

Kirlenme Sürecindeki İznik Göl Suyu İle Sulanan Tarım Topraklarında Mikrobiyolojik Aktivitenin Değişimi¹

Nur OKUR²
Vahap KATKAT⁴

Muzaffer ÇENGEL³
H.Sevim UÇKAN⁵

Summary

Change of Microbiological Activity in Arable Soils Irrigated by İznik Lake Waters in Pollution Process

In this paper, soil samples were taken from arable lands irrigated by Lake İznik's water that goes on pollution process, with pollutants such as industrial, domestic and agricultural sources and it was searched whether the microbiological activity in soils depending on irrigation change or not. With this purpose, 20 soil samples before and after irrigation were taken from arable lands irrigated by Lake waters in İznik and Orhangazi districts. According to the results, it was determined that CO₂-production and activities of dehydrogenase and catalase decreased in soils taken after irrigation but protease activity and microbial numbers increased. The present pollution in arable lands irrigated by İznik Lake water did not seriously affect all the microbiological activity in soils.

Keywords: microbial biomass, soil respiration, enzyme activity, irrigation water

Giriş

Endüstriyel, evsel ve tarımsal kaynaklı kirleticiler ile kirlenme sürecine giren İznik Göl suyu ile yaklaşık 12.000 ha tarım alanı sulanmaktadır. Bu kirli göl sularının sulamada kullanılması kirliliğin topraklara taşınmasına ve geniş alanlara yayılmasına, ayrıca besin zinciri yolu ile insan ve hayvanlara kadar ulaşmasına neden olabilmektedir. Sulama suyu kalitesi yönünden kritik düzeyde kirlenmiş olan İznik göl suları ile sulanan tarım topraklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde bazı değişikliklerin ortaya çıkması olasıdır. Toprağın mikrobiyolojik aktivitesinde bu değişikliklere neden olabilecek faktörler; sulama suları ile toprağa gelerek toksik konsantrasyonlarda birikebilen ağır metaller ile sulama suyunun yüksek

¹ Bu çalışma TUBİTAK tarafından TARP-2271 nolu proje ile desteklenmiştir.

² Doç.Dr., E.Ü.Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, İZMİR, nokur@ziraat.ege.edu.tr

³ Prof.Dr., E.Ü.Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, İZMİR

⁴ Prof.Dr. U.Ü.Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, BURSA

⁵ Dr., Zeytincilik Araştırma Enstitüsü, İZMİR

pH'sıdır. Grigoryan ve Galstyan (10); endüstriyel atıklarla kirlenmiş bir nehrin suları ile sulanan topraklarda invertaz aktivitesini temiz sularla sulanan topraklara oranla % 82, fosfotazı % 60, üreazı % 62, katalazı % 61 ve toprak solunumunu ise % 30 daha az saptamışlardır. Topraklarda ağır metal konsantrasyonları sınır değerlerinin üzerine çıktığında, mikrobiyel sayı ve aktivitede olumsuz etkiler saptayan bir çok araştırma mevcuttur (16, 19, 24). Ağır metal konsantrasyonları düşük fakat organik madde içeriği yüksek atık sular ile sulanan arazilerde ise tam tersi toprağın mikrobiyolojik aktivitesi yükselebilmektedir. Friedel ve ark. (9); 80 yıldan beri atık sularla sulanan arazilerde mikrobiyel biyokütle (biyomas) karbonu ve mikrobiyel aktivitenin arttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar bunun nedenini suların yüksek organik madde içeriğine ve atık sulardaki ağır metal konsantrasyonlarının henüz topraklardaki biyokimyasal olayları etkileyecek düzeyde olmamasına bağlamışlardır. Benzer sonuçları Zdenek ve ark (25) 100 yıl gibi uzun bir süredir şehirselleşen atık sularla sulanan arazilerde de saptamışlardır.

