

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ



Atık çamur uygulamasının sorgum (*Sorgum bicolor*) bitkisinde verim özellikleri
ile mineral madde içeriğine etkisi
FYL-2012-4139

Yüksek Lisans Tez Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Yunus SERİN
Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü

Araştırmacının Adı Soyadı
Birimi/Bölümü
Doç. Dr. Mahmut KAPLAN
Doç. Dr. Satı UZUN
Emre KESKİN
Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü

Eylül 2015
KAYSERİ

TEŞEKKÜR: Bu proje Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı tarafından desteklenmiştir (Proje No: FYL-2012-4139).

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	5
ABSTRACT	6
1. GİRİŞ	7
2. GEREÇ VE YÖNTEM	8
3. BULGULAR	10
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	14
5. KAYNAKLAR	18
6.	

ÖZET

Çalışmanın amacı, farklı dozlarda uygulanan kentsel atık su arıtma çamurunun sorgum bitkisinde meydana getirdiği morfolojik-kimyasal etkiler ile uygulama sonucu bitkide oluşan ağır metal dağılımını belirlemektir. Bu amaçla 0.2, 0.4 ve 0.6 t ha⁻¹ arıtma çamuru uygulaması yapılmıştır. Deneme 2012-2013 yıllarında yazlık ürün sezonunda yürütülmüştür. Bitkisel özellikler olgunlaşma döneminde, kimyasal özellikler ise hasat edilen tanelerde incelenmiştir. Aynı zamanda hasat döneminde alınan toprak, kök, gövde, yaprak ve tane örneklerinde ağır metallerin miktarları da belirlenmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre; atık çamur dozunun artmasına paralel olarak bitki boyu, salkım uzunluğu ve tane verimi gibi bitkisel özelliklerin yanı sıra ham protein ve ADF oranlarında belirli bir artış olurken kondense tanen oranı gibi kimyasal özelliklerde ise azalma olmuştur. Ağır metal birikimi en fazla kökte belirlenmiştir. Bitkinin tüm aksamlarındaki ağır metal birikimlerin insan ve hayvan beslenmesi için müsaade edilen şartların altında olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sorgum, kentsel atık su arıtma çamuru, morfolojik özellikler, kimyasal kompozisyon, ağır metaller

ABSTRACT

Wastewater containing heavy metals has strong influence on growth and development of crops and contributes significant heavy metal accumulation in soils and crops. The primary objective of the present study is to determine the effects of different municipal wastewater sludge concentrations on morphological, chemical characteristics and heavy metal content in plant tissues. Sludge contents were selected as 0.2, 0.4 and 0.6 t ha⁻¹. Experiments were carried out during the summer cropping season of the years 2012 and 2013. Plant morphological characteristics were investigated during ripening season and chemical characteristics were determined from the kernels. Heavy metal analyses were carried out in soil, root, shoot, leaf and kernel samples taken during the harvest season.

While there were distinctive increases in the investigated plant parameters like plant heights, panicle lengths, kernel yields, crude protein and Acid Detergent Fiber (ADF) ratios, there was a decrease in chemical characteristics like condensed tannin. The greatest heavy metal accumulation was observed in plant roots. However, heavy metal accumulation levels in all parts of the plants were below the allowable limits for human and animal nutrition.

Key words: Chemical composition, Heavy metals, Morphological characteristics, Municipal waste water treatment sludge, Sorghum,

GİRİŞ

Arıtma teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan devasa yığınların bertarafı da yeni bir sorun olan karşımıza çıkmaktadır. Dünyanın birçok bölgesinde olduğu gibi ülkemizde de bu atıkların tarım arazilerinde kullanımı en basit ve ucuz bir bertaraf yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Atık çamur her ne kadar toprak ve bitkiler için değerli bir besin ve organik madde kaynağı olarak görünse de (Kidd et al. 2007) kontrolsüz ve bilinçsiz kullanımlar insan ve hayvan sağlığı üzerine oldukça zararlı etkilerde bulunabilmektedir (Council Directive, 1986). Atık çamur bünyesindeki ağır metaller toprak ve bitki yoluyla gıda zincirine kolaylıkla karışmakta ve insan ve hayvan sağlığını tehdit eder hale gelmektedir (Wang et al. 2003). Metallerin bulundukları çevrede uzun süre kalmaları ağır metallerin tehlikelerini daha da arttırmaktadır (Gupta and Sinha 2007).

Atık çamur kaynaklı metaller karbon bağlarıyla bağlı olup, kimyasal gübrelerdeki metal tuzlarına nazaran bitkiler tarafından alımı daha zordur. Metallerin topraktaki davranışları ve bitkiler tarafından alımı çoğunlukla metal yapısına, atık çamur/toprak fiziko-kimyasal özelliklerine, arıtma çamurunun konsantrasyonuna ve bitki türüne bağlıdır. (McBride, 2003; Garrido et al. 2005; Lavado 2006; Singh and Agrawal 2008). Bu durum, atık çamur kullanımından önce uygulama yapılacak arazi ve bitkilerde kullanılacak olan atık çamurun etkileri bakımından test yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Diğer tahıllara göre çevresel stress faktörlerine karşı dayanıklılığının yüksek ve üretim girdileri açısından maliyetinin düşük olması nedeniyle (Awika and Rooneyl. 2004) sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dünyanın beşinci önemli tahılı konumundadır (Li et al. 2010). Sorgum özellikle gelişmekte olan ülkelerde insanların günlük besinleri için nişasta, protein, vitamin ve minareleri sağlamaktadır. Batı da ise ağırlıklı olarak hayvan besleme, biyobenzin, alkol, kağıt ve ahşap malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır (Hill et al. 2012; Gnansounou, 2005; Awika and Rooneyl. 2004; Rooney, 2004; Zulfiqar and Asim, 2002; De Vries and Toenniessen 2001; Rajvanshi and Nimbkar, 2001; Mvududu et al. 2000; House ve ark. 2000; Cothren et al. 2000; Wenman, 1999; Doggett 1998; Klopfenstein and Hosene, 1995; Murty and Kumar, 1995).

Yapılan çalışmalar atık çamurun toprak-bitki sistemindeki uygulamaları üzerine yoğunlaşmıştır. Bitkilerin gelişimini sınırlayıcı ve optimum dozlar (Demirezen Yılmaz and Temizgül, 2012) ve tarla uygulamalarına dayalı literatür zayıftır. Bu çalışmanın amacı farklı dozlardaki atık çamur uygulamalarının (i) tane sorgum bitkisinin morfolojik özelliklerini, (ii)

tanedeki kimyasal bileşim üzerine etkilerini ve (iii) ağır metallerin sorgumda kök, gövde, yaprak ve tanedeki dağılım oranlarını belirlemektir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Denemede materyal olarak Texas A&M Üniversitesi'nden temin edilen *Sorghum* R.Tx7000 çeşidi kullanılmıştır. Deneme 2.8x5 m (en x boy) ölçülerindeki parsellere sıra aralığı 70 ve sıra üzeri 15 cm olacak şekilde ekim yapılmıştır. Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Sorgum ekimi nisan ayının son haftasında, hasadı ise ekim ayının ilk haftasında gerçekleştirilmiştir. Kentsel atıksu arıtma çamurunun 0.2 (SS2), 0.4 (SS4) ve 0.6 t ha⁻¹ (SS6) oranlarında uygulamasının yanında, kontrol parseli ve 1.5 kg ha⁻¹ N ve 1.2 kg ha⁻¹ P₂O₅ kimyasal gübre dozlarını içeren parseller de denemede kullanılmıştır. Kentsel atık su arıtma çamuru toprak yüzeyine serilerek 30 cm derinliğine gelecek şekilde karıştırılmış, kimyasal gübrede kullanılan azot gübresinin yarısı ekimle birlikte, diğer yarısı da sapa kalkma döneminde uygulanmıştır. Bitkiler tarla kapasitesi esas alınarak haftada bir defa damlama sulama ile sulanmıştır. Yabancı ot için bir kez ilaçlama ve bir kez de çapa ile boğaz doldurma yapılmıştır. Bitkiler sert olum dönemine geldiğinde arazi ölçümleri yapılarak hasat edilmiştir.

