellikleri, NO₃ ve alınabilir P içeriğine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 8(2) 157 – 166.
- Bertrand, I., Hinsinger, P., Jaillard, B., ve Arvieu, J.C. 1999. Dynamics of phosphorus in the rhizosphere of maize and rape grown on synthetic phosphated calcite and goethite. *Journal of Plant and Soil*, 211(1):111-119. <https://doi.org/10.1023/A:1004328815280>.
- Bertrand, I., McLaughlin, M.J., Holloway, R.E., Armstrong, R.D. ve McBeath, T., 2006. Changes in P bioavailability induced by the application of liquid and powder sources of P, N and Zn fertilizers in alkaline soils. *Journal of Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 74(1) 27-40.
- Brady, N. C. ve Weil, R. R., 2008, *The nature and properties of soils*, Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, P.
- Brohi, A.R., Özcan, S., Savaşlı, E. ve Aktaş A., 2000. Çeşitli fosforlu gübrelerin buğday bitkisinin verim ve bazı bitki besin maddesi alınmasına etkisi. *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi* 2000, 17 (I) 129-132.
- Bundy, L. G., Tunney, H., ve Halvorson, A. D. 2005. Agronomic aspects of phosphorus management. In J. T. Sims, ve A. N. Sharpley (Eds.), *Phosphorus: Agriculture and the environment* (pp. 685–727) ASA, CSSA, and SSSA.
- Cross, A.F., ve Schlesinger, W. 2001. Biological and geochemical controls on phosphorus fractions in semiarid soils. *Biogeochemistry*, 52:155-172. <https://doi.org/10.1023/A:1006437504494>.
- Demirtaş, E.I., Öktüren Asri, F., Özkan, C.F. ve Arı, N., 2012. Organik ve kimyasal gübre uygulamalarının örtüaltı domates yetiştiriciliğinde toprak verimliliği ve bitkinin beslenmesine etkileri. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi*, 2012, 29 (1) 9-22.
- Dinç, U., Şenol, S., Sayın, M., Kapur, S., Güzel, N., Dericci, R., Yeşilsoy, M., Yeğencil, İ., Sarı, M. ve Kaya, 1988. *Tarım Ormancılık Araştırma Grubu, Güdümlü Araştırma Projesi Kesin Sonuç Raporu, TAOG, Güneydoğu anadolu bölgesi toprakları. (GAT): I, 534.*
- Erdal, İ., Bozkurt, M.A., Cimrin, M., Karaca, S. ve Sağlam, M., 2000. Kireçli bir toprakta yetiştirilen mısır bitkisi gelişimi ve fosfor alımı üzerine humik asit ve fosfor uygulamasının etkisi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 24: 664-668.
- Fransson, A.-M., van Aarle, I. M., Olsson, P. A. ve Tyler, G., 2003, *Plantago lanceolata* L. and *Rumex acetosella* L. differ in their utilisation of soil phosphorus fractions. *Journal of Plant and Soil*, 248 (1), 285-295.
- Gallet, A., Flisch, R., Ryser, J. P., Frossard, E. ve Sinaj, S. J., 2003, Effect of phosphate fertilization on crop yield and soil phosphorus status. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166 (5), 568-578.

- Griffin, T.S., Honeycutt, C.W. ve He, Z., 2003. Changes in Soil Phosphorus from Manure Application. *Journal of Soil Science Society American*. 67:645-653.
- Hou, J., Evans, L. J. ve Spiers, G. A., 1994, Boron fractionation in soils. *Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25 (9-10), 1841-1853.
- Kacar, B. 2009. Toprak analizleri. Nobel Yayın No: 1387, Fen Bil. 90, Nobel Basımevi, Ankara, 468 s.
- Korkmaz, A., Gökmen Yılmaz, F. ve Gezgin, S., 2020. Organomineral gübre ve K-humat'ın tane mısırın verim ve fosfor kullanım etkinliği üzerine etkilerinin kimyasal gübreyle karşılaştırması. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 8(2) 137 – 144.
- Lambers, H. 2021. Annual review of plant biology phosphorus acquisition and utilization in plants. *Annual Review of Plant Biology*., 73:17–42. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102720>
- Lee, K.D., Lee, K.B., Gil, G., Song I., Kang, J. ve Hwang, S., 2011. Nitrogen and Phosphorus Content Changes in Paddy Soil and Water As Added by Organic Fertilizer Application. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 30(1), 1-8. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2011.30.1.1>
- Lehmann, J., 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 381-387.
