



The Effects of Different Mycorrhiza Species, Compost and Rock Phosphate Applications on the Growth of Sorghum Plant

Çağdaş Akpınar^{1,a,*}, Ahmet Demirbaş^{2,b}, İbrahim Ortaş^{3,c}

¹Organic Agriculture Management, Kadirli School of Applied Sciences Osmaniye Korkut Ata University, 80000 Osmaniye, Turkey

²Plant and Animal Production Department, Sivas Technical Sciences Vocational School, Sivas Cumhuriyet University, 58140 Sivas, Turkey

³Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Çukurova University, 01330 Adana, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Research Article</p> <p>Received : 17/02/2020 Accepted : 30/09/2020</p> <p>Keywords: Sorghum Mycorrhizae Compost Rock phosphate Yield</p>	<p>The aim of this study was to determine the effects of different compost and rock phosphate doses applications with different mycorrhizal species inoculation on sorghum plant growth and nutrient uptake. Dosages 0, 20, 40 gr compost kg⁻¹ soil as were used as compost, and 0, 2, 4 gr rock phosphate/soil as rock phosphate sources. <i>Funnelformis mosseae</i>, <i>F. caledonius</i>, <i>Claroideoglomus etunicatum</i>, <i>Rhizophagus clarus</i>, indigenous and cocktail (mixture) mycorrhizae were used. Shoot and root dry matter, P and Zn concentration and root percentages of mycorrhizal infection were determined. According to the research findings, mycorrhiza inoculation significantly increased the shoot and root dry matter, P, Zn and root infection of sorghum plant more than rock phosphate and compost applications. <i>F. caledonius</i> was determined as the most effective species. While 20 and 40 g compost kg⁻¹ soil doses applications were most effective, it was concluded that the shortage of cultivation time resulted that the rock phosphate may not be sufficiently dissolved for nutrient supply to plant growth.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(12): 2583-2589, 2020

Farklı Mikoriza Türleri, Kompost ve Fosfat Kayacı Uygulamalarının Sorgum Bitkisinin Gelişimine Etkileri

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p>Araştırma Makalesi</p> <p>Geliş : 17/07/2020 Kabul : 30/09/2020</p> <p>Anahtar Kelimeler: Sorghum Mikoriza Kompost Fosfat kayacı Verim</p>	<p>Bu çalışma, farklı mikoriza türleri aşılması ile birlikte farklı dozlarda kompost ve fosfat kayacı uygulamalarının sorgum bitkisinin gelişimi ve besin elementleri alımına olan etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Denemede kompost dozları 0, 20, 40 g kompost/kg toprak, fosfat kayacı dozları 0, 2, 4 g fosfat kayacı/kg toprak olarak uygulanmış, mikoriza türleri olarak; <i>Funnelformis mosseae</i>, <i>F. caledonius</i>, <i>Claroideoglomus etunicatum</i>, <i>Rhizophagus clarus</i>, doğal ve kokteyl (karışım) kullanılmıştır. Hasat sonunda kök ve kök üstü aksam kuru madde üretimleri, fosfor (P) ve çinko (Zn) konsantrasyonları ve mikorizal kök infeksiyonu analizleri yapılmıştır. Araştırma bulgularına göre, mikoriza aşılması sorgum bitkisinin kök ve kök üstü aksam kuru madde üretimine, P, Zn ve kök infeksiyonuna fosfat kayacı ve kompost uygulamalarına göre daha fazla oranda etki etmiştir. En etkili mikoriza türü olarak <i>F. caledonius</i> ön plana çıkmaktadır. Kompost uygulamalarında 20 ve 40 g/kg toprak doz uygulamaları etkin bulunur iken, fosfat kayacında ise yetiştirme süresinin kısalığı nedeniyle fosfat kayacının yeterince çözünemediği kanısına varılmıştır.</p>

^a cagdasakpinar@osmaniye.edu.tr <https://orcid.org/0000-0003-2783-397X>

^c iortas@cu.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0003-4496-3960>

^b ademirbas@cumhuriyet.edu.tr <https://orcid.org/0000-0003-2523-7322>



Giriş

Gramineae (poaceae) ailesine ait sorgum (*Sorghum vulgare* L.) dünya çapında özellikle yarı kurak bölgelerde yetiştirilen ve üretim bazında en büyük tahıllar arasında buğday, pirinç ve mısırdan sonra dördüncü sırada yaygın ekim alanına sahip bir C4 bitkisidir. Sorgum bitkisi diğer tahıl bitkilerine kıyasla daha fazla biokütle üretimi sağlamakta ve doğal olarak topraktan daha fazla besin elementi sömürmektedir. Toprak çözeltisinden yeterince sağlanamayan besin elementleri de gübreleme yolu ile sağlanmaktadır. Küresel olarak tarım topraklarında azottan (N) sonra en fazla noksanlık gösteren besin elementi fosfordur (Vance ve ark., 2003). Fosfor noksanlığı, mahsul üretimi için toprakların çoğunda önemli bir sınırlayıcı faktördür (Richardson ve ark., 2009). Fosfor toprakta hareketliliği az olan bir besin elementidir ve aynı zamanda fosforlu gübre üretimi için fosfor kaynakları sınırlı olduğundan önemi daha da artmaktadır. Kimyasal gübrelerin özellikle N ve P'lu gübrelerin toprak ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri yanında, topraktaki yararlı mikroorganizma üzerindeki elemine edici etkisinden (Ortas, 2017) dolayı doğal gübre kaynaklarından fosfat kayacının uygulanması potansiyel bir alternatiftir.

Fosfat kayacı, yüksek miktarda fosfor taşıyan mineraller içeren zararlı olmayan bir tortul kayadır. Fosforit veya fosfat kayacı alınabilir formda olmayan %15 ila 20 P içerir (Blatt ve Tracy, 1995). Bu kayalar gübre endüstrisinde fosforlu gübre üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca endüstriyel kimyasallar ve hayvan yemi takviye ürünlerinde de kullanılır (Sarvajayakesavalu ve ark., 2018). P eksikliğinin üstesinden gelmek için fosfat kayacının gübre olarak kullanılması önerilmektedir (Kolawole ve Tian, 2010). Fosfat kayacının doğrudan kullanımı zayıf çözünürlüğünden dolayı, özellikle alkali topraklarda oldukça sınırlıdır (Verma ve ark., 2012). Fosfat kayacının P gübresi gibi toprak verimliliğini ve tarım üretimini artırma potansiyeline sahip olduğunu, ancak uygunluğu toprak, ekin, iklimsel durum ve fosfat kayacının mineral kompozisyonuna göre değişmektedir (Rajan ve ark., 1996).

