

## Kadmiyum ile Kirli Alanlarda Bazı Elementlerin Alınımı Üzerine Hümkik Asitin Etkisi

Gizem AKSU

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü  
Sorumlu yazar: gizemaksu@comu.edu.tr

Geliş tarihi: 20/07/2018 Yayıma kabul tarihi: 29/11/2018

**Özet:** Bu çalışmada amaç kadmiyum elementinin alınımını sınırlandırmak için kullanılan hümkik asitin, bazı elementlerin alınımı üzerine etkisini belirlemektir.

Deneme; kadmiyum kaynağı olarak kadmiyum sülfatın 3 dozu (0; 1,5 ve 3 mg kg<sup>-1</sup>), hümkik asidin 4 dozu (0; 4; 8 ve 12 L da<sup>-1</sup>) ve 3 tekerrürlü olarak tesadüf blokları deneme desenine göre serada kurulmuştur. Bitkiler Hoagland Besin Solusyonu ile yetiştirilmiş ve kontrol bitkileri hasat olgunluğuna geldiğinde deneme sonlandırılmıştır. Hasat işleminden sonra bitkilerin fosfor (P), potasyum (K), magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca), kükürt (S), demir (Fe), mangan (Mn), nikel (Ni), krom (Cr), bor (B), çinko (Zn), molibden (Mo), bakır (Cu) ve kadmiyum (Cd) içerikleri belirlenmiştir. Sonuçlar MINITAB 17.0 istatistik paket programı ile tesadüf blokları deneme desenine göre analiz edilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre istatistiki açıdan konular arasında oluşan farklılıklar LSD testi ile karşılaştırılmıştır.

Sonuçlara göre hümkik asit ve kadmiyum uygulamaları bitkilerin potasyum, demir, krom ve bor içeriklerinde istatistiksel olarak (P>0,05) bir fark meydana getirmemiştir. Kadmiyum uygulaması bitki kalsiyum ve mangan içeriğini istatistiksel olarak (P< 0,01) etkilemiştir. Kadmiyum ve hümkik asit interaksiyonu bitkilerin fosfor, kükürt ve magnezyum içeriklerini istatistiksel olarak (P< 0,01) etkilemiştir. Hümkik asit uygulaması bitki bakır içeriğini istatistiksel olarak (P< 0,05) etkilemiştir. Kadmiyum uygulaması bitki molibden içeriğini istatistiksel olarak (P< 0,05) etkilemiştir. Hümkik asit ve kadmiyumun interaksiyonu, bitkinin nikel, çinko ve kadmiyum içeriğini istatistiksel olarak (P<0.05) etkilemiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hümkik asit, Kadmiyum, Marul

### The Effect of Humic Acid upon Some Elements Uptake within Cadmium Accumulated Zones

**Abstract:** The objective of the study is to determine the effect of humic acid, which is applied to reduce plant uptake on cadmium accumulated zones, over uptake of some nutrients.

An experiment was conducted according to a random block design, in a greenhouse with four doses of humic acid (0, 4, 8, 12 L da<sup>-1</sup>), three doses of cadmium sulphate as the Cd source (0, 1.5, 3 mg kg<sup>-1</sup>) and three replicates. Plants were fertilized with Hoagland's Nutrient Solution and the experiment was completed when the control plants reached harvest maturity. Phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sulphur, iron, manganese, nickel, chrome, boron, zinc, molybdenum, copper and cadmium concentrations were determined in plant samples after harvesting. The results were subjected to analysis of variance according to the randomized blocks experiment design using the MINITAB 17.0 statistical package program. In terms of statistics, differences which are significant according to the results of variance analysis among the subjects were compared with the LSD test.

According to the results, humic acid and cadmium treatments did not display any statistical significance with regard to potassium, iron, chrome and boron content of plant (P>0.05). Cadmium application created a statistically significant difference (P< 0.01) in calcium and manganese content of plant. The interaction of humic acid and cadmium statistically affected (P< 0.01) phosphorus, sulphur and magnesium content of plant. Humic acid created a statistically significant difference (P< 0.05) in copper content of plant. Cadmium application created a statistically significant difference (P< 0.05) in molybdenum content of plant. The interaction of humic acid and cadmium statistically affected (P< 0.05) nickel, zinc and cadmium content of plant.

**Key words:** Cadmium, Humic acid, Lettuce

## Giriş

Hızla artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamak amacıyla tarımsal üretimi artırmak kaçınılmazdır. Tarımsal üretimi arttırmak; ya birim alandan en fazla verimi sağlayan bitkileri yetiştirmek ya da üretim alanlarını genişletmek şeklinde yapılabilir. Dünyada tarım alanlarının sınırlı olması, üretimin arttırılmasında birim alandan daha fazla ürün almayı zorunlu kılmaktadır. Bilinçsiz, kontrolsüz ve yoğun uygulamalar neticesinde bazen beklenen faydanın aksine, çevre kirlenmekte, kirlenen tarım topraklarının verim potansiyeli düşmektedir. Topraklarda ağır metal birikimi mikroorganizmaları, bitkileri, hayvanları ve insanları olumsuz etkilemesinden dolayı potansiyel tehlike olarak görülmekte ve bu konudaki endişeler artmaktadır.