Bu çalışmada, İznik Göl suları ile sulanan tarım arazilerinde sulama öncesi ve sonrası toprak örnekleri alınarak, mikrobiyolojik aktivitede sulamadan kaynaklanan bir değişikliğin ortaya çıkıp çıkmadığı araştırılmıştır. Çalışmada sadece mikrobiyolojik analizler değil, mikrobiyolojik aktiviteyi etkileyecek bazı fiziksel ve kimyasal analizler de ele alınarak değişikliklerin nedeni araştırılmaya çalışılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma materyalini Güney Marmara Bölgesinin en büyük tatlı su gölünü oluşturan İznik Göl suları ile sulanan Orhangazi ve İznik ilçelerine ait tarım arazilerinden alınan 20 adet toprak örneği oluşturmuştur. Toprak örnekleri sulama öncesi ve sonrası olmak üzere 1999 yılının Mayıs ve Ekim aylarında iki kez, 0-30 cm derinlikten alınmıştır. Doğal neme sahip toprak örnekleri en kısa sürede 2 mm'lik elekten elenerek mikrobiyolojik analizlerin yapılabilmesi için +4°C'de muhafaza edilmişlerdir. Fiziksel ve kimyasal analizler ise 2 mm'lik elekten geçmiş hava kurusu topraklarda yürütülmüştür.

Toprak örneklerinde bünye Bouyoucos (6), toprak reaksiyonu ve elektriksel iletkenlik Richard (21) organik madde Jackson (13), alınabilir Fe, Mn, Zn, Cu ve Cd miktarları Lindsay ve Norwell (17) ve bor ise Bingham (4)'a göre belirlenmiştir. Araştırma topraklarında yapılan mikrobiyolojik analizlerden ise toprak solunumu Isermeyer

(12), mikrobiyel biyokütle (biyomas) Anderson ve Domsch (1), dehidrogenaz Thalmann (22), proteaz Ladd ve Butler (15), katalaz Beck (3) ve genel bakteri, fungus ve azotobakter sayımları ise Fiedler (8)'e göre saptanmıştır.

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Fiziksel ve kimyasal Analiz Sonuçları

Araştırma materyali toprak örneklerine ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarına ilişkin minimum ve maksimum değerler Çizelge 1'de verilmiştir. Toprakların % 45'i killi-tın, % 35'i ise kumlu-killi-tın bünyeye sahip olurken reaksiyonları büyük bir çoğunlukta (%65) hafif alkalın olarak tespit edilmiştir. Araştırma topraklarında herhangi bir tuzluluk tehlikesi bulunmamaktadır. Araştırmada incelenen toprak örneklerinin alınabilir Fe, Cu, Mn, Zn, Cd ve bor içeriklerine ilişkin minimum ve maksimum değerler ise Çizelge 2'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre araştırma topraklarının söz konusu element konsantrasyonlarının sınır değerlerin altında olduğu ortaya çıkmıştır. Bor hariç sulama sonrası topraklarında mikroelement ve Cd içeriklerinin arttığı ve bu artışın Mn elementinde daha fazla olduğu da saptanmıştır.

Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Araştırma materyali olarak seçilen yerlerden sulama öncesi ve sonrası alınan toprak örneklerinde saptanan mikrobiyolojik analiz sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre; mikrobiyel biyokütle (biyomas) hariç incelenen diğer tüm mikrobiyolojik kriterlerin sulama öncesi ve sonrası değerleri arasında % 1 düzeyinde önemli istatistiksel farklılıklar saptanmıştır. Toprak solunumu (CO₂-oluşumu) ile dehidrogenaz ve katalaz aktivitelerinde sulama sonrası topraklarında sulama öncesine oranla azalmalar, proteaz enzim aktivitesi ile organizma sayımlarında ise artışlar saptanmıştır.

Topraktaki heterotrof mikroorganizmaların varlığı ile organik maddenin miktar ve kalitesi hakkında bilgiler veren CO₂-oluşumu; sulama sonrası topraklarında sadece % 12 oranında azalmıştır. Düşük düzeylerdeki ağır metal kirliliğinin CO₂-oluşumu üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğu fakat yüksek kirlilik düzeylerinde bu solunum aktivitesinin azaldığı bazı araştırmalarda saptanmıştır (2,11).

