



Ekoloji
15, 57, 29-37
2005

Mısırdaki (*Zea mays* L.) Gelişme, Mineral Beslenme ve Ağır Metal İçeriği Üzerine Yatağan Termik Santral Uçucu Küllerinin Etkisi

Atilla Levent TUNA, Ali Rıza GİRĞİN
Muğla Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü,
48100, MUĞLA

Özet

Bu çalışma, Muğla ili Yatağan Termik Santralinden kaynaklanan uçucu küllerin mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde büyüme, mineral beslenme ve ağır metal içeriği üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Asıl kaynağı kömür olan uçucu kül, zengin bir mineral içeriğe sahip olup, bitki beslenmesine ve gelişmesine katkıda bulunabilir. Denemede bitki yetiştirme ortamı olarak torf ve kum kullanılmış ve ortama %6,25, 12,5, 18,75 ve 25,00 oranlarında uçucu kül karıştırılmıştır. Yetiştirme ortamına karıştırılan uçucu kül, yaprak ve köklerin mineral besin elementi içeriklerinde değişikliklere neden olurken, bitkideki ağır metal içeriği toksik düzeye ulaşmamıştır. Yüksek oranda uçucu kül uygulaması % kuru madde, gövde çapı, yaprak alanı ve toplam klorofil içeriğinde azalmaya neden olmasına rağmen, düşük oranda kül uygulaması, büyüme parametreleri ve mineral beslenme üzerinde olumlu etkilere neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, gelişme, mısır (*Zea mays*), mineral beslenme, uçucu kül.

Effects of Fly Ash Arise from Yatagan Thermal Power Station on Growth, Mineral Nutrition and Heavy Metal Content of Maize (*Zea mays* L.)

Abstract

The experiment was designed to analyse the effect of fly ash resulting from Yatagan Thermal Power Station in Mugla on growth parameters, mineral nutrition and heavy metal content of *Zea mays* L. Fly ashes, caused by coal used in the station, with a rich mineral content may support plant growth and nutrition. In this experiment, turf and sand were used as main growth media and fly ash were mixed to this at the rate of 6.25, 12.5, 18.75 and 25.00. While fly ash mixture in to the growth media caused the changes on the mineral nutrient contents of the leaves and roots, heavy metal contents of plants did not reached to the toxic level. Although high rate fly ash treatment led to decrease in dry matter, stem diameter, leaf area and total chlorophyll content, low rate ash treatment have positive effects on growth parameters and mineral nutrition.

Keywords: Fly ash, growth, heavy metal, mineral nutrition, maize (*Zea mays*).

GİRİŞ

Giderek artan dünya nüfusuna paralel olarak enerji kullanım ihtiyacı da artan bir seyir içerisine girmiştir. Enerji kullanım ihtiyacından doğan gereksinimler insanlığı farklı enerji arayışlarına sürüklemekle beraber günümüzde halen fosil kaynaklı enerji üretimi ilk sıradadır.

Termik santrallerden kaynaklanan uçucu küllerin depolanması günümüzde oldukça büyük bir sorundur. Bu sorunun giderilmesi amacıyla oldukça değişik öneriler ortaya atılmakla beraber bunların içerisinde uçucu küllerin tarımsal alanlara belirli oranlarda karıştırılması ve bir çeşit gübre olarak tüketilmesi fikri kabul görmüştür (Sharma ve ark. 2002, Pathan ve ark.2003a). Yapılan çalışmalar kökeni kömür olan uçucu küllerin bitkiler için gerekli olan makro ve

mikro elementlerin yanı sıra bazı ağır metalleri de değişen oranlarda içerdiğini göstermektedir (Cline ve ark. 2000, Brake ve ark. 2004). Özellikle makro ve mikro element içermeleri, bunların bir çeşit toprak düzenleyicisi ve gübre olarak kullanımlarını teşvik etmiştir (Pathan ve ark. 2003b). Dünyada ve Türkiye'de enerji ihtiyacının oldukça büyük bir bölümü hâlihazırda fosil yakıt tüketen termik santrallerden karşılanmaktadır (Atımtay 2003, Baba ve Kaya 2004). Atık madde olarak açığa çıkan uçucu küllerin tarımsal alanlarda toprak düzenleyicisi (toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine olumlu etkiler yapan madde) ve gübre olarak değerlendirilebilme olanağı sorunun çözümüne önemli ölçüde katkıda bulunabilir. Küllerin tarımsal alanlarda kullanılmasını kısıtlayabilecek faktörler ise, içerdik-

leri ağır metaller ve radyoaktivitedir. Bu problemler aşıldığında küllerin tarımsal amaçlı kullanımının yarar sağlayabileceği düşüncesi hâkimdir.

