



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AFŞİN-ELBİSTAN TERMİK SANTRALİ KÜLLERİNİN
MISIR TARIMINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN
BELİRLENMESİ**

MESUT KENGER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2014

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AFŞİN-ELBİSTAN TERMİK SANTRALİ KÜLLERİNİN
MISIR TARIMINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN
BELİRLENMESİ

MESUT KENGER

Bu tez,
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2014

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Mesut KENGER tarafından hazırlanan “AFŞİN-ELBİSTAN TERMİK SANTRALİ KÜLLERİNİN MISIR TARIMINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 12 / 06 / 2014 tarihinde oy birliği ile Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hüseyin DİKİCİ (DANIŞMAN)

.....

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir SALTALI (ÜYE)

.....

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet KORKMAZ (ÜYE)

.....

Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Hakkı ALMA

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mesut KENGER

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**AFŞİN-ELBİSTAN TERMİK SANTRALİ KÜLLERİNİN MİSİR TARIMINDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

MESUT KENGER

ÖZET

Bütün dünyada gelişmeye bağlı olarak enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu enerjinin büyük bir kısmı da termik santrallerden üretilmektedir. Termik santrallerin kullandığı fosil yakıtlardan çıkan atık maddeler çevre için sorun oluşturmaktadır. Bu yüzden küllerin kullanım alanlarının araştırılması ve o alanlarda değerlendirilmesi gerekmektedir. Araştırılması gereken alanlardan biri de tarım sektörüdür.

Bu çalışmada materyal olarak Afşin-Elbistan Termik Santrali külleri ve Gaziantep ili Islahiye ilçesinden getirilen bazalt toprakları kullanıldı. Araştırma sera koşullarında yapılmıştır. Kül toprakla % 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında karıştırılmıştır. Her bir konu üç tekerrürlü, tesadüf parselleri deneme planına göre çalışılmıştır. Test bitkisi olarak mısır bitkisi kullanılmıştır. Çimlenme tarihinden itibaren 90 gün sonunda deneme bitirilmiştir.

Artan kül uygulamaları ile genel olarak deneme topraklarının pH, tuz ve bitkiye yarayışlı Ca, K ve P artarken bitkiye yarayışlı Mg, Zn, Cu, Mn ve toprakların organik madde içeriklerinde azalma meydana gelmiştir. En düşük kül dozu uygulamaları ile mısır bitkisinin bitki boyu, gövde, yaprak ve kök ağırlığı önemli ölçüde azalmıştır. Yaprak örneklerinde ise Na, K, Ca, Mg, Zn, Fe ve Cu içerikleri artmış, P içerikleri azalırken Mn içeriğinde bir değişim olmamıştır.

Analiz sonuçlarından elde ettiğimiz bulgulara göre artan kül uygulama oranlarıyla birlikte bitki gelişimi olumsuz yönde etkilenmiştir. Sonuç olarak, Termik Santral küllerinin tarımda kullanımının uygun olmadığına karar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Afşin-Elbistan Termik Santrali, Uçucu kül, Mısır (*Zea mays* L.), Ağır metal.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Haziran /2014

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin DİKİCİ
Sayfa sayısı: 41

**FEASIBILITY OF USING AFSIN-ELBISTAN COAL POWER PLANT ASHES IN
CORN PRODUCTION
(M.Sc. THESIS)**

MESUT KENGER

ABSTRACT

Energy requirement of the world increases with increases in population and advances in technology and industry. A significant portion of this energy is obtained from thermic power plants. Large amounts of waste products are generated by burning fossil fuels in thermal power plants that create crucial problems for environment. Therefore, research is needed for the potential use of these waste products in the industry and agriculture.

This study was performed in a greenhouse using pots containing 2 kg of soil to determine possibility of using Afşin-Elbistan Coal Power Plant ashes in agriculture. Three replications of each treatments were used, and corn was the test plant. The soil used in the study was taken from Islahiye, Gaziantep. The ashes collected from Afşin-Elbistan Power Plant-B Unite Ash Deposition Area were added to soils as 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, and 25%, weight based. No additional fertilizer were applied to soils. Plants were harvested 90 days after germination.

The soil properties such as pH, soluble salts, and plant available Ca, K, and P increased while plant available Mg, Zn, Cu, and Mn and soil organic matter decreased with ash applications. Plant height, and stem, leaf, and root weights of corn plants significantly decreased even at the lowest ash applications. For leaf samples, the Na, K, Ca, Mg, Zn, Fe, and Cu levels increased but P concentrations decreased with applications. As a conclusion, the application of thermic power plant ashes to agricultural land is not advised based on the current study.

Key Words: Afsin-Elbistan Power Plant, Fly ash, Corn (*Zea mays* L.), Heavy metal.

University of Kahramanmaraş Sütçü İmam
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition, June / 2014

Supervisor: Prof. Dr. Huseyin DIKICI

Page number: 41

TEŞEKKÜR

En baŐta yüksek lisans eğitimim boyunca alıŐmalarımı ynlendiren ve büyük katkılar sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hüseyin DİKİCİ'ye ve tüm analiz çalıŐmalarında yardımlarını gördüğüm ArŐ. Gör. Ömer Faruk DEMİR'e teŐekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Termik santraller.....	2
1.2. Termik santrallerden kaynaklanan çevre kirliliği.....	4
1.2.1. Hava kirliliği	5
1.2.2. Su kirliliği	7
1.2.3. Toprak kirliliği	7
1.2.4. Ağır metaller	8
1.3. Uçucu kül	9
1.4. Afşin-Elbistan termik santrali	10
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	13
3. MATERYAL VE METOT	20
3.1. Materyal	20
3.2. Metot	20
3.2.1. Denemenin kurulması	20
3.2.2. Toprak örneklerinin analize hazırlanması	21
3.2.3. Toprak örneklerinin fiziksel, kimyasal ve ağır metal analiz metotları	21
3.2.3.1. Saturasyon	21
3.2.3.2. Toplam tuz	21
3.2.3.3. Toprak reaksiyonu (pH)	21
3.2.3.4. Organik madde	21
3.2.3.5. Toprakta değişebilir Ca, Mg, Na ve K	21
3.2.3.6. Toprakta yarayışlı P	21
3.2.3.7. Ekstrakte edilebilir, Fe Zn, Cu ve Mn analizleri	22

	<u>Sayfa No</u>
3.2.4. Bitki fiziksel analizleri	22
3.2.5. Bitki element analizleri (Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Zn, Cu)	22
3.2.6. İstatistiksel analizler	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1. Deneme topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	23
4.2. Deneme topraklarının makro element (Ca, K, Mg, Na ve P) analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	24
4.3. Toprakların mikro element (Fe, Zn, Cu ve Mn) analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	26
4.4. Bitki analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	27
4.4.1. Bitki fiziksel analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	27
4.4.2. Bitki makro element analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	29
4.4.3. Bitki mikro element analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	31
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	34
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1.	Türkiye’de kurulu gücü 50 MW’den fazla olan ve linyitle çalışan termik santraller	3
Çizelge 1.2.	Türkiye’de kurulu gücü 50 MW’den fazla olan linyit dışında yakıt kullanan termik santraller	4
Çizelge 1.3.	100 megawatt gücünde bir filtre kullanıldığı takdirde kömürle çalışan bir termik santralin etkileri	7
Çizelge 1.4.	Topraktaki ağır metal sınır değerleri	9
Çizelge 1.5.	Afşin-Elbistan termik santrali külü kimyasal bileşimi	11
Çizelge 1.6.	Elbistan havzasının ortalama değerleri	12
Çizelge 4.1.	Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları	23
Çizelge 4.2.	Toprakların değişebilir Na ve bitki tarafından alınabilir Ca, K, Mg ve P değerleri	24
Çizelge 4.3.	Toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element değerleri	26
Çizelge 4.4.	Bitki fiziksel analiz sonuçları	28
Çizelge 4.5.	Bitki yapraklarının Na, K, P, Ca, ve Mg analiz sonuçları	30
Çizelge 4.6.	Bitkinin yapraklarının kaldırdığı makro element miktarları	31
Çizelge 4.7.	Bitki yapraklarındaki Mn, Zn, Fe ve Cu analiz sonuçları	32
Çizelge 4.8.	Bitkinin yaprakları ile kaldırdığı mikro element miktarları	32

