

*Hava Şeyma YILMAZ

Orcid No: 0000-0002-2670-401X

**Kağan KÖKTEN

Orcid No: 0000-0001-5403-5629

*Kahramanmaraş Sütçü İmam
Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Kahramanmaraş (Sorumlu yazar)

**Bingöl Üniversitesi, Ziraat
Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü,
Bingöl

seymayilmaz1652@gmail.com

DOI

<https://doi.org/10.46291/ISPECJASvol4iss4pp773-790>

Geliş Tarihi: 05/10/2020

Kabul Tarihi: 28/10/2020

Anahtar Kelimeler

Tane sorgum, kadmiyum, yem kalite özellikleri

Keywords

Grain sorghum, cadmium, forage quality characteristics

Kadmiyum (Cd) Uygulamasının Bazı Tane Sorgum Çeşitlerinin Yem Kalite Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması

Özet

Bu araştırma, bazı tane sorgum (*Sorghum bicolor* L.) çeşitlerinde kadmiyum (Cd) uygulamasının (0, 25, 50, 75, 100, 125 mg kg⁻¹) yem kalite özelliklerine olan etkisini incelemek amacıyla sera koşullarında yürütülmüştür. Araştırmada; Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen üç farklı tane sorgum çeşidi (Akdari, Beydari ve Öğretmenoğlu) bitkisel materyal olarak kullanılmıştır. Deneme bölünmüş parseller deneme desenine (3 çeşit x 1 element x 6 doz x 3 tekerrür) göre kurulmuştur. 130 günlük büyüme periyodu sonunda bitkilerin tanelerinde; tanen oranı, ham protein oranı, yağ oranı, ADF (asit deterjanda çözünmeyen lif), NDF (nötral deterjanda çözünmeyen lif), SKM (sindirilebilir kuru madde), KMT (kuru madde tüketimi) oranları ve NYD (nispi yem değeri) incelenmiştir. Tanen, yağ, NDF (nötral deterjanda çözünmeyen lif), KMT (kuru madde tüketimi) oranları ve NYD (nispi yem değeri) (P<0.01); ham protein oranı, ADF (asit deterjanda çözünmeyen lif), SKM (sindirilebilir kuru madde) oranları (P<0.05) özelliklerinde çeşit x doz etkisi istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. Tane sorgum çeşitleri uygulanan kadmiyum stresinden etkilenmiş ve doz artışına bağlı olarak yem kalite özelliklerinde değişimler gözlemlenmiştir.

Investigation of the Effect of Cadmium Application on Forage Quality Characteristics of Some Grain Sorghum Varieties

Abstract

This research was carried out under greenhouse conditions in order to examine the effect of cadmium (Cd) application (0, 25, 50, 75, 100, 125 mg kg⁻¹) on forage quality characteristics in some sorghum (*Sorghum bicolor* L.) varieties. In this study; Three different sorghum types obtained from BATEM were used as plant material (Akdari, Beydari ve Ogretmenoglu). The study has been completed according to the split plot experimental design (3 varieties x 1 element x 6 doses x 3 replication). At the end of the growth period (130-day), tannin ratio, crude protein content ratio, oil ratio, ADF (acid detergent fiber), NDF (neutral detergent fiber), DDM (digestible dry matter), DMI (dry matter intake) and RFV (relative feed value) ratios were examined. According to the study, the properties of cadmium were examined in terms of variety x dose interaction; tannin content, oil content, NDF (neutral detergent fiber), DMC (dry matter consumption) and RFV (relative feed value) (P <0.01); protein ratio, ADF (acid detergent fiber), DDM (digestible dry matter) (P<0.05) were statistically significant differences. Grain sorghum varieties were affected by cadmium stress and changes in forage quality characteristics were observed depending on the dose increase.

GİRİŞ

Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), *Gramineae* (*Poaceae*) familyasında yer alan bir bitkidir. Sorgum, dünyada 40.674.113 ha alandan 57.601.588 ton üretilmektedir (FAO, 2017). Dünyada üretilen sorgum bitkisinin %50'si insan beslenmesinde değerlendirilirken ABD'de hayvan beslenmesinde kullanılan oran %90'dır (Hamman ve ark., 2001). Sorgum, 25-31 °C sıcaklığa sahip, sıcak, tropikal, yarı kurak ve ılıman bölgelerde yetişir. Kuraklık durumunda, kök sisteminin kapsamlı olması ve yaprakları üzerindeki mumsu tabaka sayesinde bu stresi tolere edebilir, bu koşullarda gelişimini durdurabilir ve uygun şartlarda yeniden büyümeye başlayabilir, geçici su baskınlarına dayanabilir ve pH 5-8.5 seviyelerini tolere edebilir (Balole ve Legwaila, 2006). Sorgum bitkisinin değişik stres koşullarına gösterdiği değişim, hem tanelerinin kullanılması hem de silaj olarak değerlendirilmesi dünyanın değişen ve her geçen gün artan olumsuz koşullarında önem kazanmaktadır. Ağır metal terimi aslında fiziksel özellik bakımından, 5 g/cm³'ten daha fazla yoğunluğa sahip metaller için kullanılır. Kadmiyum, krom, demir, bakır, nikel, civa ve çinko olmak üzere 60'tan fazla metal mevcuttur (Kahvecioğlu ve ark.

2007). Ağır metallerin bitki dokularında birikmesi bitkilerin gelişimini vejetatif ve generatif yönden olumsuz etkiler (Gür ve ark. 2004; Dere, 2017; 2019). Ayrıca bu akümülyasyon ürün ve verim değerlerini de olumsuz yönde etkiler (Long ve ark. 2002). Ağır metaller lipid peroksidasyonuna yol açarak membran yapısını ve işleyişini bozabilmektedirler (Luna ve ark. 1994). Ağır metallerden özellikle Cd, klorofil sentezinde görevli olan enzimleri inhibe ederek enzim aktivitesinin işleyişini bozabilir (Ouzounidou, 1995). Kadmiyum, insanların, bitkilerin ve hayvanların bütün biyolojik süreçlerini olumsuz etkileyen en ekotoksik metallerden biridir. (Kabata-Pendias, 2011). Kadmiyum toksisitesi, bazı mikro besin elementlerinin işleyişine olumsuz etki göstererek, fotosentez, terleme ve CO₂ fiksasyonunu etkiler ve hücre zarlarının geçirgenliğini değiştirir (Prasad 2005). Bitkilerin kadmiyum içerikleri, Cd'nin insan ve hayvanlara ulaşması noktasında çok önemli olmaktadır. Bazı bitki türlerinin yüksek Cd konsantrasyonlarına toleransı ve/veya adaptasyonu, sağlık açısından çok önemlidir, bu yüzden bitkisel ürünlerde ve yem bitkilerinde kadmiyum konsantrasyonu yaygın olarak incelenmiştir (Kabata-Pendias, 2011). Yapılan