Bu çalışmada kullanılan uçucu kül örneklerinin temin edildiği 3x210 MW Kurulu güce sahip Yatağan Termik Santrali'nin kömür ihtiyacı Muğla-Yatağan-Eskihisar-Tınaz-Bağyaka linyit havzasındaki düşük kalorili kömürden karşılanmaktadır. Bu bölge açık kömür işletmesi şeklindedir ve Afşin-Elbistan havzasından sonra Türkiye'nin en önemli kömür havzası konumundadır. Havzanın toplam kömür rezervi 191,2 milyon ton olup yaklaşık olarak %2,35-4,39 oranlarında kükürt %20-35 oranlarında kül içermekte ve yılda yaklaşık 1-1,4 milyon ton kül üretmektedir. Termik santralden üretilen küller santral idaresi tarafından santral yakınlarında biriktirilmekte ve bir kül dağı oluşturulmaktadır. Son zamanlarda bu kül dağı üzerinde ağaçlandırma çalışmaları yürütülmektedir. Küllerin bölgedeki tarım alanlarında kullanımının teşvik edilmesinin, dünyada da bu yönde yapılan pek çok uygulama bulunduğundan, uygun bir bertaraf etme yöntemi olduğu düşüncesindeyiz.

Termik santrallerde kullanılan linyit kömürü yüksek sıcaklıklarda yakıldığından, kömür içerisinde bulunan pek çok ağır metal (Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, Ni, Co, Cr) ve bazen polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAHs) küle geçmektedir. Enerji üretme amacıyla kullanılan kömürün kül oranının artışıyla doğru orantılı olarak ağır metal içeriği de kaynaktan kaynağa göre değişmekle birlikte, genellikle artış göstermektedir (Constantine ve ark. 2004). Fosil kökenli maddelerin enerji üretimi amacıyla yakılmaları ve biyosfere salınmaları sonucu, bu elementlerden kaynaklanan kirlilik sorunları da gün geçtikçe artış göstermektedir. Tarımsal amaçlı kullanılacak uçucu küllerin, öncelikle analizlerinin yapılarak besin elementi ve toksik ağır metal içerikleri ile radyoaktivite düzeyi tespit edilmelidir.

Uçucu küllerin tarım topraklarına uygulanmasıyla beraber toprak tekstürü, yoğunluğu, su tutma kapasitesi, pH ve toprakta kabuklanma üzerine olumlu etkiler gözlenmekte; bitki gelişmesi ve verim de genellikle artmaktadır. Toprağa %25 oranında uygulanan uçucu kül, kontrol ile karşılaştırıldığında lahanada bitkisinde %29, domateste %40,

patates ve bezelyede %45 ve patlıcanda %50-60 verim artışına yol açmıştır. 10 ton/ha uçucu kül ilavesiyle buğday verimi 2,15 t/ha'dan 2,45 t/ha'a, pamuk verimi ise 1245 kg/ha'dan 1443 kg/ha'a yükselmiştir. Verim artışlarının yanı sıra bitkilerin kuru madde miktarlarında da artış kaydedilmiştir. Uçucu kül uygulamasının dezavantajları olarak da, yeraltı suyu kirlenmesi, bitkilerin ağır metal alımlarında artış ve radyoaktif bulaşma gösterilmiştir (Adriano ve ark. 2002, Uğur ve ark. 2003, Mishra 2004). Çimlerin gelişimi ve toprak özellikleri üzerine uçucu küllerin etkisinin araştırıldığı diğer bir çalışmada da 0, 280, 560 ve 1120 Mg/ha oranlarında uçucu kül ilavesi, çim bitkisinde pazarlama kalitesini ve gelişmesini etkilemeksizin, toprağın su tutma kapasitesi ve bitkiye elverişli su miktarı üzerine olumlu etki göstermiştir (Domy ve Weber 2001). Salatalık bitkisinin gelişmesi üzerine uçucu küllerin farklı oranlarının denendiği bir çalışmada, toprağa %10, 25 ve 50 oranlarında karıştırılan uçucu kül, bitki gelişimine olumlu etki yapmış; ayrıca verim, yaprak alanı ve fotosentetik pigmentleri de olumlu etkilemiştir (Ajaz ve Tiyagi 2003). Kömür tozları ve uçucu küllerin içerdikleri toprak alkali metaller nedeniyle, özellikle düşük pH'ya sahip topraklarda bir çeşit kireçleme ajanı ve gübreleme materyali olarak tarım alanlarında kullanılabilirliği rapor edilmiştir (Wilson 1999).

Hindistan'da uçucu küllerin toprak ve bitki üzerine etkilerinin araştırıldığı, tarla denemesi şeklinde düzenlenen diğer bir çalışmada, 10-50 t/ha arasında değişen dozlarda uçucu kül toprağa karıştırılmış ve uçucu külün buğday (*Triticum aestivum* L.), hardal (*Brassica juncea* L.), mercimek (*Lens esculenta* Moench.), pirinç (*Oryza sativa* L.) ve mısır (*Zea mays* L.) bitkilerinin verim ve gelişmeleri ile toprağın bazı önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kül uygulaması toprak özellikleri ile verim üzerine olumlu etkiler yapmıştır (Kalra ve ark. 2003).