Denemenin kurulduğu topraklara ait fiziksel ve kimyasal özellikler Table 1 de verilmiştir. Deneme alanları kumlu-tınlı tekstür sınıfında, organik maddece zayıf, kireçli, tuzsuz, potasyum bakımından zengin ve fosfor bakımından orta düzeydedir.

Table 1. Physical and chemical characteristics of experimental soils

Year	Texture				pH	Org. Mat. %	CaCO ₃ %	K ₂ O kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	EC dS m ⁻¹
	%Clay	%Silt	%Sand	Class						
2012	8.72	7.70	73.58	Sandy-loam	7.9	0.59	1.51	1204.4	70.51	0.134
2013	6.24	16.02	77.74	Sandy-loam	8.0	0.71	1.83	1121.8	86.91	0.214

Deneme topraklarına ve atık çamura ait ağır metal içerikleri Table 2 de verilmiştir. Deneme yıllarındaki ağır metal içerikleri genelde bir birine yakın olmuştur. Uygulanan atık çamur dozları müsaade edilebilir sınırlar içinde olmuştur.

Table 2. Heavy metal contents of experimental soils and sewage sludge

Year	Cr	Mn	Co	Ni	Cu
	mg/kg				
2012	2.34±0.23	61.04±2.64	1.824±0.008	7.853±0.115	3.276±0.174
2013	3.19±0.02	77.61±2.39	2.077±0.069	8.966±0.426	3.789±0.186
Sewage Sludge	185.02±2.84	84.94±0.90	3.615±0.067	104.645±7.426	148.115±9.310

Denemenin yürütüldüğü yıllardaki toplam yağış miktarı uzun yıllar ortalamasından oldukça düşük olmuştur. Denemenin ilk yıl sıcaklığı 2013 yılından ve uzun yıllar ortalamasından yüksek, denemenin ikinci yılı ise uzun yıllar ortalamasına yakın olmuştur. Denemenin ikinci yılında Eylül ayı ortalama sıcaklığı 16.5 °C olmasına rağmen bu ayda kısa süreli donlar görülmüştür. Deneme yılları ve uzun yıllar nispi nem değerleri ise birbirlerine benzer olduğu görülmektedir (Table 3).

Tablo 3. Deneme Yılları ve Uzun Yıllar Ortalamasına Ait Bazı İklim Verileri (uzun yıllar: 1970-2011)

Aylar	Yağış (mm)			Sıcaklık (°C)			Nispi Nem (%)		
	2012	2013	Uzun Yıllar	2012	2013	Uzun Yıllar	2012	2013	Uzun Yıllar
Nisan	5.6	32.2	57.4	13.6	11.6	10.6	43.6	60.3	63.0
Mayıs	50.6	23.4	54.4	20.7	16.7	14.9	49.2	52.9	61.1
Haziran	34.2	18.8	39.4	19.2	19.8	19.1	43.5	46.8	55.8
Temmuz	0.2	0.0	11.8	27.6	21.5	22.6	76.9	43.8	50.4
Ağustos	0.0	0.0	6.1	21.9	21.4	21.9	45.5	41.9	51.0
Eylül	4.2	8.3	11.5	19.0	16.5	17.1	43.5	48.8	55.0
Ekim	20.4	49.8	33.1	13.9	8.8	11.5	63.3	62.8	64.1
Toplam	115.20	132.50	213.70						
Ortalama				19.41	16.61	16.81	52.21	51.04	57.20

Chemical composition analyses

Alınan tane örnekleri 1 mm elek çapına sahip değirmende öğütülerek kimyasal analizlerde kullanılmıştır. Yemlerin ham kül içeriği 550 °C’de 8 saat kül fırınında yakılarak, ham yağ analizi ise eter ekstraksiyonu yöntemi ile belirlenmiştir (AOAC, 1990). Azot (N) içeriğinin saptanmasında Kjeldahl metodundan yararlanılmış, ham protein ise Nx6.25 formülü ile hesaplanmıştır (AOAC 1990). Tanen (Makkar et al. 1995)’e göre, NDF (Van Soest ve Wine, 1967) ve ADF (Van Soest, 1963) ANKOM 200 Fiber Analyzer (ANKOM Technology Corp. Fairport, NY, USA) cihazı kullanılarak analiz edilmiştir.

Digestion Procedure

A Berghof MWS-3 model microwave digestion system (Berghof,USA) was used for digestion of the **sorghum plant parts and soil** samples. Microwave acid digestion (MW-AD) was carried out as follows: 0.20 g of **sorghum plant parts** and solid reference material were weighed and transferred into pressure-resistant PTFE vessels and 5 mL of the acid mixture (HNO₃–H₂O₂, 3:1) was added to each sample. Distilled water was further purified with a Milli-Q™ system (Millipore Corporation, USA) and used throughout the experiments.

CRM tomato leaves

In this study, wet acid microwave digestion was used as the sample preparation method. The ICP-MS (ICP-MS model 7700 Agilent Inc.,Tokyo, Japan) analytical method was applied due to its simplicity and reliability. It also offers high selectivity and has low spectral interference problems from other elements. As can be seen in Table IV, the method was validated through the analysis of CRM NIST 1573a Tomato Leaves (National Institute of Standards andTechnology, Gaithersburg, MD, USA) with good recoveries

Analyses results were subjected to variance analysis with SAS (SAS Inst., 1999) software. Differences between mean values were tested by LSD's multiple range test.

BULGULAR

Morfolojik Özellikler

Farklı dozlarda atık çamur uygulamalarının sorgum bitkisinde morfolojik özelliklere etkisi Table 4'te verilmiştir. İki yıllık sonuçların ortalamasına göre, salkım uzunluğunun yıl ve uygulama x yıl üzerine etkisi önemsiz olmuştur. Uygulamaların bitki boyu, bitki çapı özelliklerinde uygulama x yıl ve salkım uzunluğu üzerine etkisi %5 seviyesinde, incelen tüm özelliklere ise etkisi %1 seviyesinde olmuştur.

En düşük bitki boyu 94.37 cm ile kontrol parselinden elde edilirken, en yüksek değer 119.33 cm ile SS6 uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4). Bitki çapı 19.94-23.27 cm arasında değişmiş, en düşük değer kontrol uygulamasından en yüksek değer ise SS4 uygulamasından elde edilmiştir. Salkım uzunluğu 26.50-28.93 cm arasında değişmiş en düşük değer kontrol parselinden en yüksek değer SS6 uygulamasından elde edilmiştir. Yapılan uygulamaların bitkideki oranlar üzerine etkileri incelendiğinde en düşük yaprak oranı, 19.70% ile kontrolden, en düşük gövde oranı 42.405 ile SS6 uygulamasından ve en düşük salkım oranı 33.33% ile kontrol parselinden alınmıştır. En yüksek yaprak oranı 28.93% ile SS6 uygulamasından, en yüksek gövde oranı 51.02 ile kimyasal gübre uygulamasından ve en yüksek salkım oranı ise 41.14% ile SS6 uygulamasından elde edilmiştir. En düşük tane verimi 2144.2 kg ha⁻¹ ile kontrol uygulamasından, en yüksek tane verimi değeri ise 8680.3 kg ha⁻¹ ile SS6 uygulamasından elde edilmiştir.