Kompostlaştırma, mikroorganizmaların organik maddeleri kompost adı verilen toprağa benzer bir maddeye dönüştürdüğü biyolojik bir süreçtir. Kompostlama sırasında, mikroorganizmalar organik maddenin karbonunu bir enerji kaynağı olarak ve yeni mikrobiyal hücrelerin sentezi için kullanır. Kompost uygulaması toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirir, ayrıca faydalı mikroorganizmaların sayısını ve yararlılığını artırır (Munir ve ark., 2012). Kompostlar, su infiltrasyon hızını, su tutma kapasitesini, toprakta havalandırmayı, toprak nemini, gözenekliliği korur, toprak hacim ağırlığını azaltır ve topraktaki bitki besinlerini kolayca kullanılabilir hale getiren mikroorganizmaları uyarır ve verimli bitki üretimine katkı sağlar (Sharif ve ark., 2013). Eleroğlu ve Korkmaz (2016) patates üzerine yaptıkları çalışmada kompost veya tavuk gübresi uygulamalarının organo-mineral gübre uygulamalarının yerine kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Bitkinin kompost gibi organik maddelerle muamele edilmesi toprak kalitesini iyileştirir, özellikle P alınabilirliğini artırır. Kompost topraktaki fosforun hareketliliğini arttıran organik bileşikler içerir. Organik

maddeyi parçalayan mikroorganizmaların metabolizma ürünleri fosfatı parçalayarak bitki fosfat bileşiklerini serbest bırakır (Singh ve Amberger, 1998). Fosfat kayacının çözünürlüğünü artırmanın veya kayacı aktive etmenin bir başka yolu da organik madde ile birlikte kompostlamaktır. Kompostlara fosfat kayacı eklenmesi, kompost içeriğindeki besin maddelerinin içeriğini de artırabilir. Ayrıca, kompostlama işlemi, fosfat kayacında alınamaz formda olan P'nin alınabilirliğini arttırmaya yardımcı olur ve bu da ürünün P'dan yararlanmasına neden olur (Zayed ve Heba, 2005). Kasifah ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, bitki kalıntısı ve komposttan ekstrakte edilen organik bileşiklerin fosfat kayacından P-çözünmesini etkilediğini tespit etmişlerdir. Organik gübrelerle karıştırılan fosfat kayacı gibi P kaynağının birlikte kullanılmasıyla bitkilerin N alımının arttığı rapor edilmiştir (Awaad ve ark., 2009). Hayvan gübresi ve diğer organik malzemelerin uygulanmasının fosfat kayacının yararlılığını arttırdığı sıklıkla bildirilmektedir (Fabunmi ve ark., 2012). Zenginleştirilmiş fosfat kayacının kompost ile alkalin/kireçli topraklara uygulanması, fosfat kayacının çözündürülmesi için akıllıca bir yaklaşım olabilir. Ayrıca, organik gübrelerin eklenmesi toprağın fiziko-kimyasal ve biyolojik özelliklerini de iyileştirir (Lim ve ark., 2016).

Mutualistik simbiyoz bir yaşam formu olan arbusküler mikorizal (AM) mantarlar, karasal ortamlardaki bitkilerin çoğunluğu ile karşılıklı bir yaşam oluşturur ve mineral beslenmede ve konukçu bitkilerin direncini iyileştirmede önemli roller oynarlar (Wang, 2017). Mikoriza mantarı etkin kök enfeksiyonunu sağladıktan sonra konukçu bitkiye esas olarak fosfor, bakır ve çinko ve diğer besin maddelerini alımında yardımcı olmaktadır (Smith ve Read, 2008). Akpınar ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada farklı mikoriza mantarı ve farklı kompost uygulamalarının pırasa bitkisinin büyümesi ve besin elementleri alımına katkı sağladığını rapor etmişlerdir.

Doğal mineral kayaçların bitkisel kökenli kompost gibi aktive edici maddeler ve yararlı mikroorganizmalardan mikoriza ile birlikte kullanılması, ekolojik ürün yetiştiriciliğine önemli katkılar sağlar. Bu çalışmanın amacı; farklı mikoriza türleri aşılması ile birlikte farklı dozlarda kompost ve fosfat kayacı uygulamalarının sorgum bitkisinin büyümesi ve besin elementleri alımına olan etkilerinin araştırılmasıdır. Araştırmada test edilen hipotez; kompost ve mikoriza aşılması fosfat kayacının içerdiği fosforu aktive ederek bitkinin P alımının arttıracaktır.

Materyal ve Yöntem

Deneme Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Araştırma uygulama seralarında 3 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuş ve 4 kg'lık saksılar kullanılmıştır. Denemede fosfat kayacı ve kompost 2 ay önceden toprakla karıştırılarak dekompozisyon amacıyla inkübasyona alınmıştır. Kompost dozları 0, 20, 40 g kompost/kg toprak, fosfat kayacı dozları ise 0, 2, 4 g fosfatı kayacı/kg toprak olarak uygulanmıştır. Uygulama varyantları dışında herhangi bir gübre uygulaması yapılmamıştır. Test bitkisi olarak Sorgum (*Sorghum vulgare* L.) bitkisi kullanılmıştır.

Çizelge 1. Toprak (Menzilat serisi), kompost ve fosfat kayacına ait bazı kimyasal ve fiziksel özellikler
Table 1. Some physical and chemical properties of the soil (Menzilat series), compost and rock phosphate

Toprak Özellikleri	Birim	Toprak	Kompost	Fosfat Kayacı
pH	(1:1 H ₂ O)	7,98	7,91	--
Kil	%	31,5	--	--
Silt	%	36,5	--	--
Kum	%	32,0	--	--
KDK	cmol ⁺ kg ⁻¹	30,4	--	--
C _{org}	%	1,65	54,2	--
N	%	0,11	1,13	--
P	kg ha ⁻¹ -%-%	87,6	0,18	13,8
K	%	0,03	0,98	0,50
Ca	%	0,18	2,5	18,5
Mg	%	0,04	0,27	1,27
Zn	mg kg ⁻¹	0,36	40	
Fe	mg kg ⁻¹	1,38	1005	
Cu	mg kg ⁻¹	0,24	12	
Mn	mg kg ⁻¹	2,74	141	

Çizelge 2. Farklı mikoriza türleri, kompost ve fosfat kayacı uygulamalarının sorgum bitkisinin kök üstü aksam kuru madde üretimine etkileri (g/saksı)

