

Kentsel Atık Su Arıtma Çamuru Uygulamalarının Anadolu Sığla Ağacı'nda (*Liquidambar orientalis*) Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri*

Gülbin ÇETİNKALE DEMİRKAN^{1,**}

Zerrin SÖĞÜT²

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Niğde, Türkiye

² Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana, Türkiye

**Sorumlu yazar: E-mail: gulcetinkale@gmail.com

Geliş Tarihi (Received): 10.02.2017

Kabul Tarihi (Accepted): 13.07.2017

Bu çalışmada Gökova–Akyaka Atık Su Arıtma Tesisi'nden alınan atık su arıtma çamurunun Anadolu Sığla Ağacı'nda (*Liquidambar orientalis* Mill.) bitki gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Denemede, arıtma çamuru 2 yıl boyunca 4 ayda bir toprağa serpmeye yöntemiyle, toplamda 12 kez, her bir dozda 20 kg/m² olarak uygulanmıştır (0 kg/m²/yıl, 20 kg/m²/yıl, 40 kg/m²/yıl, 60 kg/m²/yıl). Bu amaçla bitki boyu, gövde çapı, yaprak rengi ve yapraklarda bazı bitki besin elementleri ve ağır metal analizleri yapılmıştır. İki yıllık uygulamanın sonucunda bitki boyunda en yüksek boy artışı arıtma çamurunun yılda 20 kg/m² uygulanan bitkilerden, en fazla gövde çapı kalınlaşması 40 kg/m² uygulanan bitkilerden ve en koyu yaprak rengi ise 60 kg/m² uygulanan bitkilerden elde edilmiştir. Yapraklarda yapılan analizler sonucunda ise nikel ve kurşun miktarının toksik değerlerde olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde; arıtma çamuru kullanımının *L. orientalis* türünde 20 kg/m²/yıl dozunu aşmayacak şekilde kullanımının uygun olduğu ve bu miktarda bitkilerde zararlı etkilerin ortaya çıkmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arıtma Çamuru, *Liquidambar orientalis*, Yeniden Kullanım

*Bu çalışma doktora tezinden üretilmiştir.

Effects of Sewage Sludge Applications on Plant Growth of *Liquidambar orientalis* Species

In this research, it was aimed to determine the effects of usage taken sewage sludge from Gökova–Akyaka Wastewater Treatment Plant on plant growth of *Liquidambar orientalis* species. In the experiment, sewage sludge was applied as 20 kg m² year⁻¹ dose and totally 12 times once in four months during two years (0 kg m² year⁻¹, 20 kg m² year⁻¹, 40 kg m² year⁻¹, 60 kg m² year⁻¹). For this reason plant height, body diameter, leaf color, some plant nutrients and heavy metals analyses were done. As a result of two year application, the highest length of plant obtained on the plants in a year which sewage sludge applied 20 kg m² year⁻¹, the most thickening on body diameter of the plants applied 40 kg m² year⁻¹, the darkest leaf color of the plants applied 60 kg m² year⁻¹. As a result of analysis, it was determined that nickel and lead have toxic values. When the results are determined; it was found out that it was suitable to use up to 20 kg m² year⁻¹ sewage sludge on *L. orientalis* and it did not cause any harm on this species.

Key Words: Sewage Sludge, *Liquidambar orientalis*, Reuse

Giriş

Doğada denge içerisinde yaşamını devam ettiren canlılar birbirleri ile sürekli etkileşim halindedirler. Bu doğal denge farklı faktörler aracılığı ile bozulabilir de doğal faktörlerin etkisi altında kaldığında sistem içerisinde yeniden denge sağlanabilmektedir. Ancak, nüfus artışı ve buna paralel olarak insanların doğa ve çevreyi aşırı derecede sömürmelerinin etkisiyle, giderek azalan ve kirlenen doğal kaynaklar sonucunda bozulan dengenin yeniden kurulması neredeyse mümkün

olmayan bir hal almıştır. Bu doğrultuda giderek artan atık miktarları farklı çevre kirliliklerini de beraberinde getirerek, çevre ve doğa üzerindeki olumsuz etkilerin her geçen gün artmasına sebep olmaktadır.

Farklı kaynaklardan doğan ve kaynağına göre çeşitlilik gösteren atıkların bir kısmının yeniden kullanılması bir çözüm niteliği taşımakta ve bu şekilde hem atıkların giderimi hem de ülke ekonomisine katkılar sağlanmaktadır. Kentlerdeki nüfus artışı çeşitli kullanımlar sonucunda oluşan atık suların arıtılması konusunda atık su arıtma

tesislerinin yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu tesislerde arıtma işlemi sürecinde kendiliğinden çöken, sıvı ya da yarı katı halde, kokulu, atık suyun arıtımından kalan birçok kirletici etmeni de içeren, uygulanan arıtma yöntemine göre ağırlıkça % 0.25 ile % 12 katı madde içeren atıklar "ham çamur" olarak adlandırılmaktadır (Riffat, 2012). Arıtma çamurlarının ham çamur olarak kullanımı, 27661 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik"te yasaklanmıştır. Bu nedenle ham çamurlar stabilize edildikten sonra kullanılabilir hale getirilmekte ve bu işlemden sonra oluşan çamurlar "arıtma çamuru" olarak adlandırılmaktadır (Angın, 2016). Çevreye duyarlı bir şekilde yok edilmesi gereken bu çamurlar tarımsal gübre ve toprak iyileştiricisi olarak tarımsal alanlar, ormanlık alanlar, bozulmuş alanlar, park-bahçe ve rekreasyon alanlarında kullanılabilir. Ayrıca biyogaz, ısı ve elektrik elde etmede, çimento üretiminde ek yakıt olarak da kullanılabilir (Ayvaz, 2000). Kaynağına bağlı olarak bünyesinde belirli miktarlarda toksik madde, ağır metal, patojen mikroorganizma ve parazitik organizma yumurtalarını içerebildiği için kullanım öncesinde analizlerinin yapılması gerekmektedir. Her ülkenin arıtma çamurlarının kullanımında çeşitli sınırlamaları kapsayan yönetmelikleri bulunmaktadır (Martinez ve ark., 2002; Shober, 2003; Dolgen ve ark., 2007). İlgili yönetmeliklerdeki sınır değerleri dikkate alınarak, kullanım sırasında ve sonrasında ciddi denetimler de gerekmektedir. Arıtma çamurlarının yasal sınır değerlerine uygunluğu belirlendikten sonra verimi düşük topraklar ile süs bitkisi yetiştiriciliğinde toprak düzenleyici ve organik gübre kaynağı olarak kullanımı gerçekleştirilmektedir (Akat ve ark., 2013a; Demirkan ve ark., 2014). Bu konuda yapılan birçok araştırma ile arıtma çamurlarının kullanımının çevre ve doğa üzerine binen yükün azaltılmasında ve çeşitli ekonomik katkılar sağlanmasında fikir birliğine varılmaktadır (Garcia-Gomez ve ark., 2002; Grigatti, 2007; Pathak ve ark., 2009; Katkat ve Aşık, 2010; Akat ve ark., 2013b; Çetinkale Demirkan ve ark., 2013; Akat ve ark., 2015a; Akat ve ark., 2015b).