Table 4. Farklı dozlarda atık çamur uygulamaları yapılan sorgum bitkisine ait morfolojik özellikler

Application	PH	PD	PL	LR	SR	PR	GY
Control	94.37 e	19.94 c	26.50 b	19.70 a	46.97 b	33.33 c	2144.2 e
Chemical Fertilizer	108.21 c	20.96 bc	27.40 ab	13.20 b	51.02 a	35.78 b	6180.6 d
SS 200 kg/ha	100.60 d	22.04 ab	26.83 b	17.51 ab	44.63 bc	37.86 b	7291.4 c
SS 400 kg/ha	113.30 b	23.27 a	28.60 a	18.69 a	43.75 c	37.56 b	7867.9 b

SS 600 kg/ha	119.33 a	21.84 b	28.93 a	16.46 b	42.40 c	41.14 a	8680.3 a
LSD	3.26	1.27	1.57	2.19	2.65	2.2	40.25
Application	**	**	*	**	**	**	**
Year	**	**	NS	**	**	**	**
ApplicationxYear	*	*	NS	*	**	**	**

PH: plant height (cm); **PD:** plant diameter (mm); **PL:** panicle length (cm); **LR:** leaf ratio (%); **SR:** stem ratio (%); **PR:** panicle ratio (%); **GY:** grain yield (kg/ha); **SS:** sewage sludge; **NS:** non-significant

Kimyasal Kompozisyon

Farklı dozlardaki atık çamur uygulamalarının sorgum tanesinin kimyasal özelliklerine etkisi Table 5’te verilmiştir. Farklı dozlarda atık çamur uygulamalarının iki yıllık ortalama sonuçlarına göre, ham yağ içeriğinde yıl ve uygulamax yıl interaksyonu, ham kül özelliğinde ise uygulama istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Ham protein, ham kül ve NDF oranları özelliklerinde uygulamax yıl interaksyonu %5 diğer özelliklerde ise %1 seviyesinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Ham protein oranı 7.40-11.17% arasında değişmiş ve en düşük değer kontrol parselinde, en yüksek değer ise SS6 uygulamasında elde edilmiştir. En düşük ADF değeri 6.01% ile SS4 uygulamasında, en yüksek ise 6.81% ile SS6 uygulamasında elde edilmiştir. Sorgum tanelerine ait NDF oranları 13.43-16.62% arasında değişmiş, en düşük değer SS4 uygulamasında, en yüksek değer ise kontrol uygulamasında elde edilmiştir. Ham yağ içeriği 2.30-2.985 arasında değişmiş ve en yüksek grubu atık çamur uygulamaları oluşturmuştur. Kondense tanen oranı 0.23-0.39% arasında değişmiş, en düşük değer SS6 uygulamasında, en yüksek değer ise kontrol parselinden elde edilmiştir.

Table 5. Farklı dozlarda atık çamur uygulamaları yapılan sorgum bitkisine ait kimyasal kompozisyon

Application	DM	CP	ADF	NDF	CO	CA	CT
Control	88.94	7.40 d	6.78 a	16.62 a	2.30 b	1.78	0.39 a
Chemical Fertilizer	88.20	9.97 b	6.20 b	15.67 ab	2.35 b	1.78	0.33 b
SS2	87.92	8.90 c	6.13 b	14.15 c	3.07 a	1.91	0.26 c
SS4	87.09	9.06 bc	6.01 b	13.43 c	3.18 a	1.76	0.25 c
SS6	87.03	11.17 a	6.81 a	14.68 bc	2.98 a	2.18	0.23 c
LSD	1.40	1.04	0.51	1.30	0.38	0.36	0.03
Application	NS	**	**	**	NS	NS	**
Year	**	**	**	**	**	**	**
ApplicationxYear	**	*	**	*	*	*	**

DM: dry matter (%); **CP:** crude protein (%); **ADF:** acid detergent fiber (%); **NDF:** neutral detergent fiber (%); **CO:** crude oil; **CA:** crude ash; **CT:** condense tannin (%); **SS:** sewage sludge; **NS:** non-significant

Agır Metal Kompozisyonu

Sorgum bitkisinin tane ve kökünde atık çamur dozunun artışına bağlı olarak Cr miktarında artma, yaprakta azalma gözlenmişken gövde de ise SS6 dozunda azalma görülmüştür. Uygulanan atık çamura bağlı olarak Cr birikimi en fazla köklerde gözlenmiş ve doz yükselmesine paralel olarak önemli derecede artış tespit edilmiştir. En düşük Cr birikimi ise tanede gözlemlenmiştir (Figure 1).

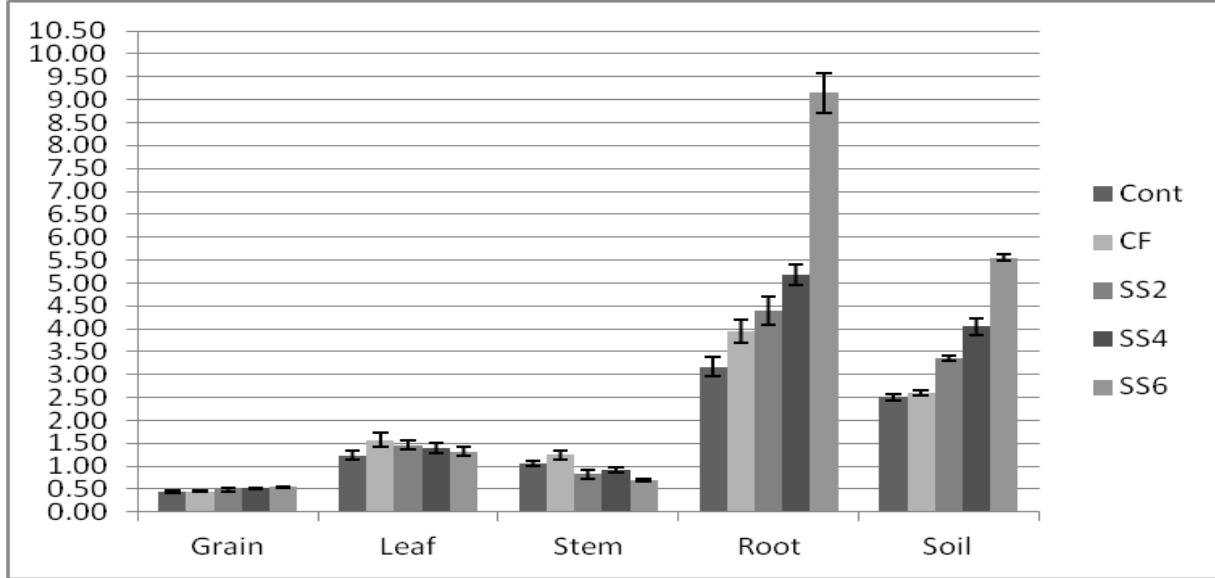


Figure 1. Cr Concentrations (mg kg⁻¹) in Grain Root, Stem, Leaf and Soil of Sorghum Grown at Different Sewage Sludge

Atık çamur dozunun artırılmasına bağlı olarak tüm bitki aksamalarında Cu birikimi artmıştır. Özellikle doz artışı ile tanedeki Cu miktarı önemli derecede artmıştır. Bitki aksamaları içerisinde en yüksek Cu birikimi kökte gözlenmiş bundan sonra da en fazla birikim tanede olmuştur. Kontrol grubu ile kimyasal gübre uygulamalarının Cu birikimi açısından benzer olduğu gözlenmiştir (Figure 2).