çalışmalarda daha çok ağır metallerin bitkilerde fizyolojik özelliklere, antioksidan enzim aktivitesine ve dokulardaki akümülyasyonuna etkisi gibi çalışmalara yer verilmiş olup, ağır metallerin tane sorgumun yem kalite özelliklerine etkisinin araştırıldığı çok az çalışmanın olmasından dolayı, bu araştırma ile literatüre katkı sağlanacağı öngörülmektedir. Bu çalışmanın amacı, bazı tane sorgum çeşitlerinin (Akdarı, Beydarı ve Öğretmenoğlu) farklı dozlardaki Cd stresine karşı yem kalite ve özelliklerinde meydana gelen değişimleri belirlemektir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu araştırma yazlık ürün yetiştirme sezonunda (2017 yılında) KSÜ'de (Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi) Ziraat Fakültesine ait seralarda yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak BATEM'den (Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü) temin edilen Akdarı, Beydarı ve Öğretmenoğlu tane sorgum çeşitlerine ait tohumlar kullanılmıştır. Ticari olarak elde edilen CdSO₄ 8/3H₂O formundaki kadmiyum kullanılmıştır. Çalışma bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Kadmiyum dozları 0, 25, 50, 75, 100, 125 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. pH'sı 7.33, tuz oranı %0.1, kireç oranı

%0.71, organik madde oranı %0.6, toplam Cd'si 1.98 mg kg⁻¹ ve alınabilir Cd'si 0.126 mg kg⁻¹ olan çalışma toprağı Kahramanmaraş İli Avşar Kampüsü'nden temin edilmiştir.

Tane Sorgumların Yetiştirilmesi ve Kadmiyum Uygulaması

Toprak 4 mm çapındaki elekten elenip 10 kg hacmindeki saksılara doldurulmuştur. Gübre (20 kg N ve 10 kg P₂O₅ oranı ile) kullanılan toprak miktarına göre hesaplanarak saksılara verilmiştir. Her saksıya üç adet tohum ekimi yapılmış ve daha sonra sağlıklı olan fide bırakılarak seyreltme işlemi uygulanmıştır. Bitki 15-20 cm uzunluğuna geldiğinde Cd uygulaması yapılmıştır (10 kg toprak hacmine göre belirlenen dozlar için hesaplama yapılmıştır). Bitkilere günlük su ihtiyaçları tarla kapasitesine uygun olarak verilmiştir. 130 günlük büyüme periyodu sonunda hasat yapılmıştır.

Analizlerin yapılması

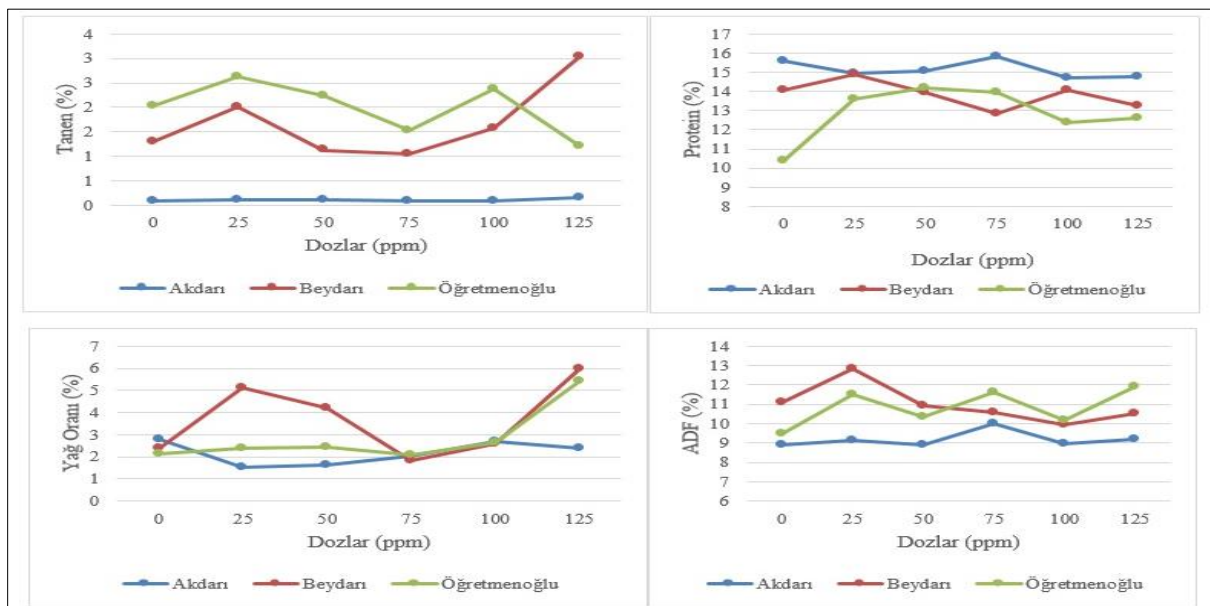
Sorgum taneleri salkımlardan ayrılmış 1 mm elek çapına sahip değirmende öğütülmüş ve analizlere hazır hale getirilmiştir. Örneklerin, azot (N) miktarlarının belirlenmesinde Kjeldahl metodundan yararlanılmıştır. Azot oranı 6.25 ile çarpılarak ham protein oranı hesaplanmıştır (AOAC, 1990). Asit

deterjanda çözünmeyen lif (ADF) ve nötral deterjanda çözünmeyen lif (NDF) oranları, ANKOM 200 Fiber Analyzer (ANKOM Technology Corp. Fairport, NY, USA) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Van Soest et al., 1991). Bulunan ADF ve NDF yardımıyla sindirilebilir kuru madde ($SKM=88.9 - (0.779 \times \% ADF)$), kuru madde tüketimi ($KMT=120 / \% NDF$) oranları ve nispi yem değeri ($NYD=(SKM \times KMT) / 1.29$) hesaplanmıştır (Morrison, 2003). Ham yağ analizi AOAC (1990)'da belirtilen yöntem ve tanen analizi Makkar et al. (1995) tarafından belirtilen yöntemle yapılmıştır. Çalışma sonucunda bulguların istatistiksel analizleri SAS (SAS Inst., 1999) programından yararlanılarak, varyans analizine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar LSD testi ile

