



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Ahır gübresi ve Arıtma Çamurunun Turp (*Raphanus sativus* L.) Bitkisi ve Toprağında Makro, Mikro Element ve Ağır Metal İçeriği Üzerine Etkisi

Sibel BOYSAN CANAL * Mehmet Ali BOZKURT

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 065080, Van, Türkiye

*Sorumlu yazar e-posta: sibelboysancanal@yyu.edu.tr

Öz: Bu çalışmanın amacı, arıtma çamurunun (AÇ), kireçli ve organik maddece fakir topraklarda, önemli bir diğer organik madde girdisi olan ahır gübresi (AG) ile karşılaştırmalı olarak turp (*Raphanus sativus* L.) bitkisinin gelişimi makro, mikro element ve ağır metal içeriğine etkilerini ve sürdürülebilir tarım açısından sağlayabileceği katkıları değerlendirmektir. Bu amaçla; tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülen saksı denemesinde uygulamalar: 1-Kontrol, 2-AG (5 ton da⁻¹), 3-AÇ₁:(1.25 ton da⁻¹), 4-AÇ₂:(2.5 ton da⁻¹), 5-AÇ₃:(5.0 ton da⁻¹), 6-AÇ₄:(7.5 ton da⁻¹). Elde edilen sonuçlara göre, AÇ' nin yüksek azot (N) içeriği ve düşük C/N oranı, muhtemelen organik maddenin hızlı mineralizasyonunu teşvik ederek toprakta mikrobiyel aktiviteyi ve besin döngüsünü artırmıştır. Buna göre, turp bitkisinde yaprak ve yumru yaş ağırlığını önemli ölçüde artırmıştır. Buna karşılık, AG azotu daha yavaş serbest bıraktığı için turp bitkisinin büyüme döngüsü sırasında sınırlı etki nedeniyle kontrolle benzer etki görülmüştür. Kullanılan düzeye göre, arıtma çamurunun 7.5 ton da⁻¹ düzeyinin toprak özelliklerinden pH, organik madde içeriğinde önemli değişime neden olması kuvvetli alkali toprakta turp bitkisinin hem sürgün hem de kök taze ağırlığını önemli ölçüde artırmıştır. Bununla birlikte, yaprak ve toprak makro ve mikro besin elementi içeriğinde de önemli artışa neden olmuştur. Ağır metal içeriği arıtma çamurunun artan düzeyleri ile artış gösterse de Toprak Koruma Yönetmeliğine göre, stabilize arıtma çamurunun uygulanacağı toprakta izin verilen sınır değerlerinin oldukça altında olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlara göre, arıtma çamurunun 7.5 ton düzeyi organik maddesi düşük, alkali topraklarda, turp bitkisinin gelişimini ve besin elementi alımını önemli ölçüde iyileştirmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Ahır gübresi, Arıtma çamuru, Makro element, Mikro element, Turp (*Raphanussativus* L)

The Effect of Barn yard Manure and Sewage Sludge on the Macro, Micro nutrient, and Heavy Metal Content in Radish (*Raphanus sativus* L) Plants and Soil

Abstract: The aim of this study is to evaluate the effects of sewage sludge (SS) on the growth, macro and micro nutrient and heavy metal content of radish (*Raphanus sativus* L.) plants in calcareous and organic matter-poor soils, comparing it with barn yard manure (BYM), another significant source of organic matter, and to assess its potential contributions to sustainable agriculture. For this purpose, the treatments in the pot experiment conducted according to a randomized block design were: 1-Control, 2-BYM (5 tonnes ha⁻¹), 3-SS₁:(1.25 tonnes ha⁻¹), 4- SS₂:(2.5 tonnes ha⁻¹), 5- SS₃:(5.0 tonnes ha⁻¹), 6-SS₄:(7.5 tonnes ha⁻¹). According to the results, the high nitrogen (N) content and low C/N ratio of the SS₄ increased microbial activity and nutrient cycling in the soil, possibly by promoting rapid organic matter mineralization. Accordingly, there was a significant increase in the fresh weight of leaves and tubers in the radish plant. In contrast, barn yard

Gönderilme Tarihi: 30.07.2025

Kabul Tarihi: 01.12.2025

Nasıl atıf yapılır: Boysan Canal, S., & Bozkurt, M. A. (2025). Ahır gübresi ve arıtma çamurunun turp (*raphanus sativus* l) bitkisi ve toprağında makro, mikro element ve ağır metal içeriği üzerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(3), 1153-1165. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1730694>

manure had a limited effect during the radish's growth cycle due to its lower nitrogen release, resulting in effects similar to those of the control. Depending on the application rate, the application of 7.5 tonnes of per hectare SS caused significant changes in soil properties, including pH and organic matter content, which significantly increased both shoot and root fresh weight of radish plants in strongly alkaline soil. Additionally, it has caused a significant increase in the macro and micro nutrient content of leaves and soil. Although the heavy metal content increased with rising levels of SS, it was determined that the permissible limit values in the soil where stabilized SS will be applied were well below the Soil Conservation Regulation. Based on all these results, the 7.5-ton level of low-organic matter, alkaline soil treatment SS significantly improved the development and nutrient uptake of radish plants.

Keywords: Barn yard manure, Sewage sludge, Heavy metal, Macro nutrient, Micro nutrient, Radish (*Raphanus sativus* L.)

1. Giriş

Tarımsal üretimde besin maddesi ihtiyacı çoğunlukla kimyasal gübrelerle karşılanmaktadır. Ancak hammaddeleri büyük ölçüde dışa bağımlı olan inorganik gübrelerin yüksek maliyetleri, çiftçilerin bu girdilere erişimini güçleştirmektedir. Doğal kaynakların sınırlı olması günümüzde organik gübreleri hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir seçenek hâline getirmektedir. Tarımsal girdi olarak, çiftçiye getirisi yüksek olmayan, kentsel atık su arıtma sürecinin bir yan ürünü olan, arıtma çamuru (AÇ), karbon (C), azot (N), fosfor (P), potasyum (K) ve ağır metaller dahil olmak üzere çeşitli organik ve inorganik elementler içerir (Banjoko ve ark., 2016; Adelodun ve ark., 2022). AÇ, kompostlama, araziye uygulanma, kaynak geri kazanımı ve enerji üretimi gibi çeşitli yöntemlerle yeniden değerlendirilebilen bir yan üründür. Tarımsal üretimde AÇ'nin kullanımı, içerdiği besin elementleri ve organik maddenin toprak sistemine geri kazandırılmasını sağlayarak hem toprak verimliliğinin artırılmasına hem de atık yönetiminin sürdürülebilirliğine katkıda bulunmaktadır (Swierczek ve ark., 2018; Berada ve ark., 2020). Yürütülen çalışmalarda, AÇ'nin N, P ve K gibi önemli bitki besinlerinin yanı sıra bakır (Cu), demir (Fe), mangan (Mn) ve çinko (Zn) gibi mikro besin elementlerini de sağlayabileceğini bildirmiştir (da Silva ve ark., 2021). Tarım arazisine uygulandığında, AÇ toprağın verimliliğini artırabilir, kimyasal gübrelerle olan ihtiyacı azaltabilir ve mahsul verimini artırabilir. Yapılan çeşitli saksı çalışmaları, AÇ kullanımının domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Eid ve ark., 2021), bezelye (*Pisum sativum* L.) (Eid ve ark., 2020), turp (*Raphanus sativus* L.) (Onchoke ve ark., 2018) ve bamya (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) (Kumar ve ark., 2022) gibi bitkilerin yetiştirilmesinde olumlu etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Ancak tarımda AÇ kullanımı, toprağın ağır metallerle kirlenme riskini ortaya çıkarmaktadır. Ağır metaller biyolojik olarak parçalanamaz ve ayrıştırılamaz. Bu nedenle toprakta birikerek besin zincirine girebilirler (Kominko ve ark., 2022). Ağır metallerin ve diğer kirleticilerin toprakta ve bitkilerde birikmesini önlemek için AÇ uygulama düzeyine ve kökenine önem verilmelidir. C:N oranı farklı olan organik gübrelerde N salınımını önemli ölçüde farklıdır. Bir gübrenin C:N oranının bilinmesi, bitkiler tarafından alınabilir forma dönüşecek azot miktarının öngörülmesine ve buna yönelik gübreleme düzeylerinin belirlenmesine yardımcı olur. Bitkisel büyüme ve gelişmenin desteklenmesi amacıyla inorganik gübrelerin yerine ahır gübresinin kullanıldığı durumlarda, bitkilerin azot gereksiniminin karşılanması büyük önem taşımaktadır (Chrystal ve ark., 2016). Turp (*Raphanus sativus* L.) bitkisi, bünyesinde bulunan eterik yağlar nedeniyle iştahı uyarıcı etkiye sahiptir. Kış döneminde yaygın tüketimiyle beslenmede önemli bir gıda olarak öne çıkmaktadır. Suyu sıkılarak içildiğinde öksürük, ses kısıklığı, bademcik iltihabına karşı tatbik edilmiştir. Turp (*Raphanus sativus* L.) bitkisi gelişimi ve büyümesi için kumlu tınlı topraklara ve yeterli organik maddeye ihtiyaç gösterir. Ancak organik madde noksanlığı varsa, bu topraklara organik madde takviyesi gerekir (Vural ve ark., 2000). Genel olarak ülkemizdeki toprakların önemli bir kısmı yüksek pH, düşük organik madde düzeyine sahip ve kireç bakımından zengindir (Eyüpoğlu, 1999). Çalışmamıza konu olan yüksek kireç içeriğine sahip bu topraklarda AÇ ve AG'nin bazı toprak özelliklerini değiştirebileceği öngörülmeyle birlikte, makro ve mikro besin elementlerine duyarlı olan turp bitkisinin besin elementi alımında önemli değişimlere neden olacağı hipotezinde bulunduk. Fakat AÇ uygulama düzeylerinin toprak ortamında ve bitkide ağır metal birikimi yapabileceği de öngörüldü. Bu nedenle kullanılan AÇ düzeyleri titizlikle tespit edildi. Bu araştırmanın amacı, maliyeti inorganik gübrelerle göre daha düşük olan AÇ'nin, kireçli ve

