

## Biyogübre uygulamalarının agregat oluşumu üzerindeki rolü

### The role of Bio-Fertilizer amendments on aggregate formation

Mehmet SÖNMEZ, Erdem YILMAZ

Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Antalya

Sorumlu yazar (Corresponding author): E. Yılmaz, e-posta (e-mail): erdemyilmaz@akdeniz.edu.tr

#### MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi 10 Şubat 2016  
Düzeltilme tarihi 29 Temmuz 2016  
Kabul tarihi 29 Temmuz 2016

#### Anahtar Kelimeler:

Alg  
Bakteri  
Mikoriza  
Vermikompost

#### ÖZ

Bu çalışmada, beş farklı biyogübrenin (bireysel ve farklı kombinasyonlarda) mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin yetiştirildiği killi tın tekstüre sahip bir toprağa (Typic Xerofluvent) uygulanarak agregat oluşumu üzerine etkileri belirlenmiştir. 90 günlük inkübasyon süresince sera koşullarında ve saksı denemesi olarak yürütülen çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olacak şekilde planlanmıştır. Çalışmada, kontrol (gübre uygulamaz) (K), inorganik gübre (G) (15:15:15 kompoze gübre + amonyum nitrat, % 33 N), mikoriza (M) (*Glomus* spp.), alg (A) (*Chlorella* spp.), bakteri (BMF) (*Bacillus megaterium* KBA-10+*Pantoea agglomerans* RK-134+*Pseudomonas fluorescens* FDG-37), bakteri (BCP) (*Bacillus subtilis* PA1+*Paenibacillus azotofixans* PA2), vermikompost (V) (750 kg da<sup>-1</sup>), vermikompost+mikoriza (VM), vermikompost+alg (VA), vermikompost+bakteri (VBMF), vermikompost+bakteri (VBCP) olmak üzere on bir farklı uygulama denenmiştir. 90 günlük inkübasyon süresi sonunda, biyogübren uygulamaları makro-agregatların miktarında önemli artış meydana getirmiştir. BCP ve BMF uygulamaları >4 mm, M uygulaması 4–2 mm ve 2–1 mm, A ve V uygulamaları ise 2–1 mm boyuta sahip agregatların miktarında kontrole göre önemli düzeyde artış meydana getirmiştir. Çalışmada, >4 mm boyuta sahip agregatların miktarında özellikle vermikompost ile yapılan uygulamalarla önemli düzeyde artışlar elde edilmiştir.

#### ARTICLE INFO

Received 10 February 2016  
Received in revised form 29 July 2016  
Accepted 29 July 2016

#### Keywords:

Algae  
Bacteria  
Mycorrhiza  
Vermicompost

#### ABSTRACT

In this study, the effects of five different bio-fertilizers (with alone or different combination) on aggregate formation in clay-loam (Typic Xerofluvent) textured soil, in which maize (*Zea mays* L.) plant was grown, were investigated. The study was conducted as a pot experiment under greenhouse conditions and arranged using Completely Randomized Block Design with three replications for 90 days. The study consisted of eleven experimental treatments: Control (no fertilizer) (K), inorganic fertilizer (15:15:15 compound fertilizer + ammonium nitrate, 33% N) (G), bio-fertilizer containing mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) (M), bio-fertilizer containing microalgae (*Chlorella* spp.) (A), bio-fertilizer containing bacteria (*Bacillus megaterium* KBA-10 + *Pantoea agglomerans* RK-134 + *Pseudomonas fluorescens* FDG-37) (BMF), another biofertilizer containing bacteria (*Bacillus subtilis* PA1 + *Paenibacillus azotofixans* PA2) (BCP), vermicompost (V), vermicompost + mycorrhizal fungi (VM), vermicompost + microalgae (VA), vermicompost + bacteria (VBMF), vermicompost + bacteria (VBCP). At the end of the experiment, the results showed that bio-fertilizer treatments tended to increase the formation of macro-aggregates. The amount of macro-aggregates was significantly enhanced by treatments compared to control (>4 mm size class by BCP, 4–2 mm size class by M treatment, 2–1 mm size class by M, A and V treatments). The amount of aggregates >4 mm was greatly increased as a result of combined applications of bio-fertilizers and vermicompost.

## 1. Giriş

Modern teknolojiye ilerlemeler, artan nüfusa ve çevresel bozulmaya karşı toplumun sağlık ve gelişimini sorunsuzca devam ettirebilmesi adına, bilim insanlarını tarımsal alanda yeni buluşlar ve metotlar üzerinde çalışmaya yönlendirmiştir. Kimyasal ve organik gübrelerle tam anlamıyla alternatif olmasa

da önemli sayılabilecek birçok tamamlayıcı katkılarından dolayı biyogübreler ilgi çeken araştırma konularından biri haline gelmiştir. Biyogübrelerle olan ilgi son yıllarda dünya genelinde yaygınlaşmaya başlamış ve bu alandaki bilimsel çalışmalar hız kazanmıştır.

Tarımsal sürdürülebilirlik, toprak verimliliğinin ve toprağın fiziko-kimyasal özelliklerinin optimum kullanımını ve idaresini zorunlu kılar. Her ikisi de toprak biyolojik süreç ve çeşitliliği ile yakından ilişkili unsurlardır ki bu da toprakta biyolojik aktiviteyi arttıran, böylece toprak performansını ve ürün sağlığını uzun süre destekleyen uygulamaları ön plana çıkarmaktadır (Singh ve ark. 2011).

Bitkinin toprakta iyi bir gelişim sağlayabilmesi önemli derecede yetiştiği toprak ortamının fiziksel özellikleri ile önemli derecede ilişkilidir. Toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmede ve sürekliliğini sağlamada organik ve biyolojik kökenli materyallerin kullanımı ön plandadır. Fiziksel toprak parametrelerinden birisi olan toprakların strüktürel gelişimleri, toprak-su-bitki ilişkileri açısından oldukça önemli olup ayrıca toprakların korunumu açısından da çok önemli bir fiziksel toprak özelliğidir. Toprak korunma ve bozulma süreçleri toprak ekosistemindeki biyolojik unsurlara bağlı bir şekilde devam etmektedir. Bu süreçlerin birer sonucu olarak değerlendirilen toprak sağlığı; bitki ve çevre sağlığı, gıda güvenliği ve kalitesini yakından etkilemektedir (Halvorson ve ark. 1997; Nielsen ve Winding 2002).

Toprak agregatları, birbirlerine çevresindeki parçacıklardan çok daha güçlü bir şekilde bağlanan tanecikler kümesi olarak ifade edilir (Kemper ve Rosenau 1986). Tisdall ve Oades (1982) toprak agregatlarını boyutlarına göre başlıca üç düzeyde sınıflandırmıştır: (i)  $< 2 \mu\text{m}$  boyutundaki kil agregatları, (ii)  $2 - 250 \mu\text{m}$  boyutundaki mikro- agregatlar, (iii)  $> 250 \mu\text{m}$  boyutundaki makro- agregatlar. Toprak agregatları, Bronick ve Lal (2005) tarafından belirttiği gibi, toprak strüktürünün başlıca bir bileşeni olup, gözeneklerin devamlılığı, infiltrasyon ve toprağın su tutma kapasitesi üzerinde etkilidirler (Leifheit ve ark. 2014). Tate (1987) topraklardaki agregatlaşmanın, toprakların su tutma ve havalanma kapasitesi, suyun ve havanın toprak içerisindeki hareketi, kök gelişimi ve dağılımı, mikrobiyal toplulukların aktivitesi gibi toprak özellikleri üzerine etkili olduğunu; agregat stabilitesinin ise daha çok toprak erozyonunun önlenmesinde etkili olduğunu bildirmiştir (Yılmaz ve Alagöz 2005).