Bitki büyümesini engelleyen faktörler stres olarak tanımlanmaktadır. Dünya üzerinde tarımda kullanılabilir alanların sadece % 10' u herhangi bir çevresel stres etmeni ile karşı karşıya değildir. Bitkisel üretimi sınırlandıran önemli stres etmenlerinden biride kirlenen çevre ile birlikte büyük bir sorun haline gelen ağır metallerdir. Son yıllarda kullanılan kimyasal gübreler, toprak düzenleyiciler, pestisitler, arıtma çamurları ve atık suların kullanımı topraklarda kirliliğe neden olmaktadır (Khan ve ark., 2007). Bunun yanında endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzoz gazları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, gibi pek çok etken ağır metal kirliliğinin nedenleri arasında yer almaktadır (Zengin ve Munzuroğlu, 2003). Topraklarda ağır metal birikimi mikroorganizmaları, bitkileri, hayvanları ve insanları olumsuz etkilemesinden dolayı potansiyel tehlike olarak görülmekte ve bu konudaki endişeler artmaktadır.

Kadmiyum bitkisel üretimi sınırlandıran ve insan sağlığını tehdit eden ağır metallere biridir. Topraklarda Cd kaynağı ağır metallerce zengin ana materyal olabildiği gibi Cd topraklara; insan kaynaklı olarak atmosfer yoluyla, kanalizasyon çamurunun uygulanmasıyla, gübre ve pestisit kullanımıyla da girebilmektedir. Farklı kaynaklardan topraklara ulaşan Cd

bitki, hayvan ve insanların beslenmesinde mutlak gerekli bir element olmayıp bilinen biyolojik bir fonksiyonu bulunmamaktadır (Marschner, 2008). Yer kabuğunda ortalama 0.1–0.2 mg kg<sup>-1</sup> Cd bulunurken tarım topraklarında 3 mg kg<sup>-1</sup> kadmiyuma izin verilmektedir (Alloway, 1995; Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007). Kadmiyum çoğunlukla endüstriyel işlemlerden ve fosforlu gübrelerden besin zincirine transfer olmaktadır (Sandalio ve ark., 2001). Kadmiyum diğer metallere göre daha fazla suda çözünabilirliğe ve hareketliliğe sahip olduğu için bitki tarafından alınabilirliği de fazladır. Bu nedenden dolayı toprakta birikimi en tehlikeli ağır metaldir.

Son yıllarda bitki gelişimini teşvik eden organik gübrelerin önemi artmıştır bunlardan biri de hümik asitlerdir. Kömürden elde edilen hümik asitler, alkali çözücülerde çözünen fakat asitlerde çözünmeyen koyu renkli maddeler olarak tanımlanabilmektedir. Hümik maddeler yüksek moleküler ağırlığa sahip olup, toprakta kolaylıkla parçalanmayan dayanıklı, toprak organik maddesinin temelini oluşturan maddelerdir (Kaptan ve Aydın, 2012). Toprakta bulunan hümik maddelerin, bitkilerin beslenmesine doğrudan ve dolaylı olarak etkili olduğu bildirilmiştir (Lobartini ve ark., 1997). Hümik maddeler geçiş metal katyonları ile kompleks oluşturabilir ve besin elementi alınımını arttırabilir. Ya da tersine rekabet oluşturarak besin elementi alınımını bir süre azaltabilirler (Saltalı ve Eryiğit, 2012). Hümik maddeler bitki besin maddelerini yavaşça ortama vermesi ve yüksek katyon değişim kapasitesine sahip olması yanında toprakta ağır metal ve zararlı endüstriyel bileşiklerin yükselmesini engellemekte önemli bir role sahiptir (Amir ve ark., 2006) Hümik maddelerin bazı hormonal değişimlere neden olarak bitkide stres toleransının kazandırılmasında etkili olduğu ileri sürülmüştür (Piccolo ve ark., 1992). Türkiye'de gıda tüketimi büyük ölçüde tahıl kökenli olmasına rağmen beslenmemizde yaprakları yenen sebzeler de önemli yer tutmaktadır. Salata (*Lactuca sativa* L.) grubu sebzeler yaprakları yenen sebzeler arasında en yaygın olanıdır. Kabata-Pendias ve Pendias (1999-2001)'a göre marulun Cd

konsantrasyonu 29-400 ppm arasında değişmektedir (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007). Marul yüksek miktarda Cd biriktiren bitkilerden biri olarak kabul edilmektedir (Pais ve Jones, 2000). Dokularında 3 mg kg<sup>-1</sup> miktardan fazla Cd içeren bitkileri düzenli olarak tüketen insanlarda kadmiyumun toksik etkileri görülmektedir (Alloway, 1995).