Bu katkılar doğrultusunda ucuz ve uygulanabilir bir çözüm niteliği taşıyan arıtma çamurunun tarımsal alanlarda kullanımının, gıda olarak tüketiminin olmadığı süs bitkisi türlerinde tercih edilerek, çamur bertarafının sağlanması hedeflenmiştir. Belirtilen amaç doğrultusunda ülkemize ait

endemik bir bitki olan Anadolu Sığla Ağacı'nda (*Liquidambar orientalis* Mill.) arıtma çamuru uygulamalarının bitki gelişimi ile yaprakta bazı bitki besin elementi ve ağır metal içeriği üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

Materyal ve Yöntem

Araştırma 24.03.2012 - 18.06.2014 tarihleri arasında, Muğla-Ortaca Belediyesi Park Bahçeler Ünitesine ait açık alanda yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak, Gökova Orman Fidanlığı'ndan temin edilen üç yaşlı toplamda 96 adet *L. orientalis* fidanı kullanılmıştır. Arıtma çamuru Gökova-Akyaka Atık Su Arıtma Tesisi'nden temin edilmiştir. Çalışma süresince tesisten alınan arıtma çamuru ile deneme alanındaki toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri analizlerle belirlenmiştir (Çizelge 1)

Araştırma, tesadüf parsellerinde bölünen bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak toplam 12 parselde yürütülmüştür. Parsellerin oluşturulması sonrasında her parselde 8 bitki olacak şekilde dikimler yapılmıştır. İki yıl boyunca yılda üç kez uygulanan arıtma çamuru, kontrol parselleri hariç her seferinde m²'ye 20 kg olacak şekilde toprak üzerine serpilmiştir. Arıtma çamuru uygulamasının başladığı Haziran ayında 9 parselin her birine 20 kg/m², Ekim ayında 6 parselde tekrar 20 kg/m² ve Şubat ayında 3 parselde yine 20 kg/m² arıtma çamuru serpilmiştir. Bu şekilde toplam uygulama dozları verilmiş ve D0 (kontrol: 0 kg/m²/yıl), D1 (20 kg/m²/yıl), D2 (40 kg/m²/yıl), D3 (60 kg/m²/yıl) olarak adlandırılmıştır (Çizelge 2).

İlk çamur uygulaması ile birlikte iki yıl boyunca her ay bitki boyu (cm), gövde çapı (mm) ve yaprak rengine (Skala Değeri: 1: Sarımsı Yeşil, 2: Yeşil, 3: Koyu Yeşil) ait veriler toplanmıştır. Her yılın sonunda (Haziran 2013 ve Haziran 2014) yaprak örnekleri alınarak analizler yapılmıştır. Toplam azot (%), demir, bakır, çinko, mangan, nikel, kurşun ve kadmiyum miktarları analiz edilmiştir. Bitkilerin bulunduğu parsellerdeki 8 bitkinin hepsinden yaprak örnekleri alınmıştır. Alınan örnekler etüvde 65 °C'de 48 saat tutulduktan sonra öğütme makinesi ile öğütülmüş ve kese kağıtlarına koyularak Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'ne ait laboratuvara analizleri yapılmak üzere teslim edilmiştir.

Çizelge 1. Arıtma çamuru ve toprağa ilişkin bazı fiziksel ve kimyasal özellikler

Table 1. Some physical and chemical properties of sewage sludge and soil

Parametre	Toprak		Arıtma Çamuru	Sınır Değer*
	0-30 cm	30-50 cm		
pH	8.14	7.96	7.34	-
EC (µS/cm)	53.4	67.2	1194	-
Organik Madde (%)	6.81	6.22	74.99	-
C/N Oranı	-	-	11.60	-
Toplam Azot (mg/g)	840	620	3750	-
Toplam Fosfor (mg/kg)	1518	653	3715	-
Toplam Potasyum (mg/kg)	629.7	473	1081	-
Toplam Alüminyum (mg/kg)	-	-	2575	-
Toplam Demir (mg/kg)	-	-	5252	-
Toplam Bakır (mg/kg)	-	-	15.81	1000
Toplam Kadmiyum (mg/kg)	-	-	0.77	10
Toplam Kurşun (mg/kg)	-	-	9.33	750
Toplam Nikel (mg/kg)	-	-	41.04	300

* Resmi Gazete, 03.08.2010 Tarihli Çevre ve Orman Bakanlığı 27661 sayılı "Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik"

Çizelge 2. Arıtma Çamuru Uygulamaları ve Tarihleri

Table 2. Applications and Dates of Sewage Sludge

Uygulamalar	Uygulama Tarihleri
Kontrol: Arıtma çamuru uygulanmamış parseller.	-
D1: Yılda 1 kez arıtma çamuru uygulaması (20 kg/m ²)	1. yıl: 18.06.2012 2. yıl: 18.06.2013
D2: Yılda 2 kez arıtma çamuru uygulaması (40 kg/m ²)	1. yıl: 18.06.2012, 18.10.2012 2. yıl: 18.06.2013, 18.10.2013
D3: Yılda 3 kez arıtma çamuru uygulaması (60 kg/m ²)	1. yıl: 18.06.2012, 18.10.2012, 18.02.2013 2. yıl: 18.06.2013, 18.10.2013, 18.02.2014