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AAS	: Atomik Adsorbsiyon Spektrometresi
AEBST	: Afşin-Elbistan-B Termik Santrali
A.B.D.	: Amerika Birleşik Devletleri
BGD	: Baca Gazı Desülfirizasyonu
Ca	: Kalsiyum
CaCl₂	: Kalsiyum Klorür
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
cm	: Santimetre
CaO	: Kalsiyumoksit
Cd	: Kadmiyum
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
Cu	: Bakır
DAY	: Dolaşım Akışkan Yatakta Yakma Sistemi
DTPA	: Dietilentriamin Pentaasetik Asit
EC	: Elektriksel Kondaktivite
Fe	: Demir
g	: Gram
Fe₂O₃	: Hematit
HCl	: Hidroklorik Asit
K	: Potasyum
Kcal	: Kilo Kalori
KDK	: Katyon Değişim Kapasitesi
kg	: Kilogram
Km	: Kilometre
Kwh	: Kilovat Saat
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
mg	: Miligram
MgO	: Magnezyum Oksit
Mn	: Mangan

MW	: Megavat
MWh	: Megavat Saat
MWe	: Megavat Elektrik
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
NOx	: Azot Oksit
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
PKY	: Pulverize Kömür Yakma Sistemi
PM	: Partikül Madde
ppm	: Milyonda Bir Birim
SiO₂	: Silisyum Dioksit
TEA	: Trietanolamin
TEAŞ	: Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi
UK	: Uçucu Kül
VOC	: Uçucu Organik Bileşikler
XRF	: X-Ray Flouresanse
Zn	: Çinko

1.GİRİŞ

İnsanoğlu dñnyada var olduğu gñnden itibaren tabiatla iç içe yaşamaya başlamıştır. Ama diğer canlılar gibi kendisini yaşadığı çevreye adapte etmek yerine, çevreyi kendi çıkarlarına göre yapılandırmaya çalışmıştır. Bu çabalar bazen ihtiyaçtan, bazen keyfiyetten, bazen de bilinçsizlikten dolayı ekolojik dengelerin bozulmasına sebep olacak şekilde çevreyi etkilemiştir.

Tñm dñnyada ve ÷lkemizde hızlı nñfus artışı, kentleşme, yaşam standartlarının yükselmesi, sanayileşme gibi nedenler enerji ihtiyacını artırmıştır. Bu enerji ihtiyacının da bir şekilde karşılanması gerekmektedir. Günümüzde çok çeşitli enerji kaynağı bulunmasına rağmen fosil kaynaklı enerji üretimi yaklaşık % 80'lik bir oranla ilk sırada yerini korumaktadır (Goldemberg ve Johanson, 2004). Fosil yakıtın (kñmür, petrol, doğalgaz) kullanılmaya başlamasıyla birlikte çevreye verdiği zararları da artarak devam etmiştir.

Dñnyada bilinen petrol rezervlerinin ömrü 40 yıl, doğalgazın 60 yıl kñmürün 220 yıl olduğu tahmin edilmektedir (Ateşok, 2004). Bundan da anlaşılacağı gibi eđer başka bir enerji kaynağı bulunmazsa önümüzdeki 220 yıl daha kñmürden enerji üretimi devam edecektir. Bu sebeple mevcut termik santrallerin çevreye zarar vermeyecek şekilde işletilmesini sağlayan teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda termik santrallerin çevresinde biriken atıkların (kñl) değerlendirilmesi de sorunun çözümüne önemli katkı sağlayacaktır.

Bu atıkların değerlendirilmesinde inşaat ve tarım sektörü öne çıkmaktadır. İnşaat sektöründe çimento (hammadde, katkı ve ikame malzemesi olarak), agrega (ince agrega, iri agrega ve hafif agrega olarak), beton (katkı ve ikame malzemesi olarak), tuğla (katkı malzemesi olarak), kerpiç (bağlayıcı malzeme olarak), yapı malzemeleri (blok, panel, duvar, gaz beton, beton boru, cam, boya, seramik, plastik, harç) ve çeşitli yapılar ve uygulamalarda (baraj, otoyol, nükleer santral, geoteknik uygulamalar) kullanılmaktadır (Aruntaş, 2006).

Uçucu küllerin tarım alanlarına belirli oranlarda karıştırılması suretiyle gübre olarak kullanılması önerilmiştir. (Sharma ve ark., 2002; Pahtan ve ark., 2003a). Yapılan araştırmalar uçucu küllerin, bitkiler için gerekli olan besin elementlerinin yanı sıra bazı ağır metalleri de çeşitli oranlarda içerdiğini göstermektedir (Cline ve ark., 2000; Brake ve ark., 2004). Özellikle makro ve mikro besin elementi içermeleri, toprak düzenleyicisi ve gübre olarak kullanım potansiyellerini artırmaktadır (Pahtan ve ark., 2003b). Uçucu küllerin tarım alanlarında kullanılmasını sınırlayacak sebepler, içerdikleri ağır metaller ve radyoaktivitedir.

Bu sorunlar aşıldığında uçucu küllerin tarım alanlarında kullanımının da önü açılmış olacaktır.

1.1.Termik Santraller

Daha önce belirtildiği gibi elektrik enerjisi insanların hayatında vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Ülkemizde bu ihtiyaç her yıl yaklaşık olarak %5.3 oranında artış göstermektedir (Baykan, 2004). Başka bir maddeyi kullanarak elektrik üreten işletmelere santral denir. Bunlar arasında hidroelektrik santralleri, nükleer santraller ve termik santraller sayılabilir. Bunların dışında yenilenebilir kaynaklardan olan jeotermal, güneş, rüzgar, gelgit v.b. enerjileri kullanarak elektrik enerjisi üreten sistemler de vardır.

Termik santraller, kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar kullanılarak elde edilen ısı ile suyun buharlaştırılması ve bu buhar gücüyle de türbinlerin döndürülmesi suretiyle elektrik enerjisinin üretimini gerçekleştirir. Kömür çeşitleri linyit, taşkömürü, antrasit ve turbadır (Türkmenoğlu, 2010). Ülkemizde kurulu termik santrallerin büyük bir kısmında, yakıt olarak linyit kullanılmaktadır. Toplam elektrik üretiminde linyitin payı %45'tir. Tüketilen linyitlerin %60'ı da termik santrallerde kullanılmaktadır (Baykan, 2004).

Türkiye'de en büyük linyit yatakları, Afşin- Elbistan, Muğla, Soma, Tunçbilek, Seyitömer, Konya, Beypazarı, Adana, Tufanbeyli ve Sivas havzalarında bulunmaktadır. Termik santraller de bu bölgelere kurulmuştur (Aydemir, 2008). Kurulu gücü 50 MW ve üstü linyitle çalışan termik santraller Çizelge 1.1.'de, linyit dışında yakıt kullanan santraller de Çizelge 1.2.'de verilmiştir.

Türkiye 2012 yılı elektrik enerjisi üretimi brüt 239.496,8 GWh olarak gerçekleşmiştir. Bu üretimde termik santrallerin payı %73'tür. Bunu %24.2'lik oranla hidroelektrik santraller ve %2.8'lik oranla jeotermal ve rüzgar santralleri izlemektedir (Anonim, 2013). Türkiye'de kurulu gücü 50 MW'den fazla olan termik santrallerden linyitle çalışanlar Çizelge 1.1.'de, linyit dışında yakıt kullananlar Çizelge 1.2.'de gösterilmiştir (Anonim, 2014a).