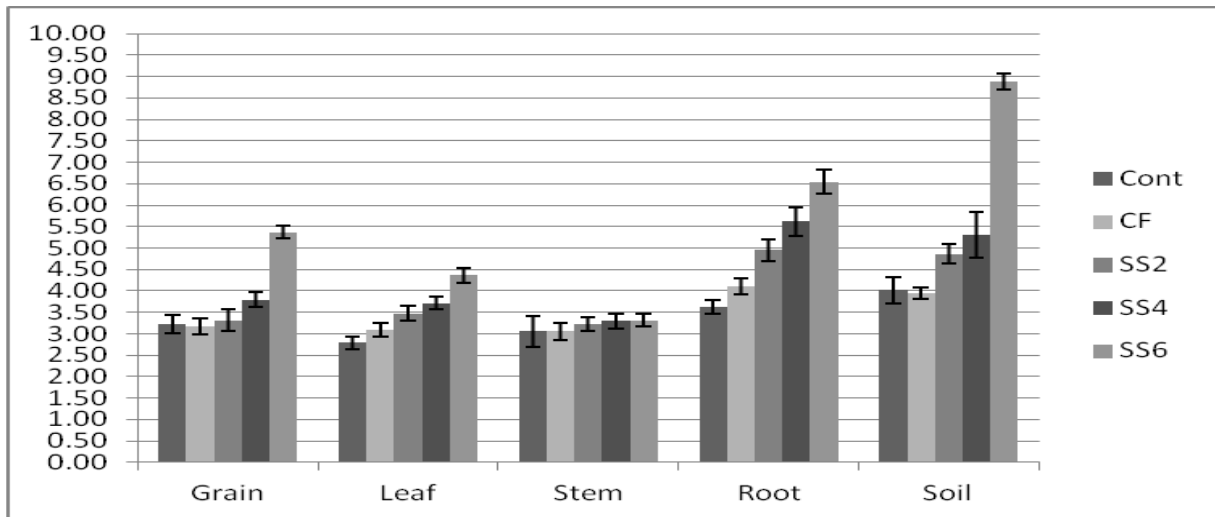


Figure 2. Cu Concentrations (mg kg^{-1}) in Grain Root, Stem, Leaf and Soil of Sorghum Grown at Different Sewage Sludge

Figure 3 incelendiğinde artan dozda atık çamur uygulaması ile birlikte bitki aksamlarındaki Ni birikimi de artmaktadır. En yüksek birikim kökte olurken bunu sırasıyla gövde, yaprak ve tane izlemiştir.

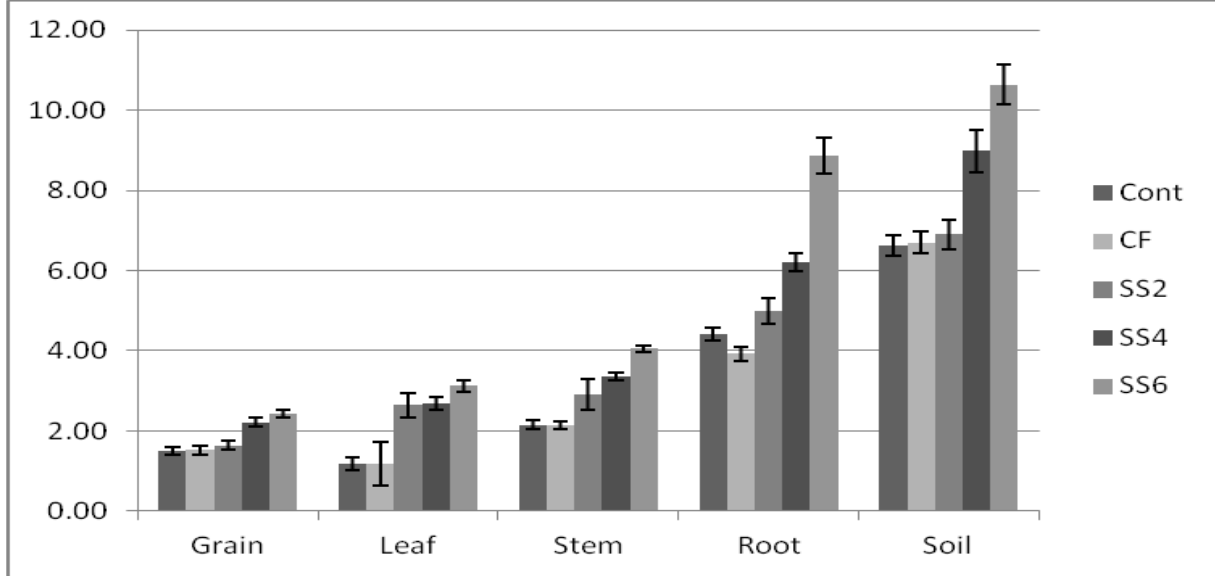


Figure 3. Ni Concentrations (mg kg^{-1}) in Grain Root, Stem, Leaf and Soil of Sorghum Grown at Different Sewage Sludge

Doz artışı ile bitki aksamlarında Mn birikimi arasında düzenli bir artış görülmesine rağmen kimyasal gübre uygulaması ile SS2 uygulamasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Toprakta bulunan Mn'ın büyük kısmı bitkiye taşınmış ve diğer elementlerden farklı olarak en yüksek Mn verimi yapraklarda, en düşük ise tanede gözlenmiştir (Figure 4).

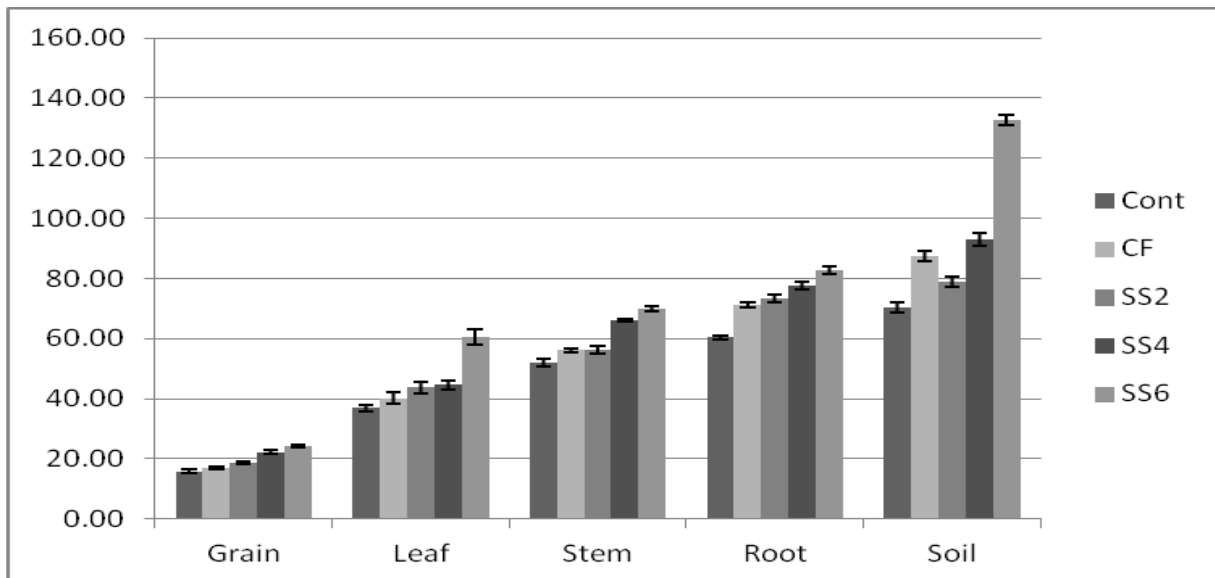


Figure 4. Mn Concentrations (mg kg^{-1}) in Grain Root, Stem, Leaf and Soil of Sorghum Grown at Different Sewage Sludge