organik maddece fakir topraklarda, önemli bir diğer organik madde girdisi olan AG ile karşılaştırmalı olarak turp (*Raphanus sativus* L.) bitkisinin gelişimi makro, mikro element ve ağır metal içeriğine etkileri ve sürdürülebilir tarım açısından sağlayabileceği katkıları değerlendirmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Saksı denemesinde, deneme toprağı, arıtma çamuru ve ahır gübresinin özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Müftüoğlu ve ark. (2014) tarafından, verilen sınır değerlerine göre, deneme toprağı orta kireçli, alkali pH ve düşük organik madde içeriğine sahiptir. Bununla birlikte toplam N çok az, yarayışlı P fazla, K fazla ve Ca yeterli düzeydedir. Deneme toprağının Fe içeriğı, orta düzeyde, Zn ve Mn az ve Cu içeriğı yeterlidir. Topraktaki Cd, Cr, Pb seviyeleri düşüktür.

Çizelge 1. Deneme toprağı ile arıtma çamuru ve ahır gübresinin bazı fiziko kimyasal özellikleri ile makro ve mikro besin elementi içerikleri

Özellikleri	Deneme toprağı	Arıtma Çamuru	Ahır Gübresi
Kireç, %	14.35		
pH, (1:2.5 water)	8.56	6.11	
Organik madde, %	1.55	47.3	55.0
C/N	21.92	9.73	21.3
Toplam N, %	0.041	2.82	1.50
Yarayışlı P, (mg kg ⁻¹)	34	0.76	0.34
K, mg kg ⁻¹	245	288	552
Ca, mg kg ⁻¹	2980	695	2152
Mg, mg kg ⁻¹	160	222	194
Na, mg kg ⁻¹	982	1217	1454
DTPA ile ekstrakte (mg kg⁻¹)			
Fe	4.00	10.5	4.00
Mn	13.3	19.8	17.5
Zn	0.69	18.0	1.33
Cu	0.97	2.60	0.97
Cd	0.005	0.35	0.009
Pb	0.36	10.7	0.30
Cr	0.004	0.67	-

2.1. Sera koşullarında saksı denemesi

AG ve AÇ dozlarına göre tarla toprağının yüzeyine 0-20 cm derinlikte uygulama yapılmıştır. Tarla toprağına uygulanan AÇ ve AG dozlarına göre, hazırlanan topraklardan, saksı denemesi kurulmuştur. AG 3 ay süre ile fermente edilmiştir. Turp (*Raphanus sativus* L.) serin iklim koşullarında gelişen bitkidir. Nisan ayının başında ekilmiştir. Haziran ayının ortasında hasat edilmiştir. Kontrol saksılarına N, amonyum sülfat (NH₄)₂SO₄ formunda 300 mg N kg⁻¹ düzeyinde, P, triple süper fosfat (TSP %44-46 P₂O₅) formunda 80 mg P kg⁻¹ düzeyindedir. K, potasyum sülfat (K₂SO₄) formunda 80 mg K kg⁻¹ düzeyinde uygulanmıştır. Deneme sera koşullarında saksıda yürütülmüştür. Deneme tesadüf parselleri desenine göre, tekerrür sayısı 3 dür. Her tekerrürde 4 saksı bulunmaktadır. Her uygulamada 12 saksı bulunmakla birlikte, 6 uygulamada 72 saksı ile deneme yürütülmüştür. Saksı büyüklüğü 2.5 kg'dır. Denemede uygulamalar sırasıyla; 1-Kontrol, 2- AG: 5 ton/da, 3- AÇ₁:1.25 ton da⁻¹ , 4- AÇ₂:2.5 ton da⁻¹ , 5- AÇ₃ :5.0 ton da⁻¹ , 6- AÇ₄ :7.5 ton da⁻¹ dir.

2.2. Bitki örneklerinde ağır metal, makro ve mikro besin elementi analizi

Bitki örnekleri Kacar (1994) tarafından bildirildiğine göre, henüz olgunluğa yeni erişmiş turp bitkisi yaprakları alınarak, analiz edilmiştir. Hasat edilen bitki örneklerinin yaprakları ve kök örnekleri sabit ağırlığa gelinceye kadar 70°C' lik etüvde kurutulmuştur. Daha sonra değirmende öğütülmüştür. Bitki örneklerinde, azot analizi Kjeldahl yöntemine göre yapılmıştır. Fosfor analizi, ıslakken yakılarak analize hazırlanan bitki özütünde sarı renk yöntemine göre (Kacar, 1994) belirlenmiştir. Etüvde

kurutulmuş örnekler $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ asit çözeltisiyle yaş yakıldıktan sonra Cd, Pb, Cr, Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile ölçülmüştür (İbrikçi ve ark., 1994).

2.3. Deneme toprağı, arıtma çamuru ve ahır gübresi analizleri

Deneme alanındaki topraklarda tekstür analizi hidrometre yöntemi (Bouyoucos, 1965) kullanılarak yapılmıştır. Toprak pH'sı 1:2.5 toprak-su süspansiyonunun potansiyometrik analizi ile belirlenmiştir (Jackson, 1958). Organik madde içeriği modifiye Walkley-Black yöntemi (Walkley, 1947) kullanılarak kolorimetrik olarak belirlenmiştir. Kireç içeriği Scheibler kalsimetresi (Hızalan & Ünal, 1966) kullanılarak hesaplanmıştır. Yarıyışlı fosfor (P) miktarını ölçmek için sodyum bikarbonat ekstraktı ve molibden mavisi tekniği kullanılmıştır (Olsen ve ark. 1954). Toplam N, Kjeldahl yöntemi ile analiz edilmiştir (Kacar, 1994). 0.005 M dietilentriaminpentaasetik asit (DTPA) içeren çözelti (pH 7.3) kullanılarak Fe, Mn, Zn ve Cu ekstrakte edilmiştir (Lindsay&Norvell, 1978). Bu elementlerin ekstrakt içindeki konsantrasyonları atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile belirlenmiştir. Yaş yakma yöntemi ile toprak, çamur ve ahır gübresindeki ağır metallerin miktarları belirlenmiştir (Khan&Frankland, 1983).