Çevre ile uyumlu sürdürülebilir tarımda, organik ve biyolojik kökenli materyallerin kullanımı oldukça önemlidir. Biyogübreler; toprak, tohum veya bitki yüzeylerine uygulandığında içerdiği canlı mikroorganizmaların rizosfer veya bitki içerisinde kolonileşmesiyle konukçusu olduğu bitkiye temel besinlerin sağlanmasında artış gerçekleştirerek gelişimi teşvik eden biyolojik maddelerdir (Vessey 2003). Biyogübrelerin toprak verimliliği üzerine olan etkilerinin incelendiği çalışmalar daha çok kimyasal ve biyolojik toprak parametreleri merkezli olup bitkisel verimdeki rolleri ise tartışılmaktadır.

Adesemoye ve Kloepper (2009), biyogübre ile ilgili akademik çalışmaların son yirmi yılda istikrarlı bir şekilde arttığını bildirmiştir. Biyogübre uygulamalarının toprakların agregat oluşumu ve stabilitesi üzerine etkilerine ait çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Ram ve ark. 1994; Bossuyt ve ark. 2001; Ambriz ve ark. 2010; Ganesh ve ark. 2011; Graf ve Frei 2013). Biyogübre uygulamalarının toprak agregatları üzerine

etkilerine dair yapılan birçok farklı çalışmada farklı sonuçlar elde edilmiştir. Genellikle arbuskular mikorizal fungus (AMF) ve diğer fungusların makro ( $> 250 \mu\text{m}$ ) boyuttaki agregatların oluşumu ve stabilizasyonunda; bakteri, polisakkarit ve organo-mineral komplekslerin ise mikro boyuttaki agregatlar ( $< 250 \mu\text{m}$ ) üzerinde etkili olduğu varsayılmaktadır (Rillig ve Mummey 2006; Leifheit ve ark. 2014).

Bu çalışmada, farklı içerikli biyo-gübre uygulamalarının yüksek kireç içeriğine sahip alkali reaksiyonlu killi tın tekstürlü toprağın agregat oluşumu üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Çalışmada toprak materyali olarak, Antalya Aksu bölgesindeki Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Arazisindeki ( $30^{\circ}52'30''$  ve  $30^{\circ}53'45''$  E  $36^{\circ}52'30''$  ve  $36^{\circ}55'50''$  N) Tehneli serisinin 0–30 cm derinliğinden alınan Entisol ordosuna ait (Typic Xerofluent) killi tın tekstüre sahip toprak örnekleri kullanılmıştır. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarına ait veriler Çizelge 1'de verilmiştir. Denemede mikoriza gelişimini teşvik için bitki materyali olarak mısır yetiştirilmiş ve Lumina F1 hibrit mısır (*Zea mays* L.) tohumu kullanılmıştır. Uygulama materyali olarak, bakteri içerikli BM–Megaflove, BM–Coton–Plus, mikorizal fungus içerikli Shubhodaya, mikroalg içerikli Emek Mikrobiyal Sıvı Gübre ve Green–PIK ticari isimli *Eisenia fetida* solucanından elde edilmiş katı vermikompost ile 15:15:15 (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O) kompoze gübre ve % 33'lük amonyum nitrat (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) gübresi kullanılmıştır. Deneme kapsamında kullanılan biyolojik materyallerin ve vermikompost'un içerik bilgileri ise ticari etiketlerinde yazıldığı şekliyle Çizelge 2 ve Çizelge 3' de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Deneme toprağının bazı fizikokimyasal özellikleri.

**Table 1.** Some physicochemical properties of test soil.

| Parametre                            | Değer   | Değerlendirme |
|--------------------------------------|---------|---------------|
| pH                                   | 7.49    | Hafif Alkali  |
| EC (dS m <sup>-1</sup> )             | 0.36    | Tuzsuz        |
| CaCO <sub>3</sub> (%)                | 32.67   | Çok Kireçli   |
| Kum (%)                              | 22.92   |               |
| Silt (%)                             | 44.36   |               |
| Kil (%)                              | 32.72   |               |
| Tekstür                              |         | Killi Tın     |
| Tarla Kapasitesi (%)                 | 28.71   |               |
| Solma Noktası (%)                    | 16.30   |               |
| Yarayışlı Su (%)                     | 12.41   |               |
| Hacim Ağırlığı (g cm <sup>-3</sup> ) | 1.21    |               |
| KDK (meq 100 g <sup>-1</sup> )       | 17.03   |               |
| Organik Madde (%)                    | 1.65    | Düşük         |
| N (%)                                | 0.10    | Orta          |
| P (mg kg <sup>-1</sup> )             | 13.95   | Yeterli       |
| K (mg kg <sup>-1</sup> )             | 164.00  | Düşük         |
| Ca (mg kg <sup>-1</sup> )            | 4787.00 | Yüksek        |
| Mg (mg kg <sup>-1</sup> )            | 198.8   | Orta          |
| Na (mg kg <sup>-1</sup> )            | 9.84    | Çok düşük     |
| Fe (mg kg <sup>-1</sup> )            | 13.20   | Yüksek        |
| Zn (mg kg <sup>-1</sup> )            | 0.26    | Noksan        |
| Mn (mg kg <sup>-1</sup> )            | 14.58   | Yeterli       |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> )            | 2.07    | Yeterli       |

KDK: Katyon Değişim Kapasitesi; EC: Elektriksel İletkenlik

**Çizelge 2.** Çalışmada kullanılan biyolojik (mikrobiyal) materyallerin içerikleri.

**Table 2.** Contents of biological (microbial) materials used in the study.

| Materyaller                      | İçerikte Yer Alan Canlı Organizmalar  | Canlı Organizma Sayısı                       | pH      |
|----------------------------------|---|--|---------|
| BM–Megaflu (Bakteri)             | <i>Bacillus megaterium</i> KBA–10, <i>Pantoea agglomerans</i> RK–134, <i>Pseudomonas fluorescens</i> FDG–37 | 2.1x10 <sup>8</sup> (adet ml <sup>-1</sup> ) | 5.7-7.7 |
| BM–Coton–Plus (Bakteri)          | <i>Bacillus subtilis</i> PA1, <i>Paenibacillus azotofixans</i> PA2  | 2.2x10 <sup>7</sup> (adet ml <sup>-1</sup> ) | 6-8     |
| Shubhodaya (Mikoriza)            | <i>Glomus</i> spp.  | 1x10 <sup>3</sup> (kob* kg <sup>-1</sup> )   | 7-9     |
| Emek Mikrobiyal Sıvı Gübre (Alg) | <i>Chlorella</i> spp.   | 1x10 <sup>7</sup> (adet ml <sup>-1</sup> )   | 6-8     |

\*kob: Koloni oluşturan birim.