Figure 5 e göre atık çamur uygulama dozlarının artışına paralel olarak yaprak ve kökteki Co miktarı düzenli olarak artmıştır. Tanede ise SS2 uygulamasında yüksek, diğer uygulamalarda ise düşüş görülmüştür. Gövde de Co dağılımı düzensiz olmuştur. En yüksek miktar kimyasal gübre uygulamasında belirlenmiş, SS2 ve SS4 dozlarında aynı olurken SS6 uygulamasında tekrar bir artış gözlenmiştir. Co birikiminin büyük kısmı kökte olurken diğer kısımlara dağılım oldukça az olmuştur.

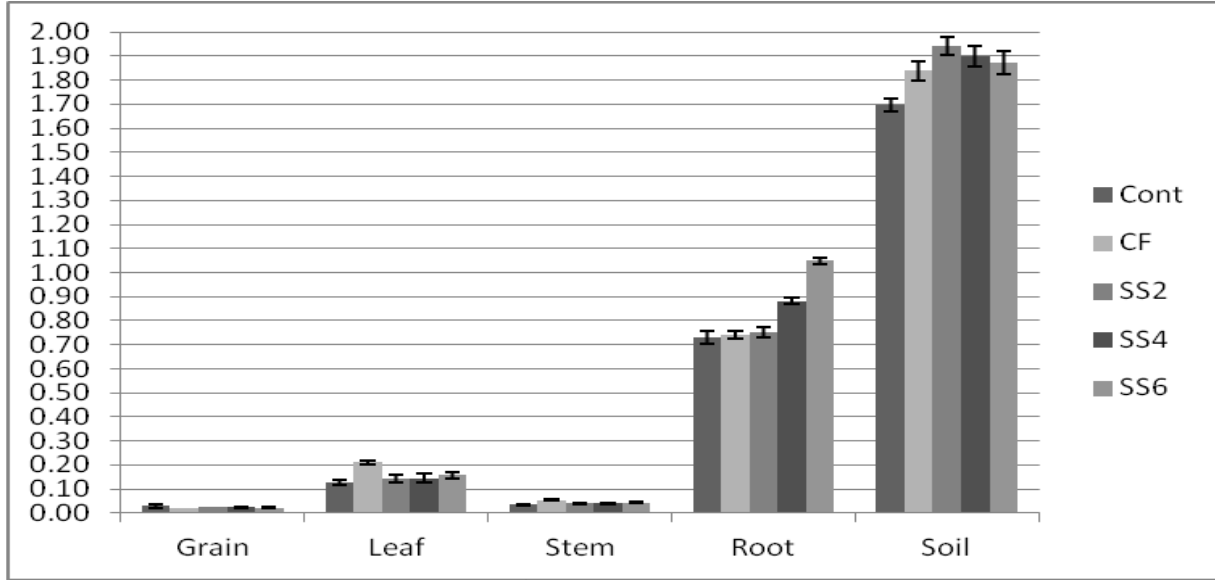


Figure 5. Co Concentrations (mg kg^{-1}) in Grain Root, Stem, Leaf and Soil of Sorghum Grown at Different Sewage Sludge

TARTIŞMA ve SONUÇ

Araştırmanın yürütüldüğü 2012 ve 2013 yılları arasında iklimsel olarak oldukça büyük farklar olmuş özellikle ikinci yılda kısa süreli donlar görülmüştür. Oluşan düşük sıcaklıklar hücrede birçok değişikliklere neden olmaktadır (Mahajan and Tuteja 2005). Bunun neticesi olarak verim kayıpları ile morfolojik ve kimyasal özellikler yönünden farklılıklar ortaya çıkmıştır. Yıllar arasındaki iklim farklılığı incelenen özellikler bakımından da farklılıkların oluşmasına neden olmuştur.

Atık çamur uygulamalarının toprağın besin maddesi içeriğini artırması yanında (Parkpain et al. 2000) toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısını olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir (Demirezen Yılmaz and Temizgul, 2012). Binder et al. (2002) ise araziye atık çamur uygulamalarının toprağı N ve P bakımından zenginleştirdiğini bildirmektedir. Buna göre atık çamurda diğer organik atıklar gibi bitkilerin büyüme ve gelişmesi üzerine olumlu etkiler göstermekte (Abou Seeda, 1997) ve biyomasta artış sağlamaktadır (Fresquez et al. 1991; Akdeniz et al. 2006; Bozkurt et al. 2006; Uyanoz et al. 2006). Frost and Ketchum (2000) atık çamur uygulamasının kimyasal gübre gibi bitki büyümesini artırdığını

bildirmektedir. Atık çamur içerdiği yüksek azottan dolayı tarla bitkilerinde ve sebzelerde kullanılmaktadır (Kalembasa et al. 2001; Tsadilas et al. 2005). Yaptığımız bu çalışmada da bitki morfolojik özelliklerinde atık çamur dozlarının artışına bağlı olarak olumlu etkileri gözlenmiştir. Atık çamur uygulamasının bitki boyunu artırdığı ancak salkım oranına etkisinin olmadığı Keskin *et al.*, (2009) tarafından bildirilmiştir. Binder et al. (2002) atık çamur uygulamasının sorgumda verimi arttırdığını bildirmektedir. Yapmış olduğumuz bu çalışmada da atık çamur uygulamasının artışı ile bitki boyu, salkım uzunluğu ve tane veriminde artış gözlenmiştir. Elde edilen tane verimi değerleri yapılan diğer çalışmalar ile (Matthews et al. 1990,; Borell et al. 2000; Akdeniz et al. 2003 and Kaplan 2009) uyum göstermektedir. Bitki boyu değerleri yıl ve bitki çeşitlerine göre değişmekle birlikte (Kaplan 2009) bu çalışmada elde edilen veriler Balkan and Genctan (2008) ve Kaplan (2009)' ın kullandığı bazı çeşitlerle benzerlik gösterirken diğer bazı çeşitlerden ise farklılık göstermiştir (daha kısa olmuştur).. Bitki çapı verileri ise Kaplan (2009)'ın verileri ile paralellik göstermektedir.

Larsen ve ark. (1991) atık ürünlerde çözülerek serbest hale geçen azottan buğday, arpa, mısır ve çayır otlarının daha fazla yararlandığını belirtmişlerdir. Araştırmamızda atık çamur uygulaması ile bitkisel özellikler ve protein oranında önemli bir artış gözlenmemiştir. Sorgum bitkisi de yukarıdaki bitkiler gibi atık ürünlerden oldukça etkili bir şekilde yararlanmaktadır. Ham protein içeriği Kün, (1985) Akdeniz et al. (2003); Kaplan and Kızılsimsek (2012); Salinas et al. (2006); Gül ve ark. (1999); Waniska and Rooney, (2000) ve Duke, (1983) ile uyumlu olmuştur.