Laboratuvarında bitki örneklerinde; toplam azot analizi, modifiye edilmiş Kjeldahl metoduna göre; toplam Fe, Cu, Zn, Mn miktarları yaş yakma yöntemi (4 kısım HNO₃ + 1 kısım HClO₄) ile elde edilen ekstraktın; toplam Cd, Ni ve Pb analizlerinde ise 500–550 oC'de kül haline getirilen bitki örneklerinin 2 N HCl ile elde edilen ekstraktın atomik absorpsiyon spektrometresinde okunması sonucuyla belirlenmiştir (Slawin, 1955; Isaac ve Kerber, 1969; Kacar, 1972; Kacar ve İnal, 2008).

Toprak örneklerinde; eriyebilir toplam tuz saf su ile sature edilmiş toprak macununda EC-metre ile ölçülerek (Richards, 1954), asitlik, saf su ile sature edilmiş toprak macununda cam elektrotlu Beckman pH metresi ile elektrometrik olarak ölçülmüş, organik madde içeriğinin hesaplanmasında ise Reuterberg ve Kremkus yöntemine göre saptanan organik karbon kapsamlarından yararlanılarak bulunan karbon değerleri 1.724 sabiti ile çarpılmış ve örneklerde

oransal (%) organik madde hesaplanmıştır (Black, 1965). Toplam azot değerinin belirlenmesinde Bremner ve Schaw'ın modifiye makro kjeldahl metodu (Bremner, 1965) uygulanmıştır. C/N oranı organik madde ve toplam azot analizleri sonucu hesaplama yoluyla belirlenmiştir. Ağır metal içeriği ise kral suyu ekstraksiyon yöntemine göre elde edilen ekstraktın, Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde okunması sonucu belirlenmiştir (Kick ve ark., 1980; Slawin, 1955).

Elde edilen sayısal veriler istatistiksel olarak SPSS 15.0 paket programı kullanılarak analiz edilmiş; önemlilikler Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi'ne göre belirlenmiştir. Yaprak rengine ait veriler ise güvenilirlik analizini geçemediği için skala değeri ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 3. Atık Su Arıtma Çamurunun Bitki Boyu Artış Ortalamalarına Etkisi

Table 3. Effects of sewage sludge on the average increase of plant height

	Tarihler	Bitki Boyundaki Artışları (cm)				Önem Derecesi
		D0	D1	D2	D3	
I. Yıl	Temmuz	8.79 ^a	7.40 ^a	4.56 ^b	8.45 ^a	0.013**
	Ağustos	8.04	7.59	5.73	8.90	Öd
	Eylül	3.16 ^a	1.27 ^b	1.13 ^b	0.45 ^b	0.000**
	Ekim	1.50 ^b	1.81 ^b	2.86 ^b	6.59 ^a	0.000**
	Kasım	0.95 ^b	1.00 ^b	1.82 ^b	4.50 ^a	0.000**
	Mart	1.50	1.72	2.26	1.90	Öd
	Nisan	7.04	6.36	3.43	5.27	Öd
	Mayıs	7.62	5.81	6.56	7.95	Öd
	Haziran	7.00	5.63	4.95	4.31	Öd
	I. Yıl Ortalama Boy Artışı	5.07	4.29	3.71	5.37	-
I. Yıl Boy Uzaması	45.63	38.64	33.35	48.36	-	
II. Yıl	Temmuz	5.50 ^{ab}	6.90 ^a	5.65 ^{ab}	3.95 ^b	0.25*
	Ağustos	9.08	8.00	10.69	4.54	Öd
	Eylül	4.33	5.36	5.34	3.36	Öd
	Ekim	2.20	3.27	2.78	1.81	Öd
	Kasım	1.25	2.40	1.17	0.90	Öd
	Mart	4.54	4.72	6.04	2.50	Öd
	Nisan	8.79	12.40	7.34	6.77	Öd
	Mayıs	17.08	21.77	19.60	18.40	Öd
	Haziran	20.91	27.81	24.26	20.86	Öd
	II. Yıl Ortalama Boy Artışı	8.19	10.30	9.21	7.02	-
II. Yıl Boy Uzaması	68.21	85.77	77.26	59.19	-	
Deneme Sonu Ortalama Boy Artışı	8.13	7.29	14.92	6.19	-	
Deneme Sonu Boy Uzaması	113.84	124.41	110.61	107.55	-	
Deneme Sonu Boy Artış Oranı (%)	109.27	109.59	86.31	92.53	-	

D0: 0 kg/m² yıl (Kontrol) D1: 20 kg/m² yıl D2: 40 kg/m² yıl D3: 60 kg/m² yıl

Bulgular ve Tartışma

Bitki Boyu: Boy artışlarının aylık ortalamaları incelendiğinde, I. yıl Temmuz, Eylül, Ekim ve Kasım aylarındaki artışlar $p < 0.01$ önem düzeyinde, II. yılda ise yalnızca Temmuz ayındaki artış $p < 0.05$ önem düzeyinde istatistiksel olarak farklılık göstermiştir (Çizelge 3).