**Çizelge 3.** Çalışmada kullanılan vermikompost'un kimyasal özellikleri.

**Table 3.** Chemical properties of vermicompost used in the study.

| Materyal     | Parametre  | Değer       |
|--------------|--|-------------|
| Vermikompost | Nem (%)  | 40–45       |
|              | Kül (%)  | 35–45       |
|              | Organik Madde (%)                                  | 55–65       |
|              | Humik Madde (%)                                    | 25–32       |
|              | Toplam Azot (N) (%)                                | 1–2         |
|              | Toplam Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (%) | 1.5–3       |
|              | Toplam Potasyum (K <sub>2</sub> O) (%)             | 1.2–2       |
|              | Ca (%)   | 4–6         |
|              | Mg (%)   | 0.6–2.3     |
|              | Fe (%)   | 0.6–2.5     |
|              | Mn (%)   | 0.006–0.008 |

## 2. 2. Yöntem

Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olacak şekilde 11 konu üzerine planlanmıştır. Deneme 03.04.2014 tarihinde Ziraat Fakültesi Tohumculuk ve Tarımsal Biyoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezine ait seralarda başlatılmış ve 90 günlük inkübasyon süresi sonunda sona erdirilmiştir. Sera ortamında gerçekleştirilen deneme toplam 33 saksıdan oluşmaktadır (11 konu x 3 tekerrür) ve her saksıda bir bitki olacak şekilde toplamda 33 bitki üzerinde çalışılmıştır. Deneme materyalleri tek doz üzerinden planlanmıştır. İnorganik gübre olarak [(2 g saksı<sup>-1</sup>) 15:15:15 kompoze gübre ve % 33'lük Amonyum Nitrat gübresi (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)] mısır bitkisinin normal gelişimini sağlamak için kontrol hariç diğer tüm deneme konularında uygulanmıştır. Bakteri, alg ve mikorizal fungus içerikli biyogübreler 90 günlük deneme süresince ayda bir tekrarlanmak üzere toplamda 3 defa uygulanmıştır.

Hava kuru toprak örnekleri 4 mm'lik elekten elenerek her birinde 10 kg toprak olacak şekilde saksılara aktarılmıştır. Bitki materyali olarak kullanılacak mısır tohumları viyollerin içinde, torf ortamında çimlendirilmeye bırakılmıştır. 15 saksı toprağı inorganik gübre ile (2 g saksı<sup>-1</sup>, 15:15:15 kompoze gübre), 15 saksı toprağı ise vermikompost + inorganik gübre ile (30 g saksı<sup>-1</sup>, vermikompost; 2 g saksı<sup>-1</sup>, 15:15:15 kompoze gübre) karıştırılmıştır. Geri kalan 3 saksı toprağı ise kontrol uygulaması olarak kullanılmış ve herhangi bir gübre uygulaması yapılmamıştır. Mikorizal fungus içerikli biyogübre, bitkiler saksılara şaşırtılmadan hemen önce, bitki kök yüzeyine temas edecek şekilde toprakla karıştırılmıştır (15 g saksı<sup>-1</sup>, mikoriza içerikli biyogübre). Alg ve bakteri içerikli biyogübreler, her biri ayrı ayrı su ile karıştırılarak, 2 litrelik çözeltiler halinde saksılara uygulanmıştır (20 ml saksı<sup>-1</sup>, alg içerikli biyogübre; 20 ml saksı<sup>-1</sup>, bakteri içerikli biyogübre). Geri kalan bütün saksı toprakları ikişer litre su ile sulanarak tarla kapasitesine getirilmiştir. Deneme süresince saksılardaki toprakların nem düzeyleri, toprak nem içeriğinin tarla kapasitesinin % 50'sine düştüğünde sulamaya başlanmas ve tarla kapasitesinin % 70'i oluncaya kadar suyun verilmesi şeklinde ayarlanmıştır. 90 günlük inkübasyon süresinin sonunda, bitkiler toprağın 1–2 cm üzerinden kesilerek hasat edilmiş ve deneme sonlandırılmıştır.

Çalışmada bireysel ya da kombine bir şekilde uygulanan deneme konuları ve uygulama dozları **Çizelge 4**'te verilmiştir.

Deneme toprağının tekstürü **Bouyoucos (1951)**, hacim ağırlığı **Black (1965)**, tarla kapasitesi noktasındaki nem içeriği **Demiralay (1993)**, agregat oluşumu **Chepil (1962)** tarafından belirtilen agregat büyüklük dağılımı analizi esaslarına göre belirlenmiştir. Toprağın pH ve elektriksel iletkenliği (EC) 1: 2.5 toprak–su karışımında (**Jackson 1967**), kireç (CaCO<sub>3</sub>) Scheibler kalsimetresi ile (**Çağlar 1949**), organik madde modifiye Walkley–Black metoduna göre (**Black 1965**), organik karbon

**Çizelge 4.** Deneme konuları ve uygulama dozları.

**Table 4.** The subjects of the experiment and application doses.

| Deneme Konuları   | Uygulama Dozları*   |
|---|---|
| K Kontrol   | -   |
| G 15:15:15 (N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O) + % 33'lük Amonyum Nitrat (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> ) | 72 kg da <sup>-1</sup> N + 22.5 kg da <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 22.5 kg da <sup>-1</sup> K <sub>2</sub> O |
| V Vermikompost  | 750 kg da <sup>-1</sup>   |
| M Mikoriza ( <i>Glomus</i> spp.)  | 4.5x10 <sup>3</sup> kob** bitki <sup>-1</sup>   |
| VM Vermikompost + Mikoriza ( <i>Glomus</i> spp.)  | 750 kg da <sup>-1</sup> + 4.5x10 <sup>3</sup> kob bitki <sup>-1</sup>   |
| A Alg ( <i>Chlorella</i> spp.)  | 6x10 <sup>8</sup> adet bitki <sup>-1</sup>  |
| VA Vermikompost + Alg ( <i>Chlorella</i> spp.)  | 750 kg da <sup>-1</sup> + 6x10 <sup>8</sup> adet bitki <sup>-1</sup>  |
| BMF <i>Bacillus megaterium</i> + <i>Pantoea agglomerans</i> + <i>Pseudomonas fluorescens</i>                                | 1.26x10 <sup>10</sup> adet bitki <sup>-1</sup>  |
| VBMF Vermikompost + <i>B. megaterium</i> + <i>P. agglomerans</i> + <i>P. fluorescens</i>                                    | 750 kg da <sup>-1</sup> + 1.26x10 <sup>10</sup> adet bitki <sup>-1</sup>  |
| BCP <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Paenibacillus azotofixans</i>   | 1.32x10 <sup>9</sup> adet bitki <sup>-1</sup>   |
| VBCP Vermikompost + <i>B. subtilis</i> + <i>P. azotofixans</i>  | 750 kg da <sup>-1</sup> + 1.32x10 <sup>9</sup> adet bitki <sup>-1</sup>   |

\*Uygulama dozları, deneme boyunca uygulanan toplam miktarları vermektedir.