Bu çalışmada, termik santral uçucu küllerinin bertarafı ve değerlendirilmesine yönelik bir çözüm geliştirmek amacıyla, ekonomik öneme sahip mısır bitkisi seçilmiş ve bitki yetiştirme ortamına artan oranlarda katılan uçucu küllerin bitki mineral beslenmesi ve gelişmesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma sera koşullarında 3 tekerrürlü saksı denemesi şeklinde ve *Zea mays* L. kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yetiştirme ortamı olarak kontrol grubunda 4 kg kapasiteli saksılarda 1:1 oranında torf ve kum materyali kullanılmıştır. Yatağan Termik Santrali elektro filtresi altında biriken uçucu küllerden alınan kül materyali, yetiştirme ortamlarına %6,25, 12,5, 18,75 ve 25,00 oranlarında ilave edilmiş ve toplam 4 kül uygulama grubu oluşturulmuştur. İlk 3 grupta eksik kalan toplam hacim dere kumu ilave edilerek son gruba tamamlanmıştır. Çalışmada hedeflenen bir amacın da uçucu küllerin besleyici özelliğini tespit etmek olduğundan, bitkilere herhangi bir ilave gübreleme yapılmamıştır. Tohum ekim tarihinden itibaren 60 gün sonra deneme sona erdirilmiştir. Denemede kullanılan uçucu kül materyaline ait analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Kül örneklerinde bulunan ağır metal ve kimi iz element içerikleri (Fe, Zn, Mn, Cu, Cd, Co, Cr, Ni, Pb) kral suyu ($\text{HNO}_3 + \text{HCl}$) ekstraksiyon yöntemine göre ekstrakte edilerek, Atomik Absorbsiyon cihazı (AAS) yardımıyla belirlenmiştir (Kick ve ark. 1980, Slawin 1955). Bitki örnekleri hasattan sonra yaprak ve kök olarak ayrı ayrı elementel analize tabi tutulmuştur. Bu amaçla örnekler 80°C 'de etüvde kurutulup mikro değirmende öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. 4:1 oranında $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ karışımı ile yaş yakılan örneklerde N dışında tüm elementler ICP/AES cihazında; N ise Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir (Kacar 1972, Munter ve ark. 1984, Meyer ve Keliher 1992). Bitki örneklerindeki toplam klorofil miktarı, yaş bitki mater-

yalinin %80'lik aseton yöntemine göre ekstrakte edilmesiyle ve 663-645 nm dalga boylarında Strain ve Svec (1966)'e göre spektrofotometrik olarak okunmasıyla belirlenmiştir. Bitki örneklerinde % kuru madde miktarı ise; bitki örneklerinin 70°C 'lik etüvde 48 saat süreyle kurutulması ve yaş ağırlığa oranla su kaybının hesaplanmasıyla bulunmuştur. Gövde çapı, hasattan önce alt nodyumun hemen üzerinden kumpasla, yaprak genişliği ise her bitkiden 3 yaprağın en geniş kısmının ölçülüp ortalamasının alınmasıyla bulunmuştur. Gövde boyu, toprak yüzeyinden bitki tepe noktası arasındaki mesafenin ölçülmesiyle bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, TARIST istatistik paket programı kullanılarak istatistikî olarak değerlendirilmiş ortalamaların karşılaştırılmasında LSD testi kullanılmıştır (Açık-göz ve ark. 1994).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Termik santralden kaynaklanan uçucu küllerin bitkisel gelişim üzerine etkilerinin araştırıldığı denemenin hasat döneminden sonra yapılan bazı büyüme parametreleri, analizler ve mısır bitkisi yapraklarında belirlenen toplam klorofil miktarına ilişkin değerlerin yer aldığı bilgiler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2'de verilen değerlerin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, farklı düzeylerde uygulanan uçucu küllerin bitki gelişimi ve klorofil miktarı üzerine etkisi tespit edilmiştir. Önemli bir kalite kriteri olan % toplam kuru madde miktarı kontrol grubuna göre hafif derecede azalmakla birlikte %23,03 oranı ile ilk düzey kül uygulamasında (%6,25) en yüksek oranda bulunmuştur. Kuru madde oranları daha yüksek kül uygulamalarında azalmış, ancak en yüksek kül uygulama grubunda tekrar yükselmiştir. Gövde çapı ve yaprak genişliği ilk kül uygulama grubunda (11,93 mm ve 58,99 mm), gövde boyu ise üçüncü düzey kül uygulama grubunda (134,11 cm) en yüksek düzeylere ulaşmıştır. Toplam klorofil düzeylerine bakıldığında ise, en yüksek klorofil içeriği yine 3,52 mg/g TA (Taze Ağırlık) değeri ile ilk düzey kül uygulamasında tespit edilmiştir.

Bitkilerde kuru madde miktarı, genellikle önemli bir kalite kriteri olarak kabul edilmekte ve endüstri bitkilerinde pazarlanabilirliği artırıcı yönde olumlu

Tablo 1. Yatağan Termik Santrali uçucu kül örneğinin elementel analiz sonuçları.

| Ağır metaller | Miktar |
|---------------|-------------|
| Demir (Fe) | 2,5 (%) |
| Çinko (Zn) | 76,7 (ppm) |
| Mangan (Mn) | 246,1 (ppm) |
| Bakır (Cu) | 38,5 (ppm) |
| Kadmiyum (Cd) | 0,93 (ppm) |
| Kobalt (Co) | 13,5 (ppm) |
| Krom (Cr) | 33,4 (ppm) |
| Nikel (Ni) | 47,0 (ppm) |
| Kurşun (Pb) | 11,8 (ppm) |

Tablo 2. Yetiştirme ortamına farklı oranlarda katılan termik santral uçucu küllerinin mısır bitkisinin bazı büyüme özellikleri ve toplam klorofil miktarı üzerine etkisi.