Topraklarda incelenen mikrobiyolojik kriterler ile bazı fiziksel ve kimyasal özellikler arasındaki ikili ilişkilerin verildiği Çizelge 4 incelendiğinde; toprak solunumunun Cu ve Zn miktarları ile % 1 önem

Çizelge 1. Araştırma topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Mekanik Bileşim			pH (Sat.Çam.)		EC(µS/cm)		Org.Mad. (%)	
	Kum (%)	Mil (%)	Kil (%)	S.Öncesi	S.Sonrası	S.Öncesi	S.Sonrası	S.Öncesi	S.Sonrası
Minimum	31.28	7.28	15.28	6.33	6.34	235	204	1.08	1.33
Maksimum	66.00	36.72	45.28	7.83	7.82	737	1184	2.51	3.16
Ortalama	47.11	24.26	29.12	7.47	7.41	437	522	1.77	1.98

Çizelge 2. Araştırma topraklarının bazı mikroelement içerikleri

	Fe (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Zn (mg/kg)		B (mg/kg)		Cd (mg/kg)	
	S.Önc.	S.Son.	S.Önc.	S.Son.	S.Önc.	S.Sonr.	S.Önc.	S.Son.	S.Önc.	S.Son.	S.Önc.	S.Son.
Minimum	3.19	4.83	3.01	2.88	3.59	3.60	0.24	0.47	0.46	0.33	0.02	0.02
Maksimum	42.63	43.77	20.65	31.56	32.99	228.30	4.74	4.97	2.98	2.29	0.06	0.07
Ortalama	11.05	12.84	7.57	11.92	10.82	30.69	1.49	1.85	1.70	1.20	0.04	0.05

Çizelge 3. Araştırma topraklarında saptanan bazı mikrobiyolojik kriterler

	CO ₂ -Oluşumu (mg CO ₂ /100 g k.t./7 gün)		Mikrobiyel Biyokütle (mg C/100 g k.t.)		Proteaz Enzim Akt. (µg Tyrosin/g k.t./2h)		Dehidrogenaz Enzim Akt. (µg TPF/g k.t.)	
	S.Öncesi	S.Sonrası	S.Öncesi	S.Sonrası	S.Öncesi	S.Sonrası	S.Öncesi	S.Sonrası
Minimum	19.48	22.52	46.00	45.44	23.07	6.61	20.86	16.27
Maksimum	51.47	47.64	101.40	94.17	93.63	126.88	127.74	82.32
Ortalama	35.235 **	31.045 **	66.741 **	65.728 **	55.666 **	64.843 **	53,627 **	44.451 **
LSD _{0.01}	3.605		2.515		4.430		0.478	
	Katalaz Enzim Akt. (% O ₂)		Genel Bakteri Sayısı (x10 ⁶ /g. k.top.)		Fungus Sayısı (x10 ⁵ /g. k.top.)		Azotobakter Sayısı (g k.top.)	
	S.Öncesi	S.Sonrası	S.Öncesi	S.Sonrası	S.Öncesi	S.Sonrası	S.Öncesi	S.Sonrası
Minimum	15.03	8.24	11.26	7.74	2.05	3.36	113	331
Maksimum	33.24	16.30	29.36	35.41	8.19	11.94	3509	3620
Ortalama	20.251 **	10.546 **	16,857 **	19,542 **	3.955 **	7.437 **	1088 **	1552 **
LSD _{0.01}	0.421		0.465		0.412		58.111	

düzeyinde negatif ilişkiler verdiği belirlenmiştir ($r = -0.411^{**}$ ve $r = -0.487^{**}$).

Topraktaki canlı mikroorganizma ağırlığı anlamına gelen mikrobiyel biyokütle, topraklardaki C,N,S ve P gibi besin maddelerinin labil rezervuarı ve toprak organik maddesindeki dönüşümlerin bir göstergesidir (14). Sulama öncesi ve sonrası alınan toprak örneklerinde belirlenen ortalama mikrobiyel biyokütle değerleri arasında istatistiki açıdan bir farklılık saptanamamıştır. Mikrobiyel biyokütle ile toprakların mikroelement miktarları arasında da önemli bir korelasyon belirlenmemiştir. Bu sonuçlar limit değerlerin altındaki mikroelement konsantrasyonlarının mikrobiyel biyokütle miktarını etkilemediğini göstermektedir. Chander ve Brookes (7) da; izin verilen sınır değerlerin altındaki konsantrasyonlarda Zn, Cu, Ni ve Cd'un mikrobiyel biyokütle miktarını azaltmadığını saptamışlardır.