2.4. İstatistiksel analiz

Saksı çalışması, her uygulama için 4 tekrarlı ile tesadüf parseller olarak tasarlandı. Uygulamalar arasındaki farklılıklar, tek yönlü varyant analizi (ANOVA) kullanılarak analiz edilmiştir. Örneklem büyüklüğü dikkate alınarak dağılımda normaliteden sapmaların düzeltilmesi için yanlılık düzeltmeli hızlandırılmış (biascorrectedaccelarated) Bootstrap yöntemi kullanılarak, ANOVA yapılmıştır (Preacher& Hayes, 2008). Uygulama grupları arasındaki önemli farklılıkları belirlemek için Duncan çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Her ANOVA öncesinde Levene testi ile varyansların homojenitesi değerlendirilmiştir. Varyantların homojenliği varsayımını karşılayan değişkenlerde Welch düzeltmeli ANOVA kullanılmıştır. Bu değişkenler için Post-Hoc testleri Games-Howell gruplar arası karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir (Games & Howell, 1976). İstatistiksel analizler, SPSS yazılım sürümü 13.0 kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Hilbe, 2005).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Hasattan sonra arıtma çamuru ve ahır gübresinin toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkileri

Deneme toprağına uygulanan AG ve AÇ, toprağın pH, organik madde (OM), N, kireç, mikro element ve ağır metal içeriğine etkilerine ilişkin istatistiksel değerlendirmeler Çizelge 2' de verilmiştir. Artan düzeylerde uygulanan AÇ ile pH düşüş göstermiştir. En yüksek pH kontrol'de bulunmuştur. AG pH 8.99, AÇ₄'de ise pH 7.40 olarak bulunmuştur. Deneme toprağına uygulanan AÇ düzeylerine göre organik madde içeriğinde de artış tespit edilmiştir. AG ile kontrol aynı grupta yer almaktadır. En yüksek OM içeriği AÇ₄ düzeyinde %2.83 en düşük kontrol de %1.56 dır. Toplam azot içeriğinde AÇ düzeylerine göre artış olduğu tespit edilmiştir. AG'nin toprağın toplam N üzerine etkisi, kontrol ile aynı olduğu tespit edilmiştir. En yüksek toplam N AÇ₄ düzeyinde %0.38, en düşük kontrol de %0.05 olarak bulunmuştur. AG ve AÇ uygulanan topraklarda, Fe, Zn, Cu ve Mn içeriği, artan AÇ dozuyla birlikte arttığı belirlenmiştir. Deneme toprağının Fe içeriğine bakıldığında, yeter düzeyde iken AÇ düzeylerine göre artış gösterdiği tespit edilmiştir. Deneme toprağında başlangıçta, düşük düzeyde bulunan Mn içeriği, AÇ₄ uygulamasıyla yeterli seviyeye ulaşmıştır. Benzer şekilde, başlangıçta yetersiz olan Zn içeriği, AÇ₄ uygulaması ile yeterli düzeye yükselmiştir. Cu içeriğinin başlangıçta yeterli düzeyde olduğu, ancak AÇ'nin artan dozlarında uygulanmasıyla fazla düzeye yükseldiği belirlenmiştir. Deneme toprağının ağır metal içeriği kirli toprak sınır değerlerinden düşüktür (Alpaslan ve ark., 1998). AÇ' nin artan düzeylerine göre, DTPA-Cd, Pb, Cr içeriğinde önemli artış olduğu tespit edilmiştir. Ancak elde edilen ağır metal düzeyleri bitki yetiştirilmesi için gerekli toksik sınır değerlerinin altındadır (TÇV, 2010). Deneme toprağına verilen AG ile Cd, Pb ve Cr içeriği, kontrolle aynı grupta olduğu bulunmuştur (Çizelge 1). Benzer, olarak yapılan birçok çalışmadan elde edilen bulgular, AÇ uygulamasının OM ve N içeriğinin artışına ilişkin bulgularla örtüşmektedir (Demir &

Çimrin, 2011; Çakır & Çimrin, 2018b; Çakır & Çimrin, 2020). Benzer olarak Gezer ve ark. (2023), yürüttükleri çalışmada AÇ'nin toprak reaksiyonu üzerine etkisinin toprağın pH düzeyinde azalışa neden olduğunu rapor etmişlerdir. Bu çalışmada, AÇ uygulamasının 7.5 ton da düzeyinde toprak mikro besin elementlerinin az düzeyden yeterli ve fazla düzeyine ulaşmasına neden olmuştur. Gezer ve ark. (2023) Trakya yöresi topraklarında yürütülen çalışmada, artan AÇ uygulamasının DTPA-mikro besin elementlerinden Zn ve Fe içeriğinde önemli düzeyde artışa neden olduğunu rapor etmişlerdir. Bunun sebebinin AÇ uygulamasının aynı zamanda organik madde içeriğini artırması ve pH'ı değiştirmesinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir (Gezer ve ark., 2024).

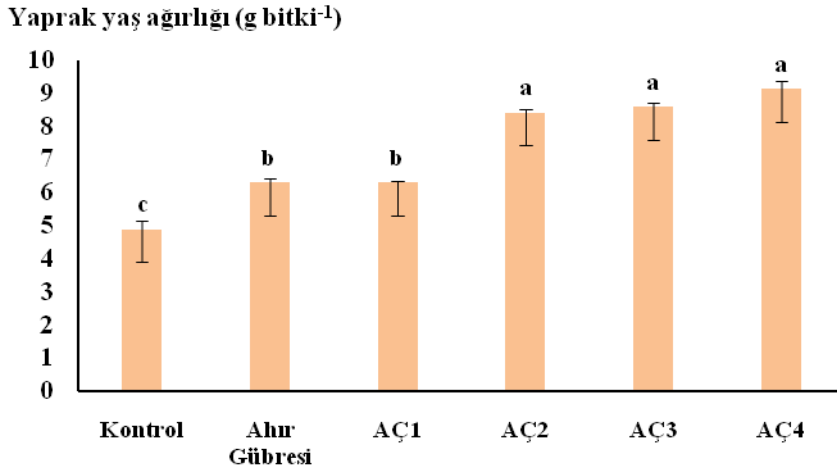
Çizelge 2. Ahır gübresi ve arıtma çamuru uygulamalarının, toprakların bazı fizikokimyasal özellikleri ile mikro element ve ağır metal içeriklerine etkileri.

	Kontrol	Ahır Gübresi	AÇ ₁	AÇ ₂	AÇ ₃	AÇ ₄	F değeri
pH	8.50±0.05d	8.99±0.01e	8.53±0.15d	8.24±0.05 c	7.85±0.05b	7.40±0.10a	138**
OM, %	1.56±0.07d	1.58±0.04d	1.51±0.08d	1.90±0.18c	2.50±0.20b	2.83±0.10a	58.89**
N, %	0.05±0.01f	0.10±0.01e	0.15±0.00d	0.19±0.00c	0.23±0.01b	0.38±0.01a	561**
Kireç, %	14.35±1.13b	16.00±0.67ac	15.13±0.25bc	15.40±0.71bc	16.00±0.88ac	17.14±0.15a	5.24**
Fe (mg kg ⁻¹) ‡	3.93±0.13d	3.98±0.07d	10.17±0.58c	10.20±1.71bc	15.50±0.50b	22.50±1.14a	355**
Zn(mg kg ⁻¹) ‡	0.69±0.07d	1.33±0.14d	18.00±1.42c	28.00±0.79b	31.00±0.17b	42.00±1.21a	11389**
Cu(mg kg ⁻¹)	0.97±0.10c	0.97±0.06c	2.60±0.02b	2.61±0.06b	2.77±0.09b	6.00±0.48a	352**
Mn(mgkg ⁻¹)	13.30±1.04e	17.50±1.15d	19.80±0.69c	20.60±1.11bc	22.30±1.57b	28.70±0.48a	69.60**
Cd(mg kg ⁻¹) ‡	0.01±0.00d	0.01±0.00d	0.04±0.00c	0.04±0.00c	0.08±0.01b	0.15±0.01a	258**
Pb(mg kg ⁻¹) ‡	0.36±0.04c	0.29±0.01c	0.44±0.04c	0.63±0.04b	0.79±0.03a	1.03±0.09a	152**
Cr(mg kg ⁻¹) ‡	0.004±0.000ab	0.004±0.000ab	.004±0.001ab	0.004±0.000b	0.005±0.001ab	0.005±0.000a	33.2**