\*\*kob: Koloni oluşturan birim.

modifiye edilmiş Walkley–Black metoduna göre (**Nelson ve Sommer 1982**), toplam azot modifiye Kjeldahl metoduna göre (**Kacar 1995**), alınabilir fosfor Olsen metoduna göre (**Olsen ve Sommers 1982**) ve katyon değişim kapasitesi 1N NH<sub>4</sub>OAc (Amonyum Asetat) (pH=7) yöntemine göre (**Kacar 1995**) belirlenmiştir. Değişebilir potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum 1N Amonyum Asetat (pH=7) metodu kullanılarak; alınabilir Fe, Zn, Mn, Cu 0.005 M DTPA ile muamele edilmesi sonucu **Kacar (1995)** tarafından bildirildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Uygulanan metot sonucu elde edilen ekstraktlardaki K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn, Cu konsantrasyonları ICP–OES (PE–Optima7000DV) cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

## 2. 3. İstatistiksel analiz yöntemleri

Saksı denemelerindeki uygulama konularının incelenen özellikler üzerine etkisini belirlemek için, her bir uygulamaya ait sonuçlar SPSS22.0 ve MINITAB 16.1.1 istatistiksel analiz programları kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada elde edilen veriler varyans analizi, Duncan çoklu karşılaştırma ve T testine tabi tutulmuştur (**Minitab Inc. 1995**).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Killi tın tekstüre ait deneme toprağında gerçekleştirilen farklı içerikteki biyo-gübre uygulamalarının topraktaki agregat oluşumu üzerine etkileri Çizelge 5’de verilmiştir. Çalışmada, uygulamaların toprağın agregat oluşumu üzerine etkinliğinin farklı agregat ölçeğinde değişik istatistiksel düzey ve yönlerde gerçekleştiği belirlenmiştir. İnorganik gübre (G) uygulamasının killi tın tekstüre sahip topraktaki agregat oluşumu üzerine etkisi hiçbir agregat boyutunda istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde, G uygulamasının topraktaki azot ve fosfor miktarını artırmasından dolayı az da olsa mikrobiyal aktiviteyi artırarak makro-agregatların oluşumuna neden olabileceği ve G uygulaması sonucu agregat boyutlarında oluşan hafif değişimlerin bu sebeple gerçekleşmiş olabileceği düşünülmektedir. Nitekim bu konuda yapılan farklı çalışmalarda değişik sonuçların elde edildiği bildirilmektedir (Su ve ark. 2006; Zhang ve ark. 2014). Harris ve ark. (1966) tarafından, azotun sırlı olduğu koşullarda mikrobiyal aktivitenin yavaş olduğu, ortamda azotun

**Çizelge 5.** Biyo-gübre uygulamalarının toprakta agregat oluşumu üzerine etkileri (%)<sup>1</sup>.

**Table 5.** Effects of bio-fertilizer amendments on soil aggregate formation (%)<sup>1</sup>.

| Deneme Konuları | Agregat Boyutu (mm) |                    |                     |                    |                    |                    |        |
|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|
|                 | >4                  | 4-2                | 2-1                 | 1-0.50             | 0.50-0.25          | 0.25-0.050         | <0.050 |
| Kontrol         | 4.15                | 14.07              | 17.91               | 19.88              | 17.37              | 15.26              | 11.36  |
| G               | 3.32                | 16.94              | 19.55               | 21.48              | 15.30              | 13.22              | 10.19  |
| Önemlilik       | ÖD                  | ÖD                 | ÖD                  | ÖD                 | ÖD                 | ÖD                 | ÖD     |
| Kontrol         | 4.15                | 14.07              | 17.91 <sup>b2</sup> | 19.88              | 17.37              | 15.26              | 11.36  |
| V               | 3.44                | 15.67              | 20.78 <sup>a</sup>  | 21.39              | 15.39              | 14.71              | 8.62   |
| Önemlilik       | ÖD                  | ÖD                 | *                   | ÖD                 | ÖD                 | ÖD                 | ÖD     |
| Kontrol         | 4.15                | 14.07 <sup>b</sup> | 17.91 <sup>b</sup>  | 19.88              | 17.37 <sup>a</sup> | 15.26 <sup>a</sup> | 11.36  |
| M               | 3.15                | 20.31 <sup>a</sup> | 21.63 <sup>a</sup>  | 21.07              | 14.10 <sup>b</sup> | 9.97 <sup>b</sup>  | 9.77   |
| Önemlilik       | ÖD                  | *                  | *                   | ÖD                 | *                  | *                  | ÖD     |
| Kontrol         | 4.15 <sup>b</sup>   | 14.07 <sup>a</sup> | 17.91 <sup>a</sup>  | 19.88 <sup>a</sup> | 17.37 <sup>a</sup> | 15.26              | 11.36  |
| VM              | 19.44 <sup>a</sup>  | 10.70 <sup>b</sup> | 13.32 <sup>b</sup>  | 16.54 <sup>b</sup> | 14.12 <sup>b</sup> | 15.08              | 10.81  |
| Önemlilik       | **                  | *                  | **                  | *                  | *                  | ÖD                 | ÖD     |
| Kontrol         | 4.15                | 14.07              | 17.91 <sup>b</sup>  | 19.88              | 17.37 <sup>a</sup> | 15.26 <sup>a</sup> | 11.36  |
| A               | 3.69                | 17.47              | 21.98 <sup>a</sup>  | 21.15              | 14.46 <sup>b</sup> | 12.33 <sup>b</sup> | 8.92   |
| Önemlilik       | ÖD                  | ÖD                 | **                  | ÖD                 | *                  | *                  | ÖD     |
| Kontrol         | 4.15 <sup>b</sup>   | 14.07 <sup>a</sup> | 17.91 <sup>a</sup>  | 19.88 <sup>a</sup> | 17.37 <sup>a</sup> | 15.26              | 11.36  |
| VA              | 18.75 <sup>a</sup>  | 10.64 <sup>b</sup> | 14.51 <sup>b</sup>  | 16.15 <sup>b</sup> | 13.67 <sup>b</sup> | 15.45              | 10.83  |
| Önemlilik       | **                  | *                  | *                   | *                  | *                  | ÖD                 | ÖD     |
| Kontrol         | 4.15 <sup>b</sup>   | 14.07              | 17.91               | 19.88              | 17.37 <sup>a</sup> | 15.26 <sup>a</sup> | 11.36  |
| BMF             | 12.05 <sup>a</sup>  | 14.77              | 19.10               | 19.54              | 13.82 <sup>b</sup> | 12.21 <sup>b</sup> | 8.51   |
| Önemlilik       | **                  | ÖD                 | ÖD                  | ÖD                 | **                 | *                  | ÖD     |
| Kontrol         | 4.15 <sup>b</sup>   | 14.07 <sup>a</sup> | 17.91 <sup>a</sup>  | 19.88 <sup>a</sup> | 17.37 <sup>a</sup> | 15.26              | 11.36  |
| VBMF            | 30.03 <sup>a</sup>  | 8.92 <sup>b</sup>  | 12.19 <sup>b</sup>  | 13.20 <sup>b</sup> | 12.00 <sup>b</sup> | 14.94              | 8.72   |
| Önemlilik       | ***                 | *                  | **                  | **                 | **                 | ÖD                 | ÖD     |
| Kontrol         | 4.15 <sup>b</sup>   | 14.07 <sup>a</sup> | 17.91 <sup>a</sup>  | 19.88 <sup>a</sup> | 17.37 <sup>a</sup> | 15.26              | 11.36  |
| BCP             | 28.37 <sup>a</sup>  | 7.89 <sup>b</sup>  | 11.40 <sup>b</sup>  | 14.10 <sup>b</sup> | 13.08 <sup>b</sup> | 13.74              | 11.42  |
| Önemlilik       | **                  | **                 | **                  | **                 | **                 | ÖD                 | ÖD     |
| Kontrol         | 4.15 <sup>b</sup>   | 14.07 <sup>a</sup> | 17.91 <sup>a</sup>  | 19.88 <sup>a</sup> | 17.37 <sup>a</sup> | 15.26              | 11.36  |
| VBCP            | 30.08 <sup>a</sup>  | 6.71 <sup>b</sup>  | 10.84 <sup>b</sup>  | 12.88 <sup>b</sup> | 12.74 <sup>b</sup> | 14.93              | 11.82  |
| Önemlilik       | ***                 | **                 | **                  | **                 | **                 | ÖD                 | ÖD     |

t-test, P<0.05

1. Değerler 3 tekrerr ortalamasıdır, 2. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasında önemli düzeyde farklılık vardır.