| Uygulanan kül düzeyi (%) | KM (%) yaprak+ gövde | KM (%) Kök | KM (%) Toplam | Gövde çapı (mm) | Yaprak geniş. (mm) | Gövde boyu (cm) | Toplam klorofil (mg/g TA) |
|--------------------------|----------------------|------------|---------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------------------|
| Kontrol | 13,75a | 10,62a | 24,37a | 9,95b | 47,22b | 125,76b | 2,21c |
| 6,25 | 12,11b | 10,92a | 23,03b | 11,93a | 58,99a | 118,88c | 3,52a |
| 12,50 | 10,22d | 9,13b | 19,35c | 10,13b | 48,10b | 131,55a | 3,18b |
| 18,75 | 11,33c | 8,72b | 20,05c | 9,11c | 50,25b | 134,11a | 3,03b |
| 25,00 | 12,29b | 10,75a | 23,04b | 8,74c | 42,10c | 120,88c | 2,97b |

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen rakamlar arasında önemli fark vardır.

LSD: $p < 0,05$

KM: Kuru ağırlık, TA: Taze ağırlık

etki yapmaktadır. Bilimsel amaçlı yapılan gübreleme verim denemelerinde hemen hemen her çalışmada bakılan ilk parametrelerden birisi de bitki kuru madde oranlarıdır. Gübreleme verim denemelerinde optimum gübre dozlarında kuru madde miktarlarında görülen artışlar, genellikle bitki besin maddelerinin olumlu tesirlerinin bir sonucudur. Uçucu kül ve benzeri atık maddelerin toprak düzenleyicisi ve bitki gelişim aracı olarak uygulanmalarında da bu materyallerin içerdikleri makro ve mikro besin elementi düzeyleri dikkate alınmaktadır (Pathan ve ark. 2003b).

Termik santral uçucu küllerinin bitkilerde kuru madde miktarları üzerine olumlu etkileri olduğuna ilişkin sonuçlar sıklıkla rapor edilmektedir. Termik santral uçucu küllerinin buğday bitkisine etkilerinin araştırıldığı bir saksı denemesinde %50 oranında uygulanan uçucu kül, bitkinin boyunu, yaprak alanını, başak uzunluğunu ve bitki kuru madde miktarını arttırmış, toprak+uçucu kül uygulaması, toprak+%10 kompost ve toprak+%0,6 N-P-K uygulamaları ile karşılaştırılabilir düzeyde bulunmuştur. Uçucu küllerin bertaraf edilmesinde ve değerlendirilmesinde bu yöntemin uygulanabilirliği yüksek bulunmuştur (Tripathy ve Sahu 1997). Su ve Wong (2002) alkali stabilizasyona tabi tutulan kentsel atık suların mısır bitkisinde kuru madde oranını arttırdığını rapor etmişlerdir. Yine çim bitkisinde yapılan bir çalışmada da, asit topraklarda yapılan uçucu kül uygulamalarının toprak pH'sı, bitkinin element kompozisyonu ve kuru madde miktarı üzerine etkileri araştırılmış, uygulamalar ile toprak pH'sı hafif yükselirken bitkinin kuru madde ve P içeriğinde artış kaydedilmiştir (Matsi ve Keramidis 1999).

Bu çalışmada hedeflenen diğer bir amaç da termik santral uçucu küllerinin bitki besin maddesi potansiyelinin tespit edilmesine yöneliktir. Bu amaçla, yetiştirilen mısır bitkisinin hasat sonrasında yaprak ve köklerinde makro ve mikro besin elementleri tespit edilmiş ve elde edilen değerler Tablo 3 ve Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3'ün incelenmesinden anlaşılacağı gibi, uçucu kül uygulamalarıyla mısır bitkisinin yapraklarında bulunan N, P, K, Ca, Fe, Zn ve Mn içerikleri arasında ilişki ($p < 0,05$) tespit edilmiştir. Mg ve Cu içerikleri ise istatistiksel olarak önemli düzeyde değişime uğramamıştır. N, tabiatındaki kaynağı itibarıyla mineral kökenli bir element olmamasına rağmen, kül uygulamalarıyla beraber yapraktaki miktarı artmıştır. Bunun nedeninin külün içerdiği olduğu diğer besin maddelerinin alınmasıyla birlikte N alımının da teşvik edilmesine bağlı olduğu düşünülmektedir. Yaprakların P içeriği en yüksek seviyeye ilk düzey kül uygulamasında; K içeriği 2,3 ve 4. düzey kül uygulamalarında; Ca içeriği ise son düzey kül uygulamasında erişmiştir. Fe ve Zn içerikleri artan kül uygulamalarıyla beraber azalma kaydetmiş, Mn içeriği ise artmıştır. Fe ve Zn içeriklerindeki azalma, yaprakların Ca içeriklerinde artışa bağlı olabilir. Zira kontrol ile karşılaştırıldığında, yaprakların Ca içeriklerinde son düzey kül uygulamasında yaklaşık %96 oranında artış göstermiştir. Bu durum, külün Ca açısından zengin olmasından kaynaklanabilir. Yatağan Termik Santrali, Yatağan ve çevresinde mevcut bulunan genellikle 10-15 m kalınlığındaki neojen yaşlı marn ve yumuşak gölsel/lakustrin kalınlıklarının örttüğü (Ca mineralleri açısından zengin) düşük kaliteli linyitleri değerlendirmekte olduğundan bu durumu açıklar mahiyettedir.