Toprak enzimleri topraklarda son derece önemli reaksiyonların biyolojik katalizörleri olup aktif toprak biyolojisini saptamada bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Bu araştırma topraklarında da mikrobiyel kökenli enzim aktiviteleri olarak dehidrogenaz, proteaz ve katalaz enzimleri incelenmiştir. Dehidrogenaz ve katalaz enzim aktivitelerinde sulama öncesi, proteaz enzim aktivitesinde ise sulama sonrası topraklarında daha yüksek değerler belirlenmiştir (Çizelge 3). Aerob ve fakültatif anaerob yaşamalı organizmaların bir göstergesi olan dehidrogenaz enzimi sulama sonrası topraklarında % 17 oranında azalırken, aerob organizmalarda bulunan katalaz enzimi ise neredeyse yarı yarıya azalmıştır (% 92). Katalaz enzim aktivitesi ile Cu arasında belirlenen negatif ilişki ($r = -0.346^*$) bu enzimin topraklardaki bakır miktarlarına hassas olduğunu göstermektedir. İlginç bir bulgu, araştırma topraklarında bulunan bor elementi ile bu iki enzim arasında önemli düzeyde pozitif ilişkilerin ortaya çıkmasıdır ($r = 0.384^*$ ve 0.473^{**}). Benzer sonuçlar Timoshenko ve ark (23) ile Okur ve ark. (20) tarafından da saptanmıştır.

Topraklara canlı veya ölü organik kalıntılar yolu ile giren proteinin peptid ve aminoasitlere dönüşümünü katalize eden proteaz enzimi (18), çalışmada incelenen diğer iki enzim aktivitesinin tersine sulama sonrası topraklarında daha yüksek belirlenmiştir (% 14). Bu enzim aktivitesi ile topraktaki organik madde miktarı arasında pozitif ilişkiler belirlenirken ($r = 0.520^{**}$), toprakların diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri ile herhangi bir ilişki saptanamamıştır. Sulama sonrası yani Ekim ayında alınan toprak örneklerindeki yüksek proteaz

aktivitesinin nedeni, topraklara sulama suyu veya hasat yolu ile giren organik madde miktarından kaynaklanmış olabilir.

Çizelge 4. Araştırmada İncelenen Mikrobiyolojik Kriterler ile Toprakların Kimi Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Arasındaki Çoklu Korelasyon Katsayıları

	PH	EC	O.Mad.	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Cd
CO ₂ -OI	0.353*	0.319*	0.345*	ö.d	-0.411*	ö.d	-0.478**	ö.d	ö.d
Mik. Biy	Ö.d	ö.d	0.364*	ö.d	Ö.d	ö.d	ö.d	ö.d	ö.d
DHG	Ö.d	ö.d	0.346*	ö.d	Ö.d	ö.d	ö.d	0.384*	ö.d
Katalaz	Ö.d	ö.d	ö.d	ö.d	-0.346*	ö.d	ö.d	0.473**	ö.d
Proteaz	Ö.d	ö.d	0.520**	ö.d	Ö.d	ö.d	ö.d	ö.d	ö.d
G. Bak.	0.332*	ö.d	0.446**	ö.d	Ö.d	-0.305*	ö.d	ö.d	ö.d
Azotob.	Ö.d	ö.d	0.485**	-0.375*	ö.d	ö.d	ö.d	ö.d	ö.d
Fungus	Ö.d	ö.d	0.493**	ö.d	Ö.d	ö.d	ö.d	ö.d	ö.d