Table 2. The effects of different mycorrhiza species, compost and rock phosphate on shoot dry matter production of sorghum plant (g pot⁻¹)

Uygulamalar		Kontrol	F.mosseae	F.caledonius	C.etinicatum	R.clarus	Doğal	Kokteyl	
Komp.	Fosfat Ka.	Yeşil Aksam Kuru Ağırlık g/saksı							
0	0	14,3 ±2,2 ^{ef*}	23,2 ±4,7 ^{a-f}	22,3 ±8,1 ^{a-f}	26,4 ±0,7 ^{a-f}	25,7 ±5,1 ^{a-f}	25,5 ±2,7 ^{a-f}	22,7 ±4,8 ^{a-f}	
	2	17,5 ±3,9 ^{c-f}	22,4 ±3,4 ^{a-f}	27,9 ±4,5 ^{a-f}	27,2 ±5,7 ^{a-f}	28,4 ±4,8 ^{a-f}	18,7 ±7,9 ^{b-f}	20,7 ±4,6 ^{a-f}	
	4	16,4 ±2,3 ^{d-f}	22,5 ±4,7 ^{a-f}	24,5 ±2,7 ^{a-f}	27,9 ±6,3 ^{a-f}	24,2 ±2,2 ^{a-f}	16,5 ±2,1 ^{d-f}	23,6 ±0,6 ^{a-f}	
	Ortalama	16,0A**	22,7B	24,9A	27,2A	26,1AB	20,2AB	22,3A	
20	0	14,0 ±1,1 ^f	28,3 ±2,6 ^{a-f}	30,8 ±3,8 ^{a-d}	29,3 ±0,7 ^{a-e}	31,1 ±4,9 ^{a-d}	14,1 ±1,9 ^f	25,0 ±2,5 ^{a-f}	
	2	18,7 ±3,8 ^{b-f}	25,1 ±4,3 ^{a-f}	32,0 ±1,7 ^{a-c}	22,0 ±6,5 ^{a-f}	26,7 ±5,2 ^{a-f}	20,6 ±7,6 ^{a-f}	24,8 ±3,9 ^{a-f}	
	4	18,7 ±2,1 ^{b-f}	25,4 ±0,5 ^{a-f}	33,3 ±5,4 ^{ab}	29,4 ±0,6 ^{a-c}	26,5 ±4,0 ^{a-f}	16,9 ±6,2 ^{d-f}	22,8 ±3,6 ^{a-f}	
	Ortalama	17,1A	26,3AB	32,0A	26,9A	28,1A	17,2B	24,2A	
40	0	19,2 ±4,2 ^{a-f}	25,1 ±7,3 ^{a-f}	33,1 ±7,9 ^{ab}	24,7 ±0,5 ^{a-f}	21,7 ±1,1 ^{a-f}	20,6 ±3,2 ^{a-f}	21,6 ±2,4 ^{a-f}	
	2	16,6 ±3,1 ^{d-f}	32,0 ±4,9 ^{a-c}	34,2 ±4,4 ^a	26,4 ±3,7 ^{a-f}	23,9 ±1,5 ^{a-f}	22,0 ±3,4 ^{a-f}	21,4 ±2,6 ^{a-f}	
	4	14,9 ±10,9 ^{ef}	27,6 ±3,9 ^{a-f}	28,0 ±4,6 ^{a-f}	28,3 ±4,0 ^{a-f}	23,5 ±5,0 ^{a-f}	24,6 ±3,3 ^{a-f}	27,4 ±3,7 ^{a-f}	
	Ortalama	16,9A	28,2A	31,8A	26,5A	23,0B	22,4A	23,5A	
Genel Ortalama		16,7D***	25,7B	29,5A	26,8AB	25,7B	19,9C	23,3BC	

Üç bitkinin ortalaması, ± Standart hata, P<0.05. *Mikoriza türleri içinde Fosfat Kayacı dozlarının etkisi. ** Mikoriza türleri içinde Kompost uygulamalarının etkisi. ***Mikoriza türlerinin etkisi

Çizelge 3. Farklı mikoriza türleri, kompost ve fosfat kayacı uygulamalarının sorgum bitkisinin kök aksam kuru madde üretimine etkileri (g/saksı)

Table 3. The effects of different mycorrhiza species, compost and rock phosphate on root dry matter production of sorghum plant (g pot⁻¹)

Uygulamalar		Kontrol	F.mosseae	F.caledonius	C.etinicatum	R.clarus	Doğal	Kokteyl	
Komp.	Fosfat Ka.	Kök Aksam Kuru Ağırlık g/saksı							
0	0	6,0 ±3,6 ^a	9,5 ±1,2 ^a	8,0 ±3,5 ^a	6,4 ±1,0 ^a	6,0 ±1,2 ^a	5,6 ±0,6 ^a	5,6 ±1,5 ^a	
	2	6,4 ±3,6 ^a	7,7 ±3,4 ^a	6,9 ±4,2 ^a	7,8 ±1,4 ^a	6,8 ±2,8 ^a	7,7 ±4,2 ^a	6,4 ±1,5 ^a	
	4	8,6 ±2,0 ^a	9,0 ±3,8 ^a	6,4 ±0,9 ^a	9,8 ±2,0 ^a	5,8 ±1,2 ^a	4,6 ±0,9 ^a	6,4 ±1,4 ^a	
	Ortalama	7,0A	8,7A	7,1A	8,0A	6,2A	6,0A	6,1A	
20	0	5,7 ±2,3 ^a	8,8 ±3,8 ^a	9,3 ±3,8 ^a	7,8 ±1,5 ^a	11,5 ±9,8 ^a	5,8 ±1,3 ^a	6,1 ±0,2 ^a	
	2	5,5 ±1,7 ^a	8,6 ±2,2 ^a	6,0 ±2,3 ^a	6,8 ±0,4 ^a	4,8 ±0,8 ^a	8,1 ±2,0 ^a	6,6 ±0,6 ^a	
	4	7,1 ±2,9 ^a	9,6 ±0,1 ^a	7,7 ±2,6 ^a	7,6 ±0,5 ^a	6,7 ±0,5 ^a	5,2 ±0,6 ^a	6,4 ±1,1 ^a	
	Ortalama	6,1A	9,0A	7,6A	7,4A	7,7A	6,4A	6,4A	
40	0	7,1 ±2,0 ^a	7,6 ±2,9 ^a	8,0 ±1,3 ^a	6,9 ±0,5 ^a	4,7 ±1,8 ^a	5,8 ±1,8 ^a	6,5 ±1,9 ^a	
	2	6,0 ±1,7 ^a	9,6 ±0,8 ^a	8,8 ±0,3 ^a	7,7 ±0,7 ^a	5,5 ±0,4 ^a	6,1 ±0,1 ^a	5,8 ±1,2 ^a	
	4	7,3 ±1,7 ^a	8,6 ±1,2 ^a	7,4 ±0,9 ^a	8,6 ±1,0 ^a	4,8 ±1,1 ^a	6,0 ±1,3 ^a	6,6 ±0,9 ^a	
	Ortalama	6,8A	8,6A	8,0A	7,7A	5,0A	6,0A	6,3A	
Ortalama		6,6B	8,8A	7,6AB	7,7AB	6,3B	6,1B	6,3B	