Bu çalışma ile çeşitli nedenler sonucunda kadmiyum birikimi olan alanlarda bitkinin toksik bir madde ve kirletici olan kadmiyum elementinin alınımını sınırlandırmak için kullanılan hümik asitin, bazı elementlerin alınımı ve birikimi üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

### Materyal ve Metod

Denemede bitki materyali olarak yüksek miktarda kadmiyum biriktirebilen marul bitkisi kullanılmış ve Yedikule 5701 çeşidi seçilmiştir. Deneme Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşke'sinde bulunan Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'ne ait olan plastik örtülü ısıtmasız serada yürütülmüştür.

Denemede özellikleri Tablo 1'de verilen toprak kullanılmıştır. Toprak analizleri; tekstür Bouyoucus (1951) hidrometre yöntemine göre, toprak reaksiyonu (pH) Jackson (1967) 1: 2.5 toprak-su karışımına göre, kireç içeriği 5 tekerrür ile Allison ve Moodie (1965) kalsimetre yöntemine göre, organik madde içeriği Walkey (1934) modifiye Walkley Black metoduna göre, elektriksel iletkenlik Richards (1954)'e göre

yapılmıştır. Alınabilir elementlerin içeriklerini belirlemek için ise toprak örnekleri yaş yakma yöntemi ile hazırlanmış ve okumalar ICP-MS cihazı ile yapılmıştır. Denemede kullanılan hümik asit TKİ HÜMAS Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu tarafından üretilmiştir. Kullanılan hümik asit % 5 organik madde ve % 2 suda çözünebilir potasyum oksit içermekte ve pH'sı 11-13 arasındadır.

Deneme; kaynak olarak kadmiyum sülfat kullanılarak kadmiyumun 3 farklı dozu (0, 1.5 ve 3 mg kg<sup>-1</sup>), hümik asidin 4 farklı dozu (0, 4, 8, 12 L da<sup>-1</sup>) ve 3 tekerrürlü olarak tesadüf blokları deneme desenine göre kurulmuştur. Bitkiler kontrol bitkileri göz önünde bulundurularak ticari olgunluğa eriştiği zaman hasat edilmiştir. Hasat işleminden sonra sabit ağırlığa kadar kurutulan bitki örnekleri öğütüldükten sonra 0,5 g alınarak nitrik asit ve hidrojen peroksit ile yaş yakma yapılmıştır Jones ve ark. (1991). Elde edilen süzüklerde Elde edilen süzüklerde fosfor (P), potasyum (K), magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca), kükürt (S), demir (Fe), mangan (Mn), nikel (Ni), krom (Cr), bor (B), çinko (Zn), molibden (Mo), bakır (Cu) ve kadmiyum (Cd) içerikleri ICP cihazında belirlenmiştir.

Denemeden elde edilen veriler MINITAB 17.0 istatistik paket programında tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) ile değerlendirilmiştir. İstatistiki açıdan konular arasında varyans analizi sonuçlarına göre önemli bulunan farklar LSD testi ile kıyaslanmıştır.

Tablo 1. Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 1. Physical and chemical properties of the soil

Tekstür	Elektriksel İletkenlik (mS/cm)			Toprak Reaksiyonu (pH)		Kalsiyum Karbonat (%)	Organik madde (%)
Tınlı	0.39			7.59		7.25	0.42
Alınabilir P, kg da <sup>-1</sup>	Alınabilir K, kg da <sup>-1</sup>	Alınabilir Ca, mg kg <sup>-1</sup>	Alınabilir Mg, mg kg <sup>-1</sup>	Alınabilir Cu, mg kg <sup>-1</sup>	Alınabilir Zn, mg kg <sup>-1</sup>	Alınabilir Fe, mg kg <sup>-1</sup>	Alınabilir Mn, mg kg <sup>-1</sup>
6.65	7.91	4.097	251.80	0.10	0.41	1.96	1.65

### Bitki fosfor ve potasyum içeriği (P, K, mg kg<sup>-1</sup>)

Analiz sonucu bitki örneklerinde belirlenen fosfor ve potasyum değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Yapılan HA uygulaması ile P alımı 8 L da<sup>-1</sup> uygulamasına kadar azalmış, 12 L da<sup>-1</sup> uygulamasında tekrar artmıştır. Bu fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Yapılan Cd uygulamaları ile bitki P konsantrasyonları uygulama dozlarına

paralel olarak artış göstermiştir. Kadmiyum ve hümik asit interaksyonu ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Tablo 2 incelendiğinde yapılan Cd ve hümik asit uygulamaları ile bitki K konsantrasyonlarının artış gösterdiği ancak bunun istatistiksel olarak önemli

bulunmadığı görülmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından (Fagbenro ve Agboola 1993, David ve ark., 1994) hümik asit uygulamasının bitki P ve K içeriğini arttırdığı daha önceki çalışmalarla ortaya konmuştur. Çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçlarda bunları kısmen desteklemektedir.