Tablo 3. Yetiştirme ortamına farklı oranlarda katılan termik santral uçucu küllerini mısır bitkisinin yapraklarında makro (%) ve mikro element (mg/kg) içeriği üzerine etkisi.

| Uygulanan Kül Düzeyi (%) | N (%) | P (%) | K (%) | Ca (%) | Mg (%) | Fe (ppm) | Cu (ppm) | Zn (ppm) | Mn (ppm) |
|--------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|
| Kontrol | 1,55c | 0,256b | 2,60c | 0,45e | 0,25 | 101,0a | 9,1 | 6,0c | 49,2c |
| 6,25 | 2,77a | 0,369a | 3,65b | 0,54d | 0,23 | 104,0a | 10,2 | 41,3a | 89,0b |
| 12,50 | 2,71a | 0,234b | 4,08a | 0,63c | 0,23 | 91,0b | 9,9 | 26,4b | 93,5b |
| 18,75 | 1,39c | 0,149c | 4,02a | 0,76b | 0,23 | 75,0c | 10,1 | 20,5b | 97,0b |
| 25,00 | 2,45b | 0,182c | 4,12a | 0,89a | 0,27 | 76,0c | 9,7 | 7,6c | 112,0a |

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen rakamlar arasında önemli fark vardır.

LSD: $p < 0,05$

Mısır bitkisinin köklerinin içerdiği makro ve mikro elementler değerlendirildiğinde de, yaklaşık olarak yapraklara benzer bir durumun varlığı ortaya çıkmaktadır. Köklerin içerdiği makro ve mikro elementlere ait analiz sonuçları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablonun incelenmesinden anlaşılacağı üzere, kök örneklerinin element içeriklerinde de kül uygulamalarıyla beraber artış veya azalış kaydedilmiştir. En yüksek element içeriği değerine N için üçüncü düzey (%18,75) kül uygulamasıyla ulaşırken, P için birinci düzey (%6,25); K için 1, 2 ve 3. düzey; Ca için 3 ve 4. düzey; Mg için üçüncü düzey; Fe için dördüncü düzey; Zn için birinci düzey ve Mn için ise üçüncü düzey kül uygulamalarında ulaşılmıştır. Gerek yaprak ve gerekse kök örneklerinde tuzluluk zararına yol açabilecek düzeyde bir Na birikmesi saptanmamıştır.

Termik santral uçucu küllerinin tarımsal uygulamalarında önde gelen amaçlardan birisi de, onların elementel zenginliğinden faydalanmaktır. Bu amaca yönelik yapılan çalışmalardan olumlu sonuçlar rapor edilmektedir. Uçucu kül uygulamalarına toprak ve bitkinin tepkisi çoğunlukla olumlu olmaktadır. Uçucu küllerin toprağın temel fizikokimyasal özelliklerini olumlu etkilediği, onların bitki besin ele-

menti ve diğer elementlerce zengin oldukları ancak azot ve bazen de elverişli fosfor (toprakta fiksasyona uğramamış) yönünden fakir oldukları bildirilmektedir. Uçucu küllerin kontrollü şartlarda tarımsal alanlarda etkili ve güvenilir bir şekilde uygulanabilirliğinin bulunduğu ve uygulamaların toprak düzenlemesi üzerine olumlu etkilerinin bulunduğu bildirilmiştir (Gupta ve ark 2002).

Toprağın fiziksel özelliklerinin düzenlenmesinde ve buğday bitkisinin elementel kompozisyonu üzerine uçucu küllerin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, %1,5-7,5 oranlarında toprağa ilave edilen uçucu kül, toprak pH'sı ve EC (Elektriksel Geçirgenlik) değerini hafifçe düşürmüştü, SAR (Sodyum Adsorbsiyon Oranı) değerini azaltmış (ki bu toprak verimliliği ve bitki gelişimi için önemli bir işarettir), toprağın N, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Mo, Al, Pb içeriklerini arttırırken P ve Zn içeriklerini ise azaltmıştır. Buğday bitkisinin P ve Zn dışındaki diğer makro ve mikro element düzeyleri de uçucu kül uygulamalarıyla beraber artış göstermiştir (Kumar ve Singh 2003). Asit tepkimeli topraklarda kül uygulamasının toprak pH'sı üzerine olumlu etki yaptığı, bu nedenle uçucu küllerin 40 t/ha'yı aşmayan oranlarda bir kireçleme materyali olarak

Tablo 4. Yetiştirme ortamına farklı oranlarda katılan termik santral uçucu küllerinin mısır bitkisinin köklerinde makro (%) ve mikro element (mg/kg) içeriği üzerine etkisi.

| Uygulanan Kül Düzeyi (%) | N (%) | P (%) | K (%) | Ca (%) | Mg (%) | Fe (ppm) | Cu (ppm) | Zn (ppm) | Mn (ppm) |
|--------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|
| Kontrol | 0,61c | 0,133b | 1,40b | 0,69c | 0,38a | 556b | 9,1 | 14b | 11,5d |
| 6,25 | 1,30b | 0,181a | 2,03a | 0,69c | 0,25c | 422c | 10,2 | 19a | 11,8d |
| 12,50 | 1,74a | 0,117c | 2,19a | 0,96b | 0,34b | 438c | 10,4 | 12b | 18,2c |
| 18,75 | 1,81a | 0,080d | 1,89a | 1,27a | 0,38a | 580b | 11,2 | 6c | 29,2a |
| 25,00 | 1,26b | 0,077d | 1,57b | 1,17a | 0,31b | 636a | 10,3 | 5c | 22,7b |

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen rakamlar arasında önemli fark vardır.