Çizelge 4. Farklı mikoriza türleri, kompost ve fosfat kayacı uygulamalarının sorgum bitkisinin fosfor konsantrasyonuna etkileri (%)

Table 4. The effects of different mycorrhiza species, compost and rock phosphate on phosphate concentration of sorghum plant (%)

Uygulamalar		Kontrol	F.mosseae	F.caledonius	C.etinicaatum	R.clarus	Doğal	Kokteyl
Komp.	Fosfat Ka.	% P						
0	0	0,14 ±0,0 ^a	0,12 ±0,0 ^a	0,16 ±0,0 ^a	0,12 ±0,0 ^a	0,17 ±0,0 ^a	0,19 ±0,0 ^a	0,16 ±0,0 ^a
	2	0,12 ±0,0 ^a	0,14 ±0,0 ^a	0,13 ±0,0 ^a	0,13 ±0,0 ^a	0,20 ±0,0 ^a	0,18 ±0,0 ^a	0,17 ±0,0 ^a
	4	0,15 ±0,1 ^a	0,15 ±0,0 ^a	0,13 ±0,0 ^a	0,14 ±0,0 ^a	0,20 ±0,0 ^a	0,20 ±0,0 ^a	0,17 ±0,0 ^a
	Ortalama	0,14A	0,14A	0,14B	0,13B	0,19A	0,19A	0,17A
20	0	0,15 ±0,0 ^a	0,13 ±0,0 ^a	0,15 ±0,0 ^a	0,17 ±0,0 ^a	0,15 ±0,0 ^a	0,16 ±0,0 ^a	0,15 ±0,0 ^a
	2	0,19 ±0,0 ^a	0,15 ±0,0 ^a	0,16 ±0,0 ^a	0,21 ±0,0 ^a	0,13 ±0,0 ^a	0,14 ±0,0 ^a	0,18 ±0,0 ^a
	4	0,15 ±0,0 ^a	0,17 ±0,1 ^a	0,14 ±0,0 ^a	0,16 ±0,0 ^a	0,17 ±0,1 ^a	0,16 ±0,0 ^a	0,20 ±0,0 ^a
	Ortalama	0,16A	0,15A	0,15B	0,18A	0,15A	0,15A	0,18A
40	0	0,13 ±0,0 ^a	0,15 ±0,0 ^a	0,20 ±0,0 ^a	0,17 ±0,0 ^a	0,21 ±0,1 ^a	0,18 ±0,0 ^a	0,14 ±0,0 ^a
	2	0,18 ±0,0 ^a	0,12 ±0,0 ^a	0,18 ±0,0 ^a	0,14 ±0,1 ^a	0,20 ±0,0 ^a	0,13 ±0,0 ^a	0,13 ±0,0 ^a
	4	0,16 ±0,1 ^a	0,17 ±0,0 ^a	0,19 ±0,0 ^a	0,15 ±0,0 ^a	0,16 ±0,1 ^a	0,18 ±0,0 ^a	0,12 ±0,0 ^a
	Ortalama	0,16A	0,14A	0,19A	0,15AB	0,19A	0,16A	0,13B
Ortalama		0,15AB	0,14B	0,16AB	0,16AB	0,18A	0,17AB	0,16AB

Çizelge 5. Farklı mikoriza türleri, kompost ve fosfat kayacı uygulamalarının sorgum bitkisinin çinko konsantrasyonuna etkileri (%)

Table 5. The effects of different mycorrhiza species, compost and rock phosphate on zinc concentration of sorghum plant (mg kg⁻¹)

Uygulamalar		Kontrol	F.mosseae	F.caledonius	C.etinicaatum	R.clarus	Doğal	Kokteyl
Komp.	Fosfat Ka.	Zn mg/kg						
0	0	25,7 ±15,1 ^a	20,4 ±8,6 ^a	36,5 ±15,1 ^a	37,2 ±12,8 ^a	27,6 ±7,1 ^a	45,9 ±19,2 ^a	24,9 ±11,4 ^a
	2	38,6 ±11,0 ^a	33,5 ±10,3 ^a	40,6 ±22,6 ^a	25,5 ±7,9 ^a	25,8 ±5,5 ^a	33,0 ±12,7 ^a	38,5 ±11,0 ^a
	4	32,7 ±14,3 ^a	29,8 ±10,8 ^a	30,3 ±7,5 ^a	27,4 ±16,1 ^a	24,5 ±4,0 ^a	26,3 ±3,2 ^a	30,0 ±9,4 ^a
	Ortalama	32,3A	27,9A	35,8A	30,0A	26,0A	35,1A	31,1A
20	0	29,7 ±6,1 ^a	33,6 ±6,0 ^a	27,9 ±7,9 ^a	22,7 ±2,1 ^a	33,1 ±6,3 ^a	46,5 ±15,4 ^a	31,0 ±4,0 ^a
	2	28,4 ±14,1 ^a	22,7 ±6,0 ^a	38,3 ±8,5 ^a	29,0 ±4,1 ^a	29,4 ±17,3 ^a	32,3 ±9,3 ^a	44,3 ±19,9 ^a
	4	25,9 ±8,0 ^a	44,2 ±15,7 ^a	31,3 ±17,7 ^a	21,4 ±3,3 ^a	41,7 ±1,3 ^a	34,1 ±2,0 ^a	26,3 ±5,0 ^a
	Ortalama	28,0A	33,5A	32,5A	24,3A	34,7A	37,6A	33,9A
40	0	31,5 ±10,1 ^a	46,2 ±14,4 ^a	51,0 ±10,5 ^a	29,1 ±9,6 ^a	38,2 ±15,5 ^a	31,6 ±4,6 ^a	32,0 ±9,8 ^a
	2	41,8 ±5,3 ^a	33,5 ±10,3 ^a	30,5 ±12,0 ^a	39,8 ±21,5 ^a	47,9 ±23,4 ^a	28,3 ±5,3 ^a	32,3 ±8,3 ^a
	4	27,8 ±9,2 ^a	31,9 ±6,9 ^a	36,2 ±24,6 ^a	32,2 ±19,6 ^a	28,5 ±7,5 ^a	41,7 ±19,4 ^a	29,8 ±11,3 ^a
	Ortalama	33,7A	37,2A	39,2A	33,7A	38,2A	33,9A	31,4A
Ortalama		31,3A	32,3A	35,9A	29,4A	33,0A	35,5A	32,1A