Tablo 2. Bitki fosfor ve potasyum içeriği (mg kg<sup>-1</sup>)

Table 2. Plant phosphorus and potassium content (mg kg<sup>-1</sup>)

Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>					Hümik Asit L da <sup>-1</sup>	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>				
		0	4	8	12	Ort.		0	4	8	12	Ort.
0	1439 CD	1358	1224	1905	1482	22132	23891	23086	23777	23222		
		CD	CD	BCD								
1,5	2067 BCD	1131	1537	2220	1739	24277	21092	23255	24583	23302		
		D	CD	BC								
3	2734 AB	3228	1659	1726	2337	25003	25100	23296	23997	24349		
		A	CD	CD								
Ort.		2080	1906	1473	1950	23804	23361	23213	24119			

\*Büyük harfler ortalamaları göstermekte ve aynı harfler arasındaki fark önemli değildir. \*: P ≤ 0,01 göre önemli

### Bitki magnezyum ve kükürt içeriği (Mg, K, mg kg<sup>-1</sup>)

Analiz sonucu bitki örneklerinde belirlenen magnezyum ve kükürt değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3 incelendiğinde yapılan Cd uygulamaları ile bitki Mg konsantrasyonlarının değişmediği, hümik asit uygulamaları ile kontrole göre artan dozlara paralel olarak artış gösterdiği görülmektedir. Sonuçlarımız Fagbenro ve Agboola (1993), David ve ark., (1994) ile uyum içerisindedir. Bunun yanında kadmiyum ve hümik asit uygulamalarının interaksyonu istatistiksel olarak % 1

seviyesinde önemli bulunmuştur. Yapılan HA uygulaması ile S alımı 8 L da<sup>-1</sup> uygulamasına kadar azalmış 12 L da<sup>-1</sup> uygulamasında tekrar artmıştır. Bu fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Elde ettiğimiz sonuç Yılmaz ve ark., (2012)'nin ıspanak bitkisine uyguladıkları hümik asit sonuçlarına göre ıspanak yapraklarında kükürt içeriğinin arttığını söyledikleri çalışma ile uyumludur. Yapılan Cd uygulamaları ile bitki S konsantrasyonları uygulama dozlarına paralel olarak artış göstermiştir. Kadmiyum ve hümik asit interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Tablo 3. Bitki magnezyum ve kükürt içeriği (mg kg<sup>-1</sup>)

Table 3. Plant magnesium and sulphur content (mg kg<sup>-1</sup>)

Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>					Hümik Asit L da <sup>-1</sup>	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>				
		0	4	8	12	Ort.		0	4	8	12	Ort.
0	738 D	803	780	852 A	793	1342 CD	1502	1284 CD	1698	1457		
		ABCD	ABCD									
1,5	773 ABCD	751 CD	802	841	792	1554 ABCD	1223 D	1524	1898	1550		
		ABCD	ABCD	AB								
3	749 CD	806	767	826	787	1999 AB	2162 A	1663	1731	1889		
		ABCD	BCD	ABC								
Ort.		753	787	783	840	1632	1629	1490	1775			

\*Büyük harfler ortalamaları göstermekte ve aynı harfler arasındaki fark önemli değildir. \*: P ≤ 0,01 göre önemli

### Bitki demir ve mangan içeriği (Fe, Mn, mg kg<sup>-1</sup>)

Analiz sonucu bitki örneklerinde belirlenen demir ve mangan değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

Yapılan HA uygulaması ile Fe alımı 8 L da<sup>-1</sup> uygulamasına kadar azalmış 12 L da<sup>-1</sup> uygulamasında kontrole göre artmıştır. Bu fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Yapılan Cd uygulamaları ile

bitki Fe konsantrasyonları uygulama dozlarına paralel olarak azalmıştır. İstatistiksel olarak bir fark belirlenmemiştir.

Tablo 4 incelendiğinde Yapılan HA uygulaması ile Mn alımı 8 L da<sup>-1</sup> uygulamasına kadar azalmış 12 L da<sup>-1</sup> uygulamasında tekrar artmıştır. Bu fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Yapılan Cd uygulamaları ile bitki Mn konsantrasyonları azalmıştır bu değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Sonuçlarımız Kütük ve ark., (1999)'nın toprağa hümik asidin artan dozlarını uyguladıkları ve alınabilir Fe ve Mn miktarlarının arttığını söyledikleri çalışma ve Fallahia ve ark., (2006)'nın elmada yaptıkları çalışma sonucuna göre hümik asit uygulamasının yapraklarda Fe ve Mn içeriğini arttırdığını söyledikleri çalışma ile kısmen uyum içerisinde.

Tablo 4. Bitki demir ve mangan içeriği (mg kg<sup>-1</sup>)

Table 4. Plant iron and manganese content (mg kg<sup>-1</sup>)

Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Bitki Demir İçeriği	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>					Bitki Mangan İçeriği	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>				
		0	4	8	12	Ort.		0	4	8	12	Ort.
0		43,74	37,89	30,83	31,93	36,10		27,04	22,41	26,15	25,24	25,21 A
1,5		31,79	26,09	40,42	43,42	35,43		19,59	13,54	14,90	18,37	16,60 B
3		36,85	30,98	27,22	42,77	34,46		19,73	21,21	14,10	20,52	18,89 B
Ort.		37,46	31,65	32,82	39,37			22,12	19,05	18,39	21,38	

\*Büyük harfler ortalamaları göstermekte ve aynı harfler arasındaki fark önemli değildir. \*: P ≤ 0,01 göre önemli