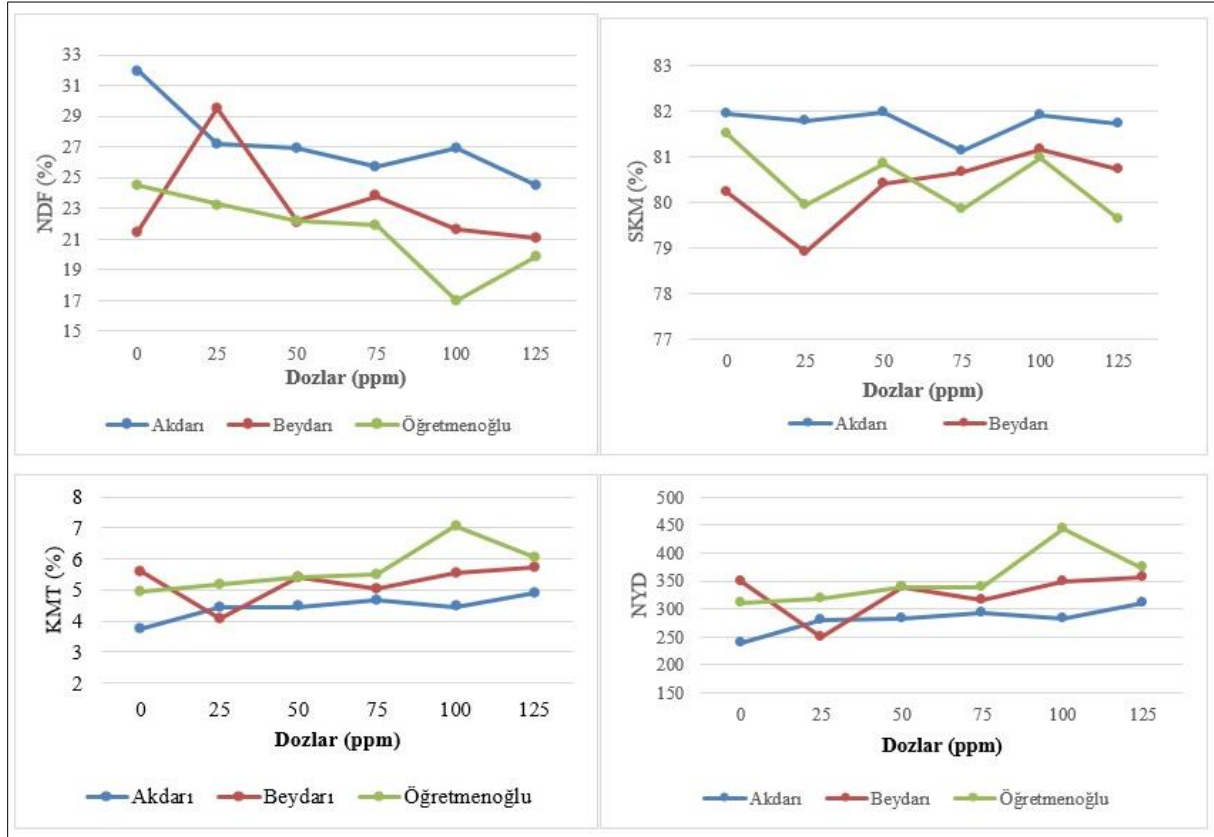
karşılaştırılmıştır. Ayrıca tane sorgum çeşitleri ve Cd dozları temel bileşenler analizi (PCA)'ne tabi tutulmuştur (JMP).

BULGULAR ve TARTIŞMA

Kadmiyum (Cd) uygulamasının bazı tane sorgum çeşitlerinin yem kalite özellikleri üzerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada ham yağ, tanen, protein, asit deterjanda çözünmeyen lif, nötral deterjanda çözünmeyen lif, sindirilebilir kuru madde, kuru madde tüketimi oranları ve nispi yem değeri sonuçları Çizelge 1-8'de, incelenen özelliklere ait değişim grafikleri ise Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Çeşit x doz interaksyonu istatistiki olarak tanen, yağ, NDF, KMT oranları ve NYD için %1 seviyesinde, ham protein, ADF, SKM oranları için %5 seviyesinde önemli bulunmuştur.



Şekil 1. Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin kondanse tanen, ham protein, ham yağ oranı ve adf'ye etkisine ait değişim grafiği



Şekil 2. Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin ndf, skm, kmt oranları ve nyd'ye etkisine ait değişim grafiği

Kondanse tanen oranlarında (Çizelge 1) en yüksek değeri Öğretmenoğlu çeşidi (%2.0) verirken, en düşük oranı Akdarı çeşidi (%0.11) göstermiş ve Beydarı çeşidi ise en yüksek ikinci kondanse tanen oranıyla (%1.68) Öğretmenoğlu çeşidini takip etmiştir. Cd dozlarının artması ile birlikte tanen oranları artış-azalış şeklinde bir değişim göstermiştir. En yüksek kondanse tanen oranına 25 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında rastlanırken, en düşük kondanse oranına (%0.89) 75 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında ulaşılmıştır. Çeşit x doz interaksiyonunda

ise en yüksek kondanse tanen oranını (%3.04) 125 mg kg⁻¹ Cd dozu ile Beydarı çeşidi, en düşük kondanse tanen oranını ise Akdarı çeşidinin tüm dozları göstermiştir. Kadmiyum stresi karşısında tane sorgum çeşitlerindeki tanen oranları değişim göstermiştir. Tanen, fenolik bir bileşiktir (Basit fenoller, kumarin, lignin, lignan, kondanse ve hidrolize edilebilir tanenler ve flavonoidler fenolik bileşikleri ifade eder (Khoddami ve ark. 2013) ve fenolik bileşiklerin stres durumunda davranışı ile ilgili araştırmalar yapılmıştır.

Çizelge 1. Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin kondanse tanen oranlarına (%) etkisine ait ortalamalar

Dozlar (mg kg ⁻¹)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	0.08±0.00 H**	1.3±0.07 E-G	2.04±0.49 CD	1.14 bc**
25	0.11±0.02 H	2.02±0.08 D	2.63±0.37 B	1.59 a
50	0.11±0.01 H	1.13±0.13 G	2.24±0.25 CD	1.16 bc
75	0.09±0.01 H	1.05±0.07 G	1.54±0.22 EF	0.89 c
100	0.08±0.01 H	1.58±0.43 E	2.38±0.29 BC	1.35 ab
125	0.16±0.02 H	3.04±0.08 A	1.2±0.22 FG	1.47 a
Ortalama	0.11 c**	1.68 b	2.00 a	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.