Çizelge 1.1. Türkiye’de kurulu gücü 50 MW’den fazla olan ve linyitle çalışan termik santraller (Anonim, 2014a)

Termik Santraller	Yakıt	Yer	Ünite Kapasiteleri	Toplam Kapasite	Teknoloji
Afşin-Elbistan A, 1-4	Linyit	K.Maraş	3x340+1x335	1355 MWe	PKY
Afşin-Elbistan B, 1-4	Linyit	K.Maraş	4x360	1440 MWe	PKY+BGD
Orhaneli	Linyit	Bursa	1x210	210 MWe	PKY+BGD
Seyitömer, 1-4	Linyit	Kütahya	4x150	600 MWe	PKY
Tunçbilek A	Linyit	Kütahya	1x65	65 MWe	PKY
Tunçbilek B, 4-5	Linyit	Kütahya	2x150	300 MWe	PKY
Kangal, 1-2	Linyit	Sivas	2x150	300 MWe	PKY
Kangal, 3	Linyit	Sivas	1x157	157 MWe	PKY+BGD
Çan, 1-2	Linyit	Çanakkale	2x160	320 MWe	DAY
Soma A, 7-8	Linyit	Manisa	2x22	44 MWe	PKY
Soma B, 1-6	Linyit	Manisa	6x165	990 MWe	PKY
Yatağan	Linyit	Muğla	3x210	630 MWe	PKY+BGD
Kemerköy	Linyit	Muğla	3x210	630 MWe	PKY+BGD
Yeniköy	Linyit	Muğla	2x210	420 MWe	PKY+BGD
Parktermik, 1-2	Linyit	Ankara	2x150	300 MWe	PKY+BGD
Parktermik, 3-4	Linyit	Ankara	2x160	320 MWe	PKY+BGD

Çizelge1.2. Türkiye’de kurulu gücü 50 MW’den fazla olan ve linyit dışında yakıt kullanan termik santraller (Anonim, 2014a)

Termik Santraller	Yakıt	Yer	Ünite Kapasiteleri	Toplam Kapasite	Teknoloji
Çatalağzı, 1-4	Taşkömürü	Zonguldak	2x150	300 MWe	PKY
Hopa 1-2	Fuel Oil	Artvin	2x25	50 MWe	
Ambarlı, 1-5	Fuel Oil	İstanbul	3x110+2x150	630 MWe	
Aliğa, GT+KÇ	Dizel	İzmir	4x30+2x30	180 MWe	
Ambarlı KÇ	Doğalgaz	İstanbul	6x138,8+3x172,7	1350,9MWe	
Bursa KÇ	Doğalgaz	Bursa	2x238+4x239	1432 MWe	
Hamitabat KÇ	Doğalgaz	Kırklareli	12x93,3	1120MWe	PKY+BGD
İsken	İthal Kömür	Adana	2x605	1210 MWe	
Enkapower	Doğalgaz	İzmir	4x252+2x279	1566 MWe	
Enkapower	Doğalgaz	Adapazarı	2x256+279	791 MWe	
Enkapower	Doğalgaz	Gebze	4x256+2x279	1582 MWe	
Baymina Enerji	Doğalgaz	Ankara	2x225+320	770 MWe	
Trakya elekt.	Doğalgaz	Tekirdağ	2x154	308 MWe	
Doğa-Esenyurt	Doğalgaz	İstanbul	120	120 MWe	
Ova	Doğalgaz	Gebze	135+123,4	258,4 MWe	
Uni-Mar	Doğalgaz	Tekirdağ	2x160	320 MWe	
Pektim(Aliğa)	Fuel Oil	İzmir	170	170 MWe	
Çolakoğlu M.	İthal Kömür	Kocaeli	190	190 MWe	DAY
İçdaş Biga Enj.	İthal Kömür	Çanakkale	135	135 MWe	DAY
Bosen	Doğalgaz	Bursa	135	135 MWe	
Çolakoğlu DGKÇ	Doğalgaz	Kocaeli	123,4	123,4 MWe	
Mosb Enerji	Doğalgaz	Manisa	84,83	85 MWe	
Modern Enerji	Doğalgaz	Tekirdağ	83,4+60	143,4 MWe	
İskenderun DÇ	F.oil+Taş K	Hatay	220	220 MWe	
Bilenerji	D.gaz+dizel	Ankara	60	60 MWe	
Ataer (EBSO)	Nafta+D.gaz	İzmir	70,2	70,2 MWe	
Zorlu Bursa OSB	Doğalgaz	Bursa	26,5+42,5	69 MWe	
Zorlu Kayseri OSB	Doğalgaz	Kayseri	3x50,8	152,4 MWe	
Zorlu Lüleburgaz	Doğalgaz	Kırklareli	2x7,1+42,5	56,6 MWe	
Ak Enerji Ç.Köy	Doğalgaz	Tekirdağ	96	96 MWe	
Ak Enerji Bozüyük	Doğalgaz	Bilecik	132	132 MWe	
Ak Enerji Yalova	F.oil+Gaz	Yalova	59,5	59,5 MWe	
Ak Enerji K.Paşa	F.oil+Gaz	İzmir	127,2	127,2 MWe	
Entek	F.oil+Gaz	Bursa	135,1	135,1 MWe	
Cam İş Elektrik	Doğalgaz	Mersin	126,1	126,1 MWe	

1.2.Termik Santrallerden Kaynaklanan Çevre Kirliliği

Katı yakıt kullanan termik santrallerinin hava, su ve toprağa olan olumsuz etkileri aşağıda verilmiştir.

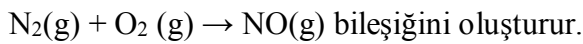
1.2.1. Hava Kirliliği

Kömürün yakılmasıyla oluşan; karbondioksit, kükürt oksit, azot oksit gibi gazlar, kurum ve kül gibi katı tanecikler ve çeşitli hidrokarbon bileşikleri hava kirliliğine neden olurlar. Yanma gazlarıyla atmosfere atılan bu maddeler güneş ışığının veya atmosferde bulunan bazı bileşiklerin de etkisiyle, ozon, aerosol, nitrat, nitrit ve bazı asitler gibi ikincil kirleticileri de oluştururlar (Barbir ve Veziroğlu, 1992).

Hava kirliliğine sebep olan maddelerden kükürt oksitlerin miktarı kömürün kükürt içeriğiyle doğru orantılıdır. Kömür organik ve inorganik olmak üzere iki çeşit kükürt içerir. Hidrokarbon yapıya bağlı olanlar organik kükürdü; kalsiyum, demir, bakır, ve magnezyum tuzları şeklinde bulunan sülfat kükürdü de inorganik kükürdü oluşturur. Kömürün içerdiği sülfat kükürdünün miktarı çok azdır, fakat hava ile temas durumunda bu miktarda artış görülür. Disülfür kükürdünü büyük miktarda demir sülfürün iki kristal biçimi olan pirit ve markazit meydana getirir (Meriçboyu ve ark., 1998a).

Kömürün yanması sırasında içerdiği kükürtlü bileşikler de yanar. Bu bileşiklerden, yüksek sıcaklıklarda kararlı olan bileşik kükürt dioksittir. Az miktarda kükürt oksit de oluşur. Genelde kömürdeki kükürdün %92-98 kadarı kükürt dioksite %5 kadarı kükürt okside dönüşür. Kükürt oksit suyla hızlıca tepkimeye girerek sülfürik asidi meydana getirir. Oluşan kükürt oksitlerin bir kısmı da yakma sistemindeki kül tarafından tutularak sülfatları oluşturur. Tutulan kükürt oksit miktarı oluşan külün bileşimine bağlı olarak değişir (Shen, 1980).

Nitrojen oksit emisyonları, tek başlarına veya diğer kirleticilerle beraber etkilerini artırabilirler. Yakma ünitesi olan tüm tesislerde havada yüksek miktarda bulunan azot, yüksek sıcaklıklarda oksijenle birleşir ve;



Azot oksitleri de kükürt oksitleri gibi asit yağmurlarına yol açarlar. Bu gazların havada bulunması hava kirliliğine, su ile birleşip asit meydana getirdiklerinde su ve toprak kirliliğine yol açarlar (Baykan, 2004).

Fosil yakıtlar maksimum verimle yakılmazsa, karbonmonoksitle beraber hidrokarbonlar ve diğer organik maddeler de yayılır. Yakma verimi hidrokarbon yayımını etkiler (Sawyer, 1971; Shen, 1980). Yine tam yanmama sonucu karbon dioksit yerine karbonmonoksit gazı oluşur. Karbonmonoksit renksiz, kokusuz, tatsız, yanıcı ve zehirleyici bir gazdır (Calvert ve Englund, 1984).

Karbonlu yakıtların tam yanma ürünü olan karbondioksit, suda çözünebilen, renksiz, kokusuz ve zehirli olmayan bir gazdır (Calvert ve Englund, 1984). Ancak atmosferdeki karbon dioksit miktarının artışı sera etkisi yapacağı için istenmeyen bir durumdur (Abrahamson, 1989).

Atmosferdeki ozonun %10 kadarı alt katmanlarında troposferde bulunur. Yeryüzüne yakın ozonun kaynağı azot oksitlerin ultraviyole ışınları ile fiziko sismik reaksiyona girmesidir. Fotokimyasal dumanın (smog) en önemli bileşeni olduğu için bu seviyede başlıca hava kirleticilerinden biridir. Ozonun yararlarının yanı sıra ışınların emilmesi nedeniyle sera gazları arasında dördüncü sırayı alması gibi zararlı bir durumu da vardır (Baykan, 2004).