- Mai, W., Xue, X., Feng, G., Yang, R., ve Tian, C. 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi—15-fold enlargement of the soil volume of cotton roots for phosphorus uptake in intensive planting conditions. *Eur. J. Soil Biol.*, 90:31–35. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.12.002>
- Marschner, P., Solaiman, Z., ve Rengel, Z. 2005. Growth, phosphorus uptake and rhizosphere microbial-
community composition of a phosphorus-efficient wheat cultivar in soils differing in pH. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168; 343-351. <https://doi.org/10.1002/jpln.200424101>
- McDowell, R.W. ve Sharpley, A.N., 2001. Soil phosphorus fraction in solution: influence of fertilizer and manure, filtration and method of determination. *Chemosphere*, 45, 737-748.
- Mehdi, S. M., Sajjad, N., Sarfraz, M., Khalid, B. Y., Hassan, G. ve Sadiq, M., 2003. Response of wheat to different phosphatic fertilizers in various textured salt affected soils. *Pakistan Journal Agricultural Sciences* 30: 64–68.
- Motavalli, P.p., ve Miles, R.J., 2002. Soil phosphorus fractions after 111 years of animal manure and fertilizer applications. *Biol Fertil Soils*, 36:35-42 DOI: 10.1007/s00374-002-0500-6
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., Dean, L. A. 1954, Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, Circular 939, Washington, D.C., United States Department of Agriculture, p.
- Pierzynski, G. M., 2000, Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters, North Carolina State University Raleigh.
- Roberts, T. L. ve Johnston, A. E., 2015, Phosphorus use efficiency and management in agriculture. *Journal of Resources, Conservation and Recycling*, 105, 275-281.
- Sabir, M., Sultan, T., Yaseen, M., Ahmad, R. ve Tara, Z. H., 2021. Comparative Effect of Different Phosphatic Fertilizers on Growth of Rapeseed (*Brassica napus* L.) in Alkaline Calcareous Saline-Sodic Soils. *Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis*, VOL. 52, NO. 20: 2588–2596.
- Sarkhot, D. V., Ghezzehei, T. A., ve Berhe, A. A., 2013. Biochar for nutrient recapture from dairy wastewater: recovery of major nutrients, *J. Environ. Qual.*, 42, 1545–1554.
- Schwartz, R.C., Dao, T.H. ve Bell, J.M., 2011. Manure and Mineral Fertilizer Effects on Seasonal Dynamics of Bioactive Soil Phosphorus Fractions. *Journal of Agronomy, Soils and Environmental Quality*. 103 (6), 1724-1733.
- Shen, J., Rengel, Z., Tang, C., ve Zhang, F. 2003. Role of phosphorus nutrition in development of cluster roots and release of carboxylates in soil-grown lupinus albus. *Journal of Plant and Soil*, 248:199-206.
- Suriyagoda, L. D., Ryan, M. H., Renton, M. ve Lambers, H., 2014, Plant responses to limited moisture and phosphorus availability: a meta-analysis. *Journal of Advances in Agronomy*, 124, 143-200.
- Tamer, N., Başalma, D., Türkmen, C. ve Namlı, A., 2021. Organik toprak düzenleyicilerin toprak parametreleri ve ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinin verim ve verim öğeleri üzerine etkileri. / *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 4 (1) 11 – 21.
- Verma, S., Subehia, S.K. ve Sharma, S.P., 2005. Phosphorus fractions in an acid soil continuously fertilized with mineral and organic fertilizers. *Biol Fertil Soils*, 41: 295–300.
- Voort, J. 2010. The effect of carbon on grass-encroachment in the Dutch coastal dunes. Master Thesis Research. Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamic.
- Yağmur, B., ve Okur, B., 2018. Bazı Doğal Toprak Düzenleyicilerin Mısır (*Zea Mays* L.) Bitkisinin Verim Parametreleri Üzerine Etkileri. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 55 (4) 471-477.
- Yaman, K. ve Olhan, E., 2011. Aritma Çamuru Kullanımının Buğdayın Verim, Fiziki Girdi ve Maliyetleri Üzerindeki Etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi – Journal of Agricultural Sciences*. 17:157-166.
- Yu, W., Ding, X., Li, S., Liao, X. ve Wang, R., 2013. Effects of organic-matter application on phosphorus adsorption of three soil parent materials. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. Vol:13, No:4 Temuco dic.Zhang, H., Chen, C.,