Patojen ve böcek zararları, yaralama ve UV gibi ekolojik ve fizyolojik streslere yanıt olarak düşünülmektedir (Khoddami ve ark. 2013). Spesifik yapılan çalışmalarda fenolik asitler Cd ve Ni alımından önemli ölçüde etkilenebilmektedir (Kováčik ve ark. 2011). Phenylalanine Amonyum Liyaz (PAL), bitkilerde fenollerin sentezindeki önemli enzimdir (Kováčik ve Klejdus 2008). PAL'in sentezlenemediği koşullarda tanen oranı düşüş göstermiş olabilir. Jiang ve ark. (2017) de çalışmalarında kadmiyum stresinin bitkide fenolik bileşen üretimini arttırdığını, fakat yüksek seviyelerdeki Cd dozlarının fenollerin üretimini inhibe ettiğini bildirmişlerdir. Jiang ve ark. (2017) bitkilerin dokularında polifenollerin üretiminin artmasını, ağır metallerin varlığı,

yüksek tuzluluk stresi, aşırı sıcaklıklar gibi durumlarda, bitkilerin ortamlarına uyum sağlama stratejisi olarak geliştirmesi ile açıklamışlardır. Çeşitlerinin ham protein oranları (Çizelge 2) %12.85 ile %15.14 aralığında değişim göstermiştir. En yüksek oran Akdarı çeşidinde, en düşük oran Öğretmenoğlu çeşidinde belirlenmiştir. Cd seviyelerinin artması sonucu ham protein oranlarında anlamlı bir değişiklik belirlenmemiştir ve değerler %13.36- %14.48 aralığında değişmiştir. Çeşit x doz interaksiyonunda ise, en yüksek ham protein oranı (%15.79) 75 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında Akdarı çeşidinde, en düşük oran (%10.4) Öğretmenoğlu çeşidinde kontrol bitkilerinde belirlenmiştir.

Çizelge 2. Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin ham protein oranlarına (%) etkisine ait ortalamalar

Dozlar (mg kg ⁻¹)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	15.60±0.55 A*	14.07±3.45 A-E	10.4±2.49 F	13.36
25	14.94±0.34 AB	14.9±0.24 AB	13.61±0.41 B-E	14.48
50	15.06±0.53 AB	13.93±0.09 A-E	14.19±0.21 A-D	14.39
75	15.79±0.45 A	12.82±0.21 C-E	13.93±0.19 A-E	14.18
100	14.68±0.46 A-C	14.09±0.21 A-E	12.38±0.42 E	13.71
125	14.76±0.5 AB	13.24±1.25 B-E	12.58±0.63 DE	13.53
Ortalama	15.14 a**	13.84 ab	12.85 b	

** %1, * %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.

Cd seviyelerinin yükselmesi tanede protein oranının istatistiki olarak değişimine neden olmamıştır ancak çeşit x doz interaksiyonu %5 önem seviyesinde değişmiştir. Çeşitlerde farklı seviyelerdeki Cd uygulamalarında artış ve azalmalar meydana gelmiştir. Sheoran ve ark. (1990) kadmiyumun bitkide azot ve karbonhidrat metabolizmalarını değiştirdiğini belirtmişlerdir. Raineri ve ark. (1989) farklı bitki türlerinin, ağır metal ve UV ışın stresine karşı özel bazı proteinler ürettiğini ve bitki bünyesinde protein oranını yükselttiğini belirtmişlerdir. Buna ek olarak Öktüren Asri ve Sönmez (2006), ortamda Cd konsantrasyonunun artmasıyla bitkinin klorofil metabolizmasının olumsuz etkilendiğini ve azot kullanımında görevli olan enzimlerden NO₂⁻ redüktaz ile NO₃⁻ redüktazın işlevlerini bozarak bitkinin azot

kullanımını negatif etkilediğini belirtmişlerdir. Çalışmada protein oranının bazı dozlarda artış bazı dozlarda azalma göstermesi, kadmiyum mevcudiyetinin azot metabolizmasını bozma durumunda azalış, farklı stres kaynaklı koşullarda bitkinin özel bazı proteinler üreterek, bu oranın artmasını açıklayan durumlar olduğu düşünülmektedir. Çeşitlerin ham yağ oranları Çizelge 3'te gösterilmiştir. En yüksek ham yağ oranı (%3,69) Beydarı çeşidinde, en düşük oran (%2.17) Akdarı çeşidinde görülmüştür. Artan kadmiyum seviyeleri ile ham yağ oranlarında artış-azalış şeklinde eğilim gözlemlenmiştir. En yüksek ham yağ oranı (%4.58) 125 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında, en düşük ham yağ oranı (%1.99) 75 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında belirlenmiştir. Çeşit x doz interaksiyonunda en yüksek ham yağ oranı (%5.96) 125 mg

kg⁻¹ Cd uygulamasında Beydarı çeşidinde ölçülürken, en düşük oran (%1.53) Akdarı

çeşidinde 25 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında ölçülmüştür.

Çizelge 3. Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin ham yağ oranlarına (%) etkisine ait ortalamalar

Dozlar (mg kg ⁻¹)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	2.78±0.19 D**	2.38±0.20 D-F	2.16±0.31 E-H	2.44 c**
25	1.53±0.14 I	5.13±0.08 B	2.37±0.13 D-G	3.01 b
50	1.61±0.13 HI	4.23±0.07 C	2.43±0.39 D-F	2.76 bc
75	2.03±0.07 F-I	1.83±0.18 G-I	2.1±0.2 F-H	1.99 d
100	2.7±0.2 DE	2.57±0.23 D-F	2.63±0.17 DE	2.63 bc
125	2.37±0.55 D-G	5.96±0.07 A	5.4±1 B	4.58 a
Ortalama	2.17 c**	3.69 a	2.85 b	

** %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir

Cd seviyelerinin yükselmesi tane sorgum çeşitlerinin yağ oranlarında değişime neden olmuştur. Doz artışlarına paralel bir artış ham yağ oranında belirlenmemiştir. Graham ve Patterson (1982) çeşitli bitkilerin stres durumlarında doymuş yağ asidi ve doymamış yağ asidi oranlarının değişebileceğini bildirmişlerdir. Yoshida ve ark. (1979) bitkinin yaşadığı stres koşullarında hücre zarı lipidlerinin bozulduğunu ve daha sonra membran stabilitesinin değişmesi ile birlikte iyonların ve sıvıların hücre dışına sızması sonucunda doymamış yağ asidi miktarında bir artış görüldüğünü belirtmişlerdir. Çizelge 4'te çeşitlerin Cd dozlarına bağlı olarak değişen ADF oranları gösterilmiştir. En yüksek

ADF oranı Beydarı çeşidinde (%10.99), en düşük ADF oranı ise Akdarı çeşidinde (%9.19) belirlenmiştir. Cd seviyelerinin yükselmesi ile birlikte ADF oranı artış-azalış-artış şeklinde bir dalgalanma göstermiştir. 25 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında en yüksek ADF oranı (%11.18) görülürken, 100 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında en düşük ADF oranı (%9.7) görülmüştür. Çeşit x doz interaksiyonu için en yüksek ADF oranı (%12.85) 25 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında Beydarı çeşidinde, en düşük oran (%8.91) 50 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında Akdarı çeşidinde görülmüştür. ADF yapısal karbonhidratlar içerisine giren selüloz ve ligninden oluşur (Anonim, 2011).