En fazla aylık ortalama boy artışı I. yılın sonunda 5.37 cm ile D3 (60 kg/m²/yıl) dozunda elde edilmiş, bu değeri kontrol bitkilerindeki artış (5.07 cm) izlemiştir. En fazla boy artışı da sırasıyla aynı uygulamalarda (D3 dozu: 48.36 cm; D0 dozu: 45.63 cm) belirlenmiş; D1 (38.64 cm) ve D2 (33.35 cm) dozları uygulanan bitkilerde toplam boy artışı daha az olmuştur. II. yılın sonunda ilk yılın aksine en yüksek doz uygulaması (D3) yapılan bitkilerde kontrol bitkilerine göre daha az boy artışı olmuş;

D1 (10.30 cm) ve D2 (9.21 cm) dozları uygulanan bitkilerde ise kontrole göre bitki boyu artışı daha fazla olmuştur. Deneme sonunda iki yıllık verilere göre en fazla boy uzaması sırasıyla D1 (124.41 cm), D0 (113.84 cm), D2 (110.61 cm) ve D3 (107.55 cm) dozları uygulanan bitkilerdedir. D2 ve D3 dozları uygulanan bitkiler kontrol bitkilerine göre daha kısa boy oluşturmuştur. I. yıl en yüksek çamur dozu uygulaması bitki boyu artışını olumlu etkilemiş, ancak II. yıl aynı etki devam etmemiştir. Sonuç olarak yılda bir kez uygulamanın (D1: 20 kg/m²/yıl) çamurdaki besin elementlerinden yararlanarak bitki boyu uzamasını olumlu etkilediği ifade edilebilir. Denemeden elde edilen bu bulgular ile Hernandez-Apaolaza ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada *Cupressus arizonica* ve *C. sempervirens* türlerinde, Larchevêque ve ark. (2006)'nın *Pinus halepensis* ve *Quercus ilex*

türlerinde 20 kg/m² dozunun maksimum boy artışını verdiği bulguları benzerlik göstermektedir.

Gövde Çapı: Türe ait fidanların gövde çaplarının artış ortalamaları üzerine arıtma çamuru uygulamalarının I. yıl Nisan ve Mayıs ayları dışında

diğer aylarda istatistiksel olarak önemli farklılıklar oluşturduğu, II. yıl içinde ise istatistiksel önemli çap artışı farklılıklarının sadece Eylül, Ekim ve Mart aylarında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Arıtma Çamurunun Gövde Çapı Artış Ortalamalarına Etkileri

Table 4. Effects of sewage sludge on the average increase of body diameter

	Tarihler	Gövde Çapındaki Artışları (mm)				Önem Derecesi
		D0	D1	D2	D3	
I. Yıl	Temmuz	0.05 ^c	0.12 ^{ab}	0.14 ^a	0.09 ^b	0.000**
	Ağustos	0.03 ^c	0.12 ^a	0.11 ^a	0.08 ^b	0.000**
	Eylül	0.03 ^c	0.15 ^a	0.11 ^b	0.07 ^c	0.000**
	Ekim	0.24 ^c	0.50 ^b	0.81 ^a	0.66 ^{ab}	0.000**
	Kasım	2.05 ^b	3.62 ^a	3.28 ^a	3.15 ^a	0.001**
	Mart	3.50 ^a	2.52 ^a	2.04 ^b	3.40 ^a	0.030*
	Nisan	2.23	2.86	2.57	2.92	Öd
	Mayıs	2.36	2.36	2.05	2.15	Öd
	Haziran	4.59 ^a	2.84 ^c	3.23 ^{bc}	4.22 ^{ab}	0.002**
	I. Yıl Ortalama Çap Artışı	1.68	1.68	1.59	1.86	-
I. Yıl Çap Kalınlaşması	15.12	15.14	14.38	16.78	-	
II. Yıl	Temmuz	3.59	3.79	3.67	3.77	Öd
	Ağustos	3.21	4.01	4.13	3.87	Öd
	Eylül	1.00 ^b	1.12 ^b	1.80 ^a	1.05 ^b	0.043*
	Ekim	0.78 ^b	0.98 ^b	1.42 ^a	0.70 ^b	0.005**
	Kasım	0.69	0.73	0.85	0.58	Öd
	Mart	1.23 ^b	1.26 ^b	2.35 ^a	0.90 ^b	0.032*
	Nisan	3.17	2.89	2.33	1.78	Öd
	Mayıs	1.70	2.93	3.15	2.70	Öd
	Haziran	1.98	3.59	2.86	3.60	Öd
	II. Yıl Ortalama Çap Artışı	1.93	2.37	2.51	2.11	-
II. Yıl Çap Kalınlaşması	13.79	17.55	18.92	15.22	-	
Deneme Sonu Ortalama Çap Artışı	1.81	1.86	2.05	1.99	-	
Deneme Sonu Çap Kalınlaşması	28.91	32.69	33.10	32.00	-	
Deneme Sonu Çap Artış Oranı (%)	747.12	801.75	670.70	934.20	-	

D0: 0 kg/m².yıl (Kontrol) D1: 20 kg/m².yıl D2: 40 kg/m².yıl D3: 60 kg/m².yıl

I. yıl gövde çapı artış ortalamaları incelendiğinde, en fazla artış D3 (1.86 mm), en düşük artış da D2 (1.59 mm) dozlarında belirlenmiştir. I. yılın sonunda en fazla gövde çapı artışı sırasıyla D3 (16.78 mm), D1 (15.14 mm), D0 (15.12 mm) ve D2 (14.38 mm) dozları uygulanan bitkilerdedir. I. yılın sonunda en yüksek arıtma çamuru dozu (D3) uygulaması ile yılda bir kez yapılan arıtma çamuru (D1) uygulaması, gövde çapını kontrol bitkilerine göre artırmıştır. Arıtma çamurunun yılda iki kez uygulanması (D2) durumunda ise bitkilerde gövde çapı artışı kontrol bitkilerine göre daha az olmuştur. II. yılın sonunda, aynı boy artışında olduğu gibi ilk yılın aksine en yüksek doz

uygulaması (D3) yapılan bitkilerde kontrol bitkilerine göre daha az gövde çapı artışı olmuş; D2 (2.51 mm) ve D1 (2.37 mm) dozları uygulanan bitkilerde ise kontrole göre gövde çapı artışı daha fazla olmuştur. Deneme sonunda iki yılda en fazla gövde çapı artışı sırasıyla D2 (33.10 mm), D1 (32.69 mm), D3 (32.00 mm) ve D0 (28.91 mm) dozları uygulanan bitkilerdedir. Arıtma çamurunun tüm dozlarında kontrol bitkilerine göre daha kalın çap oluşmuş, fakat gövde çapı artış oranları en fazla D3 uygulaması (%934.20), en az D2 (%670.90) uygulaması yapılan bitkilerde belirlenmiştir. Elde edilen veriler yılda üç kez yapılan arıtma çamuru uygulamasının (D3: 60

kg/m²/yıl) gövde çapını artırmada daha etkili olduğunu göstermektedir. Kontrol bitkilerine göre elde edilen bu olumlu etkilere benzer sonuçlar *Cupressus macrocarpa* 'Gold Crest' (Özdemir ve ark, 2005), *Pinus pinaster* (Manas ve Castro, 2008) ve *Pinus radiata* (Ferreiro-Dominguez ve ark., 2014) bitkilerinde de elde edilmiştir.