\*: %5 Düzeyinde önemlidir, \*\*: %1 Düzeyinde önemlidir, \*\*\*: %0.1 Düzeyinde önemlidir, ÖD: Önemli değil.

artmasıyla birlikte mikrobiyal aktivitenin artacağı ve buna bağlı olarak strüktürel gelişimin elde edilebileceği bildirilmiştir.

Çalışmada biyo-gübre uygulamalarının mikro- agregat (0.25-0.050 mm ve < 0.050 mm) boyutunda istatistiksel anlamda önemli bir etki meydana getirmediği, istatistiksel önemliliğin elde edildiği uygulamalarda ise mikro- agregat miktarında azalma gerçekleştiği belirlenmiştir (Çizelge 5). Vermikompost’un (V) bireysel olarak uygulandığı deneme

konusunda 2–1 mm agregat boyutundaki pozitif gelişme dışında hiçbir agregat boyutundaki etkisi önemli bulunmamıştır. Vermikompost (V) uygulamasının makro boyuttaki (2–1 mm) agregatların oluşumunda gerçekleştirdiği pozitif yöndeki etkinin, V’nin oluşumu sırasında solucanın sindirim sisteminden geçerken kazandığı farklı yapıdaki enzim ve musilaj maddelerden kaynaklanabileceği ve böylece mikro-agregatların bu etkenler aracılığıyla birleşerek makro-agregatları oluşturmuş olabileceği varsayılmaktadır (Turchenek ve Oades 1979). Nitekim vermikompost kullanımının toprak özellikleri üzerine etkilerine ait yapılan çalışmalarda vermikompost’un toprak agregat gelişiminde oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır (Cavender ve ark. 2003; Ngo ve ark. 2011; Khotabaei ve ark. 2013).

Vermikompost’un (V) mikrobiyal içerikli diğer preparatlarla birlikte uygulanmasının özellikle makro- agregat boyutundan >4 mm boyutlu agregatların oluşumunda daha etkili olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5). Nitekim *Bacillus megaterium* KBA-10 + *Pantoea agglomerans* RK-134 + *Pseudomonas fluorescens* FDG-37 (BMF) uygulaması >4 mm boyuta sahip makro- agregatların miktarında kontrole göre yaklaşık 3 katlık bir artış meydana getirirken vermikompost + *Bacillus megaterium* KBA-10 + *Pantoea agglomerans* RK-134 + *Pseudomonas fluorescens* FDG-37 (VBMF) uygulamasının bu etkisi % 30.03’lük değerle kontrole göre 7 katlık bir artış olarak gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, VBMF uygulaması ile >4 mm boyuta sahip makro- agregatların miktarında BMF uygulamasına göre yaklaşık 2.5 katlık bir artış elde edilmiştir. *Bacillus megaterium* KBA-10 + *Pantoea agglomerans* RK-134 + *Pseudomonas fluorescens* FDG-37 (BMF) ve VBMF uygulamaları sonrası toprak agregat oluşumu üzerinde elde edilen bu etkilerin, bakteri inokulasyonu sonucu topraktaki mikroorganizma popülasyonu, çeşitliliği ve faaliyetlerindeki artış neticesinde meydana gelmiş olması ayrıca V uygulaması ile birlikte bu etkilerin daha da artmış olmasından kaynaklandığı öngörülmektedir. Bununla birlikte, bakteri inokulasyonunun bitki kök morfoloji ve fizyolojisinde gerçekleştirdiği pozitif yönde etkilerin bir sonucu olarak topraktaki agregat oluşumu üzerine dolaylı bir etki sağladığı da tahmin edilmektedir. Nitekim bakteriyel inokulasyonların bitki kökleri üzerine pozitif etkilerini gösteren birçok çalışma bulunmaktadır (Amellal ve ark. 1999; Canbolat ve ark. 2006; Çakmakçı ve ark. 2007; Köhler ve ark. 2010; Sandhya ve ark. 2010). Ayrıca, Haynes ve Francis (1993) tarafından, kök biyo kütlesindeki artışla birlikte toprak strüktürünün önemli ölçüde geliştiği ifade edilmiştir.

Benzer şekilde *Bacillus subtilis* PA1 + *Paenibacillus azotofixans* PA2 (BCP) ve vermikompost + *Bacillus subtilis* PA1 + *Paenibacillus azotofixans* PA2 (VBCP) uygulamalarının da >4 mm boyuta sahip makro- agregatların miktarında kontrole göre artış sağladığı görülmektedir. Bununla birlikte, VBCP uygulamasının >4 mm boyuta sahip makro- agregatların oluşumundaki etkisi % 30.08’lik değerle BCP uygulamasına göre çok daha yüksek olmuştur (Çizelge 5). Bu konuda yapılan çalışmalarda toprağa yapılan bakteri aşılması sonucu toprağın agregat yapısında önemli gelişmelerin elde edildiği bildirilmiştir (Bezzate ve ark. 2000; Kaci ve ark. 2005). Gouzou ve ark. (1993) da, buğday yetiştirilen siltli tın bir toprağa ekzopolisakkarit (EPS) üreten *Paenibacillus polymyxa* CF43 suşunun inokulasyonu sonucunda, köklere yapışık vaziyetteki toprak kütlelerinde % 57 oranında artış sağlandığını, oluşan agregatların ortalama ağırlık çap değerinin arttığını ve inokulasyonlu rizosfer toprağının inokulasyonsuz topraktan çok daha fazla gözenekli bir strüktür oluşturduğunu ifade etmişlerdir.