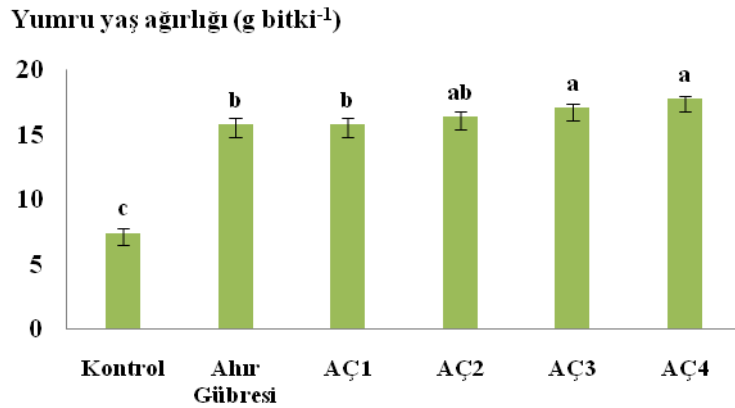
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$. Bir sütundaki ortalama değerler, farklı küçük harflerle (a, b, c, d, e) takip edilir AÇ: Arıtma Çamuru.

3.2. Turp (*Raphanussativus* L) bitkisinin gelişimi ve makro besin elementleri

Yürütülen saksı denemesinde, AÇ₁, AÇ₂, AÇ₃, AÇ₄ düzeylerinde kontrol uygulamasına göre, turp bitkisinin yaprak ve yumru yaş ağırlığında önemli düzeyde artış olduğu tespit edilmiştir. En yüksek yaprak ve yumru yaş ağırlığı AÇ₄ uygulamasında sırasıyla: 9.13 g bitki⁻¹ ve 17.80 g bitki⁻¹ bulunmuştur. En düşük yaprak ve yumru yaş ağırlığı kontrolde sırasıyla, 4.90 g bitki⁻¹ ve 7.47 g bitki⁻¹ bulunmuştur. Turp bitkisi yaprak yaş ağırlığında kontrole göre, AG ve AÇ₁ %8, AÇ₂ %71, AÇ₃ %5 AÇ₄ %86 düzeylerinde artış gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 1). Turp bitkisinin yumru yaş ağırlığında kontrole göre, AG, AÇ₁, AÇ₂ ile %98 AÇ₃ ile %119, AÇ₄ uygulaması ile %138 düzeyinde artış olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). AÇ'nin artan uygulama düzeyleri, AG 'ye göre, bitkide yaprak ve yumru yaş ağırlıklarının anlamlı düzeyde artmasına neden olmuştur. En yüksek düzeyde artış AÇ₄ düzeyinde tespit edilmiştir. Organik atıkların sahip olduğu C/N oranı mineralizasyonu önemli düzeyde etkiler. Mineralizasyon toprak organizmaları üzerine önemli düzeyde etkiye sahiptir (Dikici ve ark., 2017). AÇ pek çok düzenleyiciye göre düşük C/N oranına sahiptir (Myrold ve ark., 2008). Bu çalışmada kullanılan AÇ'nin C/N oranı 9.73 iken AG'nin 21.3 olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). AÇ'nin C/N düzeyinin düşük olması mikroorganizmaların azota kolayca ulaşmasına neden olmaktadır. Ayırışma esnasında bitkiler için kullanılabilir amonyum (NH₄) ve nitrat (NO₃⁻) formunda azot serbest kalır. Böylece, AÇ, AG'ye göre, turp bitkisinin N ihtiyacını karşılama ve bitki yaprak ve kök yaş ağırlığının önemli düzeyde artmasına neden olmaktadır. Benzer olarak Khatri ve ark. (2019) tarafından yürütülen çalışmada, tavuk gübresi, keçi gübresi, çiftlik gübresi ve biyogaz uygulamalarının turp (*Raphanus sativus* L) bitkisinin gelişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tavuk gübresinin ölçüm yapılan verim kriterlerinde en yüksek performansı gösterdiğini ortaya konmuştur. Araştırmacılar, tavuk gübresinin diğer organik gübre kaynaklarına kıyasla daha hızlı ayrışması ve besin elementlerini daha hızlı serbest bırakmasının, düşük C/N oranından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.



Şekil 1. Ahır gübresi ve artan düzeylerde arıtma çamurunun turp bitkisinin yaprak yaş ağırlığına etkisi. Sütunların üstündeki farklı harfler, Duncan testine göre anlamlı farklılıkları göstermektedir **($p \leq 0,01$) AÇ: arıtma çamuru.



Şekil 2. Ahır gübresi ve artan düzeylerde arıtma çamurunun turp bitkisinin yumru yaş ağırlığına etkisi. Sütunların üstündeki farklı harfler, Duncan testine göre anlamlı farklılıkları göstermektedir **($p \leq 0,01$) AÇ:arıtma çamuru.

Hasat edilen turp bitkisinin yaprak makro besin element içerikleri Jones ve ark. (1991) göre, N (%2.80-3.99 noksan), P (%0.25-0.29 noksan), K (%4.00-4.99 noksan), Ca (% >1.20 fazla), Mg (%>1.00 fazla) verilen referans değerlerine göre, turp bitkisinin N içeriği kontrol uygulamasında %3.34 ile noksan seviyesinde, P içeriği %0.28 ile noksan, K ise %3.12 ile noksan seviyesindedir. Turp bitkisi yaprak Ca içeriği kontrolde %4.48 ile fazla, Mg içeriği, %1.16 ile fazla seviyesindedir (Çizelge 3). AÇ₃ ve AÇ₄ düzeylerinde, turp bitkisi yaprak N ve Mg içeriğinde kontrole göre, önemli artış bulunmuştur. Ancak AG uygulamasında kontrolle aynı grup içinde yer almaktadır. Turp bitkisi yaprak N içeriği en yüksek AÇ₄ uygulamasında %4.62 değeri olarak tespit edilmiştir. Bitkide P içeriği, AÇ dozlarında artış bulunsun da, bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ayrıca P düzeyi AÇ₄ uygulaması ile kontrolde noksan seviyesinden yeterli seviyesine çıkmıştır. Turp bitkisi Ca içerikleri sırasıyla; kontrolde %4.48, ahır gübresinde %5.14, AÇ₁'de %5.52, AÇ₂'de %5.64, AÇ₃'te %5.68 ve AÇ₄'de %5.79 olarak saptanmıştır. En yüksek Ca içeriği, AÇ₄ uygulamasında elde edilmiştir. Yapılan uygulamalar ile turp bitkisinin yaprak Mg içerikleri sırasıyla; kontrolde %1.16, ahır gübresinde %1.34, AÇ₁ uygulamasında %1.39, AÇ₂'de %1.41 ve AÇ₄ uygulamasında %1.42 olarak belirlenmiştir. Tüm bu sonuçlara göre, özellikle AÇ₄ (7.5 ton da⁻¹) düzeyi kontrole göre, turp bitkisinin yaprak N, Ca ve

Mg içeriğinde önemli düzeyde artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, AÇ'nin artan dozları, deneme toprağında özellikle OM düzeyini belirgin biçimde artırmıştır. OM, bitkinin N gereksiniminin önemli bir bölümünü karşılayabilmektedir. Ayrıca, AÇ uygulamasının toprak pH'sını düşürmesi, alkali koşullarda bazik katyonların (K, Ca, Mg) çözünürlüğünü artırmıştır (Çizelge 2). Benzer olarak, mısır bitkisine uygulanan arıtma çamuru toprakta N, P, K, Ca içeriğini artırırken, mısır bitkisinin kök üstü kısmında da N, P, K ve Ca içeriğinde artışa neden olmuştur (Çakır & Çimrin, 2018a). Ispanak bitkisi ile yürütülen çalışmada, AÇ uygulamasının belirli düzeyleri bitkide N, P ve Ca düzeylerinde artışa neden olduğu bulunmuştur (İnce ve İnal, 2024).