Yaprak Rengi: Elde edilen sonuçlara göre renk analizleri istatistiksel güvenilirlik analizini geçemediği için değerlendirilmedi ortalamaları kullanılmıştır (Çizelge 5). Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulanan *L. orientalis* türü fidanlarının yapraklarında ilk yıl (2012) Ağustos ayı itibarıyla

başlayan renk değişimleri deneme sonuna kadar sürmüştür; I. ve II. yılın sonlarında yaprak renginin doz artmasına paralel olarak kontrole göre daha koyu olduğu belirlenmiştir. Ancak II. yılda belirlenen yaprak renklerindeki koyulaşma I. yıldan daha fazladır. Sonuç olarak arıtma çamuru uygulamalarının yaprak renklerinde kontrole göre belirgin olarak daha koyu yeşil renge neden olduğu ifade edilebilir. Ek olarak her iki yılda da sonbaharda görülen sarı yaprak rengi arıtma çamuru uygulanan bitkilerde kontrol grubuna göre daha koyu olmuştur.

Çizelge 5. Arıtma Çamurunun Yaprak Rengine Etkileri

Table 5. Effects of sewage sludge on leaf color

	Tarih	Renk Değişimleri*			
		D0	D1	D2	D3
I. Yıl	Haziran	2.00	2.00	2.00	2.00
	Temmuz	2.00	2.00	2.00	2.00
	Ağustos	2.00	1.33	2.00	1.33
	Eylül	2.33	2.08	3.00	2.87
	Ekim	2.00	2.00	3.00	2.91
	Kasım	1.00	2.25	3.00	2.83
	Mart	2.00	2.58	2.00	2.79
	Nisan	2.00	2.37	2.58	2.95
	Mayıs	2.00	2.45	2.37	2.83
	Haziran	2.00	2.87	2.75	3.00
I. Yıl Renk Ortalamaları		1.93	2.19	2.47	2.55
II. Yıl	Temmuz	2.00	2.62	3.00	2.75
	Ağustos	2.41	3.00	2.78	2.75
	Eylül	2.08	3.00	2.95	3.00
	Ekim	2.08	2.04	2.95	3.00
	Kasım	1.00	1.87	2.00	2.45
	Mart	1.91	2.62	2.16	2.33
	Nisan	2.00	3.00	2.33	2.54
	Mayıs	2.54	3.00	2.87	2.75
	Haziran	2.00	2.04	2.91	2.95
	II. Yıl Renk Ortalamaları		2.00	2.57	2.66
Deneme Sonu Renk Ortalamaları		1.96	2.38	2.56	2.63

D0: 0 kg/m²/yıl (Kontrol) D1: 20 kg/m²/yıl D2: 40 kg/m²/yıl D3: 60 kg/m²/yıl*1: Sarımsı Yeşil, 2: Yeşil, 3: Koyu Yeşil

Yapraktaki koyu yeşil renk ile daha koyu sonbahar sarı rengi bulgusu bitkinin görsel niteliğini artırabilen niteliklerdir. Bu bulgular, Küçükhemek ve ark. (2005) ve Çetinkale ve Söğüt (2010) ve Çetinkale Demirkan ve ark. (2013) tarafından da elde edilen çim alanlarda arıtma çamurunun daha koyu renk oluşturduğu bulgusuyla paralellik göstermektedir.

Besin Elementi ve Ağır Metal Birikimi: *L. orientalis* türünden alınan yaprak örneklerinde saptanan bazı besin elementleri ile ağır metal düzeyleri Çizelge 6'da verilmiştir. Bitkiler için kritik olan değerler de Kabata-Pendias (2011)'dan Çizelgeye alınmıştır. Arıtma çamurlarında çeşitli çalışmalarda saptanan Cu 50-3300 mg/kg, Zn 550-49000 mg/kg, Mn 60-9300 mg/kg, Ni 16-5300 mg/kg, Pb 33-

3000 mg/kg ve Cd 2-1500 mg/kg düzeyindedir (Kabata-Pendias, 2011). Çizelge 1'de görüleceği üzere Gökova-Akyaka Atık Su Arıtma Tesisi arıtma çamurunda bulunan Cu (15.81 mg/kg), Cd (0.77

mg/kg) ve Pb (9.33 mg/kg) miktarlarının yukarıda verilen aralıkların alt sınırından daha düşük, ancak Ni (41.04 mg/kg) miktarı bu veriler aralığındadır.