Araştırma topraklarında ayrıca mikroorganizma sayımları da yapılmış ve genel bakteri, fungus ve azotobakter sayıları belirlenmiştir. Bu mikroorganizma gruplarının sayıları da proteaz aktivitesine benzer şekilde sulama sonrası topraklarında daha yüksek saptanmıştır. Sulama sonrası alınan toprak örneklerinde genel bakteri sayıları % 16, fungus sayıları % 88 ve azotobakter sayıları da % 43 oranında artmıştır. İncelenen her üç organizma grubunun da topraktaki organik madde miktarı ile yüksek korelasyonlar vermesi ($r=0.446^{**}$, $r=0.485^{**}$, $r=0.493^{**}$), bu mikroorganizma sayılarının sulama sonrası topraklarında daha yüksek çıkmasını açıklamaktadır. Topraklarda sulama sonucu meydana gelebilecek fiziksel ve kimyasal değişimlerden organizmaların olumsuz etkilenmediği anlaşılmaktadır. Fakat araştırmacılar genelde toprak kirliliğine mikrobiyel olayların mikrobiyel sayılara göre daha fazla tepki verdiğini belirlemişlerdir. Bond ve ark. (5) 10 µg/g Cd’u uyguladıkları toprakta toprak solunumunda bir azalma saptarlarken, bakteri ve fungus sayılarında bir değişiklik belirleyememişlerdir. Zibilski ve Wagner (26) da; Cd, Cu ve Cr uygulamalarından bakteriyel sayımların çok az etkilendiğini, ATP içeriğinin ise (total mikrobiyel biyokütlenin bir indikatörü) çok daha fazla etkilendiğini tesbit etmişlerdir. Baath (2)’a göre ağır metal kirliliğinin etkilerini belirlemede daha hassas bir yaklaşım, total

organizma sayımı yerine ağır metallere toleranslı mikroorganizmaların sayısını tesbit etmektedir.

Sonuç

İznic gölü ile sulanan tarım arazilerinde sulamadan sonra meydana gelebilecek mikrobiyolojik değişimlerin incelendiği bu araştırmada; CO₂-oluşumu ile dehidrogenaz ve katalaz enzim aktivitelerinin sulama sonrası topraklarında azaldığı fakat proteaz enzim aktivitesi ile mikroorganizma grup sayılarının arttığı belirlenmiştir. Mikrobiyel biyokütle değerlerinde ise dönem itibariyle istatistiki bir farklılık saptanamamıştır. Sonuç olarak, İznic Gölü ile sulanan arazilerin mikrobiyolojik yapısında sulamadan kaynaklanan ciddi bir değişimin henüz gerçekleşmediği ortaya çıkmıştır.

Özet

Bu çalışmada, endüstriyel, evsel ve tarımsal kaynaklı kirleticiler ile kirlenme sürecine giren İznic Göl suları ile sulanan tarım arazilerinden toprak örnekleri alınarak, mikrobiyolojik aktivitede sulamadan kaynaklanan bir değişikliğin ortaya çıkıp çıkmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla İznic Göl suları ile sulanan Orhangazi ve İznic ilçelerine ait tarım arazilerinden 20 adet toprak örneği sulama öncesi ve sonrası olmak üzere iki kez alınmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; CO₂-oluşumu ile dehidrogenaz ve katalaz enzim aktivitelerinin sulama sonrası topraklarında azaldığı fakat proteaz enzim aktivitesi ile mikroorganizma grup sayılarının arttığı belirlenmiştir. İznic Gölü ile sulanan arazilerde mevcut kirliliğin topraklardaki bütün mikrobiyolojik aktiviteyi henüz ciddi bir şekilde etkilemediği saptanmıştır.

Anahtar sözcükler: mikrobiyel biyokütle (biyomas), toprak solunumu, enzim aktivitesi, sulama suyu

Kaynaklar

1. Anderson,J.P.E., Domsch,K.H., 1978. A Physiological Method for The Quantitative Measurement of Microbial Biomass in Soils, *Soil Biology and Biochemistry*, 10:215-221.
2. Baath,E., 1989. Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (A review). *Water, Air, and Soil Pollution*, 47:335-379.
3. Beck,T., 1971. Die Messung der Katalaseaktivitat von Boden, *Z. Pflanzenernaehr Bodenkd*, 130:68-81.
4. Bingham,F.T., 1982. Boron. Method of soil analysis. Ed:A.L.Page, R.H. Miller, D.R.Keeney, Part 2, A. Society of Agronomy, In. Madison, Wisconsin. USA.
5. Bond,H., Lighthart,B., Shimabuku,R., Russel,L., 1976. Some effects of cadmium on coniferous forest soil and litter microcosms. *Soil Sci.*121:278-287.
6. Bouyoucos,G.J., 1951. A recalibration of hydrometer for making mechanical analysis of Soil. *Agronomy Journal*, 43:434-437.
7. Chander,K., Brookes, P.C.,1991. Effects of heavy metals from past applications of sewage sludge on microbial biomass and organic matter accumulation in a sandy loam and silty loam U.K. soil. *Soil Biol. Biochem.* 23:927-932.
8. Fiedler,H. J., 1973. Methoden der Boden Analyse Band., II., *Mikrobiologische Methoden* Verl. Theodor Stainkopff, Dresden, 12-15.