Kömürün özelliklerine ve yakıcının tipine bağlı olarak ortaya çıkan tanecikler, uçucu gazlar tarafından yakma odasının dışına taşınmaktadır. Bunların boyutu çok küçük olduğundan atmosferde askıda uzun süre kalabilirler. Bu yüzden de askıda kalan tanecikler olarak adlandırılırlar (Painter, 1974).

Termik santrallerde üretilen enerjinin %30-40 kadarı elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Geriye kalan kısmı ısı kazanından çıkmakta bu durum ise termal (ısı) kirlenmeye yol açmaktadır. Bacadan kaçan bu kaybı önlemek için kazan çıkışında gaz ve buhar sürekli soğutulmaktadır. Bu yüzden de büyük miktarda soğutma suyuna ihtiyaç vardır (Baykan, 2004). Ayrıca santralden atmosfere ağır metal (kadmiyum, arsenik, kurşun, cıva) emisyonu da olur. Bu miktar da yakıttaki elementin konsantrasyonuna, kazan tipi ve baca gazı emisyon kontrol aygıtına bağlı olarak değişir (Baykan, 2004).

Termik santrallerin baca gazı etkilerini azaltmak için gelişmiş filtre sistemlerinin kurulması gerekmektedir. Yüz megawatt gücünde bir filtre kullanılması durumunda kömürle çalışan bir termik santralin etkileri Çizelge 1.3.'te verilmiştir (Türkiye Çevre Sorunları Vakfı, 1991).

Çizelge 1.3. Yüz megawatt gücünde bir filtre kullanıldığı takdirde kömürle çalışan bir termik santralin etkileri (Anonim, 1991)

Madde	Miktar (ton/yıl)
Kükürt dioksit (SO ₂)	45000
Azot oksitler (NO _x)	26000
Karbon monoksit (CO)	750
Katı partiküller (PM)	32500
Hidrokarbonlar	250
Kül	5660

1.2.2. Su Kirliliği

Termik santrallerde buhar üretimi, soğutma işlemi ve temizlik amacıyla çok miktarda su kullanımı söz konusudur. Kullanılmış suların tekrar alındıkları su kaynağına verilmesi, su kirliliğine neden olmaktadır (Keskin ve Mert, 2002). Kirliliğin yanında atık suyun sıcak olması, geri verildiği kaynağın sıcaklığını da artırmaktadır. Bu durum suyun yoğunluğunu, viskozitesini, yüzey gerilimini ve oksijen çözebilme kapasitesini düşürmektedir. Bunların sonucunda da suda yaşayan canlılar olumsuz yönde etkilenmektedir (Meriçboyu ve ark., 1998b). Bunun dışında baca gazlarıyla dış ortama verilen uçucu küllerin bileşenleri, yağmur sularıyla yüzey ve yeraltı sularına karışmakta ve kirliliğe yol açmaktadır (Türkmenoğlu, 2010).

1.2.3. Toprak Kirliliği

Toprak en önemli doğal üretim kaynaklarımızdan biridir. Toprak insan ve tüm canlı yaşamının devamını sağlayan en önemli sistemlerden biridir. Toprak aynı zamanda birçok formda ve çeşitli derecelerde kirlilik sağlayan maddeler için filtre görevini üstlenir. Artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarının karşılanması için toprak ve su gibi doğal kaynakların bilinçli bir şekilde kullanılması ve devamlılığının sağlanması zorunludur.

Türkiye'deki linyitler önemli miktarda radyoaktif madde ve zehir etkisi gösteren elementler içermektedir. Linyitlerin yakılması sonucu söz konusu zararlı maddeler partiküller halinde bacadan atmosfere atılırlar. Ayrıca bacalara kurulan filtre sistemlerince tutulan uçucu küller ve yakma kazanı tabanında kalan taban külleri, büyük yığınlar halinde depolanmakta ya da toprağa gömülmektedir. Sözü edilen bu durumlar santral çevresindeki toprakların verim kaybına uğramasına, tarım ürünlerinin zarar görmesine ve diğer bitki örtüsünün olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmaktadır (Baykan, 2004).

Termik santrallerin toprağı kirletici etkileri özetle aşağıdaki şekilde sayılabilir (Baykan, 2004);

a. Baca gazındaki kükürt dioksit asit yağmuru biçiminde toprağı geçer ve toprağın kimyasal yapısı zamanla değışir,

b. Baca külleri kül yağmuru şeklinde toprağı yağar. Bu şekilde toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı zamanla değışir,

c. Radyoaktif maddeler baca külleri ile toprağı karıştır,

d. Termik santrallerin kirlettiğı suların sulamada kullanılmasıyla kirlilik toprağı geçer,

e. Termik santrallerinden kaynaklanan asit yağmurları sonucu ormanlar kurur ve bu alanlarda erozyon hızlanır

1.2.4. Ağır Metaller

Özgül ağırlıkları 5g/cm^3 'ten ve atom numaraları 20'den fazla olan elementlerdir. Bunlar periyodik cetvelin geçiş elementleri olarak tanınan geniş bir gruba girerler. Ağır metal kavramı literatüre çevre kirliliğı ile girmiştir. Kirlenme ve toksite bakımından bir yan anlam olarak ifade edilmektedir. Yaklaşık 70 kadar ağır metal olmasına rağmen ekolojik bakımdan 20 tanesi öne çıkmaktadır. Bunların bir kısmı bitki ve hayvanlar için mikro besin maddesi olarak kullanılmaktadır ve izin verilebilir sınır değıerlerini aşmadıkları sürece toksik etki göstermezler (Yıldız, 2004).

Çizelge 1.4.'te 2005 yılında resmi gazetede yayımlanan Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine göre ağır metal sınır değıerleri verilmiştir.

Çizelge 1.4. Topraktaki ağır metal sınır değerleri (Anonim, 2005)

TOPRAK KİRLLETİCİLERİNİN SINIR DEĞERLERİ		
Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri		
	pH<6	pH>6
Ağır Metal	mg/kg Fırın Kuru Toprak	mg/kg Fırın Kuru Toprak
Kurşun	50 **	300 **
Kadmiyum	1 **	3 **
Krom	100 **	100 **
Bakır *	50 **	140 **
Nikel *	30 **	75 **
Çinko *	150 **	300 **
Cıva	1 **	1,5 **

* pH değeri 7'den büyük ise Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırılabilir.

** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

1.3. Uçucu Kül

Kömürün içeriğinde karbondan başka birçok mineral madde vardır. Kömürün yanması sonrasında arta kalan inorganik maddeler ile az miktardaki yanmamış olan karbonlu maddeler külü oluşturur. Yanma sonucunda ortaya çıkan külün % 75-85 kadarı baca gazları ile kazandan dışarı çıkar. Bu tür küllere uçucu kül adı verilir (Kolukısa, 1999).

Uçucu kül miktarı; santral tipi, işletim şekli, yakılan kömürün cinsi ve yanma şekli gibi faktörlere bağlı olmakla birlikte genel olarak taş kömürünün % 10-15'i, linyit kömürünün % 20-50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır (Kolukısa, 1999).

Yanma işlemi sırasında kazan alevi sıcaklığı 1600°C'ye kadar çıkabilmektedir. Bu sıcaklık kömürün içerdiği inorganik maddelerin çoğunu eritebilecek kadar fazladır. Birçok kaynaktaki kömürün içeriğinde 50 kadar mineral olduğu belirtilmiştir. Ancak bu minerallerin çoğu az miktarda veya az sıklıkta görülmektedir. Başlıca kömür mineralleri; alüminyum silikatlar, karbonatlar, sülfidler, kloritler ve silika mineralleridir (Onocak, 1999; Kolukısa, 1999).

Türkiye’de elektrik enerjisinin büyük bir kısmı termik santrallerde üretilir. Bu amaçla santrallerde yılda 55 milyon ton linyit kömürü yakılmaktadır. Sonuçta da yılda 13 milyon ton kül elde edilmektedir (Tokyay ve Erdoğan, 1998).