#### Bitki kalsiyum içeriği (Ca, mg kg<sup>-1</sup>)

Analiz sonucu bitki örneklerinde belirlenen kalsiyum değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

Yapılan hümik asit uygulamaları ile bitki Ca içeriği azalmış ancak bu değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Yılmaz ve ark., (2012) ıspanak bitkisi ile yaptıkları çalışmada hümik asit uygulamaları ile ıspanak bitkisinde kalsiyum

içeriğinin arttığı sonucuna varmışlardır. Ancak çalışmamızdan elde edilen sonuçlar bunu desteklememektedir. Yapılan kadmiyum uygulamaları ile ise bitki Ca içeriği 1,5 mg kg<sup>-1</sup> Cd dozunda azalmış 3 mg kg<sup>-1</sup> Cd dozunda kontrole göre yeniden artış göstermiştir. Meydana gelen bu değişim istatistiksel olarak % 1 seviyesinde önemli bulunmuştur.

Tablo 5. Bitki kalsiyum içeriği (mg kg<sup>-1</sup>)

Table 5. Plant calcium content (mg kg<sup>-1</sup>)

Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Bitki Kalsiyum İçeriği	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>				
		0	4	8	12	Ort.
0		8775	6700	7357	7174	7501AB
1,5		6201	6801	5388	4768	5790B
3		7182	7217	8653	9678	8182A
Ort.		7386	6906	7133	7207	

\*Büyük harfler ortalamaları göstermekte ve aynı harfler arasındaki fark önemli değildir. \*: P ≤ 0,01 göre önemli

#### Bitki nikel ve krom içeriği (Ni, Cr, mg kg<sup>-1</sup>)

Analiz sonucu bitki örneklerinde belirlenen nikel ve krom değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Yapılan Cd uygulamaları ile bitki Ni konsantrasyonları düzensiz olarak değişmiş ve uygulamalar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Yapılan HA uygulaması ile Ni alımı 8 L da<sup>-1</sup> uygulaması hariç diğer

uygulamalarda kontrole göre azalmıştır. Elde edilen bu sonuç Piccolo (1988)'nin Pb, Cd, Zn ve Ni ile yaptığı çalışmada hümik madde ilavesinin çözünebilir ve değişebilir formdaki metallerin topraktaki yayılımını immobilize ettiğini söylediği çalışma ile uyumludur. Kadmiyum hümik asit interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Tablo 6 incelendiğinde yapılan Cd uygulamaları ile bitki Cr konsantrasyonlarının düzensiz olarak değiştiği ve bu durumun istatistiksel olarak önemli bulunmadığı görülmektedir. Hümik

asit uygulamasının ise nikelde olduğu gibi krom birikimini de 8 L da<sup>-1</sup> uygulaması hariç diğer uygulamalarda kontrole göre azalttığı belirlenmiştir. Ancak bu değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Tablo 6. Bitki nikel ve krom içeriği (mg kg<sup>-1</sup>)  
Table 6. Plant nickel and chrome content (mg kg<sup>-1</sup>)

Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>					Hümik Asit L da <sup>-1</sup>	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>				
		0	4	8	12	Ort.		0	4	8	12	Ort.
0	Bitki Nikel İçeriği	0,5286 AB	0,4981 AB	0,4083 AB	0,5593 AB	0,4986	Bitki Krom İçeriği	0,1743	0,3114	0,0856	0,4790	0,2626
1,5		0,3450 B	0,3997 AB	1,3135 A	0,3457 B	0,6010		0,5217	0,0336	2,4772	0,1348	0,7918
3		0,6037 AB	0,5120 AB	0,5368 AB	0,3204 B	0,4932		0,7919	0,4272	0,0953	0,0358	0,3375
Ort.		0,4924	0,4699	0,7529	0,4085		0,4960	0,2574	0,8860	0,2166		

\*Büyük harfler ortalamaları göstermekte ve aynı harfler arasındaki fark önemli değildir. \*: P ≤ 0,05 göre önemli

#### Bitki bor ve çinko içeriği (B, Zn, mg kg<sup>-1</sup>)

Analiz sonucu bitki örneklerinde belirlenen bor ve çinko değerleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7 incelendiğinde yapılan Cd uygulamaları ile bitki B konsantrasyonları düzensiz olarak değişmiş ve uygulamalar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Hümik asit uygulaması ile bitki bor içeriği artış göstermiştir. Sonuçlarımız Yılmaz ve ark., (2012)’nin ıspanak bitkisine uyguladıkları hümik asit sonuçlarına göre ıspanak yapraklarında bor içeriğinin arttığını söyledikleri çalışma ile uyumludur.

Kadmiyum uygulaması ile bitki çinko konsantrasyonu 1,5 mg kg<sup>-1</sup> Cd dozunda azalmış ancak 3 mg kg<sup>-1</sup> Cd dozunda kontrole göre artmıştır. Kadmiyum hümik asit interaksiyonunda meydana gelen bu değişim % 5 seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Yapılan HA uygulamaları çinko alınımını engellemiş 8 L da<sup>-1</sup> uygulaması hariç diğer uygulamalarda kontrole göre artış olmuştur. Bu sonuç Sözüdoğru ve ark., (1996)’nin fasulye bitkisi ile yaptıkları ve çinko içeriğinin hümik asit ile artış gösterdiğini belirttikleri çalışma ile uyum içerisindedir.