Hayvan beslemede kullanılan yemlerde ADF ve NDF kalite ölçütlerinden birisi olarak kabul edilir (Aydın et al. 2010; Caballero et al. 1995) ve bunların oranlarının düşük olması istenendir. Çünkü bu maddeler hazmı zorlaştırmakta, bunun sonucunda da kaliteyi düşürmektedir. Adeli et al. (2005) bermuda grass da kullandığı atık ürünün ADF oranını arttırdığını, düşük seviyelerdeki uygulamalar hariç NDF oranını azalttığını bildirmektedir. Uygulamalarda fosfor, azot ve diğer minerallerin içerik yönünden fazla olması kimyasal kompozisyonu çok farklı şekillerde etkilemektedir. Salinas et al. (2006) ADF ve NDF değerleri yönünden sorgum genotiplerinin farklılık gösterdiğini bildirmektedir. Bu çalışmada elde edilen ADF ve NDF değerleri Kaplan and Kızılsimsek (2012)'ın değerlerinden düşük, Güngör (2007)'ün değerleri ile benzerlik göstermekte, bununla birlikte Salinas et al. (2006)'un çalışmaları ile kıyaslandığında ADF değerleri ile benzerlik gösterirken NDF değerleri bakımından düşük olmaktadır. Kuru madde içeriği bölgenin iklim koşullarından ve hasat zamanından önemli derecede etkilenmektedir. Bu çalışmada elde edilen kuru madde

oranları Akdeniz et al. (2003) ile benzerlik göstermektedir. Ham yağ içeriği K n (1985); Jambunathan and Subramanian. (1980) ile paralellik arz etmektedir.

Low level of tannin (2-3% of DM) in ruminant diets may have a beneficial effect through reduced protein degradation in the rumen as a result of the formation of protein-tannin complexes (Barry, 1987). However, due to excessive formation of tannin-protein complexes, CP utilization could be restricted by high tannin level (%5 of DM) and protein may pass through the animal largely undigested (Kumar and Singh, 1984). High level of tannins can adversely affect the microbial and enzyme activities (Singleton, 1981; Lohan et al. 1983; Barry and Duncan 1984; Makkar et al. 1989). Tanen içeriği bitki çeşidi, kültürel işlemler, iklim ve stres faktörlerinden de oldukça etkilenmektedir. Bu çalışmada elde edilen kondense tanen değerleri Salinas et al. (2006); Gürbüz and Davies, (2010) ve Kaplan and Kızılsimsek (2012) ile benzer olmuştur.

Bitkiler tarafından ağır metal birikimi toprağın fizikokimyasal özellikleri, atık çamurun bileşimi bitki türü, iklim faktörleri ve metallerin kimyasal t rle mesi (chemical speciation of metals) gibi faktörlere bağlıdır (Mahdy et al. 2007). Toprak nemi, pH, kil, organik maddenin miktarı ve türü gibi toprak özellikleri ağır metallerin topraktaki birikimi ve bitkiler tarafından alımını belirleyen faktörlerdir (Fotov t et al. 1997; Naidu et al.2003). Düşük toprak pH sı ağır metallerin alımını arttırmaktadır (Sukreeyapongse et al. 2002). Deneme topraklarındaki yüksek pH ağır metallerin alımını olumsuz etkilerken (Karaman, 2012), atık çamur dozun artı ı ile birlikte gerek ağır metalin artı ı gerekse atık çamurun pH'yı d   rmesi (Parkp in, 2000; Demirezen Yılmaz and Temizg  l, 2012a) ağır metallerin alımını artırmıştır.

Toprakta mevcut tüm ağır metaller bitkilerce yeksenak bir şekilde absorbe edilmediği gibi topraktaki konsantrasyonuna da ba lı olmayabilir (Singh and Agrawal 2010). Toprak yapısındaki farklılıklar da ağır metallerin alımındaki değişikliklere neden olan faktörlerdendir. Bu durum farklı toprak yapılarında farklı türdeki bitkilerin ağır metal alımındaki de i ikliklerine neden olmaktadır. Atık  amur yüksek oranda besin maddesi içermesine rağmen orjinine göre de i mekle birlikte yüksek miktarda ağır metal içermektedir (Gupta and Sinha 2007; Ailinc  i et al. 2008). Atık  amur uygulaması ile   z nm    organik karbon miktarı artmaktadır.   z nm    organik karbon organo-metalik komplekslerin oluşumu yoluyla bitkilerde metallerin biyolojik olarak arttığı bilinmektedir (Hamon et al. 1995; Lorenz et al. 2003). Atık  amur uygulamaları topraktaki toplam N, yararlanılabilir P ve de i tirilebilir Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , and Mg^{2+} miktarını arttırmaktadır (Singh and Agrawal 2010).

Bitkinin farklı organ ve dokularında ağır metallerin emilimi ve birikimi farklıdır (Peris et al. 2007). Atık çamur uygulamasında ağır metallerin bitki içerisinde kökte birikimi fazla (Hasselbach, 1992) ve kökten gövdeye taşınımı düşük olmaktadır (Kidd et al. 2007). Kök dokularında ağır metal birikiminin daha fazla olmasında, muhtemelen köklerin ağır metallerle ilk temas eden organ olması katkı sağlamaktadır (Ouzounidou 1994; Punz and Sieghardt 1993). Kökler ağır metallerle ilk temas ettiği ve yapraklara taşınımını engellediği için genellikle diğer bitki organlarına göre daha yüksek miktarda ağır metal içermektedir (Ouzounidou et al. 1995). Kökle ilişkili bakteriler ve kökle yapışık bazı sedimentlerin birleşimi çevreden besin maddesi alımını teşvik edebilmektedir. Bu bakteriler aynı zamanda ağır metallerin alımını da kolaylaştırmaktadır (Penrose and Glick 2001).

Birçok tür ağır metalleri kökte biriktirirken (Baycu et al. 2006) çok az tür kökten diğer bitki organlarına taşınım yapmaktadır. Absorbe edilen metallerin büyük bir kısmı köklerdeki vasküler doku ve merkez silindirde kısmi bir bariyer olan endodermisin kaspari şeridinde tutulmaktadır (Seregin et al. 2004). Atık çamur uygulamasında doz artışına paralel olarak bitkinin tüm aksamında ağır metallerin (Mn, Zn, Cr) miktarında artış olmuş, en fazla birikim ise kökte gözlemlenmiştir (Singh and Sinha, 2005; Singh and Agrawal, 2007). Yapılan uygulamalarda dikkat edilecek husus ağır metallerin miktarının toprakta ve bitkide zarar eşiğini aşmamasıdır. Ağır metallerin miktarının düşük olmasında toprağın pH sınırının yüksek olması etkili olmuş olabilir (Peles et al. 1998). Bu çalışmada bitkide ve toprakta belirlenen ağır metal miktarlarının tamamı müsaade edilen sınırlardan düşük olmuştur (US EPA 1994; Codex Alimentarius Commission 2001).