Çizelge 6. Arıtma Çamurunun Yapraklarda Bazı Element ve Ağır Metal İçeriklerine Etkisi (*Kabata-Pendias, 2011)

Table 6. Effect of sewage sludge on some elements and heavy metal content of plant leaf

Parametre	Yıl	D0	D1	D2	D3	Önem Derecesi	Toksik Değer* (mg/kg)
Toplam N (%)	I	2.00 ^b	2.25 ^a	2.39 ^a	2.47 ^a	0.010*	-
	II	1.65 ^c	1.85 ^b	2.06 ^a	2.15 ^a	0.001**	
Fe (mg/kg)	I	94.92	138.04	59.00	151.18	Öd	
	II	299.60 ^b	363.50 ^a	375.50 ^a	342.05 ^a	0.004**	
Cu (mg/kg)	I	3.83	4.55	4.38	3.45	Öd	20-100
	II	2.90 ^b	4.10 ^a	3.30 ^b	3.10 ^b	0.001**	
Zn (mg/kg)	I	30.18	21.50	20.64	20.17	Öd	100-400
	II	12.22 ^c	21.57 ^{ab}	24.05 ^a	20.27 ^b	0.000**	
Mn (mg/kg)	I	55.27	70.92	61.92	63.48	Öd	400-1000
	II	57.65 ^d	131.20 ^a	110.15 ^b	71.85 ^c	0.000**	
Ni (mg/kg)	I	8.41	9.98	10.70	12.14	Öd	10-100
	II	17.05 ^c	18.50 ^c	22.65 ^b	30.55 ^a	0.000**	
Pb (mg/kg)	I	iz	iz	iz	iz	-	30-300
	II	41.00 ^c	42.50 ^{bc}	45.00 ^b	49.00 ^a	0.001**	
Cd (mg/kg)	I	iz	iz	iz	iz	-	5-30
	II	iz	iz	iz	iz	-	
	II	iz	iz	iz	iz	-	

D0: 0 kg/m²/yıl (Kontrol), D1: 20 kg/m²/yıl, D2: 40 kg/m²/yıl, D3: 60 kg/m²/yıl

Yapraklarda azot miktarları incelendiğinde her iki yılda da N miktarının kontrol bitkilerine göre daha fazla olduğu ve bu farklılığın her iki yılda da istatistiksel düzeyde önemli olduğu görülmektedir. Kontrol bitkilerine göre N miktarının fazla olmasının bir belirtisi de arıtma çamuru uygulanan bitkilerin yaprak renklerinde ortaya çıkan koyu yeşil renk olmasıdır. Diğer taraftan yapraklarda demir miktarının 2-200 mg/kg düzeyinde olması kabul edilebilir sınırlar içindedir (Özbek ve ark., 1984). Yapraklarda Fe 1000 mg/kg düzeyini aştığında nekrotik lekeler neden olmaktadır (Kabata-Pendias, 2011). Bu bilgilere dayanılarak deneme bitkilerinde hiçbir uygulamada Fe aşırı miktarlara ulaşmamıştır. Denemede ilk yıl arıtma çamurunun D2 dozu dışında tüm uygulamaları yapraklardaki Fe içeriğini kontrole göre artırmıştır. II. yılda ise yaprak Fe içeriği hem birinci yıla göre artmış, hem de arıtma çamuru uygulanan bitkilerde kontrol bitkilerine göre daha fazla miktarlara ulaşmıştır. Bitki yapraklarında

belirlenen Cu, Zn, Mn ve Cd miktarları iki yılda da toksik düzeylere ulaşmamış, ancak Ni ve Pb miktarı toksik olan değerler aralığına ulaşmıştır. Yapraklardaki Ni miktarı ilk yıl kontrol ve D1 uygulaması dışında tüm uygulamalarda, II. yılın sonunda ise kontrol de dahil olmak üzere tüm bitki yapraklarında toksik düzey aralığı içindedir. Bu durum arıtma çamurunda bu metalin yüksek olmasının yanı sıra toprakta da Ni düzeyinin yüksek olabileceğini göstermektedir. Dağhan ve Öztürk (2015)'e göre Ni biriktiren bitkiler genelde serpantin içeren topraklar üzerinde yetişmektedir. Türkiye toprakları nadiren serpantin içermektedir. Serpantinli alanlar Akdeniz Bölgesi'nin doğu ve batı kesimlerinde bulunmaktadır. Araştırma alanının içinde bulunduğu alanda ultramafik kayalardan oluşan Ni yönünden zengin toprakların bulunduğu bildirilmektedir (Dağhan ve Öztürk, 2015). *L. orientalis* yapraklarında Pb miktarı ilk yıl kontrol ve arıtma çamuru uygulaması yapılan tüm bitki yapraklarında eser miktarlarda

iken, ikinci yıl kontrol de dahil olmak üzere tüm bitki yapraklarında toksik düzey (10-100) aralığı içindedir. Elde edilen bulgulardan Larchevêque ve ark. (2006)'nın *Quercus ilex*, *Pinus pinea* ve *Pinus halepensis* türlerinde Cd içeriğinde önemli bir artış görülmediği bulguları benzerlik göstermiştir. Ancak Larchevêque ve ark. (2006)'nın aynı türlerde Ni ve Pb miktarında önemli bir artış olmadığı sonucu ile ise zıt bulgular elde edilmiştir.

Sonuçlar ve Öneriler

Muğla İli Gökova-Akyaka Atık Su Arıtma Tesisi'nden temin edilen arıtma çamurunun Anadolu Sığla Ağacı (*Liquidambar orientalis*) fidanlarına artan dozlarda (D0: 0 kg/m²/yıl; Kontrol, D1: 20 kg/m²/yıl, D2: 40 kg/m²/yıl, D3: 60 kg/m²/yıl) uygulanması sonucu bitki boyu, gövde çapı, yaprak rengi ile yapraklarda bazı besin maddeleri (N, Fe) ile ağır metal (Cu, Zn, Mn, Cd, Ni ve Pb) birikimlerine etkileri iki yıllık (24.03.2012 - 18.06.2014) bir deneme ile Muğla-Ortaca Belediyesi Park Bahçeler Ünitesine ait açık alanda yapılan bir çalışma ile belirlenmiştir.

Anadolu Sığla Ağacı fidanlarının boy artışlarının aylık ortalamaları incelendiğinde, belirli tarihlerdeki boy artışları istatistiksel olarak iki yılda da (I. yıl Temmuz, Eylül, Ekim ve Kasım ayları, II. yılda Temmuz ayı) önemli düzeylerde olmuştur. İlk yıl artan arıtma çamuru uygulamalarını tolere edebilir durumda olan söz konusu fidanlarda, iki yıllık uygulamanın sonunda kontrole göre en fazla boy uzaması yılda bir kez 20 kg/m² uygulaması yapılan fidanlardan elde edilmiştir. Sonuç olarak eğer arıtma çamuru alana sadece bir yıl uygulanacak ise üç kez 20 kg/m²/yıl hesabı ile toplamda m²'ye 60 kg arıtma çamuru uygulanabilir. Ancak daha uzun yıllar sürecek uygulamalarda daha düşük dozların kullanılmasının daha yararlı olacağı düşünülmektedir.