Çizelge 3. Ahır gübresi ve arıtma çamuru uygulamalarının, turp (*Raphanus sativus* L) bitkisinde yaprak makro besin elementleri üzerine etkisi (%).

	N (azot) ‡	P (fosfor) ‡	K (potasyum)	Ca (kalsiyum) ‡	Mg (magnezyum)
Kontrol	3.34±0.13c	0.28±0.02	3.12±0.20	4.48±0.48ab	1.16±0.09b
Ahır Gübresi	3.84±0.40abc	0.27±0.01	3.23±0.05	5.14±0.20ab	1.34±0.03a
Arıtma Çamuru₁	3.00±0.15c	0.27±0.01	3.27±0.15	5.52±0.06b	1.39±0.02a
Arıtma Çamuru₂	3.03±0.09c	0.27±0.01	3.27±0.13	5.64±0.35ab	1.39±0.06a
Arıtma Çamuru₃	3.73±0.04b	0.30±0.02	3.27±0.02	5.68±0.06ab	1.41±0.00a
Arıtma Çamuru₄	4.62±0.11a	0.38±0.04	3.20±0.10	5.79±0.03a	1.42±0.01a
F değeri	62.66**	4.16	0.70	12.84**	12.96**
	NS	NS			

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, NS: İstatistiksel olarak önemsiz. Bir sütundaki ortalama değerler, farklı küçük harflerle (a, b, c, d, e) takip edilir.

3.3. Turp (*Raphanus sativus* L) bitkisinde mikro besin elementleri

Hasat edilen turp (*Raphanus sativus* L) bitki yapraklarının mikro element içerikleri Jones ve ark. (1991) göre, Fe ($>200 \text{ mg kg}^{-1}$ fazla), Zn ($20\text{--}24 \text{ mg kg}^{-1}$ noksan), Cu ($3\text{--}4.99 \text{ mg kg}^{-1}$ noksan), Mn ($30\text{--}250$ yeterli) referans değerlerine göre, turp bitkisinin yaprak Fe içeriği kontrolde 600 mg kg^{-1} ile fazla, yaprak Mn içeriği kontrolde 175 mg kg^{-1} ile yeterli seviyededir. Ancak kontrolde yaprak Zn içeriği (22.67 mg kg^{-1}) ve Cu içeriği (4.20 mg kg^{-1}) noksan seviyesindedir. Saksı çalışmasında, turp bitkisi yaprak ve kök Fe, Zn, Cu ve Mn içeriğinde kontrol'e göre, AÇ'nin artan düzeylerinde, önemli düzeyde artışa neden olmuştur. Yaprak ve kök Fe, Zn, Cu ve Mn içeriği ortalama değerleri ele alındığında, kontrol ile AG'nin aynı duncan grupta yer aldığı bulunmuştur (Çizelge 4). Yaprak ortalama Fe içeriği uygulamalara göre sırasıyla, kontrol'de 600 mg kg^{-1} , AG'de 618 mg kg^{-1} , AÇ₁'de 873 mg kg^{-1} , AÇ₂'de 866 mg kg^{-1} , AÇ₃'de 923 mg kg^{-1} , AÇ₄ 942 mg kg^{-1} bulunmuştur. En yüksek yaprak Fe içeriği AÇ₄ uygulamasında tespit edilmiştir. Turp bitkisi kök Fe içeriği kontrolde 195 mg kg^{-1} , AG'de 182 mg kg^{-1} , AÇ₁'de 200 mg kg^{-1} , AÇ₂'de 209 mg kg^{-1} , AÇ₃'de 208 mg kg^{-1} , AÇ₄ 234 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Yaprak Zn içerikleri sırasıyla, 22.67 mg kg^{-1} (kontrol), 34.67 mg kg^{-1} (AG), 85 mg kg^{-1} (AÇ₁), 109 mg kg^{-1} (AÇ₂), 114 mg kg^{-1} (AÇ₃) ve 126 mg kg^{-1} (AÇ₄) olarak belirlenmiştir. Yaprak Zn içeriği, kontrolde noksan iken, AÇ₄ ile fazla düzeyine ulaşmıştır. Kök Zn içerikleri sırasıyla: 20.53 mg kg^{-1} (kontrol), 20.43 mg kg^{-1} (AG), 43.67 mg kg^{-1} (AÇ₁), 55.93 mg kg^{-1} (AÇ₂), 81.23 mg kg^{-1} (AÇ₃) ve 88.53 mg kg^{-1} (AÇ₄) olarak tespit edilmiştir. En yüksek kök Zn içeriği AÇ₄ uygulamasında tespit edilmiştir. Yaprak Cu içeriği, 4.20 mg kg^{-1} değeri ile kontrol, 4.87 mg kg^{-1} değeri ile AG, 5.77 mg kg^{-1} değeri ile AÇ₁, 7.03 mg kg^{-1} değeri ile AÇ₂, 9.57 mg kg^{-1} değeri ile AÇ₃ ve 13.60 mg kg^{-1} değeri ile AÇ₄ uygulamasında tespit edilmiştir. Yaprak bakır içeriği kontrolde noksan iken, AÇ₄ ile yeter seviyesine ulaşmıştır. Kök Cu içeriği sırasıyla; 3.93 mg kg^{-1} (kontrol), 3.80 mg kg^{-1} (AG), 4.13 mg kg^{-1} (AÇ₁), 4.33 mg kg^{-1} (AÇ₂), 4.60 mg kg^{-1} (AÇ₃) ve 5.80 mg kg^{-1} (AÇ₄) olarak tespit edilmiştir. En yüksek kök Cu içeriği AÇ₄ uygulamasında tespit edilmiştir. En yüksek ortalama yaprak ve kök Mn içeriği AÇ₄ uygulamasında tespit edilmiştir. Buna göre, turp bitkisinde yaprak ve kök Fe, Zn, Cu ve Mn içeriğinde AÇ uygulama düzeylerinden özellikle 7.5 kg da^{-1} (AÇ₄) da önemli artış olduğu tespit edilmiştir. Ancak AG uygulamasında yaprak ve kök mikro element düzeyi kontrolle aynı grupta yer almaktadır (Çizelge 4). Bununla birlikte deneme toprağına uygulanan AÇ'nin 7.5 ton da^{-1} düzeyinin DTPA-Fe,

Zn, Cu ve Mn içeriğini önemli düzeyde artırdığı tespit edilmiştir (Çizelge 2). AG uygulama düzeyi toprak mikro elementlerinde önemli artışa neden olmaması kullanılan dozun düşük kalması nedeniyle olabilir. Alkali topraklarda bulunan karbonat ve bikarbonat iyonları, Fe ve Zn elementlerinin çözünürlüğünü azaltmaktadır. Bu nedenle, Zn alkali koşullarda genellikle çözünür formu olan Zn^{2+} halinde değil, çözünemeyen bileşikler şeklinde bulunmaktadır. Bu durum, Zn'nin bitkiler tarafından alınabilirliğini engeller (Hafeez ve ark., 2013). Kireçli ve alkalın topraklarda, Fe noksanlığı HCO_3 konsantrasyonuna bağlı olarak artar. Toprak pH 'sının asit yöne doğru değişimi ise Fe çözünürlüğünü artırır (Kacar, 2019). Bu çalışmada arıtma çamuru uygulaması toprak pH'sının kuvvetli alkaliden hafif alkaliye değişimi nedeniyle Fe, Zn, Cu ve Mn alınabilirliğinde değişime neden olmaktadır. Ahır gübresinin uygulama düzeyine bağlı olarak pH düzeyinde önemli bir değişim kaydedilmemiştir (Çizelge 2). Benzer olarak AÇ'nin mısır bitkisinde ve toprakta mikro besin element düzeylerinde önemli artışa neden olduğu tespit edilmiştir (Çakır & Çimrin, 2018b). Buna karşın Çakır & Çimrin, (2020) tarafından yürütülen çalışmada, AÇ'nin artan düzeylerde uygulanması mısır tarımı yapılan topraklarda bazı besin elementleri ile birlikte tuz içeriğinde artışa neden olduğunu bu nedenle yüksek tuz içeriği nedeniyle tarımsal uygulamalar için uygun olmadığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4. Ahır gübresi ve arıtma çamuru uygulamalarının, turp (*Raphanus sativus* L.) bitkisinde yaprak ve kök kısımlarında mikro besin elementi içeriğine etkisi ($mg\ kg^{-1}$)