Çizelge 4. Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin ADF oranlarına (%) etkisine ait ortalamalar
Çeşitler

Dozlar (mg kg ⁻¹)	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	8.92±0.74 HI*	11.12±2.31 B-E	9.5±0.99 F-I	9.85 bc**
25	9.15±0.37 G-I	12.85±1.09 A	11.53±0.13 B-D	11.18 a
50	8.91±0.66 I	10.92±0.2 B-E	10.34±0.37 D-G	10.06 bc
75	9.99±0.09 E-I	10.6±0.7 C-F	11.64±0.4 A-C	10.74 ab
100	8.97±0.07 HI	9.95±0.17 E-I	10.17±0.5 E-H	9.70 c
125	9.22±0.22 G-I	10.5±0.5 C-F	11.92±0.15 AB	10.55 abc
Ortalama	9.19 b**	10.99 a	10.85 a	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir

Cd uygulaması tanede ADF oranları üzerinde artış-azalış-artış şeklinde etki etmiştir. Vatehova ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada iki hibrid mısırı Cd toksisitesine maruz bırakmış ve hücre duvarı polisakarit yapısındaki değişimlerin ve bunların lignin ve selüloz ile olan oranlarının, mısır çeşitlerinin Cd'ye karşı tolerans ya da savunmada yer alabildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca iki çeşitteki Ca⁺² konsantrasyonunun ve beraberinde selüloz oranının, hücre duvarında yer alan Ca⁺²'nin Cd⁺² ile yer değiştirmesi sebebiyle azaldığını ve lignin oranının arttığını bildirmişlerdir. Ağır metal stresi bitkilerde lignifikasyonu arttırabilir (Tester ve Leigh 2001; Verma ve Dubey 2003). Çalışmada çeşitlerin ortalamasında elde edilen sonuç, Kaplan ve Kızıllı (2012)'in değerlerinden Akdarı çeşidi için daha

düşük, Beydarı için daha yüksek ve Öğretmenoğlu çeşidi için benzerlik göstermiştir. Çizelge 5'te çeşitlerin Cd dozlarına bağlı olarak değişen NDF oranları gösterilmiştir. NDF oranları %21.46 - %27.22 aralığında değişmiştir. En yüksek orana sahip çeşit Akdarı olurken, en düşük orana sahip çeşit ise Öğretmenoğlu olmuştur. Cd seviyelerinin yükselmesi ile ters orantılı şekilde NDF oranlarında düşüş belirlenmiştir. En yüksek NDF oranı kontrol ve 25 mg kg⁻¹ Cd uygulamalarında, en düşük NDF oranı 100 ve 125 mg kg⁻¹ Cd uygulamalarında görülmüştür. İnteraksiyonlarda ise en yüksek NDF oranını (%32.02) kontrol uygulamasında Akdarı çeşidi gösterirken, en düşük oranı (%16.97) 100 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında Öğretmenoğlu çeşidi göstermiştir.

Çizelge 5. Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin NDF oranlarına (%) etkisine ait ortalamalar
Çeşitler

Dozlar (mg kg ⁻¹)	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	32.02±0.92 A**	21.45±0.83 G	24.54±2.91 DE	26.00 a**
25	27.17±0.86 C	29.49±0.52 B	23.28±0.28 EF	26.65 a
50	26.9±0.72 C	22.15±0.17 FG	22.2±0.31 FG	23.75 b
75	25.75±0.86 CD	23.8±0.22 E	21.91±0.12 FG	23.82 b
100	26.93±0.12 C	21.62±0.6 G	16.97±0.14 I	21.84 c
125	24.54±0.45 DE	21.07±1.22 GH	19.85±0.15 H	21.82 c
Ortalama	27.22 a**	23.26 b	21.46 c	

** : %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.

NDF, hemiselüloz, selüloz ve ligninden meydana gelir ve toplam hücre duvarını ifade eder (Anonim, 2011). Cd uygulamalarında artan seviyelerle birlikte ortalama NDF oranlarında düşüş meydana gelmiş interaksiyonlarda ise değişimler gözlemlenmiştir. Bu değişimlere Cd elementi hücre duvarı bileşenleri üzerinde etki göstererek sebep olmuş olabilir. Pavliková ve ark. (2002) ıspanakta Cd konsantrasyonunun çeşitli polipeptitler ve fitoşelatinlerle ilişkili olduğunu, hücre duvarı ve hücre iskeleti yapısını etkilediğini belirtmişlerdir. Vatehova ve ark. (2016) hücre duvarında yer alan Ca⁺² miktarının, bir katyon olan Ca⁺² ile yine bir katyon olan Cd'nin yer değişimi sebebiyle azaldığını, bununla birlikte selüloz oranının düşüp lignin oranının artması ile bu durumun devam ettiğini belirtmiştir. Çalışma

sonuçlarında çeşitlerin ortalamalarından elde edilen sonuçlar; Kaplan ve Kızıllı (2012)'in değerlerinden Akdarı çeşidi daha yüksek, Beydarı çeşidi daha düşük ve Öğretmenoğlu çeşidinin benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Tane sorgum çeşitlerinin SKM oranlarına bakıldığında, en düşük oranı ilk olarak Beydarı çeşidi (%80.34) ve ikinci olarak Öğretmenoğlu çeşidi (%80.45) aynı ortalama grubunu oluşturarak göstermiştir. En yüksek oranı ise Akdarı çeşidi (%81.74) göstererek ikinci ortalama grubunu oluşturmuştur. SKM oranlarında Cd uygulamaları ile meydana gelen azalış-artış şeklindeki değişim Çizelge 6'da gösterilmiştir. En yüksek SKM oranı (%81.35) 100 mg kg⁻¹ Cd seviyesinde görülürken, en düşük SKM oranı (%80.19) 25 mg kg⁻¹ Cd seviyesinde görülmüştür. SKM için çeşit x doz

interaksiyonuna ait en yüksek oran (%81.96) 50 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında Akdarı çeşidinde, en düşük oran (%78.89)

25 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında Beydarı çeşidinde belirlenmiştir.