Mikoriza (M) uygulamasının ise daha çok mikro ve mezo boyuttaki agregatları bir araya getirerek makro agregatlardan olan 4–2 ve 2–1 mm boyutlu agregatların oluşumunu teşvik ettiği belirlenmiştir (Çizelge 5). Bu etkinin mikorizal fungusun sahip olduğu ekstra radikal hifler ve glomalin adı verilen çözünmez, yapışkanimsi, hidrofobik ve protein içerikli madde aracılığıyla gerçekleşmiş olabileceği düşünülmektedir. Gerek saksı ve gerekse tarla denemesi içeren birçok çalışmada arbuskular mikorizal fungusun geniş fungal hif ağları ve salgıları aracılığıyla toprak agregat oluşumu ve devamlılığında etkili olduğu ifade edilmektedir (Piotrowski ve ark. 2004; Wu ve ark. 2008; Bedini ve ark. 2009; Hontoria ve ark. 2009; Siddiky ve ark. 2012). Ancak mikorizanın vermikompost ile birlikte kullanımının (VM) daha iri boyutlu agregatların (>4 mm) oluşumunu sağladığı belirlenmiş ve VM uygulamasının >4 mm boyuta sahip agregatlar üzerine etkisinin kontrol örneğine göre 4.6 katlık bir artışla pozitif yönde gerçekleştiği belirlenmiştir (Çizelge 5). Vermikompost + mikoriza (VM) uygulaması ile elde edilen bu farklılığın, mikorizal fungusun agregatlaşma üzerine olan etkisinden ve V'nin organik kökenli koloidal yapıları içermesinin yanında topraktaki mikorizal kolonizasyon miktarını ve mikroorganizma faaliyetini artırmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Bu konuda yapılan birçok çalışmada da mikorizal fungusun organik bileşenler ile birlikte kullanımının toprak agregatları üzerinde daha etkili olduğu ifade edilmektedir (Cavender ve ark. 2003; Garcia-Cruz ve ark. 2007; Warnock ve ark. 2007; Peng ve ark. 2013). Sylvania (1998) tarafından, bitkinin özümlediği toplam karbonun % 20 kadarının mikorizal fungusla taşındığını öngörülmüştür. Bazı araştırmacılar mikorizal fungusun indirgenmiş karbonu rizosfer dışı mikroflorasına sağlayarak toprak stüktürünün gelişiminde rol alabileceğini bildirmişlerdir (Bagyaraj 1984, Andrade ve ark. 1998).

Alg (A) içerikli biyo-gübre uygulamasının agregat oluşumuna etkisi 2–1 mm agregat boyutunda pozitif yönde olurken alg'in vermikompostla birlikte kullanıldığı uygulamanın (VA) >4 mm boyutlu agregat miktarında pozitif yönde etkili olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5). Bu konuda yapılan bazı çalışmalarda, alg uygulamaları sonucu toprakların agregatlaşmalarında pozitif gelişmelerin elde edildiği, bu sonucun alg canlısının fotosentetik faaliyetleriyle doğrudan ortamdaki organik karbon düzeyinde sağlamış olduğu artıştan, dolaylı olarak da mikroorganizma aktivitesinde sağladığı artıştan kaynaklanabileceği ifade edilmektedir (Trainor ve Gladych 1995; Lopez ve ark. 2013). Marathe ve Chaudhari (1975)' de, vermikompost ile alg'in birlikte kullanımının agregatlaşma üzerinde daha etkili olabileceğini belirtmişlerdir.

Çalışmada, toprağın agregat oluşumu üzerine etki bakımından deneme konuları arasındaki farkı gösteren analiz verileri Çizelge 6'da verilmiştir. >4 mm boyuta sahip agregatların oluşumunda uygulamaların etkisi istatistiksel anlamda % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuş ve bu etkinlik sırasıyla VBCP = VBMF = BCP > VM = VA > BMF > Kontrol = V = A = G = M şeklinde gerçekleşmiştir. Elde edilen verilere göre biyo-gübre ve vermikompost kombinasyonlarının >4 mm boyuttaki agregatlar üzerine pozitif yönde ve önemli etkiler sağladığı görülmektedir (Çizelge 6). 4–2 mm boyuta sahip agregatların oluşumunda uygulamaların etkisi istatistiksel anlamda % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuş ve uygulamaların agregat oluşumu üzerine etkinlik düzeyleri sırasıyla M > A = G > V = BMF > Kontrol > VM = VA > VBMF = BCP > VBCP şeklinde gerçekleşmiştir (Çizelge 6). 2–1 mm boyuta sahip agregatların oluşumunda uygulamaların etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuş ve bu etkinlik

sırasıyla A = M > V > G = BMF > Kontrol > VA > VM > VBMF > BCP = VBCP şeklinde gerçekleşmiştir (Çizelge 6). 1–0.50 mm boyuta sahip agregatları oluşumunda uygulamaların etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Uygulamaların söz konusu agregatlar üzerine etkinlik düzeyleri sırasıyla G > V = A = M = Kontrol > BMF > VM = VA > BCP = VBMF = VBCP şeklinde gerçekleşmiştir (Çizelge 6). 0.50–0.25 mm boyuta sahip agregatların oluşumunda uygulamaların etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuş ve uygulamaların söz konusu agregat oluşumu üzerine etkinlik düzeyi Kontrol > V = G > A = VM = M = BMF = VA > BCP = VBCP > VBMF şeklinde gerçekleşmiştir (Çizelge 6). 0.25–0.050 mm boyuta sahip agregatların oluşumu üzerine uygulamaların etkisi istatistiksel olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuş olup agregat oluşumu üzerine etkinlik düzeyleri sırasıyla VA = Kontrol = VM > VBMF = VBCP = V > BCP > G > A = BMF > M şeklinde belirlenmiştir (Çizelge 6). <0.050 mm boyuta sahip agregatların oluşumu üzerine uygulamaların etkisi istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Uygulamaların söz konusu agregatların oluşumu üzerine

**Çizelge 6.** Biyogübre uygulamaların topraktaki agregat oluşumu üzerine etkilerinin karşılaştırılması (%)<sup>1</sup>.

**Table 6.** Comparison of the effects of bio-fertilizers amendments on the formation of soil aggregates (%)<sup>1</sup>.

| Deneme Konuları    | Agregat Boyutu (mm) |                     |                     |                     |                     |                      |                      |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|                    | >4                  | 4-2                 | 2-1                 | 1-0.50              | 0.50-0.25           | 0.25-0.050           | <0.050               |
| Kontrol            | 4.15 <sup>2d</sup>  | 14.07 <sup>c</sup>  | 17.91 <sup>c</sup>  | 19.88 <sup>ab</sup> | 17.37 <sup>a</sup>  | 15.26 <sup>a</sup>   | 11.36 <sup>ab</sup>  |
| G                  | 3.32 <sup>d</sup>   | 16.94 <sup>b</sup>  | 19.55 <sup>bc</sup> | 21.48 <sup>a</sup>  | 15.30 <sup>b</sup>  | 13.22 <sup>bc</sup>  | 10.19 <sup>abc</sup> |
| V                  | 3.44 <sup>d</sup>   | 15.67 <sup>bc</sup> | 20.78 <sup>ab</sup> | 21.39 <sup>ab</sup> | 15.39 <sup>b</sup>  | 14.71 <sup>ab</sup>  | 8.62 <sup>c</sup>    |
| M                  | 3.15 <sup>d</sup>   | 20.31 <sup>a</sup>  | 21.63 <sup>a</sup>  | 21.07 <sup>ab</sup> | 14.10 <sup>bc</sup> | 9.97 <sup>d</sup>    | 9.77 <sup>abc</sup>  |
| VM                 | 19.44 <sup>b</sup>  | 10.70 <sup>d</sup>  | 13.32 <sup>de</sup> | 16.54 <sup>c</sup>  | 14.12 <sup>bc</sup> | 15.08 <sup>a</sup>   | 10.81 <sup>abc</sup> |
| A                  | 3.69 <sup>d</sup>   | 17.47 <sup>b</sup>  | 21.98 <sup>a</sup>  | 21.15 <sup>ab</sup> | 14.46 <sup>bc</sup> | 12.33 <sup>c</sup>   | 8.92 <sup>bc</sup>   |
| VA                 | 18.75 <sup>b</sup>  | 10.64 <sup>d</sup>  | 14.51 <sup>d</sup>  | 16.15 <sup>c</sup>  | 13.67 <sup>bc</sup> | 15.45 <sup>a</sup>   | 10.83 <sup>abc</sup> |
| BMF                | 12.05 <sup>c</sup>  | 14.77 <sup>bc</sup> | 19.10 <sup>bc</sup> | 19.54 <sup>b</sup>  | 13.82 <sup>bc</sup> | 12.21 <sup>c</sup>   | 8.51 <sup>c</sup>    |
| VBMF               | 30.03 <sup>a</sup>  | 8.92 <sup>de</sup>  | 12.19 <sup>ef</sup> | 13.20 <sup>d</sup>  | 12.00 <sup>d</sup>  | 14.94 <sup>ab</sup>  | 8.72 <sup>c</sup>    |
| BCP                | 28.37 <sup>a</sup>  | 7.89 <sup>de</sup>  | 11.40 <sup>f</sup>  | 14.10 <sup>d</sup>  | 13.08 <sup>cd</sup> | 13.74 <sup>abc</sup> | 11.42 <sup>a</sup>   |
| VBCP               | 30.08 <sup>a</sup>  | 6.71 <sup>e</sup>   | 10.84 <sup>f</sup>  | 12.88 <sup>d</sup>  | 12.74 <sup>cd</sup> | 14.93 <sup>ab</sup>  | 11.82 <sup>a</sup>   |
| Önemlilik Derecesi | ***                 | ***                 | ***                 | ***                 | ***                 | ***                  | *                    |