Denemeye alınan fidanların gövde çaplarının aylık artış ortalamaları üzerine arıtma çamuru uygulamaları bazı dönemlerde (I. yıl Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım, Mart, II. yıl Nisan ve Mayıs ayları, II. yıl Eylül, Ekim ve Mart ayları) istatistiksel olarak önemli farklılıklar oluşturmuştur. İlk yıl bitki boyuna benzer şekilde gövde çapında da kontrole göre en yüksek değer yılda üç kez uygulanan toplamda 60 kg/m² olan arıtma çamuru uygulamasından elde edilmiştir. Ancak iki yıllık etkiler değerlendirildiğinde toplamda 40 kg/m² olan arıtma çamuru

uygulanmasından en fazla gövde çapı kalınlaşmasının elde edildiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre artan arıtma çamuru uygulamaları bitkilerin gövde çapları üzerine olumlu etkiler yapmıştır.

Farklı dozlarda arıtma çamuru uygulanan Anadolu Sığla Ağacı fidanlarının yapraklarında ilk yıl (2012) Ağustos ayı itibariyle başlayan renk değişimleri deneme sonuna kadar sürmüştür; I. ve II. yılın sonlarında yaprak renginin doz artmasına paralel olarak kontrole göre daha koyu olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, arıtma çamuru uygulamalarının yaprak renklerinde kontrole göre belirgin olarak daha koyu yeşil renge neden olduğu ifade edilebilmektedir. Ek olarak her iki yılda da sonbaharda görülen sarı yaprak rengi arıtma çamuru uygulanan bitkilerde kontrol grubuna göre daha koyu olduğu görülmektedir. Yapraktaki koyu yeşil renk ile daha koyu sonbahar sarı rengi bulgusu bitkinin görsel niteliğini artırabilen niteliklerdir.

Yapraklarda biriken azot düzeyleri incelendiğinde her iki yılda da N birikiminin kontrol bitkilerine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bitki yapraklarındaki Fe hiçbir uygulamada aşırı miktarlara ulaşmamıştır. Yapraklarda belirlenen Cu, Zn, Mn ve Cd miktarları iki yılda da toksik düzeylere ulaşmamış, ancak Ni ve Pb birikimi toksik değerlere ulaşmıştır. Ancak Ni ve Pb toksisitesi gözle yapılan gözlem sonucunda bitkinin görsel kalitesinde herhangi bir etki yaratmamış, denemenin sonuna kadar bitkiler canlılığını korumaya devam etmiştir.

Sonuç olarak Anadolu Sığla Ağacı fidanlarına farklı dozlardaki uygulanan arıtma çamurları;

Yıl ve doza bağlı olarak farklı boy oluşumuna neden olmuş, gövde çaplarının artışında rol oynamış, yeşil yaprak rengini ve sonbahardaki sarı yaprak rengini koyulaştırmıştır.

Bitkide Ni ve Pb dışında yapraklardaki besin ve ağır metal düzeyleri toksik seviyeye ulaşmamıştır.

Gelişen ve büyük bir ekonomik paya sahip süs bitkileri sektöründe arıtma çamurlarının sürdürülebilir çevre anlayışı çerçevesinde kentsel yeşil alanlarda kullanımı en uygun bertaraf sahası olarak görülmektedir. Ancak arıtma çamurlarının içeriğindeki organik maddelerin yanı sıra tehlike arz eden ağır metaller nedeniyle kullanıma uygunluğu belirlendikten sonra doz ayarlaması da yapılarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Böylece atık su arıtma çamurları kentsel yeşil

alanlarda kullanılabilir bir materyal haline gelebilmektedir. Ayrıca çeşitli doz ve kompostlama gibi işlemler de dahil olmak üzere bu konuda denemeler yapılarak bu türün üretimi ve yetiştiriciliğinde saksı harcı içine girebilme potansiyelinin de bulunduğu göz ardı edilmemelidir. Benzer araştırmalar farklı iklim bölgelerimizde farklı peyzaj bitkilerinde değişik dozlarla yürütülmelidir.