LSD: $p < 0,05$

kullanılabileceğine yönelik bir çalışmada, uygulamalar ile bu topraklarda yetiştirilen çim bitkisinin B ve P içeriklerinin önemli düzeyde arttığı rapor edilmiştir. P düzeylerindeki artış, aşırı asit topraklarda fiksasyona uğramış durumda bulunan P elementinin toprak pH'sındaki hafif yükselmeye beraber elverişli duruma gelmesiyle ilişkilendirilmiştir (Matsi ve Keramidias 1999). Pathan ve ark. (2003a), kumlu topraklara uygulanan uçucu külün, toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini ve bu topraklarda yetiştirilen çim bitkisinin kuru madde ve kök gelişimini arttırdığını, toprakta alınabilir P miktarını yükselttiğini, kum bünyeli toprakta su tutma kapasitesini yükselterek toprağın verimlilik kapasitesini arttırdığını rapor etmişlerdir. Toprak düzenleyicisi ve gübreleme materyali olarak uçucu kül kullanımına yönelik diğer bir örnek çalışma da Kalra ve ark (1998) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre de, uçucu kül uygulanan ortamda yetiştirilen mısır, mercimek, hardal ve buğday bitkilerinin Zn, Cu, Fe ve Mn içerikleri yükselmiştir. Çalışmada, küllerin tarımsal kullanımının yararlı sonuçlar verebileceği, ancak daha uzun soluklu araştırmalara ihtiyaç duyulduğu bildirilmiştir. Uçucu küllerin tarımsal amaçlı uygulamalarıyla beraber, toprak ve bitkilerin makro ve mikro besin elementi içeriklerinin artış gösterdiğine yönelik birçok çalışma mevcut olup, Hammermeister ve ark. (1998) arpa ve yoncada B, Mo, Ca, Cr, K, Mg, Mo, P içeriklerinin arttığını; Scotti ve ark. (1996) hindibada (radika) Ca, S, Zn, Mn, Co, Pb, Ni, Cu, B ve Mg içeriklerinin arttığını, Sikka ve

Kansal (1995) ise yine uçucu kül uygulamalarıyla pirinçte N, S, Ca, ve Fe içeriklerinin arttığını rapor etmişlerdir.

Şimdiye kadar yapılan çalışmalardan çıkartılabilecek diğer bir ortak nokta da, termik santrallerden kaynaklanan uçucu küllerin kullanılabilirliğini kısıtlayıcı en önemli etmenlerden birisi de içerdikleri ağır metallerdir. Kaynağına ve cinsine göre değişmekle beraber, termik santrallerin yakıt olarak kullandıkları düşük kalorili ve düşük kaliteli kömürler, bazen toksik olabilecek düzeylerde ağır metaller içermektedirler. Bu nedenle, tarımsal kullanımdan önce uçucu küllerin ağır metal içerikleri uygun yöntemlerle belirlenmelidir. Bu çalışmada kullanılan uçucu küllerin ağır metal içerikleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde olup, mısır bitkisinin yaprak ve köklerinde bulunan ağır metal miktarları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablonun incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, kullanılan santral külünde incelenen ağır metallerin tümü de referans sınırları içerisinde yer almıştır (Levy ve ark. 1999, Ferguson 1990). Mısır bitkisi yaprak ve köklerinde tespit edilen ağır metal miktarları, kül uygulama düzeylerine göre artış veya azalış göstermiştir. Bu eğilim Cr, Ni ve Co elementlerinde azalma; Cd'da ise artış yönünde gerçekleşmiştir. Eğilim Pb'de önemli değildir. Azalma eğilimi yaprak ve köklerin Ca içeriklerindeki artış ile doğrusal bir orantı içerisinde. Zira ağır metaller ile Ca genellikle antagonistik bir etkileşim göstermektedir (Marschner 1995).

Uçucu kül uygulanan tarım topraklarının ve bu-

Tablo 5. Yetiştirme ortamına farklı oranlarda katılan termik santral uçucu küllerinin mısır bitkisinin yaprak ve köklerinde ağır metal içeriği (mg/kg) üzerine etkisi.

| | Uygulanan Kül Düzeyi (%) | Cd (mg/kg) | Co (mg/kg) | Cr (mg/kg) | Ni (mg/kg) | Pb (mg/kg) |
|--------|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| YAPRAK | Kontrol | 0,09b | 0,57 | 5,51a | 3,86a | 3,47b |
| | 6,25 | 0,15a | 0,50 | 4,11b | 3,01b | 3,73a |
| | 12,50 | 0,17a | 0,51 | 2,83c | 2,05c | 3,68a |
| | 18,75 | 0,17a | 0,49 | 2,08c | 2,02c | 3,11c |
| | 25,00 | 0,17a | 0,53 | 2,45c | 2,87b | 3,21c |
| KÖK | Kontrol | 0,12d | 2,10a | 6,65a | 20,25a | 3,29 |
| | 6,25 | 0,65b | 1,54c | 5,71b | 19,25a | 2,99 |
| | 12,50 | 0,88a | 1,94b | 5,18c | 17,50b | 3,69 |
| | 18,75 | 0,67b | 1,93b | 6,75a | 15,80c | 3,58 |
| | 25,00 | 0,53c | 1,95b | 4,16d | 13,60d | 3,84 |

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen rakamlar arasında önemli fark vardır.