Çizelge 6. Farklı mikoriza türleri, kompost ve fosfat kayacı uygulamalarının sorgum bitkisinin kök enfeksiyonuna etkileri (%)

Table 6. The effects of different mycorrhiza species, compost and rock phosphate on oot infection of sorghum plant (%)

Uygulamalar		Kontrol	F.mosseae	F.caledonius	C.etinicaatum	R.clarus	Doğal	Kokteyl
Komp.	Fosfat Ka.	% Kök İnfeksiyon						
0	0	3,3 ±5,8 ^{cd}	40,0 ±26,5 ^{a-d}	60,0 ±26,5 ^{a-d}	70,0 ±17,3 ^{ab}	36,7 ±5,8 ^{a-d}	36,7 ±11,5 ^{a-d}	63,3 ±20,8 ^{a-d}
	2	3,3 ±5,8 ^{cd}	53,3 ±30,6 ^{a-d}	53,3 ±15,3 ^{a-d}	40,0 ±10,0 ^{a-d}	56,7 ±15,3 ^{a-d}	53,3 ±25,2 ^{a-d}	30,0 ±10,0 ^{a-d}
	4	0,0 ±0,0 ^d	70,0 ±26,5 ^{ab}	86,7 ±15,3 ^a	63,3 ±11,5 ^{a-d}	70,0 ±17,3 ^{ab}	46,7 ±20,8 ^{a-d}	56,7 ±25,2 ^{a-d}
	Ortalama	2,2A	54,4A	66,7A	57,8A	54,4A	45,6AB	50,0A
20	0	3,3 ±5,8 ^{cd}	63,3 ±15,3 ^{a-d}	66,7 ±20,8 ^{a-c}	46,7 ±11,5 ^{a-d}	53,3 ±20,8 ^{a-d}	23,3 ±5,8 ^{a-d}	60,0 ±26,5 ^{a-d}
	2	3,3 ±5,8 ^{cd}	43,3 ±30,6 ^{a-d}	53,3 ±23,1 ^{a-d}	53,3 ±25,2 ^{a-d}	26,7 ±5,8 ^{a-d}	26,7 ±5,8 ^{a-d}	36,7 ±5,8 ^{a-d}
	4	0,0 ±0,0 ^d	43,3 ±20,8 ^{a-d}	50,0 ±10,0 ^{a-d}	53,3 ±20,8 ^{a-d}	40,0 ±17,3 ^{a-d}	56,7 ±20,8 ^{a-d}	36,7 ±20,8 ^{a-d}
	Ortalama	2,2A	50,0A	56,7A	51,1A	40,0A	35,6B	44,4A
40	0	6,7 ±5,8 ^{b-d}	36,7 ±5,8 ^{a-d}	46,7 ±15,3 ^{a-d}	70,0 ±26,5 ^{ab}	40,0 ±10,0 ^{a-d}	63,3 ±28,9 ^{a-d}	40,0 ±10,0 ^{a-d}
	2	0,0 ±0,0 ^d	56,7 ±15,3 ^{a-d}	56,7 ±28,9 ^{a-d}	43,3 ±15,3 ^{a-d}	43,3 ±28,9 ^{a-d}	46,7 ±11,5 ^{a-d}	56,7 ±25,2 ^{a-d}
	4	3,3 ±5,8 ^{cd}	50,0 ±10,0 ^{a-d}	63,3 ±20,8 ^{a-d}	23,3 ±15,3 ^{a-d}	50,0 ±40,0 ^{a-d}	76,7 ±15,3 ^a	46,7 ±25,2 ^{a-d}
	Ortalama	3,3A	47,8A	55,6A	45,6A	44,4A	62,2A	47,8A
Ortalama		2,6B	50,8A	59,7A	51,5A	46,3A	47,8A	47,5A

Çizelge 7. Mikoriza aşılama, kompost ve fosfat kayacı uygulaması altında farklı parametreler için varyans analizi F değerlerinin (olasılık) önemi

Table 7. Significance of F-values (probability) from analysis of variance for different parameters under mycorrhizal inoculation, compost and rock phosphate application

Uygulamalar	sd	Kök Üstü Aksam	Kök Aksam	% P	Zn mg/kg	% İnfeksiyon
M	6	<,001	0,001	0,030	0,457	<,001
K	2	0,032	0,776	0,643	0,136	0,090
M*K	12	0,007	0,797	0,007	0,665	0,417
FK	2	0,811	0,839	0,548	0,376	0,095
M*FK	12	0,790	0,343	0,614	0,612	0,376
K*FK	4	0,800	0,459	0,471	0,837	0,193
M*K*FK	24	0,131	0,854	0,813	0,225	0,077

M: Mikoriza, K: Kompost, FK: Fosfat Kayacı

Çizelge 8. Çalışmada değerlendirilen parametrelerin korelasyon değerleri

Table 8. Correlation values of parameters evaluated in the study

Parametreler	Kök Üstü Aksam	Kök Aksam	% P	Zn mg/kg	İnfeksiyon %
Kök Üstü Aksam	1	0,0030	0,0152	0,4387	<,0001
Kök Aksam		1	0,1268	0,8990	0,3542
% P			1	<0,0001	0,5403
Zn mg/kg				1	0,9409
İnfeksiyon %					1