Bütün dünyada termik santrallerden çıkan külün yaklaşık %25’i değerlendirilmektedir. Ama Almanya, Hollanda ve Belçika gibi bazı ülkelerde %95 kadarı, İngiltere’de %50 kadarı kullanılmaktadır. Büyük miktarda kül üreten A.B.D. ve Çin’de ise kül kullanım oranları sırasıyla %32 ve %40’dır (Bhattacharjee, 2002). Türkiye’de ise üretilen külün 3 milyon tonu baraj, inşaat ve çimento sektöründe kullanılmaktadır (Sümer, 2006).

Küllerin açık sahalarda depolanmasıyla, tozlanma, tarım ürünlerinde zarar, su ve rüzgar erozyonu, toprakta süzülme ve radyasyon gibi çevre sorunları oluşmaktadır. Ayrıca su ve hava kalitesi, doğal yaşam, yörenin ekonomik durumu ve çevre güzelliği açısından olumsuz sonuçları doğurmaktadır (Tokyay ve Erdoğan, 1998).

1.4. Afşin-Elbistan Termik Santrali

Bu araştırmada Afşin-Elbistan-B termik santralinden (AEBTS) alınan küller kullanılmıştır. Santralde üretilen kül miktarı 8000 ton/gün’dür. Bu atıklar 3000 dekarlık bir alanda depolanmaktadır. Bu durum da çevre açısından büyük tehdit oluşturmaktadır (Aytekin, 2009).

Afşin-Elbistan termik santrali, Kahramanmaraş’ın 154 km kuzeyinde, Afşin-Elbistan ovasında kurulmuş bir santraldir. Santral 228.982 m² alana sahiptir. Yıllık üretim kapasitesi 8.1 milyar kWh olan santralin ana yakıtını linyit oluşturmaktadır. Linyit ihtiyacı 66.000 ton/gün olup yakıt, bant sistemiyle temin edilmektedir (Karaca, 1997).

Ülkemizde kömürle çalışan termik santrallerin en büyüğü Afşin-Elbistan termik santralidir. Elbistan Linyit Havzası, Türkiye linyit rezervlerinin yaklaşık % 46’sını oluşturmaktadır. Havzanın büyüklüğünden dolayı rezervin konumunu belirlemek amacıyla A, B, C, D, E ve F sektörlerine bölünmüştür. A sektörü dışında ekonomik işletilebilir linyit rezervi 3.4 milyar ton olarak bulunmuştur (Koçak ve ark., 2001).

Santralin en önemli özelliği düşük kaliteli ve yüksek nem içeren linyiti yakabilmek için yapılmasıdır. Santralde yıllık 18 milyon ton kömür tüketilmekte bunun da 3.24 milyon tonu uçucu kül olarak açığa çıkmaktadır (Ural, 2005). Afşin-Elbistan Termik Santrali külü kimyasal bileşimi Çizelge 1.5.’te verilmiştir. Buna göre kül yapısında önemli ölçüde Ca, Al, Fe, S ve Mg oksitler içermektedir.

Çizelge 1.5. Afşin-Elbistan termik santrali külü kimyasal bileşimi (Ural, 2005)

Afşin-Elbistan Uçucu Kül Kimyasal Bileşimi			
Element/Element Oksit (% Kuru Ağ.)	Taban Uçucu Kül	Orta Bölüm Uçucu Kül	Üst Bölüm Uçucu kül
Al ₂ O ₃	12,30-23,10	6,23-11,40	1,80-9,10
CaO	6,20-20,60	2,51-50,85	48,10-74,70
Cl	0,006-0,01	0,003-0,007	0,006-0,01
Cr ₂ O ₃	0,05-0,07	0,09-0,11	0,06-0,07
Fe ₂ O ₃	9,50-25,79	3,50-6,85	1,75-4,96
K ₂ O	0,24-0,82	0,20-0,49	0,11-0,55
MgO	2,19-4,20	1,57-4,00	1,27-3,10
MnO ₂	0,06-1,10	0,12-0,24	0,02-0,09
MoO ₂	0,01-0,02	-	-
Na ₂ O	0,20-0,83	1,10-0,49	0,10-0,25
NiO	0,03-0,04	-	-
P ₂ O ₅	0,25-0,41	0,46-0,49	0,53-0,62
SO ₃	5,75-17,21	12,32-24,20	6,60-19,00
SiO ₂	27,70-46,60	14,00-30,00	6,91-20,40
SrO	0,05-0,071	0,05-0,06	0,03-0,05
TiO ₂	0,26-2,33	0,20-0,51	0,23-0,55
V ₂ O ₅	0,00-0,09	0,10-0,11	0,06-0,08
ZrO ₂	0,13-0,18	-	-
CO ₂	0,30-0,35	0,60-0,75	1,20-1,90
LOI	1,29-1,34	0,64-3,56	2,46-4,94

Elbistan havzası rezervinin büyüklüğünün yanı sıra sondaj bazındaki alt ısı değer, kül, nem oranı ve örtü/kömür değerleri bakımından rezervinin büyük bölümü üretilebilir niteliktedir. Elbistan havzasının ortalama değerleri (A Sektörü hariç) (Koçak ve ark., 2001) Çizelge 1.6.'da verilmiştir.

Çizelge 1.6. Elbistan havzasının ortalama değerleri (A Sektörü hariç) (Koçak ve ark. 2001)

Elbistanın bölümleri	Üretilebilir Rezerv (Milyon ton)	Damar Kalınlığı (m)	Alt Isıl Değer (kcal/kg)	Kül (%)	Nem (%)	Şev Dekapajı milyon m ³	Toplam Dekapaj milyon m ³	Örtü/ Kömür (ton/m ³)
A (İlave)	135	34,87	1101	19,5	52,5		343	2,54*
B1	1089	46,93	1148	20,7	50,2	350	3059	2,81
B2	1120	48,04	1120	21,5	51	208	2085	1,87
C1	1100	28,48	1120	21	52,2	179	2720	2,47
TOPLAM	3444	40,92	1128	21	51,18	737	8207	2,38

* şev dekapajı dahil edilmemiştir.

Afşin-Elbistan Termik Santrali'nde açığa çıkan küller büyük yığınlar oluşturmaktadır. Bu küllerin çevreye en az zarar verecek şekilde kullanım olanaklarının araştırılması önemli bir konu olarak güncelliğini korumaktadır. Yapılan araştırmalar bu küllerin çimento sanayinde, yol dolgu işlemlerinde ve tarım alanlarında kullanım potansiyeli olabileceğini göstermektedir. Bu çalışmanın amacı Afşin-Elbistan Termik Santrali küllerinin son yıllarda bölgede yoğun olarak tarımı yapılan ve topraktan önemli ölçüde besin maddesi kaldıran mısır tarımında kullanım olanaklarının belirlenmesidir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Adriano ve ark. (1980), uçucu küllerin asit ve alkali özellikte olabildiğini ve önemli miktarda Cd, Co, Cu, Fe, Al, Mn, Mo, Ni ve Zn içerdiğini belirlemiştir. Araştırmacılar bu metalleri barındıran uçucu küllerin, toprağın kimyasal özellikleri ile mikrobiyal aktiviteleri üzerinde bir etki yapıp yapmadığını da incelemişler ve uçucu küllerin toprağa ilave edilmesinin nitrifikasyonu azalttığını bulmuşlardır.

Bunzl ve ark. (1983), Leinigerwerk Termik Santralinde yaptıkları bir araştırmada 0.4, 0.8, 1.4, 2.7 ve 5.2 km uzaklıklardan toprak örnekleri ve 2 yıl süresince de 4 ayrı zamanda elektrostatik toplayıcılardan uçucu kül örnekleri alıp analiz etmişlerdir. Çıkan sonuçlara göre kül örneklerinin Pb içeriğini 3680 mg/kg, Co içeriğini 122 mg/kg, Ni içeriğini de 325 mg/kg olarak bulmuşlardır. Sonuç olarak, bu elementlerin santral çevresindeki dağılımının uzaklıkla ilişkisi olmadığını, üstelik santral topraklarının Pb, Co ve Ni miktarlarının kirlenmiş toprakların Pb, Co ve Ni miktarlarıyla aynı seviyede olduğunu bildirmişlerdir.