LSD: $p < 0,05$

ralarda yetiştirilen bitkilerin ağır metal içerikleri küllerin kökenlerine göre değişiklik göstermektedir. Eğilim artma, azalma veya değişmeme yönündedir. Adriano ve ark. (2002) uçucu kül uygulamalarıyla çim bitkisinin Cu, Fe, Ag, Cd, Cr, Hg, Ni ve Pb içeriklerinin değişmediğini; Kumar ve Singh (2003) toprakların Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Mo, Al, Pb, Ni ve Co içeriklerinin arttığını; Wright ve ark. (1998) çim bitkisinin Cu, Zn, Ni, Pb, Cd ve Cr içeriklerinin değişmediğini ancak B, Se, As ve Mo miktarlarının arttığını; Singh ve ark. (1997) bakla bitkisinin ve bitkinin yetiştiği toprağın Ni içeriğinin artışına karşın, Cr ve Cu içeriklerinin azaldığını; Pathan ve ark. (2003a) ise çim bitkisinin As, Ba, B, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Hg, Mn, Ni, Ag ve Zn içeriklerinin önemli oranda değişmediğini çalışmalarında rapor etmişlerdir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'de ve dünyada artan enerji ihtiyacının oldukça büyük bir bölümünün halen fosil kökenli yakıtlardan karşılandığı günümüzde, bu yakıtların yanmasıyla açığa çıkan atık niteliğindeki uçucu küllerin depolanma ve değerlendirilmesine ilişkin problemler de güncelliğini korumaya devam etmektedir. Problemin çözümüne yönelik birçok strateji geliştiriliyor olmasına rağmen, yapılan son bilimsel

çalışmalar, bu problemin uçucu küllerin kontrollü şartlarda ve uygun topraklarda tarımsal olarak değerlendirilmesini gündeme getirmektedir. Bu çalışmada da, Muğla bölgesinde kurulu bulunan ve oldukça yoğun kül üretme kapasitesine sahip Yatağan Termik Santrali'nden kaynaklanan küllerin tarımsal amaçlı değerlendirilmesine yönelik çözüm üretmeye çalışılmıştır. Yapılan analiz sonuçları, uçucu küllerin yoğun toksik element içermediği ve kısmen de olsa bitki gelişimi ve elementel kompozisyon üzerine katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlara dayanılarak kesin yargılarda bulunmak mümkün değildir. Bu çalışma bir model olarak kabul edilerek, daha geniş kapsamlı ve farklı bitkiler üzerinde çok yıllık denemeler yapılması gerekmektedir. Ancak bu sayede, bu santrale ait uçucu küllerin yine bu bölgede yetiştiriciliği yapılan bitkiler ve bölge toprakları üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak ortaya konabilecektir. Termik santrallerin yoğun olarak bulunduğu bölgelerde havadaki SO_x, NO_x ve CO_x miktarlarındaki artışa bağlı olarak asit yağmurları riski de artış gösterdiğinden, uçucu küllerin aynı zamanda bir toprak düzenleyicisi ve pH ayarlayıcısı olarak da kullanılması mümkün görünmektedir.

KAYNAKLAR

- Açıkgöz N, Akkaş ME, Moghaddam A, Özcan K (1994) PC'ler için veritabanı esaslı Türkçe istatistik paketi: TARİST. In: I. Tarla Bitkileri Kongresi, 24-28.04.1994, İzmir, Ege Üniv. Ziraat Fakültesi Ofset Basımevi, 264-267.
- Adriano DC, Weber J, Bolan NS, Paramasivam S, Koo BJ, Sajwan KS (2002) Effects of high rates of coal fly ash on soil, turfgrass, and ground water quality. *Water Air and Soil Pollution* 139, 1-4, 365-385.
- Ajaz S, Tiyagi S (2003) Effect of different concentrations of fly ash on the growth of Cucumber plant, *Cucumis sativus*. *Archives of Agronomy and Soil Science* 49, 4, 457-461.
- Atımtay AT (2003) A global outlook to the carbon dioxide emissions in the world and emission factors of the thermal power plants in Turkey. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* 3, 325-335.
- Baba A, Kaya A (2004) Leaching characteristics of fly ash from thermal power plants of Soma and Tunçbilek, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 91, 171-181.
- Brake SS, Jensen RR, Mattox JM (2004) Effects of coal fly ash amended soils on trace element uptake in plants. *Environmental Geology* 45, 5, 680-689.
- Cline JA, Bill M, Torrenueva A (2000) Coal fly ash as a soil conditioner for field crops in southern Ontario. *Journal of Environmental Quality* 29, 6, 1982-1989.
- Constantine DS, Constantina IC, George AP (2004) Enrichment of PAHs and heavy metals in soils in the vicinity of the lignite-fired power plants of West Macedonia (Greece). *The Science of the Total Environment* 204, 135-146.
- Domy CA, Weber JT (2001) Influence of fly ash on soil physical properties and turfgrass establishment. *Journal of Environmental Quality* 30, 596-601.
- Ferguson JE (1990) *The heavy elements: Chemistry, environmental impact and health effects*. Pergamon Press, London.