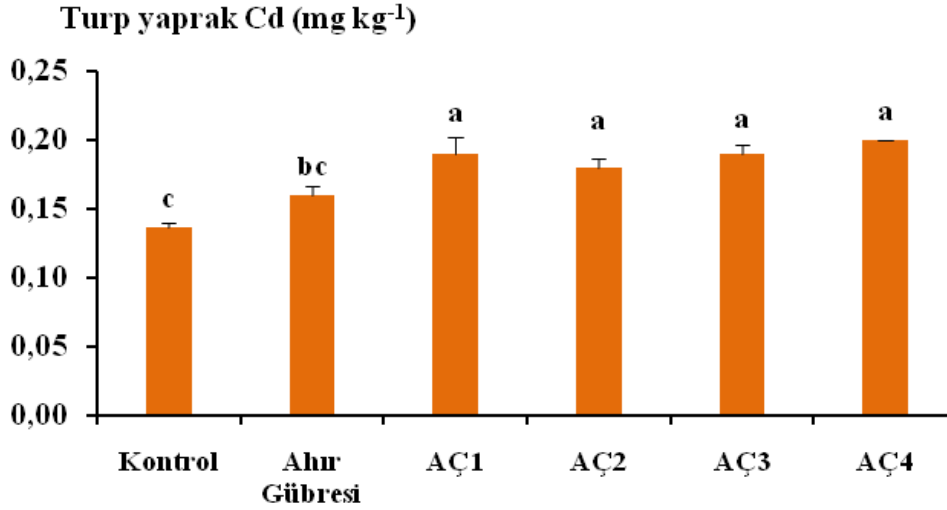
	Uygulamalar	Fe	Zn	Cu	Mn
Yaprak	Kontrol	600±30.89c	22.67±1.86e	4.20±0.12e	175±8.95b
	AG	618±83.38c	34.67±2.73de	4.87±0.20de	189±5.21b
	AÇ ₁	873±61.76b	85.00±8.19c	5.77±0.24d	189±2.03b
	AÇ ₂	866±47.63b	109±0.67b	7.03±0.27c	188±1.45b
	AÇ ₃	923±56.40ab	114±0.67ab	9.57±0.87b	189±2.03b
	AÇ ₄	942±149a	126±0.88a	13.60±0.26a	205±203a
F değeri		3.58*	142***	74.21***	6.07**
		P<0.05	P<0.001	P<0.001	P<0.01
	Uygulamalar	Fe	Zn	Cu	Mn
Kök	Kontrol	195±10.69b	20.53±1.92c	3.93±0.38b	28.33±0.33b
	AG	182±10.59b	20.43±2.25c	3.80±0.12b	27.33±1.45b
	AÇ ₁	200±10.68a	43.67±1.40b	4.13±0.07b	28.00±3.21b
	AÇ ₂	209±5.19a	55.93±8.27b	4.33±0.09b	24.33±0.88b
	AÇ ₃	208±5.00a	81.23±3.32a	4.60±0.35ab	23.33±0.88b
	AÇ ₄	231±14.00a	88.53±8.22a	5.80±0.21a	36.67±4.21a
F değeri		2.89*	32.43***	3.97*	9.341***
		P<0.05	P<0.001	P<0.05	P<0.001

*p < 0.05, **p < 0.01, NS: İstatistiksel olarak önemsiz. Bir sütündeki ortalama değerler, farklı küçük harflerle (a, b, c, d, e) takip edilir.

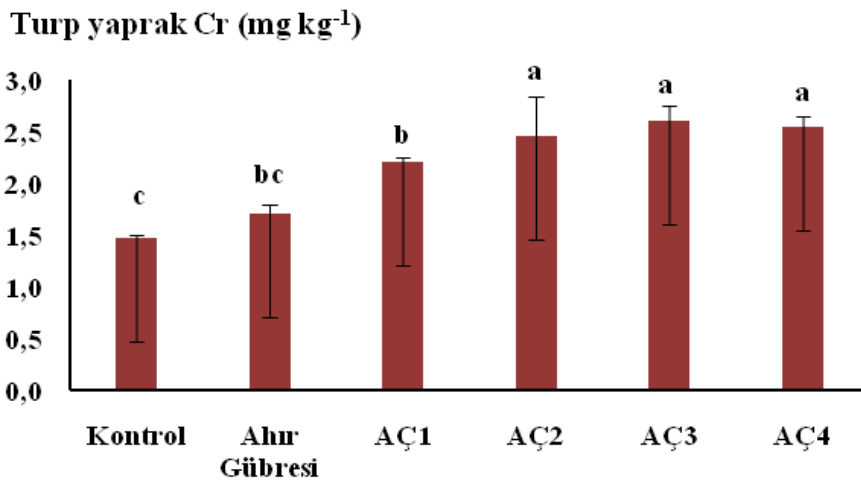
3.4. Turp (*Raphanussativus* L) bitkisinde ağır metal

Yürütülen saksı denemesinde, turp bitkisinin yapraklarında, ortalama Cd konsantrasyonu incelendiğinde, kontrol ile ahır gübresinin aynı duncan grupta yer aldığı tespit edilmiştir. Sırasıyla: 0.14 $mg\ kg^{-1}$ ve 0.16 $mg\ kg^{-1}$ 'dir. AÇ'nin artan düzeyleri ile Cd, Cr ve Pb konsantrasyonu artış göstermiştir. Ancak aynı duncan grupta yer almaktadır (Şekil 3, 4, 5). Benzer şekilde Onchoke ve ark. (2018) turp bitkisine uygulanan arıtma çamurunun toprak pH seviyesindeki düşüşe yol açtığı ve bunun sonucunda bitki tarafından Pb ve Cu alımının anlamlı düzeyde arttığı belirlenmiştir. Bu çalışmada, uygulanan arıtma çamuru düzeylerinden AÇ₄ düzeyinde pH düzeyindeki düşüş turp bitkisinin Cr, Cd ve Pb içeriğinde önemli düzeyde artışa neden olmuştur. Ancak arıtma çamurunun uygulanan turp bitkisindeki Cd, Cr ve Pb konsantrasyonu bitkinin gelişimi ve büyümesindeki artışa bağlı olarak birim alandaki konsantrasyonun düşmesi söz konusu olabilir (Bouriouğ ve ark., 2015). Toprak Koruma Yönetmeliğine göre, stabilize arıtma çamurunun uygulanacağı toprakta ağır metal içeriği Cd, Cr ve Pb muhtevası pH >7 olan topraklarda Cd 1.5 $mg\ kg^{-1}$ iken, Cr 100 $mg\ kg^{-1}$, Pb için 100 $mg\ kg^{-1}$ olarak belirlenmiştir (TÇV, 2010). Buna göre, 7.5 $kg\ da^{-1}$ uygulanan AÇ topraktaki Cd, Cr ve Pb seviyesinin sırasıyla; 0.15 $mg\ kg^{-1}$, 0.005 $mg\ kg^{-1}$, 1.02 $mg\ kg^{-1}$ değerindedir (Çizelge 2). Bu değerler oldukça düşük olduğundan, toprakta Cd, Cr ve Pb birikimi nedeniyle bitki toksisitesi olasılığının düşük