Ajmal ve Khan (1986), Karimpur Termik Santralinde yaptıkları araştırmalarında, santral çevresinden toprak örnekleri almışlar ve bu örneklerde pH, EC, suda çözülebilir tuzlar, KDK, organik madde, kireç N, P, Zn, K ve Pb miktarlarını belirlemişlerdir. Bunun yanı sıra santral yakınlarındaki kanal suyunun analizini de yapmışlar ve bu su ile iki farklı ürün yetiştirmişlerdir. Sonuç olarak yüksek alkalinite gösteren kül atığı bulaşan, aynı zamanda santral suyunun boşaldığı kanal suyu ile sulanan topraklarda yetiştirilen bitkilerin, çimlenmesinin ve gelişiminin olumsuz yönde etkilendiğini tespit etmişlerdir. Bunun nedeni olarak toprağın fazla miktarda Na, Zn ve Pb içermesinin olabileceğini düşünmüşlerdir. Ayrıca santralin, yakınındaki kanalı önemli ölçüde kirlettiğini, kanal suyunun tarım amaçlı kullanımda olumsuz yönde etkileyeceğini belirtmişlerdir.

Pacyna (1987), Avrupa ülkelerinde kömür yakıtlı termik santrallerinden atmosfere yayılan ağır metal ve iz element miktarlarını, santrallerde kullanılan linyitin içerdiği uçucu kül yüzdesine bağlı olarak emisyon faktörü ile hesaplamıştır. Hesaplama sonucunda Romanya, Türkiye ve Yugoslavya'daki santrallerin en yüksek değerler içerdiğini; bunun nedeninin de bu ülke santrallerinde kullanılan linyitin çok fazla miktarda kül içermesinin olduğunu belirtmiştir.

Carlson ve Adriano (1993), kömürlerin yanması sonucu oluşan atıkların çevreye olan etkilerinin belirlenmesi için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada uçucu küllerin kara ve su ortamlarındaki durumları ile bitki ve besin zincirlerine olan etkileri incelenmiştir.

Araştırmacılar katı atıkların içerdiği potansiyel kirleticilerin, çözünerek toprak ve yeraltı suyuna geçmesini başlıca etken olarak görmüşlerdir. Ana kirletici elementlerin de As, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg ve Se olduğunu belirtmişlerdir.

Menon ve ark. (1993), ana malzemesi çim olan bir kompost hazırlamışlar ve hazırlanan bu kompost içerisine %20 oranında uçucu kül karıştırıp, pancar ve kıvırcık yetiştirmişlerdir. Araştırma sonucunda pancarda %378, kıvırcıkta %348 verim artışı sağlamışlardır.

Nuhoğlu (1993), Muğla Kemerköy Termik Santralının oluşturacağı çevre kirliliği üzerine yapmış olduğu çalışmaya göre; topraktaki asitliğin, termik santralin oluşturduğu hava kirliliği ile fazla ilgili olmadığını bildirmiştir. Ayrıca yöre topraklarının kalsiyum karbonatça zengin olmasının, santralin oluşturduğu asit yağmurlarını tamponladığını belirtmiştir.

Martinez-Tarazona ve Spears (1996), Yorkshire Termik Santralinden kömür, taban külü ve uçucu kül örnekleri almışlar; bu örnekler üzerinde 25 element (As, Ba, Cr, Cu, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Y, Zn, Zr, Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Si, Ti) için AAS ve XRF’nde analiz yapmışlardır. Aynı zamanda her element için zenginleşme faktörünü de hesaplamışlardır. Uçucu küllerde As, Cu, Mo, Pb ve Zn’nun zenginleştiğini belirlemişlerdir. Ayrıca uçucu küllerin tane boyutunun küçülmesinin As, Cu, Mo, Pb ve Zn elementlerinin konsantrasyonlarını artırdığını tespit etmişlerdir.

Karaca (1997), Afşin-Elbistan Termik Santrali emisyonlarının çevre topraklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışma yapmıştır. Bu amaçla iki yılda dört ayrı dönemde, hakim rüzgar yönünde santrale 30 km mesafeden ve çevre köylerden toprak örnekleri almıştır. Toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, toplam ve bitkice alınabilir S, Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Pb, Ni, ve F, üreaz, asit ve alkali fosfataz enzim aktiviteleri ile karbon dioksit çıkışı miktarlarını belirlemiştir. Genel olarak hakim rüzgar yönündeki örneklerin iz element ve ağır metal içeriklerini, çevre köylerden alınan örneklere göre yüksek bulmuştur. Santrale yakın mesafedeki örneklerde bu konsantrasyonların oldukça fazla olduğunu tespit etmiştir. Buna karşılık hakim rüzgar yönündeki yakın yerlerde üreaz, asit ve alkali fosfataz aktivitelerinde önemli ölçüde azalmaları belirlemiştir. Yaptığı regresyon analizlerine göre hakim rüzgar yönünden alınan toprakların üreaz, asit ve alkali fosfataz aktiviteleri ile Fe hariç diğer iz element, ağır metal, azot, KDK arasında negatif; organik madde ve pH ile pozitif ilişki belirlemiştir. Topraklarda karbon dioksit çıkışı ile Mn arasında da önemli negatif ilişki söz konusu olmuştur. Çevre köylerden alınan örneklerde üreaz, asit ve alkali fosfataz aktiviteleri ile KDK ve azot arasında

negatif, pH ve kireç arasında pozitif ilişki belirlemiştir. Ayrıca topraklarda karbon dioksit çıkışı ile pH ve organik madde arasında da pozitif bir ilişkinin söz konusu olduğunu bildirmiştir.

Taşkın (1998), uçucu kül ve bazı organik materyallerin toprak biyolojik aktivitesi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışma yapmıştır. Bu amaçla toprağa artan dozlarda (0, 100, 400 ve 700 ton/ha) uçucu kül ve tek doz organik materyal (hüyük asit ve mantar kompostu) uygulamıştır. Sonrasında karbondioksit çıkışını, alkali ve asit fosfataz enzim aktivitesini ve azot mineralizasyonunu tespit etmiştir. Sonuç olarak uçucu külün, biyolojik aktiviteleri ve azot mineralizasyonunu düşürdüğünü bildirmiştir.

Çancı (1998), Seyitömer Termik Santralinden uçucu kül ve taban külü; santral yakınlarındaki arazilerden de toprak örnekleri olarak Pb, Zn, Cd ve Co analizlerini yapmıştır. Bu şekilde uçucu küllerin çevreyi kirletme eğilimlerini araştırmıştır. Toprak örneklerinin analiz sonuçlarını birçok ülkenin tarım amaçlı toprakları için belirlenen üst limitleri ile karşılaştırmıştır. Buna göre Cd, Cu ve Zn konsantrasyonlarının söz konusu değerlerin altında kaldığını, Co ve Pb konsantrasyonlarının üst limit değerlerini aştığını tespit etmiştir.

Onocak (1999), Türkiye’de bulunan bazı termik santrallerin, kömürlerin yanması sonucu oluşan katı atıkların çevreye olan etkilerinin incelendiği bir çalışma yapmıştır. Bu amaçla 10 santralin 13 ünitesinden 39 adet örnek (kömür, taban külü ve uçucu kül) olarak analizler yapmıştır. çalışma sonunda kömür örneklerinde Cr, Cs, Mn, Mo, Ni, Rb, Th, U ve V içeriklerinin Swaine (1990) tarafından verilen dünya kömürlerinin çoğuna ait maksimum sınır değerlerini aştığını belirlemiştir. Kömür, uçucu kül ve taban külü element analiz sonuçlarına göre hesaplanan kütle-denge değerleri ve uçucu kül/tabana külü konsantrasyon oranlarına göre, santrallerin çoğunda Zn, Sn, Pb, As, Mo ve Ge elementlerinin uçucu özellik gösterdikleri ve uçucu kül taneleri üzerinde önemli zenginleşme gösterdiklerini tespit etmiştir.

Iyer ve Scott (1999), yaptıkları çalışmada toprağa %5 oranında karıştırılan uçucu külün domates bitkisinin büyümesinde istatistiksel olarak bir artış tespit etmişlerdir. Bu artışın nedenini külün içerdiği makro ve mikro besin elementleri olarak açıklamışlardır.

Baba ve Türkman (2001), Yeniköy Termik Santrali katı atıklarının, jeokimyasal ve özütlenme özelliklerinin araştırıldığı bir çalışma yapmışlardır. Araştırma sonucuna göre yöre atıklarının kurşun ve kadmiyum konsantrasyonlarını yüksek bulmuşlardır.

Şengül (2002), Kangal Termik Santrali uçucu küllerinin çevreye olan etkilerinin incelendiği bir çalışma yapmıştır. Bunun için uçucu kül içeren bir kolon hazırlamış ve liçe

geçen element derişimlerini belirlemiştir. Sonuçta uçucu küllerin kısa ve orta vadede çevre için önemli bir kirletici olmadığını tespit etmiştir.