- Gupta DK, Rai UN, Tripathi RD, Inouhe M (2002) Impacts of fly-ash on soil and plant responses. *Journal of Plant Research* 115, 1122, 401-409.
- Hammermeister AM, Naeth MA, Chanasyk DS (1998) Implications of fly ash application to soil for plant growth and feed quality. *Environmental Technology* 19, 2, 143-152.
- Kacar B (1972) Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri II. Bitki Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fak. Yayınları 453, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.
- Kalra N, Jain MC, Joshi HC, Chaudhary R, Kumar S, Pathak H, Sharma SK, Kumar V, Kumar R, Harit RC, Khan SA, Hussain MZ (2003) Soil properties and crop productivity as influenced by fly ash incorporation in soil. *Environmental Monitoring and Assessment* 87, 93-109.
- Kalra N, Jain MC, Joshi HC, Choudhary R, Harit RC, Vatsa BK, Sharma SK, Kumar V (1998) Fly ash as a soil conditioner and fertilizer. *Bioresource Technology* 64, 3, 163-167.
- Kick H, Bürger H, Jommer K (1980) Gesamtgehalte an Pb, Zn, Sn, As, Cd, Hg, Cu, Ni, Cr und Co in Landwirtschaftlich und Görtnerisch Genutzen Böden Nordrhein-Westfalen. *Landwirtschaftliche Forschung* 33, 1, 12-22.
- Kumar D, Singh B (2003) The use of coal fly ash in sodic soil reclamation. *Land Degradation & Development* 14, 3, 285-299.
- Levy DB, Redente EF, Uphoff GD (1999) Evaluating the phytotoxicity of Pb-Zn tailings to big bluestem and Switchgrass. *Soil Sci.* 164, 6, 363-375.
- Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants. Sec. edit., Academic Press, Stuttgart-Hohenheim.
- Matsi T, Keramidas VZ (1999) Fly ash application on two acid soils and its effect on soil salinity, pH, B, P and on ryegrass growth and composition. *Environmental Pollution* 104, 1, 107-112.
- Meyer GA, Keliher PN (1992) An overview of analysis by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. In: Montaser A, Golightly DW (Eds.) *Inductively coupled plasmas in analytical atomic spectrometry*, VCH Publishers Inc., New York, 473-505.
- Mishra UC (2004) Environmental impact of coal industry and thermal power plants in India. *Journal of Environmental Radioactivity* 72, 35-40.
- Munter RC, Halverson TL, Anderson RD (1984) Quality assurance for plant tissue analysis by ICP-AES. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 15, 15, 1285-1322.
- Pathan SM, Aylmore LAG, Colmer TD (2003a) Soil properties and turf growth on a sandy soil amended with fly ash. *Plant and Soil* 256, 1, 103-114.
- Pathan SM, Aylmore LAG, Colmer TD (2003b) Properties of several fly ash materials in relation to use as soil amendments. *Journal of Environmental Quality* 32, 687-693.
- Scotti IA, Lombi E, Carini F, Silva S (1996) Effects of fly-ash treatment of soil on yields and chemical composition of chicory. *Agrochimica* 40, 5-6, 293-303.
- Sharma SK, Kalra N, Singh GR (2002) Soil physical and chemical properties as influenced by fly ash addition in soil and yield of wheat. *Journal of Scientific & Industrial Research* 61, 8, 617-620.
- Sikka R, Kansal BD (1995) Effect of fly-ash application on yield and nutrient composition of rice, wheat and on pH and available nutrient status of soils. *Bioresource Technology* 51, 2-3, 199-203.
- Singh SN, Kulshreshtha K, Ahmad KJ (1997) Impact of fly ash soil amendment on seed germination, seedling growth and metal composition of *Vicia faba* L. *Ecological Engineering* 9, 3-4, 203-208.
- Slavin W (1955) *Atomic Absorption Spectroscopy*. Interscience Publishers, New York-London-Sydney.
- Strain HH, Svec WA (1966) Extraction, separation, estimation and isolation of chlorophylls. In: Vernon LP, Seely GR (ed.), *The Chlorophylls*, Academic Press, New York, 21-66.
- Su DC, Wong JWC (2002) The growth of corn seedlings in alkaline coal fly ash stabilized sewage sludge. *Water Air and Soil Pollution* 133, 1-4, 1-13.
- Tripathy A, Sahu RK (1997) Effect of coal fly ash on growth and yield of wheat. *Journal of Environmental Biology* 18, 2, 131-135.
- Ugur A, Ozden B, Sac MM, Yener G (2003) Biomonitoring of ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb using lichens and mosses around a uraniferous coal-fired power plant in Western Turkey. *Atmospheric Environment* 37, 2237-2245.
- Wilson N (1999) Applying coal ash to fields as a fertilizer or liming agent water/land application. Minnesota Pollution Control Agency, MPCA, Minnesota.

Wright RJ, Codling EE, Stuczynski T, Siddaramappa R (1998) Influence of soil-applied coal combustion by products on growth and elemental composition of annual ryegrass. *Environmental Geochemistry and Health* 20, 1, 10-18.