Çalışma sonuçlarına göre; atık çamur uygulaması ile toprağın toplam azot, yararlanılabilir P ve artan ağır metal miktarındaki değişimlerin sorghum bitkisinin morfolojik gelişimi üzerine etkisi olumlu şekilde görülmüştür. Özellikle tane veriminin artışında önemli katkılar sağlamıştır. Yavaş çözünen atık çamur bitkinin ihtiyaç duyduğu zamanlarda besin gereksinimini karşılayarak verime katkı sağlamaktadır. Yine atık çamur uygulaması beslenme özelliğinde temel yapıyı oluşturan ham protein içeriğini arttırmış ve tanen içeriğini azaltmıştır. Sindirimi belirleyen ADF ve NDF oranlarını belirli doza kadar azaltmış sonra tekrar artırmıştır. Yağ içeriğinde yine belirli dozlarda artış olmuştur. Ağır metal miktarlarının müsaade edilen sınırların altında olması düşük dozda atık çamur uygulamasının sorgum bitkisinin morfolojik özellikleri ve besin içeriğine olumlu etkiler yaptığını göstermektedir. Özellikle yüksek pH ya sahip topraklarımızda atık çamurun pH yı düşürmesi ile

(Sukreeyapongse et al. 2002) bazı besin elementlerinin de yararlılığı artmıştır. Yapılan atık çamur uygulamaları toprakta ve sorghum bitkisinde olumsuz metal birikimine neden olmamıştır.

Acknowledgments

We greatly appreciate Erciyes University Research Fund's support for this project (project number: FYL-2012-4139).

KAYNAKLAR

- Abou Seeda, M. 1997. Use of sewage sludge for sustainable agriculture and pollution preservation. 3. Treatment sewage sludge and its effect on chemical characteristics of sludge, soil and some nutrients uptake by radish, Spanish and lettuce plants. J. Agric. Sci. Mansoura Univ. 22:3423–3450.
- Adeli A, Varco JJ, Sistani KR, Rowe DE (2005) Effects of swine lagoon effluent relative to commercial fertilizer applications on warm-season forage nutritive value. Agronomy Journal 97, 408-417.
- Ailincăi, C., C. D. Tsadilas, I. D. Sgouras, D. Bucur, A. Despina, and B. Adriana. 2008. Influence of different organic resources on crop yield and soil and fertility in the Moldavian plateau. Cer. Agro. Moldova 134:23–34.
- Akdeniz H. Karşlı MA. Nursoy H. Yılmaz I. 2003. Determination of the Chemical Composition and Digestible Dry Matter Yields of Some Grain Sorghum Varieties. Turk J Vet Anim Sci, 27: 1349-1355.
- Akdeniz, H., Yılmaz, I., Bozkurt, M.A., Keskin, B., 2006. The effects of sewage sludge and nitrogen applications on grain sorghum grown (*Sorghum vulgare* L.) in Van-Turkey. Pol. J. Environ. Stud. 15, 19–26.
- Aydın, N., Mut, Z., Mut, H. and Ayan, İ. 2010. Effect of autumn and spring sowing dates on hay yield and quality of oat (*Avena sativa* L.) genotypes. Journal of Animal and Veterinary Advances 9(10):1539-1545.
- Balkan A and Genctan T 2008. Evaluation of Some Agronomic Characteristics of Broomcorn (*Sorghum bicolor* (L.) Moench var. *technicum* (Körn.)) Genotypes Grown in Trakya Region. Journal of Agricultural Sciences, 14 (2) 163-168.
- Barry T.N. 1987. Secondary compounds of forages. In, Hacker JB, Ternouth JH (Eds): Nutrition of Herbivores. pp. 91-120, Academic Press, Sydney.

- Barry T.N. Duncan S.J. 1984. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep. I. Voluntary intake. *Brit J Nutr*, 51 (3): 485-491.
- Baycu, G, D. Tolunay, H. O' zden, and S. Gu' nebakan. 2006. Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. *Environ. Pollut.* 143:545–554.
- Binder, D. L., A. Dobermann, D. H. Sander, and K. G. Cassman. 2002. Biosolids as nitrogen source for irrigated maize and rainfed sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:531–543.
- Borrell, A.K., Hammer, G.L., Henzell, R.G., 2000. Does main-taining green leaf area in sorghum improve yield under drought? II. Dry matter production and yield. *Crop Science*, 40:1037–1048.
- Bozkurt, M.A., Akdeniz, H., Keskin, B., Yilmaz, I.H., 2006. Possibilities of using sewage sludge as nitrogen fertilizer for maize. *Acta Agr. Scand. B-S P* 56, 143–149.
- Caballero, A. R., Goicochea-Oicoechea, E. L. and Hernaiz-Ernaiz, P. J. 1995. Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of vetch. *Field Crops Research* 41:135-140.
- Codex Alimentarius Commission. 2001. Food additives and contaminants. ALINORM 01/12A:1-289. Geneva: Joint FAO/WHO Food Standards Programme.
- Council Directive, 1986. Council directive on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. <http://did.ormansu.gov.tr/did/Files/86-278-EEC.pdf>.
- Demirezen Yilmaz D and Temizgöl A. 2012a. Effects of municipal sewage sludge doses on the chlorophyll contents and heavy metal concentration of sugar beet (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*). *Bioremediation Journal*, 16(3):131–140.
- Duke, J.A. 1983. Handbook of Energy Crops. www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/sorghum_bicolor.html
- Fotovat, A., R. Naidu, and M. E. Suer. 1997. Water:soil ratio influences aqueous phase chemistry of indigenous copper and zinc in soils. *Aust. J. Soil Res.* 35:687–710.
- Fresquez, P.R., Aguilar, R., Francis, R.E., Aldon, E.F., 1991. Heavymetal uptake by blue grama growing in a degraded semiarid soil amended with sewage-sludge. *Water Air Soil Poll* 57-8, 903–912.
- Frost, H.L., Ketchum, L.H., 2000. Trace metal concentration in durum wheat from application of sewage sludge and commercial fertilizer. *Adv. Environ. Res.* 4, 347–355.

- Garrido, S., Del Campo, G. M., Esteller, M. V., Vaca, R., & Lugo, J. (2005). Heavy metals in soil treated with sewage sludge composting, their effect on yield and uptake of broad bean seeds (*Vicia faba* L.). *Water, Air, and Soil Pollution*, 166, 303–319.
- Gupta, A. K, and S. Sinha. 2007. Phytoextraction capacity of the *Chenopodium album* L. Grown on soil amended with tannery sludge. *Biores. Technol.* 98:442–446.
- Gurbuz, Y., Davies, D.R., 2010. Organic Matter Digestibility and Condensed Tanin Content of Hybrid Sorghum. *Animal Nutrition and Feed Tecnology*. Volume 10, Issue: 1.
- Gül, İ, Akıncı, C., Başbağ, M., 1999. Diyarbakır Sulu Koşullarında İkinci Ürün Olarak Yetiştirilen Tane Sorgum Çeşitlerinde Verim ve Verim Unsurlarının İncelenmesi. Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi, 15-18 Kasım, Adana. 1999.
- Güngör, T., 2007. Buğdaygil Tane Yemlerinin Hücre Duvarı Karbonhidratlarından B-Glukan, Pentozan, Asit Deterjan Fiber ve Nötral Deterjan Fiber İçeriklerinin Belirlenmesi. Kırıkkale Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi. Proje Numarası: 03/09.03.01
- Hamon, R.E., Lorenz, S.E., Holm, P.E., Christensen, T.H., McGrath, S.P., 1995. Changes in trace metal species and other components of the rhizosphere during growth of radish. *Plant Cell Environ.* 18, 749–756.
- Hasselbach, G.1992. Ergebnisse zum Schwemental transfer Boden/Pflanze aufgrund von Gfäßversuchen und chemischen Extraktionsverfahren mit Boden aus langjährigen Klärschlamm-Feldversuchen Inaugurd-beim Fachbereich Agrarwissenschaften der Jutus-Liebig-Universität Gießen.
- Jambunathan R. 1980. Improvement of the nutritional quality of sorghum and pearl millet. *Food Nutr.: Bull.* 2:11-16.
- Kalembasa, S., D. Kalembasa, and R. Kania. 2001. Fertilisation value of sewage sludges from selected sewage treatment plants in the region of Siedlce. *Probl. Post. Nauk Roln.* 475:279.
- Kaplan M. Kızıllışımşek M 2012. Determination of nutritional values of different grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) strains and varieties. *Erciyes University Journal of the Enstitute of Science and Tecnology*, 28(1): 11-14.
- Karaman MR.2012. Bitki Besleme. ISBN 978-605-87103-2-0.
- Keskin, B. Yilmaz, I.H. Bozkurt, M.A. Akdeniz, H. 2009. Sewage sludge as nitrogen source for irrigated silage sorghum. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(3):573-578.