P<0.05

Araştırmada mikoriza türleri olarak *Funnelformis mosseae*, *F. caledonius*, *Claroideoglossum etunicatum*, *Rhizophagus clarus*, doğal (Çukurova bölgesinden izole edilen) ve kokteyl (uygulanan türlerin karışımı) kullanılmıştır. Kompost materyali, uygulama arazisindeki mevcut bitkisel artıklardan elde edilmiştir (Akpınar ve ark., 2019). Fosfat kayacı ise Mardin Mazıdağı'nda bulunan fosfat yataklarından satın alma yolu ile temin edilmiştir. Denemede alkali karaktere sahip (pH 7,98), tekstürü killi tın, organik madde içeriği düşük (%1,65) olan Menzilat serisine (*Typic Xerofluvents*) ait toprak kullanılmıştır. Toprak, kompost ve fosfat kayacına ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Sorgum bitkileri saksılara ekildikten 60 gün sonra kök ve kök üstü kısımları hasat edilmiş, sonra besin elementleri analizi için 550 °C'de kül fırınında yakılmıştır. Elde edilen kül 1/3'lük HCl içerisinde ekstrakte edilmiştir. Süzükteki fosfor konsantrasyonu kolorimetrik olarak spektrofotometre (Murphy ve Riley, 1962), Zn element analizi ise ICP (Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometer) cihazı ile belirlenmiştir. Bitki köklerine ait temizleme ve boyama işlemi Koske ve Gemma (1989) 'a göre ve mikorizal kök infeksiyon oranı ise Giovanetti ve Mosse (1980)'nin belirttiği yöntemle yapılmıştır. Araştırma sonucunda elde edilen veriler SPSS 20.0 for Windows paket programı kullanılarak ANOVA varyans analizi ve uygulamaların kendi arasındaki farklılıklarına göre Tukey testine tabi tutulmuştur. Ayrıca araştırmada parametreler arasındaki korelasyon da belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Araştırma bulguları sorgum bitkisinin kök üstü aksam kuru madde üretimi bakımından değerlendirildiğinde, en yüksek kuru madde üretiminin 34,2 g/saksı ile *F. caledonius* mikoriza türünün aşılandığı, 40 g kompost/kg

toprak ve 2 g fosfat kayacı/kg toprak uygulanan saksılarda belirlenmiştir (Çizelge 2). En düşük kök üstü aksam kuru madde üretimi ise mikoriza aşılanmayan, 20 g kompost/kg toprak ve 0 g fosfat kayacı/kg toprak uygulanan saksılarda saptanmıştır (14,0 g/saksı). Araştırmada mikoriza aşılmasının yapılmadığı kontrol uygulamasında kök üstü aksam kuru madde üretimi 0 g kompost/kg toprak ve 20 g kompost/kg toprak uygulamasında artan fosfat kayacı uygulamalarıyla artmış, ancak 40 g kompost/kg toprak uygulamasında fosfat kayacı uygulamalarına bağlı olarak üst aksam kuru madde üretimi azalmıştır. Kokteyl mikoriza türü hariç diğer mikoriza uygulamalarında genel olarak artan fosfat kayacı uygulamasıyla kuru madde üretimi artmıştır. Araştırmada *C. etunicatum* mikoriza hariç diğer mikoriza türlerinde genel olarak artan fosfat kayacı uygulamaları bitkinin kuru madde üretimini arttırmış, sadece *C. etunicatum* mikoriza türünde artan fosfat kayacı dozlarına bağlı olarak kuru madde üretimi azalmıştır. Hameeda ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, mikoriza aşılmasının, solucan gübresinin ve pirinçten elde edilen kompost uygulamasının sorgum (*Sorghum bicolor*) bitkilerinin biyokütlesini artırdığını rapor etmiştir. Yapılan başka bir çalışmada, kompost+fosfat kayacı uygulaması koşulları altında mikoriza aşılanarak yetiştirilen mısır bitkisinde en yüksek yeşil aksam kuru madde ağırlığı elde edildiği (34,7 g/saksı) belirtilmiştir (Genç, 2006). Genel ortalamalar değerlendirildiğinde, kontrole oranla tüm mikoriza uygulamalarının üst aksam kuru madde üretimini arttırdığı, 29,5 g/saksı kuru madde üretimi ile öne çıkan mikoriza türünün *F. caledonius* olduğu belirlenmiştir. Kök üstü aksam kuru madde üretimine mikoriza aşılması istatistiksel olarak P<0,001, kompost P<0,032 ve fosfat kayacı ise P<0,811 önemlilik düzeyinde etki etmişlerdir (Çizelge 7). Araştırmada en yüksek kök aksam kuru madde üretimi *R. clarus* mikoriza türünde 20 g kompost/kg toprak ve 0 g fosfat kayacı/toprak uygulamasında 11,5 g/saksı

olarak belirlenmiştir (Çizelge 3). En düşük ise 4,6 g/saksı olarak doğal mikoriza türünde tespit edilmiştir. Ortalamalar bakımından değerlendirildiğinde, 8,8 g/saksı kök kuru madde üretimi ile öne çıkan mikoriza türünün *F. mosseae* olduğu belirlenmiştir. Araştırmada kompost uygulamalarının *F. caledonius* ve Kokteyl mikoriza türü hariç kontrol uygulaması da dahil olmak üzere diğer mikoriza türlerinde kök kuru madde üretimine etkisinin olmadığı belirlenmiştir ancak genel olarak mikoriza uygulaması istatistiki olarak $P<0,001$ düzeyinde etki etmiştir. Ayrıca fosfat kayacı uygulamalarının da kök aksam kuru madde üretimine istatistiki olarak önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir ($P<0,839$). Ditta ve ark. (2018) fosfat kayacı ile zenginleştirilmiş kompost uygulamasının nohut bitkisinin kök kuru madde ağırlığı, tane verimi ve biokütleyi arttırdığını bildirmişlerdir.

Uygulamaların, sorgum bitkisinde fosfor konsantrasyonuna etkilerinin görüldüğü Çizelge 4'e göre, genel olarak mikoriza uygulamalarıyla bitkinin fosfor konsantrasyonunun arttığı belirlenmiştir ($P<0,030$). Mikoriza türleri içerisinde de *R. clarus* türünün %0,18 P ile en fazla fosfor konsantrasyonuna sahip olduğu saptanmıştır. Araştırmada en yüksek fosfor konsantrasyonu %0,21 P ile istatistiki olarak aynı gruba giren *R. clarus* türünde 40 g kompost/toprak ve 0 g fosfat kayacı/toprak, *C. etinacatum* türünde 20 g kompost/toprak ve 2 g fosfat kayacı/toprak uygulamasında belirlenmiştir. Bu durumun, uygulanan materyaller içerisindeki fosforun mikoriza ve kök salgıları tarafından aktive edildiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Araştırmada genel olarak kompost uygulamaları ile sorgum bitkisinin fosfor konsantrasyonu artarken bu durum istatistiki olarak $P<0,643$ önem düzeyinde olmuştur (Çizelge 7). Fosfat kayacı uygulamaları ise bazı mikoriza türlerinde fosfor konsantrasyonunu arttırmışken, bazılarında ise azalmasına neden olmuştur. Yapılan bir çalışmada sadece kahve atıkları ile kompostlanan, tek başına Minjingu fosfat kayacı ve Minjingu fosfat kayacı ile kahve atıkları kompostu ile kombine edilmiş ortamlarda yetiştirilen domates bitkilerinin fosfor alımını kontrole göre sırasıyla 11, 13 ve 18 kat artmıştır (Shitindi ve Jerome, 2019). Ditta ve ark. (2018) kompost ve fosfat kayacının 50:50 oranında uygulanması ile P alınabilirliğinin önemli oranda arttırdığını rapor etmiştir. Sharif ve Claassen (2011), mikoriza mantarının toprakta fosfor yarayışlılığını arttırdığını, hifler aracılığı ile fosfor absorpsiyon oranının arttığını rapor etmişlerdir.