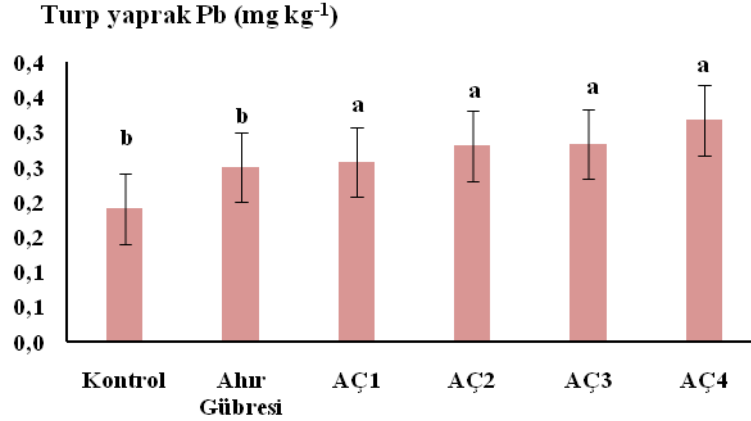
olduğunu göstermektedir. Ancak yapılan birçok çalışmada, AÇ'nin uygulanan yüksek düzeylerinde bitkide ve toprakta ağır metal konsantrasyonlarında önemli düzeyde artışa neden olduğunu ifade edilmiştir (Lakhdar ve ark., 2009; Kumar ve ark., 2016). Buna göre kullanılan AÇ düzeyi önem arz etmektedir. Atsak & Çırka, (2024) tarafından fasulye bitkisi ile yürütülen çalışmada, artan düzeylerde uygulanan AÇ bitkide kontrole kıyasla Cd, krom (Cr), Pb, nikel (Ni), arsenik (As), kobalt (Co) konsantrasyonlarında artışa neden olduğu bulunmuştur. Ancak AÇ ve bor (B) uygulamalarının fasulye bitkisinin As, Cd ve Pb içeriğinde düşüşe neden olduğu ifade edilmiştir. Turp bitkisi ile yürütülen bir başka çalışmada, AÇ'nin biyokömür haline getirilerek %5 düzeyinde toprağa uygulanması, turp bitkisinde ağır metal düzeylerinin güvenli seviyede kalmasında etkili olduğunu ifade etmişlerdir (Radwaniecka ve ark., 2025).



Şekil 3. Ahır gübresi ve artan düzeylerde arıtma çamurunun turp bitkisinin yaprak Cd içeriğine etkisi. Sütunların üstündeki farklı harfler, Duncan testine göre anlamlı farklılıkları göstermektedir $*(p \leq 0.05)$ AÇ:arıtma çamuru.



Şekil 4. Ahır gübresi ve artan düzeylerde arıtma çamurunun turp bitkisinin yaprak Cr içeriğine etkisi. Sütunların üstündeki farklı harfler, Duncan testine göre anlamlı farklılıkları göstermektedir $** (p \leq 0.05)$ AÇ:arıtma çamuru.



Şekil 5. Ahır gübresi ve artan düzeylerde arıtma çamurunun turp bitkisinin yaprak Pb içeriğine etkisi. Sütunların üstündeki farklı harfler, Duncan testine göre anlamlı farklılıkları göstermektedir * $(p \leq 0.05)$ AÇ:arıtma çamuru.

4. Sonuç ve Öneriler

Genel olarak arıtma çamurunun bertarafının önemli olduğu günümüzde inorganik gübrelerin maliyetinin yüksek olması nedeniyle erişimin düşük olması insanları eldeki kaynakları farklı alanlarda kullanmaya yöneltmektedir. Arıtma çamurunun yüksek N içeriği ve düşük C/N oranı, muhtemelen organik maddenin hızlı mineralizasyonunu teşvik ederek toprakta mikrobiyel aktiviteyi ve besin döngüsünü artırmıştır. Bu süreç, turp bitkisinde taze biyokütle üretiminin artmasına önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Buna karşılık, ahır gübresinin C/N oranının yüksek olması nedeniyle, azotu daha yavaş serbest bırakması turp bitkisinin büyüme döngüsü sırasında sınırlı etkiye neden olmaktadır. Bununla birlikte, kontrolle benzer etki görülmesine neden olmuştur. AÇ'nin hektar başına 7.5 ton da⁻¹ uygulanması, hem sürgün hem de yumru taze ağırlığında önemli ölçüde artışa neden olmuştur. Daha da ötesinde, toprak, kök ve yaprak dokularında mikro besin maddelerinin alımında artış sağlamıştır. AÇ'nin 7.5 ton da⁻¹ düzeyi, turp bitkisi Cd, Pb ve Cr içeriğinde artışa neden olsa da güvenli sınırları aşmamıştır. Toprakta ağır metal birikimi, izin verilen sınır değerlerinin oldukça altındadır (TÇV, 2010). Turp bitkisinde 7.5 ton da⁻¹ AÇ uygulaması güvenli kabul edilmekle birlikte, bazı toprak özelliklerine etki ederek, turp (*Raphanussativus* L) bitkisinin makro ve mikro besin elementi alımını artırarak, büyüme ve gelişimini olumlu yönde etkilemektedir. Gıda güvenliği açısından uzun vadede ağır metal birikimi hem bitki hem de toprak ortamında izlenmelidir.

Yazarlar aşağıdaki beyanları kabul ederler.

Yazarların Katkı Oranı Beyanı

Mehmet Ali Bozkurt: Hipotezi ortaya koyma, deneme konularını planlama, gerekli kaynakların sağlanması, danışmanlık. **Sibel Boysan Canal:** Veri analizi, makale yazımı, görselleştirme, istatistik yöntemlerin uygulanması, makale düzeltimi ve gözden geçirme

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Bu makalenin yazarları çalışmalarında araştırma ve yayın etiğine uyduklarını beyan ederler.

Etik Kurul Beyanı

Bu makalenin yazarları çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

Yapay Zeka Kullanımı

Yazarlar, bu makalenin yazımında, görsellerin, grafiklerin, tabloların ya da bunlara karşılık gelen başlıkların oluşturulmasında herhangi bir tür üretken yapay zeka kullanmadıklarını beyan ederler.

Kaynaklar

- Adelodun, B., Kumar, P., Odey, G., Ajibade, F. O., Ibrahim, R. G., Alamri, S. A., & Choi, K. S. (2022). A safe haven of SARS-CoV-2 in the environment: Prevalence and potential transmission risks in the effluent, sludge, and biosolids. *Geoscience Frontiers*, 13(6), 101373. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101373>
- Alpaslan, M., Güneş, A., & İnal, A. (1998). *Deneme tekniği*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1501, Ders Kitabı:423, Ankara.
- Atsak, B., & Çirka, M. (2024). Arıtma çamuru ve bor uygulamalarının fasulyedeki (*Phaseolus vulgaris* L.) ağır metal ve mikro element düzeyleri üzerine etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(3), 944-957.
- Banjoko, B., & Sridhar, C. M. K. (2016). Upgrading wastewater treatment systems for urban water reuse. *Urban Water Reuse Handbook*. CRC Press: Boca Raton, FL, USA, pp. 497–516.
- Bouriou, M., Alaoui-Sehmer, L., Laffray, X., Benbrahim, M., Aleya, L., & Alaoui-Sossé, B. (2015). Sewage sludge fertilization in larch seedlings: effects on trace metal accumulation and growth performance. *Ecological Engineering*, 77, 216-224.
- Bouyoucos, G. J. (1965). Plaster of paris Mockel electrical measuring unit for making a continuous measurement of soil moisture under field conditions.
- Berada, C. C., Soares, M. B., Tavanti, R. F. R., Viana, D. G., da Silva Freddi, O., Piedade, A. R., Mahl, D., Traballi, R.C., & Guerrini, I. A. (2020). Successive sewage sludge fertilization: recycling for sustainable agriculture. *Waste Management*, 109, 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.045>
- Çakır, H. N., & Çimrin, K. M. (2018a). Kentsel arıtma çamur uygulamalarının etkisi: I. mısır bitkisi ve topraktaki bazı besin maddesi (N, P, K, Ca, Mg) içerikleri üzerine etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(6), 882-890. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.452930>
- Çakır, H. N., & Çimrin, K. M. (2018b). Kentsel arıtma çamuru uygulamalarının etkisi; II. mısır bitkisi ve toprağın mikro besin element ve ağır metal içerikleri üzerine etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(6), 891-901. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.452931>
- Çakır, H. N., & Çimrin, K. M. (2020). The effect of sewage sludge applications on the growth of maize (*Zeamays* L.) and some soil properties. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(2), 321-327. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.565751>
- Chrystal, J. M., Smith, L. C., Monaghan, R. M., Hedley, M., & Horne, D. (2016). Effects of applying dairy wintering barn manure of differing C:N ratios directly to pasture on N mineralisation and forage growth. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 59(3), 324-331. <http://dx.doi.org/10.1080/00288233.2016.1188131>
- daSilva, W. R., do Nascimento, C. W. A., da Silva, F. B. V., de Souza, A. A. B., Fracetto, G. G. M., & de SáVelosoXimenes, D. H. (2021). Effects of sewage sludge stabilization processes on soil fertility, mineral composition, and grain yield of maize in successive cropping. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(2), 1076-1088. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00423-1>
- Demir, E., & Çimrin, K. M. (2011). Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırın gelişimi, besin elementi ve ağır metal içerikleri ile bazı toprak özelliklerine etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 17(3), 204-216.