Çizelge 6. Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin SKM oranlarına (%) etkisine ait ortalamalar

Dozlar (mg kg ⁻¹)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	81.95±0.58 AB*	80.23±1.8 E-H	81.5±0.77 A-D	81.22 ab**
25	81.77±0.29 A-C	78.89±0.85 I	79.92±0.1 F-H	80.19 c
50	81.96±0.51 A	80.39±0.15 E-H	80.84±0.29 C-F	81.06 ab
75	81.12±0.07 A-E	80.65±0.55 D-G	79.84±0.31 G-I	80.53 bc
100	81.91±0.06 AB	81.15±0.14 A-E	80.98±0.39 B-E	81.35 a
125	81.72±0.17 A-C	80.72±0.39 D-G	79.62±0.12 HI	80.68 abc
Ortalama	81.74 a**	80.34 b	80.45 b	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.

SKM, ADF değerinin belirlenmesiyle ulaşılabilen bir değerdir. ADF oranının düşük olması SKM oranının yüksek olmasına sebep olur. SKM oranının yüksek olması da NYD değerinin ve yem kalitesinin yüksek olması anlamına gelir. Çalışmada SKM değerleri ADF değerlerinin doğrultusunda dalgalı bir değişim izlemiştir; bu hücre duvarı bileşenlerinin strese verdiği farklı tepkilerden kaynaklı olabilir. Cd yoğunluğu glutasyon oligomerleri ile ilişkilidir ve hücre duvarı ve hücre bileşenlerini etkiler (Pavliková ve ark. 2002). KMT oranlarına ait değerler Çizelge 7'de gösterilmiştir.

Çeşitlerde en yüksek oranı (%5.68) Öğretmenoğlu oluştururken, en düşük oranı (%4.44) Akdarı çeşidi oluşturmuştur. Uygulanan Cd seviyelerinin artması ile doğru orantılı şekilde KMT oranları da artış göstermiştir. En yüksek KMT oranını 100 ve 125 mg kg⁻¹ Cd uygulaması gösterirken, en düşük KMT oranını aynı ortalama grubunda yer alan kontrol ve 25 mg kg⁻¹ Cd uygulamaları göstermiştir. Çeşit x doz interaksiyonunda ise en yüksek KMT oranını (%7.07) 100 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında Öğretmenoğlu çeşidinde, en düşük oran (%3.75) Akdarı çeşidinde kontrol uygulamasında görülmüştür.

Çizelge 7. Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin KMT oranlarına (%) etkisine ait ortalamalar
Çeşitler

Dozlar (mg kg ⁻¹)	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	3.75±0.11 H**	5.6±0.21 C	4.94±0.6 EF	4.76 c**
25	4.42±0.14 G	4.07±0.07 H	5.16±0.06 DE	4.55 c
50	4.46±0.12 G	5.42±0.04 CD	5.41±0.08 CD	5.10 b
75	4.66±0.16 FG	5.04±0.05 E	5.48±0.03 CD	5.06 b
100	4.46±0.02 G	5.55±0.15 C	7.07±0.06 A	5.69 a
125	4.89±0.09 EF	5.71±0.33 C	6.05±0.05 B	5.55 a
Ortalama	4.44 c**	5.23 b	5.68 a	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.

KMT değerinin hesaplanmasında NDF değeri kullanılır. NDF oranının düşüklüğü KMT oranının yüksekliğine neden olmaktadır, KMT oranının yüksek olması da NYD değerinin ve yem kalitesinin yüksek olması anlamına gelir. Çalışmada KMT değerleri NDF değerleri doğrultusunda dalgalı bir değişim göstermiştir. Hücrede Cd yoğunluğu daha önce de belirtildiği gibi hücre duvarı yapısını etkilemektedir (Pavliková ve ark. 2002). Hücre duvarı bileşenleri ve bunlar arasındaki değişimin (lignin/selüloz oranlarının) kadmiyum stresine karşı savunmada yer aldığı belirtilmiştir (Vatehova ve ark. 2016). Hücrede pektinin fazla esterleşme göstermesi hücre duvarına

daha fazla Cd²⁺ bağlamasına yol açmaktadır (Lozano- Rodriguez ve ark. 1997). NYD'ye ait değerler Çizelge 8'de gösterilmiştir. En yüksek değeri (354.36) Öğretmenoğlu çeşidi en düşük değeri (281.31) ise Akdarı çeşidi göstermiştir. Uygulanan Cd dozlarının artması ile nispi yem değerinde azalış- artış şeklinde değişim gözlemlenmiştir. En yüksek NYD'yi 100 ve 125 mg kg⁻¹ Cd uygulamaları gösterirken, en düşük NYD'yi 25 mg kg⁻¹ Cd uygulaması göstermiştir. Çeşit x doz interaksiyonunda ise en yüksek NYD (443.81) 100 mg kg⁻¹ Cd uygulamasında Öğretmenoğlu çeşidinde, en düşük değer (238.18) Akdarı çeşidinde kontrol uygulamasında belirlenmiştir.

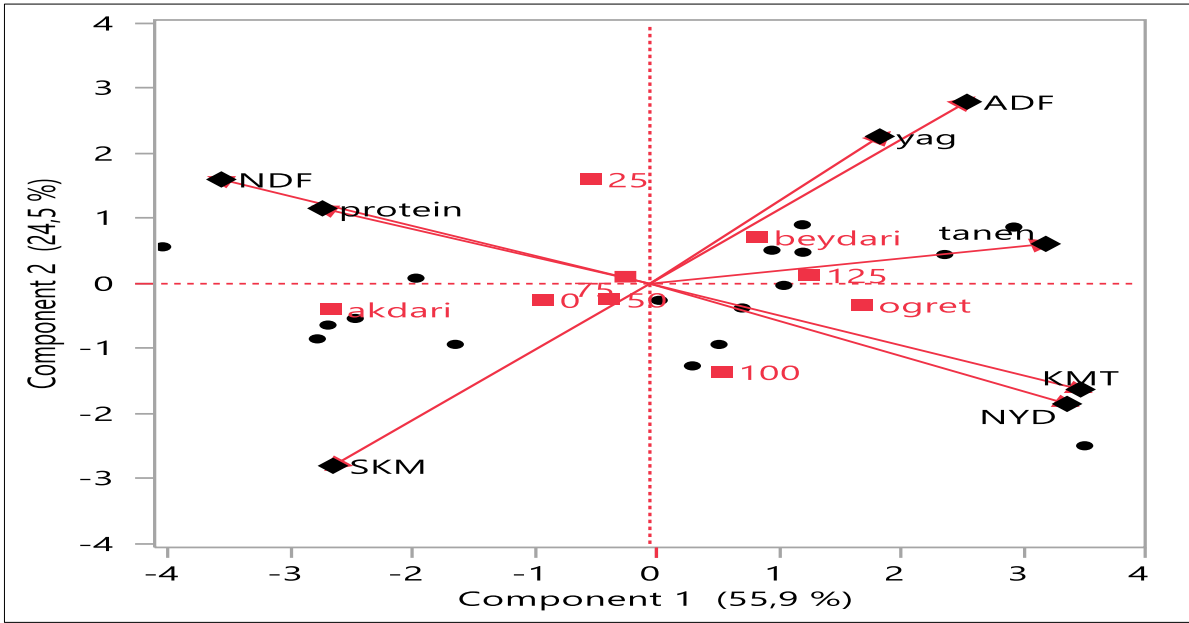
Çizelge 8. Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin nispi yem değerine etkisine ait ortalamalar
Çeşitler