Sorgum bitkisinin çinko konsantrasyonu bakımından değerlendirildiğinde, 51,0 mg/kg Zn ile en yüksek değer *F. caledonius* mikoriza türü uygulanan, 40 g kompost /kg toprak ve 0 g fosfat kayacı/kg toprak uygulanan saksılarda belirlenmiştir (Çizelge 5). Sorgum bitkisinde en düşük çinko konsantrasyonu ise 20,4 mg/kg Zn ile *F. mosseae* mikoriza türünde 0 g/kg toprak kompost ve fosfat kayacı uygulamalarında elde edilmiştir. Kompost uygulamaları açısından veriler değerlendirildiğinde, bazı mikoriza türlerinde etkili olurken, bazılarında ise istatistiki olarak önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür ($P<0,136$). Benzer durum fosfat kayacı uygulamaları için de ($P<0,376$) söylenebilir. Genel ortalamalar değerlendirildiğinde, sadece *C. etinacatum* mikoriza türünün kontrole oranla daha düşük çinko konsantrasyonuna sahip olduğu, diğer mikoriza türü

uygulamalarının daha fazla çinko konsantrasyonuna sahip olduğu, 35,9 mg/kg Zn ile de *F. caledonius* mikoriza türünün öne çıktığı belirlenmiştir. Akpinar (2018), farklı organik uygulamaların mısır bitkisinin gelişimi üzerine yaptığı çalışmada, organik uygulamaların kontrole göre daha yüksek Zn konsantrasyonuna sahip olduğunu rapor etmiştir.

Araştırmada mikoriza uygulamalarının sorgum bitkisinin kök infeksiyonunu istatistiki olarak önemli derecede arttırdığı ($P<0,001$), %59,7 kök infeksiyonu ile çinko konsantrasyonunda olduğu gibi *F. caledonius* mikoriza türünün en etkili mikoriza türü olduğu saptanmıştır (Çizelge 6). Sorgum bitkisinin kök infeksiyonu en yüksek %86,7 ile *F. caledonius* mikoriza türünde 0 g kompost/kg ve 4 g fosfat kayacı/kg uygulamasında belirlenmiştir. Biber bitkisi ile üç yıllık olarak yapılan bir çalışmada, mikoriza aşılmasının kök infeksiyonunu önemli derecede arttırdığını ve mikoriza ile aşılınmış biber bitkisinin kök infeksiyonunun %21-66 arasında değişirken, mikoriza aşılınmamış biber bitkisinin kök infeksiyonunun %0-14 arasında değiştiğini rapor etmişlerdir (Ortas ve ark., 2011). Ayrıca araştırmada, kompost ($P<0,090$) ve fosfat kayacı uygulamalarının ($P<0,095$) bitkinin kök infeksiyonuna istatistiki olarak etkide bulunmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 7).

Araştırmada uygulamaların korelasyon değerleri Çizelge 8'de verilmiştir. Korelasyon verilerine ait çizelgeye göre sorgum bitkisinin kök üstü aksam kuru madde üretimi değerleri ile kök aksam ($P<0,003$), % P ($P<0,015$) ve % kök infeksiyonu ($P<0,001$) arasında pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda sorgum bitkisinin P konsantrasyonu ile Zn konsantrasyonu arasında $P<0,001$ düzeyinde bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Zhang ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada P ve Zn arasında bitki besleme açısından çok önemli ilişki olduğunu saptamışlardır.

Sonuçlar ve Öneriler

Günümüzde dünyada fosfor kaynakları kısıtlı olduğundan, fosforlu gübre üretimi hem maliyetler açısından pahalı hem de yüksek oranlarda kullanıldığında çevre açısından da istenmeyen sonuçları doğurmaktadır. Mevcut araştırma verileri ile kimyasal gübrelere oranla doğal gübre kaynaklarının bitkisel üretimde başarı ile uygulanabileceği belirlenmiştir. Mikoriza ve kompost gibi organik materyallerin toprak verimliliği ve toprağın fiziksel özellikleri üzerine yararlı etkileri olduğu bilinmektedir. Araştırmamızın sonuçları ile, doğal bir mekanizma olan mikoriza ile birlikte kompost ve fosfat kayacı uygulamalarının sorgum bitkisinin gelişimine pozitif etki gösterdiği ve ileriki çalışmalara ışık tutacağı tespit edilmiştir. Sürenin kısıtlı olması ve fosfat kayacının yeterince çözünmemesine rağmen araştırma verileri hipotezimizi doğrular niteliktedir.

Farklı mikoriza türleri, kompost ve fosfat kayacı uygulamalarının sorgum bitkisinin bitki gelişimi ve besin elementi alınma etkilerinin belirlenmesi üzerine yürütülen bu çalışmada, mikoriza uygulamasının fosfat kayacı ve kompostla oranla sorgum bitkisinin kuru madde üretimine, fosfor ve çinko konsantrasyonuna, kök infeksiyonuna daha fazla etkide bulunduğu belirlenmiştir. Mikoriza türlerinden de *F. caledonius* diğer mikoriza türlerine oranla en etkin

mikoriza türü olarak belirlenmiştir. Araştırmada ayrıca, kompost dozlarından genel olarak 20 g/kg toprak uygulamasının daha fazla etkiye bulunduğu belirlenmiştir. Araştırma bulguları, mikoriza ve farklı organik maddelerin birlikte uygulanmasıyla bitki gelişiminin önemli ölçüde artırılacağı göstermiştir. Hipotezimizin doğrulandığı araştırma verileri ile organik tarım açısından mikoriza, kompost ve fosfat kayacının birlikte kullanılacağı belirlenmiştir. Sonuçların tarla koşullarında uygulanması konunun pratiğe aktarılması bakımından önemini daha da arttıracaktır.