Kaynaklar

- Akat H., Ç.G. Demirkan, Ö. Akat ve İ. Yokaş, 2015a. '*Limonium sinuatum*' yetiştiriciliğinde farklı ortamlara ilave edilen atık su arıtma çamurunun süs bitkisi yetiştirme materyali karışımı olarak kullanımı. Tekirdağ Ziraat Fak. Derg., 12(1): 81-90.
- Akat H., Ç.G. Demirkan, Ö. Akat, B. Yağmur ve İ. Yokaş, 2015b. Arıtma çamuru uygulamalarının *Limonium sinuatum* 'Compindi White' çeşidinde bitki gelişimi, verim ve çiçek kalitesi üzerine etkileri. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 52(1): 107-114
- Akat., H., Demirkan, Ç.G., Yokaş, İ., 2013a. Atık Su Arıtma Çamurlarının Süs Bitkisi Yetiştiriciliğinde Kullanımı. Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2013, Cilt 27, Sayı 1, 129-141.
- Akat., H., Demirkan, Ç.G., Yokaş, İ., 2013b. Atık Çamurun '*Matthiola incana*' Yetiştiriciliğinde Bitki Gelişimi ve Kalite Üzerine Etkisi, 5. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, 29 Mayıs-1 Haziran 2013, Kocaeli sf: 508-520.
- Angın, İ., 2016. Arıtma çamurlarının stabilizasyonuna alternatif bir yaklaşım: Vermistabilizasyon. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg., 47(2): 123-129.
- Ayvaz, Z, 2000. Atık su arıtma çamurlarının değerlendirilmesi. Ekoloji Çevre Derg., 35: 3-12.
- Black, C.A. ,1965. Methods of Soil Analysis part-2. USA, 1372-1376.
- Bremner, J.M., 1965. Inorganic Forms of Nitrogen. Methods of Soil Analysis. Black, C.A. American Soc.of Argon. Inc.Publ. Madison Wis., USA, 1197-1287.
- Çetinkale Demirkan, G., H. Akat ve İ. Yokaş, 2013. Atık çamurun kapak malzemesi olarak kullanımının bazı çim türlerine etkisi. V. Süs Bitkileri Kongresi, 06-09 Mayıs 2013, Yalova, sf: 301-308.
- Çetinkale, G ve Z. Söğüt, 2010. *Cynodon dactylon* (L.) Pers. çim alanlarında kentsel su arıtım sistem çamurlarından yararlanabilme olanakları. Ç.Ü. Fen Bil. Enst. Fen ve Mühendislik Bilim Derg., 23(3): 11-21.
- Dağhan, H ve M. Öztürk, 2015. Soil Pollution in Turkey and Remediation Methods. Soil Remediation and Plants, Prospects and Challenges, Eds., Hakeem, KR; Sabir M; Öztürk M and Mermut AR Academic Press in an imprint of Elsevier, 287-312.
- Demirkan, Ç.G., Akat, H., Yokaş, İ., 2014. Atık Su Arıtma Çamurunun *Clarkia amoena* (Yer Açelyası) Türünde Bitki Gelişimi ve Çiçeklenme Üzerine Etkisi. Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg., 28(2): 49-57.
- Dolgen, D., M.N. Alpaslan ve N. Delen, 2007. Agricultural recycling of treatment-plantsludge: A case study for a vegetable-processing factory. J. Envir. Manag. 84: 274-281.
- Ferreiro-Dominguez, N., A. Rogueiro-Rodriguez, E. Bianchettoand M.R. Mosquera-Losada, 2014. Effect of lime and sewage sludge fertilisation on tree and understory interaction in a silvopastoral system. Agriculture, Ecosystems & Environment, 188: 72-79.
- Garcia-Gomez, A., M.P. Bernaland A. Roig, 2002. Growth of ornamental plants in two composts prepared from agro industrial wastes. Biores. Technol., 83: 81-87.
- Grigatti, M., M.E. Giorgianiand C. Ciavatta, 2007. Compost-based growing media: Influence on growth and nutrient use of bedding plants. Biores. Technol., 98(18): 3526-3534.
- Hernández-Apaolaza, L., A.M. Gascó, J.M. Gascóand F. Guerrero, 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. Biores. Technol., 96(1): 125-131.
- Isaac, A.R. and J.D. Kerber, 1969. Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissue. Perkin Elmer Crop. Atomic Absorption Dept. Norwalk.
- Kabata-Pendias, A., 2011. Trace Elements in Soil and Plants. 4th Edition, CRC Press, New York. ISBN: 978-1-4200-9368.
- Kacar, B. ve A. İnal, 2008. Bitki Analizleri. Nobel Yayın Dağıtım, No: 1241, Ankara.
- Kacar, B., 1972. Bitki ve Topağın Kimyasal Analizleri. A.Ü. Ziraat Fak. Yayın No: 453, Ankara.
- Katkat, A.V. ve B.B. Aşık, 2010. Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımı ve gübre değeri. 5. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi, 15-17 Eylül 2010, İzmir.
- Kick , H., Burger, H. and Jommer, K., 1980. Gesamtgehalte an Pb, Zn, Sn, As, Cd, Hg, Cu, Ni, Cr und Co in Landwirtschaftlich und Görtnerisch Genutzen Böden Nordrhein-Westfalen. Landwirtschaftliche Forschung No: 33(1): 12-22.
- Küçükhemek, M., K. Gür, R. Uyanöz ve Ü. Çetin, 2005. Arıtma çamuru ve çiftlik gübresinin çim bitkisi verimine ve renk özelliğine etkisi. Dokuz Eylül Üniv., I. Ulusal Arıtma Çamurları Semp. Bildiri Kitabı, İzmir, 25-26 Mart 2005: 375-384.
- Larchevêque, M., C. Ballini, N. Korboulewskyand N. Montès, 2006. The use of compost in afforestation of Mediterranean areas: Effects on soil properties and young tree seedlings. Science of The Total Environment, 369(1-3): 220-230.
- Manas, P. and E. Castro, 2008. Quality of Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. J. New Forest, 37: 295-311.
- Martinez, F., C. Cuevas, W. Teresa and I. Iglesias, 2002. Urban organic wastes effects on soil chemical properties in degraded semi arid ecosystem. in: Seventeenth WCSS, Symposium No: 20, Thailand, pp. 1-9.
- Özbek, H., Z. Kaya ve M. Tamcı, 1984. Bitkinin Beslenmesi ve Metabolizması. Ç.Ü. Ziraat Fak. Yay.

- No: 162, Ders Kitabı: 12, Ankara Üniv. Basımevi, Ankara.
- Özdemir, S., G., Köseoğlu ve Ö.H. Dede, 2005. Arıtma çamurlarının süs bitkisi toprağı hazırlanmasında kullanımı. Dokuz Eylül Üniv., I. Ulusal Arıtma Çamurları Semp. Bildiri Kitabı, İzmir, 25-26 Mart 2005: 557-564.
- Pathak, A., M.G. Dastidar and T.R. Sreekrishnan, 2009. Bioleaching of heavy metals from sewage sludge: A review. *Journal of Environmental Management* 90: 2343-2353.
- Resmi Gazete, 2010. Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik. Ankara.
- Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. U.S.D.A. Handbook No. 60. Washington, D.C
- Riffat, R., 2012. *Fundamentals of Wastewater Treatment and Engineering*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Shober, A.L., R.C. Stehouwer and K.E. Macneal, 2003. On-farm assessment of biosolid effects on soil and crop quality. *J. Environ. Qual.*, 32: 1873-1880.
- Slawin, W., 1955. *Atomic Absorption Spectroscopy*. Interscience Publishers, New York-London Sydney.