Tablo 7. Bitki bor ve çinko içeriği (mg kg<sup>-1</sup>)  
Table 7. Plant boron and zinc content (mg kg<sup>-1</sup>)

Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>					Hümik Asit L da <sup>-1</sup>	Hümik Asit L da <sup>-1</sup>				
		0	4	8	12	Ort.		0	4	8	12	Ort.
0	Bitki Bor İçeriği	20,612	16,855	19,327	21,075	19,467	Bitki Çinko İçeriği	11,139 AB	12,339 AB	9,806 AB	13,351 AB	11,658
1,5		25,350	14,083	16,929	22,172	19,633		11,741 AB	8,519B	9,462B	12,708 AB	10,607
3		20,798	22,595	21,554	25,313	22,565		11,765 AB	15,340 A	11,079 AB	12,832 AB	12,754
Ort.		22,253	17,844	19,270	22,853		11,548	12,066	10,116	12,964		

\*Büyük harfler ortalamaları göstermekte ve aynı harfler arasındaki fark önemli değildir. \*: P ≤ 0,05 göre önemli

#### Bitki molibden ve bakır içeriği (Mo, Cu, mg kg<sup>-1</sup>)

Analiz sonucu bitki örneklerinde belirlenen molibden ve bakır değerleri Tablo 8’de verilmiştir. Tablo 8 incelendiğinde bitki Mo konsantrasyonlarının hümik asit uygulamaları ile düzensiz olarak 0,0418 ile 0,0211 arasında değiştiği görülmektedir. Meydana gelen bu değişim istatistiksel

olarak önemli bulunmamıştır. Yapılan kadmiyum uygulaması ise kontrole göre molibden içeriğini 1,5 mg kg<sup>-1</sup> Cd dozunda azaltmış 3 mg kg<sup>-1</sup> Cd dozunda arttırmıştır. Bu değişim istatistiksel olarak % 5 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bitki Cu konsantrasyonu yapılan Cd uygulaması ile düzensiz olarak değişmiştir. Bakır içeriğinde meydana gelen bu değişim istatistiksel

olarak önemli bulunmamıştır. Yapılan HA uygulaması ile bitki Cu içeriği tüm dozlarda kontrole göre azalmıştır ve bu değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Elde ettiğimiz sonuçlar Yılmaz ve ark., (2012)'nin ıspanak bitkisine uyguladıkları

hümkik asit sonuçlarına göre ıspanak yapraklarında bakır içeriğinin arttığını söyledikleri çalışma ile uyum içerisinde değildir.

Tablo 8. Bitki molibden ve bakır içeriği (mg kg<sup>-1</sup>)

Table 8. *Plant molybdenum and copper content (mg kg<sup>-1</sup>)*

Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Hümkik Asit L da <sup>-1</sup>	Hümkik Asit L da <sup>-1</sup>					Hümkik Asit L da <sup>-1</sup>	Hümkik Asit L da <sup>-1</sup>				
		0	4	8	12	Ort.		0	4	8	12	Ort.
0	Bitki Molibden İçeriği	0,0591	0,0627	0,0220	0,0616	0,0514 A	Bitki Bakır İçeriği	2,8043	2,2159	2,0884	2,6441	2,4382
1,5		0,0041	0,0166	0,0305	0,0193	0,0155 B		2,4364	1,5690	1,5768	2,1727	1,9387
3		0,0623	0,0603	0,0108	0,0475	0,0452 AB		2,5008	2,6129	1,8070	1,9432	2,2160
Ort.		0,0418	0,0466	0,0211	0,0428		2,5805	2,1326	1,8240	2,2534		
							A	AB	B	AB		

\*Büyük harfler ortalamaları göstermekte ve aynı harfler arasındaki fark önemli değildir. \*: P ≤ 0,05 göre önemli

### Bitki kadmiyum içeriği (Cd, mg kg<sup>-1</sup>)

Analiz sonucu bitki örneklerinde belirlenen kadmiyum değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

En düşük Cd konsantrasyonu kontrol bitkisinde belirlenirken en yüksek Cd konsantrasyonu uygulamalarla paralel olarak 3 mg kg<sup>-1</sup> Cd uygulamasında belirlenmiştir. Ortamdaki Cd konsantrasyonunun artması ile bitkideki Cd konsantrasyonunun artması daha önce çeşitli araştırmacılar (Salt ve ark., 1995; Vivek ve ark., 2001; Stolt ve ark., 2003; Zhang ve ark., 2014; Li ve ark., 2014)

tarafından da ortaya konmuştur. Hümkik asit uygulanan bitkiler incelendiğinde yapılan uygulamanın kontrole göre bitki Cd konsantrasyonunu arttırdığı belirlenmiştir. Kadmiyum hümkik asit interaksiyonu ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Daha önce yapılan bazı çalışmalar ile (Koukal ve ark., 2003, Gardner ve Al-Hamdani, 1997) hümkik asit uygulamalarının metal alınımını ve buna bağlı toksiteyi azalttığı ortaya konmuştur. Ancak elde ettiğimiz sonuçlar daha önce yapılan bu çalışmalar ile aynı doğrultuda değildir.