- Kidd P.S. Domínguez. Rodríguez M.J. Díez J. Monterroso C. 2007. Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agricultural soils amended by long-term application of sewage sludge. *Chemosphere* 66: 1458–1467.
- Kumar R, Singh M (1984) Tannins: Their adverse role in ruminant nutrition. *J Agric Food Chem*, 32, 447-453.
- Kün, E., (1985). Sıcak İklim Tahılları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Yayinevi, Ankara. 1985.
- Lavado, R. S. 2006. Effects of sewage sludge application on soils and sun flower yield: Quality and toxic element accumulation. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 975–984.
- Lohan OP, Lall D, Vaid J, Negi SS (1983) Utilization of oak tree fodder in cattle ration and fate of oak leaf tannins in the ruminant system. *Indian J Anim Sci*, 53, 1057-1063.
- Lorenz, S.E., Hamon, R.E., Holm, P.E., Domingues, H.C., Sequeira, E.M., Christensen, T.H., McBride, M.B., 2003. Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks? *Adv. Environ. Res.* 8, 5–19.
- Mahajan S. Tuteja N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444: 139–158.
- Mahdy, A. M., E. A. Elkhatab, and N. O. Fathi. 2007. Cadmium, copper, nickel, and lead availability in biosolids-amended alkaline soils. *Aust.J. Basic Appl. Sci.* 1:354–363.
- Makkar H P S, Blümmel M and Becker K 1995. Formation of Complexes Between Polyvinylpyrrolidone or Polyethylene Glycols and Tannins and Their Implication in Gas Production and True Digestibility *In Vitro* Techniques. *British Journal Of Nutrition* 73: 897-913
- Makkar H.P.S. Singh B. Negi S.S. 1989. Relationship of rumen degradability with microbial colonization, cell wall constituents and tannin levels in some tree leaves. *Anim Prod*, 49, 299-303.
- Matthews, R.B., Reddy, D.M., Rani, A.U., Azam-Ali, S.N., Peacock, J.M., 1990. Response of Four Sorghum Line to Mid-Season Drought. I. Growth, Water use and Yield. *Field Crops Research*. 25: 279-296.
- McBride, M. B. 2003. Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks? *Advances in Environmental Research* 8: 5–19
- Naidu, R., D. Oliver, and S. McConnell. 2003. Heavy metal phytotoxicity in soils. In *Proceedings of the Fifth National Workshop on the Assessment of Site Contamination*,

- National Environment Protection Council Service Corporation. ed. A. Langley, M. Gilbey, and B. Kennedy. Adelaide, Australia, pp. 235–241.
- Ouzounidou, G. 1994. Copper-induced changes on growth, metal content and photosynthetic functions of *Alyssum montanum* L. plants. *Environ. Exp. Bot.* 34:165–172.
- Ouzounidou, G., M. Ciamporova, M. Moustakas, and S. Karataglis. 1995. Responses of maize (*Zea mays* L.) plants to copper stress—I. Growth, mineral content and ultrastructure of roots. *Environ. Exp. Bot.* 35:167–176.
- Parkpain, P., S. Sreesai, and R. D. Delaune. 2000. Bioavailability of heavy metals in sewage sludge amended Thai soils. *Water Air Soil Pollut.* 122:163–182.
- Peles JD, Brewer SR, Barret GW 1998. Heavy metal accumulation by old-field plant species during recovery of sludge-treated ecosystems. *Am Midl Nat* 140:245–251
- Penrose, D.M., and B. R. Glick. 2001. Levels of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) in exudates and extracts of canola seeds treated with plant growth-promoting bacteria. *Can. J. Microbiol.* 47:368–372.
- Peris, M., C. Mico´, L. Recatala, R. Sanchez, and J. Sanchez. 2007. Heavy metal contents in horticultural crops of a representative area of the European Mediterranean region. *Sci. Total Environ.* 378:42–48.
- Punz, W. F., and H. Sieghardt. 1993. The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals. *Environ. Exp. Bot.* 33:85–98.
- Salinas, I., Pro, A., Salinas, Y., Sosa, E., Becerril, C.M., Cuca, M., Cervantes, M., Gallegos, J., 2006. Compositional Variation Amongst Sorghum Hybrids: Effect of Kafirin Concentration on Metabolizable Energy. *Journal Of Cereal Science*, (44) 342–346.
- SAS (1999) SAS User’s Guide: Statistic. Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC.
- Seregin, I. V., L. K. Shpigun, and V. B. Ivanov. 2004. Distribution and toxic effects of cadmium and lead on maize roots. *Russian J Plant Physiol.* 51:525–533.
- Singh, R. P., & Agrawal, M. 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, 28, 347–358.
- Singh, R. P., and M. Agrawal. 2007. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. *Chemosphere* 67:2229–2240.
- Singh, R. P., and M. Agrawal. 2010. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 73: 632–641

- Singh, S., and S. Sinha. 2005. Accumulation of metals and its effects in *Brassica juncea* (L.) czern. (cv. Rohini) grown on various amendments of tannery waste. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 62:118–127.
- Singleton VL (1981) Naturally occurring food toxicants: Phenolic substances of plant origin common in foods. *Adv Food Res*, 27, 149-242.
- Sukreeyapongse, O., P. E. Holm, B. W. Strobel, S. Panichsakpatana, J. Magid, and H. C. B. Hansen. 2002. pH dependent release of cadmium, copper, and lead from natural and sludge-amended soils. *J. Environ. Qual.* 31:1901–1909.
- Tsadilas, C. D., T. Matsi, N. Barbayiannis, and D. Dimoyiannis. 2005. Influence of sewage sludge application on soil properties and the distribution and availability of heavy metal fraction, 2603–2618. Thessaloniki, Greece: Soil Science Laboratory, Aristotelian University.
- US Environmental Protection Agency. 1994. *Land application of sewage sludge. A guide for land appliers on the requirements of the federal standards for the use or disposal of sewage sludge.* 40 CFR Part 503. Washington, DC: US Environmental Protection Agency.
- Uyanoz, R., Cetin, U., Karaarslan, E., 2006. Effect of organic materials on yields and nutrient accumulation of wheat. *J. Plant Nutr.* 29, 959–974.
- Wang, Q. R., Cui, Y. S., Liu, X. M., Dong, Y. T., & Christie, P. (2003). Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China. *Journal of Environmental Science and Health-Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 38, 823–838.
- Waniska, R.D., L.W. Rooney. 2000. Structure and Chemistry of The Sorghum Caryopsis, Pp.649-688. In C. W. Smith, R. A. Frederiksen (Eds.) *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production.* Wiley Series in Crop Science, New York.