Dozlar (mg kg ⁻¹)	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	238.18±5.23 H**	348.36±17.32 C	311.98±38.84 EF	299.51 c**
25	280.14±7.84 G	248.87±1.72 H	319.4±3.42 DE	282.80 d
50	283.63±9.4 G	337.71±1.88 CD	338.86±5.91 CD	320.06 b
75	293.21±9.55 FG	315.15±0.72 E	338.93±0.49 CD	315.77 bc
100	282.93±1.47 G	349.39±10.32 C	443.81±1.6 A	358.71 a
125	309.78±5.04 EF	357.17±22.5 BC	373.18±3.36 B	346.71 a
Ortalama	281.31 c**	326.11 b	354.36 a	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.

Hayvanların yem tüketimine olan davranışları, yemlerin sindirilme derecesi ve hayvanlar tarafından ürüne dönüştürülmesi, yemin kalitesine bağlıdır (Van Soest 1994). NYD (Nispi Yem Değeri) terimi ilk olarak ABD'de yonca için bulunan ve zamanla farklı yemler için de başvurulan bir değerdir (Relative Feed Value, RFV) ve yemlerin besleme değerini ölçmede kullanılmaktadır (Ball ve ark. 1996). NYD hesaplanırken tam çiçeklenmedeki yoncanın (kuru otun içerdiği) %41 ADF ve %53 NDF hesaba katılarak 100 değeri baz alınır. Nispi Yem Değeri 100'ün altına düşerse yem kalitesi azalır, artarsa kalite yükselir, NYD = % SKM x % KMT x 0.775 şeklinde hesaplanır (Redfearn ve ark. 2006). Çalışmada

çeşitlerin ortalamalarına ait sonuçlarda, Kaplan ve Kızıllı (2012)'in elde ettiği değerlerden Akdarı çeşidi daha düşük, Beydarı çeşidi daha yüksek ve Öğretmenoğlu çeşidinin benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Buna ek olarak bitkiler aldıkları fazla iz elementleri hücre duvarında/metabolik aktivitelerinin daha az olduğu bölgelerde biriktirebilirler. Farklı ağır metallerin bitki hücre duvarında birikebildiği belirtilmektedir (Wang ve ark. 2003). Bu birikimin hücre duvarında olması, hücre duvarı birleşenlerini meydana getiren ADF ve NDF oranlarını da negatif yönde etkileyebilmektedir (Verklaij ve Schat 1990). Çalışmada bazı yem kalite özellikleri arasındaki ilişkiye ait biplot grafiği Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Tane sorgum çeşitlerinde cd dozları ile incelenen özellikler arası ilişkilere ait biplot grafiği

Biplot grafiği, incelenen özellikler arasındaki ilişkiyi görsel açıdan değerlendirmek için oluşturulmaktadır ve açığı, aralarında olumlu ve yüksek korelasyona sahip özellikler için daralmakta, bu özellikler birbirlerine yakın bölgelerde yer almaktadır (Akçura, 2011). İncelenen özelliklerden ham yağ ile ADF, ham protein ile NDF arasında, NYD ve KMT arasında olumlu ve önemli korelasyonlar gözlemlenmiştir (Şekil 3). Ayrıca, ADF ve tanen arasında olumlu ve önemli korelasyon belirlenmiştir. SKM ile ham yağ ve ADF arasında; NDF ile KMT ve NDF arasında olumsuz ve önemli korelasyonlar görülmüştür. Kökten ve ark. (2017), silajlık mısır çeşitlerinin yem kalite özelliklerini biplot analizi ile

değerlendirdikleri çalışmada elde ettikleri sonuçlar içerisinde bulunan KMT ve NYD arasında olumlu ve önemli, SKM ve ADF ile KMT ve NDF arasında olumsuz ve önemli ilişkiler bu çalışmadaki biplot analizi sonucunda yer alan bu özellikler ile paralellik göstermektedir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Yem kalite özellikleri bakımından tüm çeşitlerde Cd stresi altında dalgalı bir değişim gözlemlenmiştir. Bu değişimin sebebi, analizlerde tanelerinin kullanılması doğrultusunda bitkinin kadmiyumu taneye taşımada gösterdiği farklılığın olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çalışma sera şartlarında gerçekleştiği için kadmiyum stresi ile birlikte bitkilerin sıcaklık gibi farklı streslere de maruz kalması yem kalite

parametrelerinde değişime neden olmuş olabilir. Kadmiyum gibi ağır metallerin stresinde bitkilerin yem kalite özelliklerinin hangi yönde değiştiğini gözlemlmek için çalışmaların arazi şartlarında (kadmiyum ya da diğer metaller ile bulaşık alanlarda) denenerek değerlendirilmesi daha uygun olacaktır.

TEŐEKKÜR

Bu çalışma, Bingöl Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi BAP-ZF.2017.00.008 No'lu Projesi ile desteklenmiş ve Hava şeyma YILMAZ'ın doktora tezinden hazırlanmıştır.

KAYNAKÇA

Akçura, M 2011. The relationships of some traits in Turkish winter bread wheat landraces. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 35(2): 115-125.