Kaynaklar

- Akpınar C, Demirbas A, Ortas I. 2019. The Effect of Different Compost Compositions on Arbuscular Mycorrhizal Colonization and Nutrients Concentration of Leek (*Allium porrum* L.) Plant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50: 2309-2320.
- Akpınar Ç. 2018. Farklı Organik Gübre Uygulamalarının Mısır Bitkisinin Gelişimi ve Besin Elementleri Alımına Etkileri. *Alatarım*, 17:33-40.
- Awaad MS, Rashad AA, Bayoumi MA. 2009. Effect of Farmyard Manure Combined with Some Phosphate Sources on the Productivity of Canola Plants Grown on a Sandy Soil. *Res. J. Agri. & Bio. Sci.* 5:1176-1181.
- Blatt H, Tracy R. 1995. *Petrology, Second Edition: Igneous, Sedimentary, and Metamorphic*. W. H. Freeman.
- Ditta A, Muhammad J, Imtiaz M, Mehmood S, Qian Z, Tu S. 2018. Application of Rock Phosphate Enriched Composts Increases Nodulation, Growth and Yield of Chickpea. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 7:33-40.
- Eleroglu H, Korkmaz K. 2016. Farklı Organik Gübrelerin Tohumluk Patates (*Solanum tuberosum* L.) Çeşitlerinde Verim ve Kalite Üzerine Etkileri. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(7): 566-578.
- Fabunmi TO, Agbonlahor M, Odedina J, Adigbo S. 2012. Profitability of Pre-Season Green Manure Practices Using Maize as a Test Crop in a Derived Savanna of Nigeria. *49:593-596*.
- Genç A. 2006. Ekolojik Tarımda Kullanılabilecek Bazı Mineraller ve Bunların Mikoriza Ve Kompost İle Aktive Edilmesi Üzerinde Bir Çalışma. Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Giovanetti M, Mosse B. 1980. An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza in Roots. *New Phytologist*, 84:489-500.
- Hameeda B, Harini G, Rupela OP, Reddy G. 2007. Effect of Composts or Vermicomposts on Sorghum Growth and mycorrhizal Colonization. *African Journal of Biotechnology*, 6(1):9-12.
- Kasifah K, Syekhfani Nuraini Y, Handayanto E. 2014. Effects of Plant Residue and Compost Extracts on Phosphorus Solubilization of Rock Phosphate and Soil. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 8:43-49.
- Kolawole G, Tian G. 2010. Phosphorus Fractionation and Crop Performance on an Alfisol Amended with Phosphate Rock Combined with or without Plant Residues. *African Journal of Biotechnology*, 6(16): 6.
- Koske RE, Gemma JN. 1989. A Modified Procedure for Staining Roots to Detect Va-Mycorrhizas. *Mycological Research*, 92:486-488.
- Lim SL, Lee LH, Wu TY. 2016. Sustainability of Using Composting and Vermicomposting Technologies for Organic Solid Waste Biotransformation: Recent Overview, Greenhouse Gases Emissions and Economic Analysis. *Journal of Cleaner Production*, 111:262-278.
- Munir A, Anwar-ul-Hassan A, Nawaz S, Bajwa M. 2012. Farm Manure Improved Soil Fertility in Mungbean-Wheat Cropping System and Rectified the Deleterious Effects of Brackish Water. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 49:511-519.
- Murphy J, Riley JP. 1962. A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Waters. *Analytica Chimica Acta*, 27:31-36.
- Ortas I. 2017. Mycorrhizae: Soil Quality.
- Ortas I, Sari N, Akpınar Ç, Yetisir H. 2011. Screening Mycorrhiza Species for Plant Growth, P and Zn Uptake in Pepper Seedling Grown under Greenhouse Conditions. *Scientia Horticulturae*, 128:92-98.
- Rajan SSS, Watkinson J, Sinclair A. 1996. Phosphate Rocks for Direct Application to Soils. *Advances in Agronomy*, 57:77-159.
- Richardson A, Hocking P, Simpson R, George T. 2009. Plant Mechanisms to Optimise Access to Soil Phosphorus. *Crop and Pasture Science*, 60.
- Sarvajayakesavalu S, Lu Y, Withers PJA, Pavinato PS, Pan G, Chareonsudjai P. 2018. Phosphorus Recovery: A Need for an Integrated Approach. *Ecosystem Health and Sustainability*, 4:48-57.
- Sharif M, Burni T, Wahid F, Khan F, Khan S, Khan A, Shah A. 2013. Effect of Rock Phosphate Composted with Organic Materials on Yield and Phosphorus Uptake of Wheat and Mung Bean Crops. *Pakistan Journal of Botany*, 45:1349-1356.
- Sharif M, Claassen N. 2011. Action Mechanisms of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Phosphorus Uptake by *Capsicum Annum* L. *Pedosphere*, 21:502-511.
- Shitindi M, Jerome P. 2019. Composting Coffee Pulp with Minjingu Phosphate Rock Improves Phosphorus Availability for Tomato Uptake. *African Journal of Agricultural Research*, 14:1051-1057.
- Singh, CP, Amberger A. 1998. Organic Acids and Phosphorus Solubilization in Straw Composted with Rock Phosphate. *Bioresource Technology*, 63:13-16.
- Smith SE, Read D. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press. London.
- Vance CP, Uhde-Stone C, Allan DL. 2003. Phosphorus Acquisition and Use: Critical Adaptations by Plants for Securing a Nonrenewable Resource. *New Phytologist*, 157: 423-447.
- Verma S, Penfold C, Marschner P. 2012. Mobilisation of Rock Phosphate by Surface Application of Compost. *Biology and Fertility of Soils*, 49.
- Wang F. 2017. Occurrence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Mining-Impacted Sites and Their Contribution to Ecological Restoration: Mechanisms and Applications. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 47:1901-1957.
- Zayed G, Heba A. 2005. Bio-Production of Compost with Low Ph and High Soluble Phosphorus from Sugar Cane Bagasse Enriched with Rock Phosphate. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21:747-752.
- Zhang W, Liu D, Liu Y, Cui Z, Chen, X, Zou C. 2016. Zinc Uptake and Accumulation in Winter Wheat Relative to Changes in Root Morphology and Mycorrhizal Colonization Following Varying Phosphorus Application on Calcareous Soil. *Field Crops Research*, 197:74-82.