- Dikici, H., Qader, R. K., & Demir, Ö. F. (2017). Karbon/azot oranının organik toprakların bazı özellikleri üzerine etkisi. *Toprak Su Dergisi*, 66-70.
- Eyüpoğlu, F. (1999). *Türkiye topraklarının verimlilik durumu*, Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları, yayın No: 220. Ankara.
- Eid, E. M., El-Bebany, A. F., Taher, M. A., Alrumman, S. A., Galal, T. M., Shaltout, K. H., & Ahmed, M. T. (2020). Heavy metal bioaccumulation, growth characteristics, and yield of *Pisumsativum* L. grown in agricultural soil-sewage sludge mixtures. *Plants*, 9(10), 1300. <https://doi.org/10.3390/plants9101300>
- Eid, E. M., Shaltout, K. H., Alamri, S. A., Alrumman, S. A., Hussain, A. A., Sewelam, N., & Barcelo, D. (2021). Prediction models based on soil properties for evaluating the uptake of eight heavy metals by tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in agricultural soils amended with sewage sludge. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 105977. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105977>
- Games, P. A., & Howell, J. F. (1976). Pair wise multiple comparison procedure with unequal n's and or variances: a Monte Carlo study. *Journal of Educational Statistics*, 1(2), 113-125. <https://doi.org/10.3102/10769986001002113>
- Gezer, E., Konukcu, F., Adiloğlu, A., & Dinçer, A. R. (2023). Mısır bitkisinin ikinci ürün ve silajlık olarak yetiştirilmesinde kullanılan arıtma çamurunun topraktaki makro besin elementleri üzerine etkisi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 7(4), 798-808.
- Gezer, E., Konukcu, F., Adiloğlu, A., & Dinçer, A. R. (2024). Arıtma çamuru uygulamalarının topraktaki bazı mikro besin elementleri üzerine etkisi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 8(1), 197-205.
- Hafeez, B., Khanif, Y. M., & Saleem, M. (2013). Role of zinc in plant nutrition-A Review. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(2), 374-391. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2013/2746>
- Hızalan, E., & Ünal, H. (1966). *Topraklarda Önemli Kimyasal Analizler*. AÜ Ziraat Fakültesi Yayınları, 278.
- Hilbe, J. M. (2005). A review of SPSS, part 3: Version 13.0. *The American Statistician*, 59, 185.
- İbrikçi, H., Gülüt, Y. K., & Güzel, N. (1994). *Gübrelemede Bitki Analiz Tekniği*. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. No: 95. Adana 85
- İnce, E. R., & İnal, F. E. (2024). Kentsel Arıtma Çamurunun Ispanak Bitkisinin Gelişimi ve Mineral Besin Elementi İçeriğine Etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2), 119-127.
- Jackson, M. L. (1958). *Soil chemical analysis prentice hall*, inc. New Jersey, USA.
- Jones, J. B., Wolf B., & Mills H. A. (1991). *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing, Inc., USA, 213p.
- Kacar, B. (1994). Bitki ve toprağın kimyasal analizleri: III Toprak analizleri. AÜ Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No: 3, Ankara, Türkiye, pp: 705.
- Kacar, B., (2019). *Sürdürülebilir tarımda mikro besin maddeleri*. Nobel Yayıncılık.No.:148. Ankara.
- Khan, K. D., & Frankland, B. (1983). Chemical forms of Cd and Pb in some contaminated soils. *Environ Pollut*, 6: 15-31.
- Khatri, K. B., Ojha, R. B., Pande, K. R., & Khanal, B. R. (2019). The effects of different sources of organic manures in growth and yield of radish (*Raphanussativus* L.). *International journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 7(1), 39-42. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v7i1.22472>
- Kominko, H., Gorazda, K., & Wzorek, Z. (2022). Effect of sewage sludge-based fertilizers on biomass growth and heavy metal accumulation in plants. *J. Environ. Manag.*, 305, 114417. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114417>
- Kumar, V., Chopra, A. K., & Srivastava, S. (2016). Assessment of heavy metals in spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown in sewage sludge-amended soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(2), 221-236. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1122799>
- Kumar, P., Alamri, S. A., Alrumman, S. A., Eid, E. M., Adelodun, B., Goala, M., Choi, K. S. & Kumar, V. (2022). Foliar use of TiO₂-nanoparticles for okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) cultivation on sewage sludge-amended soils: biochemical response and heavy metal accumulation. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(44), 66507-66518. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20526-1>
- Lakhdar, A., Iannelli, M. A., Debez, A., Massacci, A., Jedidi, N., & Abdelly, C. (2010). Effect of municipal solid waste compost and sewage sludge use on wheat (*Triticum durum*): growth,

- heavy metal accumulation, and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(6), 965-971. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3904>
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 42, 421-428.
- Müftüoğlu, N. M., Türkmen, C., & Çıkılı Y. (2014). *Toprak ve Bitkide Verimlilik Analizleri*. Nobel Yayınları No: 994, Ankara.
- Myrold, D. D., & Bottomley, P. J. (2008). Nitrogen mineralization and immobilization. *Nitrogen in Agricultural Systems*, 49, 157-172.
- Olsen, S. R., Cole C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep Agric Circ, 939, USDA, Washington, DC, USA, pp: 1-47.
- Onchoke, K. K., Urasa, I. T., & Shipes, B. G. (2018). Influence of composted waste water sludge (CWS) on lead and copper uptake by radish (*Raphanussativus* L.). *Compost Sci Util.*, 26:244–255. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2018.1496044>
- Preacher, K. J., & Hayes, A. F. (2008). Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. *Behavior Research Methods*, 40(3), 879-891. <https://doi.org/10.3758/BRM.40.3.879>
- Radwaniecka, E., Chwiałkowski, W., Mulkiewicz, E., & Kumirska, J. (2025). Impact of biochar from sewage sludge on vegetable growth and metal uptake: an example of radish and butter head lettuce. *Naft. Gaz*, 81, 117-127.
- Swierczek, L., Cieślík, B. M., & Konieczka, P. (2018). The potential of raw sewage sludge in construction Industry—A Review. *Journal Clean. Prod.*, 200, 342–356. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.188>
- TÇV (2010). *Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelik*: Erişim tarihi: 19-03-2025. <http://www.cevre.org.tr/Tcm/Yonetmelikler> Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik.
- Vural, H., Eşiyok, D., & Duman, İ. (2000). Kültür Sebzeleri, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları* Basım Evi, Bornova-İzmir.
- Walkley, A. (1947). A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: effect of variation in digestion condition and inorganic soil constituent. *Soil.Sci.*, 63, 251-263.