Duncan test, P<0.05

<sup>1</sup>. Değerler 3 tekrerrüt ortalamasıdır, <sup>2</sup>. Aynı harfle gösterilmeyen değerler arasında önemli düzeyde farklılık vardır.

\*: %5 Düzeyinde önemlidir, \*\*\*: %0.1 Düzeyinde önemlidir.

etkinlik düzeyleri sırasıyla VBCP = BCP > Kontrol > VA = VM = G = M > A > VBMF = V = BMF şeklinde gerçekleşmiştir (Çizelge 6).

#### 4. Sonuç

Biyo-gübrelerin toprakta agregat oluşumu üzerine etkisini belirlemek amacıyla bireysel ya da farklı kombinasyonlarda uygulandı 90 günlük inkübasyon süresi sonunda, uygulamaların topraktaki agregat oluşumu üzerine etkileri değişik agregat boyutlarında, farklı düzey ve yönlerde gerçekleşmiştir. Biyo-gübrelerin bireysel uygulamalarının yanı sıra vermikompost ile beraber uygulanmasının topraktaki agregat oluşumunda daha etkili olduğu, biyo-gübrelerin farklı içeriklere sahip organik materyaller ile birlikte uygulanmasının toprak verimliliğinde önemli düzeyde olumlu sonuçlar sağlayacağı düşünülmektedir. Özellikle makro boyuttaki agregatların oluşumunda elde edilen artışlar göz önüne alındığında, toprakta yarayışlı suyun depolanması, suyun infiltrasyonu, topraktaki hava-su dengesi, uygun tohum yatağının hazırlanması, bitki kök gelişimi, biyolojik faaliyetlerin artması ve toprak işleminin olumsuz etkilerinin azaltılmasında

kullanılan biyo-gübrelerin olumlu etkiler sağlayacağı öngörülmektedir.

Sonuç olarak, biyo-gübrelerin toprak ıslahı ve verimliğinin artırılmasında kullanılması açısından üreticiler tarafından tercih edilebilir olması adına yeterli düzeyde araştırmanın yapılması; uygulandığı ortama kolayca adapte olabilecek mikroorganizmaların seçilmesi ve çoğaltılması; tarla ve sera koşullarındaki etkinliğinin kısa ve uzun dönem çalışmalar ile gözlenmesi ve pratiğe kazandırılması büyük önem arz etmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, 2014.02.0121.013 proje numaralı yüksek lisans tez projesinin bir bölümüdür. Katkılarından dolayı Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimine teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Adesemoye AO, Kloepper JW (2009) Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology* 85: 1-12.
- Ambriz E, Baez-Perez A, Sanchez-Yanez JM, Moutoglis P, Villegas J (2010) Fraxinus-Glomus-Pisolithus Symbiosis: Plant growth and soil aggregation effects. *Pedobiologia* 53(6): 369-373.
- Amellal N, Bartoli F, Villemin G, Talouizte A, Heulin T (1999) Effects of inoculation of EPS-producing *Pantoea Agglomerans* on wheat rhizosphere aggregation. *Plant and Soil* 211: 93-101.
- Andrade G, Mihara, KL, Linderman RG, Bethlenfalvay GJ (1998) Soil aggregation status and rhizobacteria in the mycorrhizosphere. *Plant and Soil* 202: 89-96.
- Bagyaraj DJ (1984) Biological interactions with VA mycorrhizal fungi. In: C. L. I. Powell and DJ. Bagyaraj (Editors), VA Mycorrhiza. CRC Press, pp. 131-153, Boca Raton, FL.
- Bedini S, Pellegrino E, Avio L, Pellegrini S, Bazzoffi P, Argese E, Giovannetti M (2009) Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. *Soil Biology & Biochemistry* 41: 1491-1496.
- Bezzate S, Aymerich S, Chambert R, Czarnes S, Berge O, Heulin T (2000) Disruption of the *Paenibacillus Polymyxa* levansucrase gene impairs its ability to aggregate soil in the wheat rhizosphere. *Environmental Microbiology* 2 (3): 333-342.
- Black CA (1965) Methods of soil analysis. Part 2, Amer. Society of Agronomy Inc., Publisher Madisson, pp. 1372-1376, Wilconsin, USA.
- Bossuyt H, Deneff K, Six J, Frey SD, Merckx R, Paustian K (2001) Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. *Applied Soil Ecology* 16 (3): 195-208.
- Bouyoucos GJ (1951) A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal* 43(9): 434-438.
- Bronick CJ, Lal R (2005) Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Canbolat M, Bilen S, Cakmakci R, Sahin F, Aydin A (2006) Effect of plant growth promoting rhizobacteria and soil compaction on barley seedling growth, nutrient uptake, soil properties and rhizosphere microflora. *Biology and Fertility of Soils* 42: 350-357.
- Cavender ND, Atiyeh RM, Knee M (2003) Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of *Sorghum bicolor* at the expense of plant growth. *Pedobiologia* 47: 85-89.
- Chepil WS (1962) A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Science Society of America Proceedings* 26: 4-6.
- Çağlar KÖ (1949) Toprak bilgisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Sayı: 10, s. 230.
- Çakmakçı R, Dönmez MF, Erdoğan Ü (2007) The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 31(3): 189-199.
- Demiralay İ (1993) Toprak fiziksel analizleri. Atatürk Üniversitesi Yayınları, No: 143, s. 90-95, Erzurum.
- Ganesh P, Tharmaraj K, Kolanjinathan K, Selvi SS, Suresh KR, Chinna DS (2011) Effect of organic manures and biofertilizers on physical, biological properties and growth of rice (ADT 43) by field application studies (SRI). *International Journal of Current Life Science* 1(1): 11-15.
- García-Cruz A, Flores-Roman D, García-Calderon NE, Velazquez-Rodriguez AS (2007) Tepetate habitation by effect of biological improvers. *Agrociencia* 41(7): 723-731.
- Gouzou L, Burtin G, Philipp R, Bartoli F, Heulin T (1993) Effect of inoculation with *Bacillus polymyxa* on soil aggregation in the wheat rhizosphere: preliminary examination. *Geoderma* 56(1-4): 479-491.
- Graf F, Frei M (2013) Soil aggregate stability related to soil density, root length, and mycorrhiza using site-specific *Ahhus Incana* and *Melanogaster Variegatus* s.l. *Ecological Engineering* 57: 314-323.
- Halvorson JJ, Smith JL, Papendick RI (1997) Issues of scale for evaluating soil quality. *Journal of Soil and Water Conservation* 52(1): 26-30.
- Harris RF, Chesters G, Allen ON (1966) Dynamics of soil aggregation. *Advances in Agronomy* 18: 107-169.
- Haynes RJ, Francis GS (1993) Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregates stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *Journal of Soil Science* 44: 665-675.
- Hontoria C, Velasquez R, Benito M, Almorox J, Moliner A (2009) Bradfordreactive soil proteins and aggregate stability under abandoned versus tilled olive groves in a semi-arid calcisol. *Soil Biology & Biochemistry* 41: 1583-1585.
- Jackson ML (1967) Soil chemical analysis. Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi, p. 498.
- Kacar B (1995) Bitki ve toprağın kimyasal analizleri III. Toprak Analizleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No: 3, s. 255.
- Kaci Y, Heyraud A, Barakat M, Heulin T (2005) Isolation and identification of an EPS-producing *Rhizobium* strain from arid soil (Algeria): characterization of its EPS and the effect of inoculation on wheat rhizosphere soil structure. *Research in Microbiology* 156: 522-531.
- Kemper WD, Rosenau RC (1986) Aggregate stability and size distribution. In: Klute A (Editor), Methods of soil analysis: Part I-Physical and Mineralogical Methods (2nd edition). American Society of Agronomy, Agronomy Monograph No: 9, pp. 425-442, Wisconsin, U.S.A.
- Khotabaei M, Emami H, Astarai AR, Fotovat A (2013). Improving soil physical indicators by soil amendment to a saline-sodic soil. *Desert* 18: 73-78.
- Kohler J, Caravaca F, Roldan A (2010) An AM fungus and A PGPR intensify the adverse effects of salinity on the stability of rhizosphere soil aggregates of *Lactuca sativa*. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 429-434.