Anonim, 2011. Quality assurance for animal feed analysis laboratories. <http://www.fao.org/3/i2441e/i2441e00.pdf> (Erişim Tarihi: 07.07.2019)

AOAC, 1990. Official method of analysis. 15th. edn. Association of Official Analytical Chemist, Washington, DC. USA Ball DM, Hoveland CS, Lacefield GD (1996) Forage Quality. In: Southern Forages (2nd edition). 124-132. Potash &

Phosphate Institute and Foundation for Agronomic Research, Norcross, GA

Balole, T.V., Legwaila, GM. 2006 *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Record from PROTA4U

FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.com (Erişim Tarihi 13.03.2019)

Graham, D., Patterson, B.D. 1982. Response of plants to low nonfreezing temperatures: Proteins, metabolism, and acclimation, Annual Review of Plant Physiology (33): 347-372

Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö., Çobanoğlu, D. 2004. Ağır metal iyonlarının (Cu^{+2} , Pb^{+2} , Hg^{+2} , Cd^{+2}) *Clivia* sp. bitkisi polenlerinin çimlenmesi ve tüp büyümesi üzerine etkileri. F.Ü. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi 16(2): 177-182

Hamman, L., Dhuyvetter, KC., Boland, M. 2001. Economic issues with grain sorghum (MF-2513) Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service JMP®, Version 15.1. SAS Institute Inc., Cary, NC. 1989-2020.

Jiang, S., Wenga, B., Liua, T., Sua, Y., Liua, J., Lua, H., Yana, C. 2017. Response of phenolic metabolism to cadmium and phenanthrene and its influence on pollutant

translocations in the mangrove plant *Aegiceras corniculatum* (L.) Blanco (Ac) Ecotoxicology and Environmental Safety (141): 290–297

Kabata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants, 4th edn. CRC Press, Boca Raton

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. 2007. Metallerin Çevresel Etkileri –I. https://metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf (erişim tarihi: 29.01.2019)

Kaplan, M., Kızıllşımşek, M. 2012. Farklı tane sorgum (*Sorghum bicolor* L.) hat ve çeşitlerinin besleme değerlerinin belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi 28(1): 11-14

Kováčik, J., Klejdus, B. 2008. Dynamics of phenolic acids and lignin accumulation in metal-treated *Matricaria chamomilla* roots. *Plant Cell Rep.* 27(3): 605–615

Kováčik, J., Klejdus, B., Hedbavny, J., Zoń, J. 2011. Significance of phenols in cadmium and nickel uptake. *Journal of Plant Physiology* 168(6): 576–584

Kökten, K., Kaplan, M., Akçura, M. 2017. Farklı çevrelerde yetiştirilen silajlık mısır çeşitlerinin kuru ot verimi ile bazı kalite özellikleri arasındaki ilişkilerinin çeşit özellik biplot analizi ile değerlendirilmesi. Kahramanmaraş Sütçü

İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 20 (özel sayı): 46-51

Long, XX., Yang, XE., Ni, WZ. 2002. Current status and perspective on phytoremediation of heavy metal polluted soils. *Journal of Applied Ecology* 13: 757-762

Lozano-Rodriguez, E., Hernandez, LE., Bonay, P., Carpena-Ruiz, RO. 1997. Distribution of cadmium in shoot and root tissues1. *J Exp Bot* 48: 123–128

Luna, CM., Gonzalez, CA., Trippi, VS. 1994. Oxidative damage caused by excess of copper in oat leaves. *Plant Cell Physiology* 35: 11-15

Makkar, HPS., Blümmel, M., 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

Morrison, JA. 2003. Hay and pasture management. chapter 8. extension educator, crop systems rockford extension center.

Ouzounidou, G. 1995. Cu-ions mediated changes in growth, chlorophyll and other ion contents in a Cu-tolerant *Koeleria splendens*. *Biologia Plantarum* 37: 71-79

Öktüren-Asri, F., Sönmez, S. 2006. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması

üzerine etkileri. Akdeniz Üniversitesi Toprak Bölümü, s.10, Antalya

Pavliková, D., Pavlik, M., Vašičkova, S., Szakova, J., Tlustos, P., Vokac, K., Balik, J. 2002. The effect of soil properties on cadmium bonds to organic substances of spinach biomass. Appl. Organometal. Chem. 16: 187–191

Prasad, MNV. 2005. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. Environmental and Experimental Botany 35: 525–545

Raineri, A., Bernardi, P., Lanese, Ri., Soldatini, GF. 1989. Change in free amino acid content and protein pattern of maize seedling under water stress. Environmental and Experimental Botany 29(3): 351-357

Redfearn, D., Zhang, H., Caddel, J. 2006. Forage quality interpretations. Oklahoma Cooperative Extension Service F-2117. <http://pods.dasnr.okstate.edu> (Erişim Tarihi: 02.08.2019)

SAS, 1999. SAS User's Guide: Statistic. Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC

Sheoran, IS., Singal, HR., Singh, R. 1990. Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). Photosynthesis Research 23: 345-351

Dere, 2017. The effect of lead pollution on agricultural production and human health. International conference on agriculture forest, food, sciences and Technologies, 15-17 May.

Dere, 2019. Kurşun kirliliğinin tarımsal üretime etkileri. EJONS international journal on mathematic, engineering and natural sciences, 12(3): 108-118.

Tester, M., Leigh, RA. 2001. Partitioning of Nutrient Transport Processes in Roots. Journal of Experimental Botany 52: 445-457

Van Soest, PJ. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant (2nd Ed.). s. 528. Cornell University Press. Ithaca, N.Y

Van Soest, PJ., Robertson, JB., Lewis, BA. 1991. Method for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nostarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. J. Dairy Sci.74: 3583-3597 metodundan modifiye edilmiştir

Vatehova, Z., Malovíkova, A., Kollarova, K., Kucerova, D., Liskov, D. 2016. Impact of cadmium stress on two maize hybrids. Plant Physiology and Biochemistry 108: 90-98

Verklaij, JAC., Schat, H. 1990. In: Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects, Ed:A.J. Shaw, p:179-193, CRC Press, Boca Raton

Verma, S., Dubey, RS. 2003. Lead Toxicity Induces Lipid Peroxidation and Alters the Activities of Antioxidant Enzymes in Growing Rice Plants. *Plant Science* 164: 645-655

Wang, WS., Shan, XQ., Wen, B., Zhang, SZ. 2003. Relationship between the extractable metals from soils and metals takep up by maize roots and shoots. *Chemosphere* 53: 523-530

Yoshida, S., Niki, T., Sakai, A. 1979. Possible involvement of the tonoplast lesione in chilling injury of cultured plant cells. *Low Temperature in Crop Plants*. J. M. Lyons, Graham, D. ve Raison, J. K. (eds.), Academic press, New York, s. 275-290