9. Friedel, J.K., Langer, T., Siebe, C., Stahr, K., 2000. Effects of long-term waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. *Biology and Fertility of Soils*, 31(5):414-421.
10. Grigoryan, K.V., Galstyan, A.S.H., 1979. Effect of irrigation water polluted with industrial waste on the enzymatic activity of soils. *Soviet Soil Sci.* 11(2):220-228.
11. Hattori, H., 1991. Influence of cadmium on decomposition of glucose and cellulose in soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 37(1):39-45.
12. Isermeyer, H., 1952. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Karbonate im Boden, *Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkde.*, 105-107.
13. Jackson, M.C., 1960. *Soil Chemical Analysis*. Printice Hall Inc. Englewood Cliffs. N.J.
14. Jenkinson, D.S., Ladd, J.N., 1981. Microbial Biomass in Soil Measurement and Turnover, In *Soil Biochemistry*, ed: Paul E.A., Ladds J.N., Vol 5, Marcel Dekker, Newyork, 415-471.
15. Ladd, J.N., Butler, J.H.A., 1972. Short-Term Assay of Soil Proteolytic Enzyme Activities using Proteins and Dipeptide Derivates as Substrates, *Soil Biology and Biochemistry*, 4:19-39.
16. Leita, L., Nobili, M.De, Muhlbachova, G., Mondini, C., Marchiol, L., Zerbi, G., 1995. Bioavailability and effects of heavy metals on soil microbial biomass survival during laboratory incubation. *Biol. Fertil. Soils* 19:103-108.
17. Lindsay, W.L., Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zn, Fe, Mn and Cd, *Soil Science Society America Proceedings*, 42:421-428.
18. Lynch, J.M., 1983. *Soil Biotechnology*. Buttler and Tanner Ltd. Frome and London.
19. McGrath, S.P., Chaudri, A.M., Giller, K.E., 1994. Long-term effects of land application of sewage sludge: soils, microorganisms and plants. In 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico.
20. Okur, N., Çengel, M., Okur, B., 1998. Microbial Biomass and Some Enzyme Activities in Arable Soils Irrigated With Heavy Metal-Polluted Gediz River. *M.Şefik Yeşilsoy International Symposium on Arid Region Soils. Bildiriler Kitabı*, 324-330, Menemen- İzmir.
21. Richard, L.A., 1954. *Diagnosis and Improvements Saline and Alkali Soils*. I.S.Dept. Agr. Handbook 60.
22. Thalmann, A., 1968. Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenaseaktivitaet im Boden Mittens Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC), *Landwirtsch. Forsch.*, 21:249-258.
23. Timoshenko, A.G., Kotelev, V.V., Toma, S.I., 1964. Significance of microelements in the interrelationships of soil and plant microorganisms. *Soils and Fertilizers*, 29(2):1261.
24. Wilke, B.M., 1989. Long-term effects of different inorganic pollutants on nitrogen transformations in a sandy cambisol. *Biol. Fertil. Soils*, 7:254-258.
25. Zdenek, F., Shinjiro, K., Berthelin, J., 2000. Distribution of microorganisms, biomass ATP, and enzyme activities in organic and mineral particles of a long-term wastewater irrigated soil. *J. of Plant Nutr. and Soil Sci.*, 163(2):143-150.
26. Zibilske, L.M., Wagner, G.H., 1982. Bacterial growth and fungal genera distribution in soil amended with sewage sludge containing cadmium, chromium, and copper. *Soil Science*, 134(6):364-370.