Tablo 9. Bitki kadmiyum içeriği (mg kg<sup>-1</sup>)

Table 9. *Plant cadmium content (mg kg<sup>-1</sup>)*

Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	Hümkik Asit L da <sup>-1</sup>	Hümkik Asit L da <sup>-1</sup>				
		0	4	8	12	Ort.
0	Bitki Kadmiyum İçeriği	0,1410 CD	0,0992 D	0,1787 CD	0,0976 D	0,1291
1,5		16,3482 BC	20,5165 B	16,1410 BCD	17,6682 B	17,6685
3		30,4329 AB	43,6552 A	37,7793 A	41,6944 A	38,3905
Ort.		15,6407	21,4236	18,0330	19,8201	

\*Büyük harfler ortalamaları göstermekte ve aynı harfler arasındaki fark önemli değildir. \*: P ≤ 0,05 göre önemli

### Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada çeşitli nedenler sonucunda kadmiyum birikimi olan alanlarda bitkinin toksik bir madde ve kirletici olan kadmiyum elementinin alınımını sınırlandırmak için kullanılan hümkik asitin bazı elementlerin alınımı üzerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan HA uygulaması ile bitki P, S, Fe ve Mn içeriği 8 L da<sup>-1</sup> uygulamasına kadar azalmış 12 L da<sup>-1</sup> uygulamasında kontrole göre artış göstermiştir. Yapılan Cd uygulamaları bitki P ve S içeriğini artırırken Fe ve Mn içeriğini azaltmıştır.

Yapılan kadmiyum uygulamaları bitki K ve Mg içeriğini değiştirmemiştir. Hümkik asit uygulamaları ile bitki K ve Mg içeriği dozlara paralel olarak artmıştır.

Yapılan hümik asit uygulamaları ile bitki Ca içeriği kontrole göre azalmıştır. Yapılan kadmiyum uygulamaları ile ise bitki Ca içeriği 1,5 mg kg<sup>-1</sup> Cd dozunda azalmış 3 mg kg<sup>-1</sup> Cd dozunda kontrole göre yeniden artış göstermiştir.

Bitki nikel ve krom içeriği 8 L da<sup>-1</sup> hümik asit uygulaması yapılan bitkiler hariç diğer uygulamalarda kontrol bitkilerine göre daha az belirlenmiştir. Kadmiyum uygulamaları ise 1,5 mg kg<sup>-1</sup> Cd dozunda bitki nikel ve krom içeriğini arttırırken 3 mg kg<sup>-1</sup> Cd dozunda azaltmıştır.

Bitki bor içeriği 4 ve 8 L da<sup>-1</sup> hümik asit uygulaması ile bitkide azalırken 12 L da<sup>-1</sup> uygulamasında artmıştır. Bitki bor içeriği kadmiyum uygulaması ile dozlara paralel olarak artış göstermiştir.

Bitki çinko ve molibden içeriği 8 L da<sup>-1</sup> hümik asit uygulaması yapılan bitkiler hariç diğer uygulamalarda kontrol bitkilerine göre daha yüksek belirlenmiştir. Kadmiyum uygulamaları ise 1,5 mg kg<sup>-1</sup> Cd dozunda bitki çinko ve molibden içeriğini azaltırken 3 mg kg<sup>-1</sup> Cd dozunda artmıştır. Bitki bakır içeriği hümik asit uygulaması ile tüm dozlarda kontrole göre azalmıştır.

Bitki kadmiyum içeriği kadmiyum uygulamalarına paralel olarak artış göstermiştir. Hümik asit uygulaması kadmiyum içeriğini azaltmamıştır. En yüksek kadmiyum içeriği 4 L da<sup>-1</sup> uygulamasında belirlenmiştir. 8 L da<sup>-1</sup> uygulamasında kadmiyum içeriği azalsa da 12 L da<sup>-1</sup> uygulamasında tekrar bir miktar artmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda bitkiye uygulanacak hümik asitin yararlı etkilerinin olabileceği görülmüş ancak kesin olarak kadmiyum alınımını engelleyeceği sonucuna varılmamıştır. Bunun yanında bazı elementler hümik asit uygulamasından olumlu etkilenirken bazıları olumsuz etkilenmiştir. Daha detaylı doz çalışmaları ile kadmiyum alınımını azaltabilecek uygun hümik asit dozunun belirlenmesi gerektiği kanaatine varılmıştır.

## Kaynaklar

Alloway B. J., 1995. Heavy Metal in Soils. Blackie Academic and Professional, New York.