Baba ve Kaya (2004), Soma ve Tunçbilek Termik Santrallerinden kaynaklanan uçucu küllerin bazı özellikleri ve ağır metal içeriklerinin tespiti amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmaya göre santrallerde yakıt olarak linyit kullanılmasından kaynaklanan çevre sorunlarının sadece gaz emisyonlarından olmadığını, uçucu küllerin depolanma problemlerinden de kaynaklanabileceğini ortaya koymuşlardır. Uçucu küllerle ilgili ana problem içerdikleri ağır metal kalıntılarında kaynaklanmaktadır. Çalışmada değinilen başka bir nokta da, atmosfere yayılan uçucu küllerin su ile temas etmesi durumunda toksik ağır metallerin çözünebilir hale gelebileceği bu durumun da toprak kirliliğine yol açabileceği yönündedir.

Ajaz ve ark. (2004), Hindistan'da Kasimpur Termik Santralinden alınan uçucu külü toprağa karıştırarak su kabağı yetiştirmişlerdir. Çalışma sonunda uygulanan külün, toprağın çeşitli fizikokimyasal özelliklerini etkilediğini tespit etmişlerdir. Bitkide bitki büyüklüğünde, kuru madde miktarında, yaprak alanında ve verimde artış sağlanmıştır. Bitkide fotosentetik pigmentlerin de arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca kökteki *Rhizoctonia solani*'den kaynaklanan fungal bir hastalığın görülme sıklığını azalttığını bildirmişlerdir. Uçucu külü toprağa %10 oranında eklemek fungal büyümeyi %25 azalttığını ve büyüme parametrelerinde gelişmeler sağlandığını belirtmişlerdir.

Tuna ve Girgin (2005), mısırdaki gelişme, mineral beslenme ve ağır metal içeriği üzerine termik santral uçucu küllerinin etkisinin araştırıldığı bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla Yatağan Termik Santralinden elde edilen uçucu külü kullanmışlardır. Bitki yetiştirme ortamı olarak torf ve kum karışımını kullanılmış; bu ortama %6.25, 12.5, 18.75 ve 25.00 oranlarında uçucu kül karıştırılmıştır. Araştırma sonucunda kullanılan uçucu külün, yaprak ve köklerin mineral besin elementi içeriklerinde değişikliklere neden olurken, bitkideki ağır metal içeriğinin toksik düzeye ulaşmadığını tespit etmişlerdir. Yüksek oranda uçucu kül uygulaması % kuru madde, gövde çapı, yaprak alanı ve toplam klorofil içeriğinde azalmaya neden olmasına rağmen, düşük orandaki kül uygulaması, büyüme parametreleri ve mineral beslenme üzerinde olumlu etkilere neden olduğunu bildirmişlerdir.

Haktanır ve ark. (2006), Yatağan Termik Santrali çevresindeki farklı mesafelerde tarım ve orman alanlarından, hem toprak hem de bitki örnekleri olarak ağır metal analizleri yapmışlardır. Araştırmacılar hakim rüzgar yönleri olan güney, güney batı ve kuzey batıdaki toprakların ağır metal içeriğini yüksek bulmuşlardır.

Lee ve ark. (2006), çeltik tarımında uçucu kül kullanımının verime etkisinin araştırıldığı bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla 0-12 ton/da arasında uçucu kül uygulaması yapmışlardır. Çalışma sonunda en yüksek verimin 9 ton/da uygulama ile elde edildiğini ve herhangi bir toksik etkiye rastlanmadığını bildirmişlerdir.

Karaca ve ark. (2007), Seyitömer Termik Santrali çevre topraklarının kirliliğin araştırıldığı bir çalışma yapmışlardır. Buna göre toprakların sadece % 25'inde Ni ve %13.68'inde Cr seviyesini Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği sınır değerlerinin altında olduğunu, çoğunluğunun Ni ve Cr bakımından yüksek değerler içerdiğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, özellikle batı yönünden alınan örneklerin genel olarak düşük Ni içermeleri, ara noktalardan alınan örneklerde ise santralden uzaklaştıkça Ni değerlerinin artmasını, hakim rüzgar yönüne bağlı olmadan Ni'in yayıldığını ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar topraklardaki yüksek Cr ve Ni içeriğinin, santral emisyonlarından mı yoksa toprağın ana materyalinden mi kaynaklandığı hususunda, ancak jeolojik bir araştırma sonucunda kesin bir yargıya varılacağını vurgulamışlardır.

Basu ve ark. (2008), yaptıkları derlemede kireç yerine uçucu kül kullanmanın CO₂ emisyonunu azalttığını tespit etmişler, böylece küresel ısınmanın da azalacağını düşünmüşlerdir.

Aydemir (2008), Afşin-Elbistan Termik Santrali emisyonlarının yöre topraklarına etkilerinin araştırıldığı bir çalışma yapmıştır. Bu amaçla hakim rüzgar yönünde 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 6, 9, 12, 15, 30 km uzaklıklardan ve Göksun yolu üzerindeki bazı köylerden toprak örnekleri almıştır. Örneklerde bünye, toprak reaksiyonu, organik madde, toplam ve ekstrakte edilebilir Zn, Cu, Pb, Cd ve Ni tayinlerini yapmıştır. Sonuç olarak hakim rüzgar yönünden alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri, çevre köylerden alınan örneklere göre yüksek çıkmıştır.

Tripathi ve ark. (2010), asit topraklarda 0, 50, 100, 200 ve 300 ton/ha uçucu kül ilave ederek yumrulu bitkiler (havuç, patates, soğan, şeker pancarı ve turp) yetiştirmişlerdir. Çalışma sonucunda bitki yumrularında %62 oranında artış sağlamışlardır.

Türkmenoğlu (2010), uçucu küllerin liç karakteristiklerini ve çevreye olan etkilerinin araştırıldığı bir çalışma yapmıştır. Pilot bölge olarak seçtiği Afşin-Elbistan A Termik Santrali merkez nokta olarak belirlemiş ve dört yönde on iki farklı noktadan toprak örnekleri ile altı farklı noktadan yeraltı suyu örnekleri almıştır. Bu örneklerde ağır metal (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co ve Mn) analizlerini yapmıştır. Çıkan sonuçlara göre krom ve nikel miktarları

bakımından “Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği” sınır değerlerinin aşıldığını; su örneklerinde ise hiçbir sınır değerinin aşılmadığını belirlemiştir.

Pandey ve Singh (2010), bu konudaki çalışmalardan derleme yapmışlardır. Özetle çorak ve steril topraklarda uçucu kül kullanımının verim ve kaliteyi artırmak için kullanılabileceğini belirtmişler. Uçucu kül uygulamasının toprakların fizikokimyasal ve besleme özelliğini iyileştirdiğini bildirmişlerdir.

Erdal ve ark. (2012), kireçli bir toprakta yetiştirilen nohut ve buğdayın gelişimi ve mineral beslenmesi üzerine termik santral uçucu külünün etkisinin araştırıldığı bir çalışma yapmışlardır. Araştırma sonucunda düşük dozlarda yapılan uçucu kül uygulamasında bitkilerin gelişmeleri önemli derecede artmıştır. Uygulama dozlarının artmasıyla beraber kuru ağırlık değerleri düştüğünü bulmuşlardır. Ayrıca kül uygulamalarıyla bitkilerde K, Fe, Cu, Zn ve Mn içeriklerinin arttığını bildirmişlerdir.

Kahraman (2012), Afşin-Elbistan Termik Santrali küllerinin tarımda kullanım olanaklarının araştırıldığı bir çalışma yapmıştır. Bu amaçla söz konusu santralin B ünitesi filtresi altında biriken külleri kullanmıştır. Bu külü topraklara ağırlık olarak % 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında karıştırmış ve fasulye bitkisini yetiştirmiştir. Bitkileri çimlenmeden 45 gün sonra hasat etmiştir. Analiz sonuçlarına göre bitki bünyesinde yüksek oranda ağır metal birikimi olduğunu ve bu durumun bitki gelişimini olumsuz etkilediğini, dolayısı ile de fasulye yetiştiriciliğinde uçucu kül kullanımının uygun olmadığını bildirmiştir.