- Leifheit EF, Veresoglou SD, Lehmann A, Morris EK, Rillig MC (2014) Multiple factors influence the role of arbuscular mycorrhizal fungi in soil aggregation—a meta-analysis. *Plant and Soil* 374(1–2): 523–537.
- Lopez BR, Bashan Y, Trejo A, de-Bashan LE (2013) Amendment of degraded desert soil with wastewater debris containing immobilized *Chlorella Sorokiniana* and *Azospirillum Brasilense* significantly modifies soil bacterial community structure, diversity, and richness. *Biology and Fertility of Soils* 49: 1053–1063.
- Marathe KV, Chaudhari PR (1975) An example of algae as pioneers in the lithosphere and their role in rock corrosion. *Journal of Ecology* 63: 65–70.
- Minitab Inc. (1995) Minitab Reference Manual (Release 7.1). Minitab Inc., Pennsylvania State College. 16801, USA.
- Nelson DW, Sommer, LE (1982) Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, AL., Miller, RH and Keeney DR (Editors), *Methods of soil analysis*. 2nd Ed. ASA Monogr. 9(2). Amer. Soc. Agron., pp. 539–579, Madison, WI.
- Ngo PT, Rumpel C, Dignac MF, Billou D, Duc TT, Jouquet P (2011) Transformation of buffalo manure by composting or vermicomposting to rehabilitate degraded tropical soils. *Ecological Engineering* 37: 269–276.
- Nielsen MN, Winding A (2002) Microorganisms as indicators of soil health. National Environmental Research Institute, Technical Report No: 388, Denmark.
- Olsen SR, Sommers LE (1982) Phosphorus soluble in sodium bicarbonate. In: Page, AL., Miller, RH and Keeney DR (Editors), *Methods of soil analysis*. 2nd Ed. Amer. Soc. Agron., ASA Monogr. 9(2), pp. 403–430, Madison, WI.
- Peng S, Guo T, Liu G (2013) The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest china. *Soil Biology & Biochemistry* 57: 411–417.
- Piotrowski JS, Denich T, Klironomos JN, Graham JM, Rillig MC (2004) The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. *New Phytologist* 164: 365–373.
- Ram H, Krishna R, Naidu MVS (1994) Effect of *Azolla* on soil properties and yield of mungbean (*Vigna radiata* L.). *Journal of the Indian Society of Soil Science* 42: 385–387.
- Rillig MC, Mummey DL (2006) Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist* 171: 41–53.
- Sandhya V, Ali SKZ, Grover M, Reddy G, Venkateswarlu B (2010) Effect of plant growth promoting *pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regulation* 62: 21–30.
- Siddiky MRK, Schaller J, Caruso T, Rillig MC (2012) Arbuscular mycorrhizal fungi and collembola non-additively increase soil aggregation. *Soil Biology & Biochemistry* 47: 93–99.
- Singh JS, Pandey VC, Singh DP (2011) Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140 (3–4): 339–353.
- Su YZ, Wang F, Suo DR, Zhang ZH, Du MW (2006) Long-term effect of fertilizer and manure application on soil-carbon sequestration and soil fertility under the wheat–wheat–maize cropping system in northwest china. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 75: 285–295.
- Sylvia DM (1998) Mycorrhizal symbioses. In: Sylvia, D.M., Fuhrmann, J.J., Hartel, P.G. and Zuberer, D.A. (Editors), *Principles and applications of soil microbiology*, Prentice–Hall Inc. pp. 408–426, New York.
- Tate RL (1987) *Soil organic matter: biological and ecological effects*. New York, USA, John Wiley & Sons pp. 291.
- Tisdall J, Oades JM (1982) Organic matter and water-stable aggregates in soil. *Journal of Soil Science* 33: 141–163.
- Trainor FR, Gladych R (1995) Survival of algae in a desiccated soil: A 35-Year study. *Phycologia* 34: 191–192.
- Turchenek LW, Oades JM (1979) Fractionation of Organo–Mineral Complexes by Sedimentation and Density Techniques. *Geoderma*. 21: 311–343.
- Vessey JK (2003) Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil* 255: 571–586.
- Warnock DD, Lehmann J, Kuyper TW, Rillig MC (2007) Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant Soil* 300: 9–20.
- Wu QS, Xia RX, Zou YN (2008) Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. *European Journal of Soil Biology* 44: 122–128.
- Yılmaz E, Alagöz Z (2005) Organik materyal uygulamasının toprağın agregat oluşum ve stabilitesi üzerine etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 18(1): 131–138.
- Zhang H, Ding W, He X, Yu H, Fan J, Liu D (2014) Influence of 20-Year organic and inorganic fertilization on organic carbon accumulation and microbial community structure of aggregates in an intensively cultivated sandy loam soil. *Plos One* 9 (3): 1–11.