- Amir S., Hafidi M., Lemee L., Merlina G., Guiresse M. ve Pinelli E., 2006. Structural characterization of humic acids, extracted from sewage sludge during composting, by thermochemolysis-Gas chromatography – Mass spectrometry Process Biochemistry, 41 (2006), pp. 410-422
- Bouyocous G.J., 1951. A Recalibration of Hydrometer for Making Mechanical Analysis of Soil. Agronomy Journal, 43:434-437.
- David P.P., Nelson P.V. ve Sanders D.C., 1994. A humic acid improves growth of tomato seedling in solution culture J. Plant Nutr., 17 (1) (1994), pp. 173-184.
- Fagbenro J. A ve Agboola A.A., 1993. Effect of different levels of humic acid on the growth and nutrient uptake of teak seedlings. Journal of Plant Nutrition 16, 1465–1483.
- Fallahi E., Fallahi B. ve Seyedbagheri, M., 2006. Influence of Humic Substances and Nitrogen on Yield, Fruit Quality, and Leaf Mineral Elements of 'Early Spur Rome' Apple. J. of Plant Nutrition, 29(15):1819-1833
- Gardner J. L. Ve Al-Hamdani S. H., 1997. Interactive effects of aluminum and humic substances on *Salvania*. Journal of Aquatic Plant Management, 35, 30–34.
- Jackson M.L., 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi.
- Jones J. B, Wolf B. Jr ve Mills A. H., 1991. Plant Analysis Handbook. Micro-Macro Publishing Incorporated, Georgia.
- Kabata-Pendias A. ve Mukherjee A. B., 2007. Trace Elements from Soil to Human. Springer, Berlin.
- Kaptan M. A., Aydın M., 2012. Hümik asidin pamuk (*Gossypium hirsutum* l.) gelişimi ve kalite özellikleri üzerine etkileri. Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Dergisi 2012-1, 299-242.
- Khan S., Cao Q., Zheng Y. M., Huang Y. Z. ve Zhu Y. G., 2007. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with waste



- water in Beijing, China. *Environmental Pollution* 152: 686-692.
- Koukal B., Gueguen C., Pardos, M. ve Domonik J., 2003. Influence of humic substances on the toxic effects of cadmium and zinc to the green algae *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Chemosphere*, 53, 953–961.
- Kütük C., Çaycı, G. Baran A. ve Başkan O., 1999. Effect of humic acid on Some Soil Properties. Soil Science Department, Agricultural Faculty, Ankara University, 06110-Ankara Turkey.
- Lobartini J.C., Orioli G.A. ve K.H. Tan, 1997. Characteristics of soil humic acid fractions separated by ultrafiltration. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 28 (1997), pp. 787-796.
- Pais I, Jones JBJr, 2000. *The Handbook of Trace Elements*. Published by St. Lucie Pres, Boca Raton, Florida.
- Piccolo A., 1988. Characteristics of soil humic substances extracted with some organic and inorganic solvents and purified by the HCl-HF treatment. *Soil Sci.* 146:418–426.
- Piccolo A., Nardi S. ve Concheri G., 1992. Structural characteristics of humic substances as regulated to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 24:373-380.
- Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and Improvement Saline and Alkaline Soils*. U.S. Dep. Agr. Handbook 60.
- Salt D. E., Prince R. C., Pickering J. ve Raskin I., 1995. Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in indian mustard. *Plant Physiology* 109: 1427-1433.
- Saltalı K., Eryiğit N., 2012. Farklı katı hümik asit uygulamasının toprakların alınabilir fosfor içeriğine ve arpa bitkisinin fosforun alımına etkisi. *Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Dergisi* 2012-1, 233-242.
- Sandalio L. M., Dalurzo H. C., Gomez M., Romero-Puertas M. C. ve Rio L. A., 2001. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *Journal of Experimental Botany* 52 (364): 2115-2126.
- Sözüdoğru S., Kütük A.C., Yalçın R ve Usta S., 1996. Humik asitin fasulye bitkisinin gelişimi ve besin maddeleri alımı üzerine etkisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ankara, Turkey; 1996, Yayın No. 1452, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler: 800.
- Stolt J. P., Sneller F. E. C., Bryngelsson T., Lundborg T. Ve Schat H., 2003. Phytochelatin and cadmium accumulation in wheat. *Environmental and Experimental Botany* 49: 21-28.
- Vivek D., Vivek P. ve Radhey S., 2001. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum Sativum* L. cv. *Azad*). *Journal of Experimental Botany* 52 (358): 1101-1109.
- Walkley, A. and I. A. Black. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-37.
- Yılmaz G. F., Harmankaya M. Ve Gezgin S. 2012. Farklı demir bileşikleri ve tikhümas uygulamalarının ıspanak bitkisinin demir alımı ve gelişimine etkisi. *Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Dergisi* 2012-1, 217-231.
- Zengin K F & Munzuroğlu Ö (2003). Fasulye fidelerinin (*Phaseolus Vulgaris* L.) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine kadmiyum (Cd<sup>++</sup>) ve civa (Hg<sup>++</sup>)'nın etkileri. *C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi* 24 (1).
- Zhang X, Zhang X, Gao B, Li Z, Xia H, Li H & Li J (2014). Effect of cadmium on growth, photosynthesis, mineral nutrition and metal accumulation of an energy crop, King Grass (*Pennisetum americanum* x *P. purpureum*). *Biomass and Bioenergy* 67: 179-187.