Karagöktaş (2012), Afşin-Elbistan Termik Santralinin çevreye olan olası etkisinin belirlenmesi için bir araştırma yapmıştır. Bu amaçla santral etrafından 52 farklı noktadan 0-30 cm derinlikte toprak örnekleri almıştır. Bu örnekler üzerinde genel verimlilik analizleri, ağır metal ve sülfat analizleri yapmıştır. Sonuç olarak sülfatla birlikte toplam nikel ve toplam krom miktarının Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre yüksek çıktığını ancak; yüksek nikel ve kromun ana materyalden kaynaklandığını, santral kaynaklı sadece sülfat kirliliğinin olduğunu bildirmiştir.

Mahale ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada %10-60 oranında uçucu kül uygulanan topraklarda buğday ve bezelye yetiştirmişlerdir. Çalışma sonucunda çimlenme ve verimde artışlar meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Buğday için %60, bezelye için %10-20 oranında uçucu kül kullanılmasını önermişlerdir. Ayrıca ağır metallerin insan tüketimine zarar vermeyecek aralıklarda olduğunu belirtmişlerdir.

Masto ve ark. (2013), toprağa biocar ve uçucu kül ekleyerek mısır yetiştirmişlerdir. Mısır tanesindeki verim artışı sadece biocar kullanınca %11.4 olurken biocar ve uçucu külün beraber kullanımında bu artış %28.1 düzeyinde gerçekleşmiştir. Bununla beraber tek başına uçucu kül uygulamasının verim artışına neden olmadığını belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu araştırma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesine ait cam serada yürütülmüştür. Sera yaklaşık her biri 200 m²'den oluşan 18 ayrı bölmeden oluşmaktadır. Serada ısıtma, soğutma, sulama, havalandırma, gölgeleme, nemlendirme ve aydınlatma gibi işlemler otomasyon sistemiyle kontrol edilebilmektedir.

Deneme toprağı olarak Gaziantep ili Islahiye ilçesinden 0-30 cm derinlikten alınarak getirilen bazalt toprağı kullanılmıştır. Bazalt, koyu renkli ve ince taneli bir kayaa türüdür (Seyrek, 1999). Kuvars içermedikleri için dağılmaları sonucu killi toprakları oluştururlar. Bazaltik materyaller, demir, mangan, magnezyum, potasyum, fosfor ve kalsiyum bakımından zengindirler (Birand, 1949).

Çalışmada mısır (*Zea mays* L.) bitkisi kullanılmıştır. Mısır, tarımı yapılan en eski bitkilerden biridir. Anavatanı Amerika kıtasıdır. Dünyada tarım alanı bakımından buğday ve çeltikten sonra üçüncü sırayı alır. İnsan beslenmesinde, hayvan yemi olarak ve sanayinin değışik kollarında kullanılmasından dolayı oldukça yaygın bir tarımsal üründür. Türkiye'de mısır tarımında ortalama verim 428,6 kg/da'dır. Mısır bitkisinin toprak seçiciliğı pek yoktur. Ancak, tuzluluğa (>1.7 mmhos/cm) ve yüksek taban suyuna hassastır (Anonim, 2014b).

Çalışmada kül örneğı olarak, Afşin-Elbistan Termik Santrali B ünitesi elektro filtresi altında biriken kül kullanılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Denemenin kurulması

Bu çalışmanın amacı, Afşin-Elbistan Termik Santrali küllerinin mısır tarımında kullanım olanaklarının belirlenmesidir. Gaziantep ili Islahiye ilçesinden getirilen topraklar 2 kg kapasiteli saksılara konulmuş; bu saksıların içine ağırlık olarak % 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında santral külü eklenmiş ve toprak ile karıştırılmıştır. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Her tekerrür 4 bitkiden oluşmaktadır. Gelişme zayıflığından dolayı mısır bitkilerinin verime yatmamasından dolayı, deneme tohum ekimini takiben 90 gün sonra sona erdirilmiştir. Bundan sonraki işlemler laboratuarda sürdürülmüştür. Deneme süresi boyunca bitkilere ilave hiçbir gübre verilmemiştir. Sulama ise 4-5 günde bir olmak üzere şehir şebeke suyundan yapılmıştır.

Deneme sonunda alınan bitki örnekleri 3 kere şehir şebeke suyundan 3 kere de saf sudan geçirilmiştir. Daha sonra 65 °C’de 48 saat süreyle kurutularak öğütülmüştür.

3.2.2. Toprak örneklerinin analize hazırlanması

Bitkiler hasat edildikten sonra, saksı içinde kalan topraklar bitki artıklarından iyice arındırılarak plastik küvetlere alınmış ve kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan toprak örnekleri öğütülüp polietilen torbalara konulmuştur. Böylece analize hazır hale getirilmiştir.

3.2.3. Toprak örneklerinin fiziksel, kimyasal ve ağır metal analiz metotları

3.2.3.1. Saturasyon

Demiralay (1993), tarafından bildirilen esaslara göre yapılmıştır. 2 mm’lik elekten geçirilen toprak örneklerinden 100 gr toprak tartılarak plastik bir kap içine alınmıştır. Büretten saf su ilave edilerek toprağın saf suyla iyice doyması sağlanmıştır. Büretten eksilen saf su miktarı okunarak toprağın saturasyonu belirlenmiştir.

3.2.3.2. Toplam tuz

Saturasyon çamurunda iletkenlik, YSI 32 marka elektriksel iletkenlik aleti ile ölçülerek belirlenmiştir (Rhoades, 1996).

3.2.3.3. Toprak reaksiyonu (pH)

Bir gün öncesinden saf su ile doymun hale getirilerek hazırlanan toprak-saf su karışımı buffer çözeltisiyle ayarlanmış Inolab marka pH metre ile okuması yapılarak belirlenmiştir (Thomas, 1996).

3.2.3.4. Organik madde

Nelson ve Sommers (1996), tarafından bildirilen modifiye edilmiş Walkley-Black yöntemine göre belirlenmiştir.

3.2.3.5. Toprakta değişebilir Ca, Mg, Na ve K

1/10 oranında toprak NH_4Oac (1N, pH=7) olacak şekilde ekstrakte edilerek çözeltiliye geçen değişebilir Ca, Mg, Na ve K miktarları Perkin Elmer 3110 AAS ile belirlenmiştir (Helmke ve Sparks, 1996).

3.2.3.6. Toprakta yarayırlı P

Olsen ve ark. (1954)’nın geliştirmiş olduğu, Kuo (1996) tarafından bildirilen yöntemine göre Optima SP-3000 spektrofotometresi ile belirlenmiştir.

3.2.3.7. Ekstrakte edilebilir, Fe, Zn, Cu ve Mn analizleri

Lindsay ve Norvell (1978), tarafından belirtildiği şekilde, toprak örnekleri DTPA+ TEA+ CaCl₂ çözeltisi ile ekstrakte edilmiş ve çözeltinin Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonu atomik adsorbsiyon spektrofotometresinde belirlenmiştir.

3.2.4. Bitki fiziksel analizleri

Bitkilerin boyu, deneme bitirilmeden önce şerit metreyle ölçülmüştür. Bitki ağırlıkları kök, gövde ve yaprak için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Söz konusu kısımlar 0.01 g'a duyarlı elektronik terazide tartılarak 'g' üzerinden belirlenmiştir.

3.2.5. Bitki element analizleri (Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Zn, Cu)

Kül uygulamalarının yaprakların besin maddesi içeriğine etkileri yaprak analizleri ile araştırılmıştır. Nitrik asit ve perklorik asit karışımından 7 ml eklenerek hot plate üzerinde bir saat 100 °C'de bekletilip sonrasında sıcaklık 200 °C'ye yükseltilerek berrak çözelti oluşana kadar yakılıp elde edilen çözeltiden belirlenmiştir (Jones ve Case, 1990). Daha sonra bitkilerde Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Zn ve Cu elementleri Perkin Emler 3110 atomik adsorpsiyon spektrofotometresinde belirlenmiştir.

Ayrıca yaprak örneklerinin element miktarları, yaprak ağırlıklarına oranlanarak hesaplanmış ve mg/ yaprak olarak da bulunmuştur.

3.2.6. İstatistiksel analizler

Çalışma sonunda tüm istatistikler SPSS programı kullanılarak yapılmıştır. Uygulamalar arasındaki farklar varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır. Buna göre uygulamalar arasındaki farklar, p değeri 0.05'ten küçükse (p<0.05) önemli olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Deneme topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Deneme tamamlandıktan sonra topraklar analize hazır hale getirilmiş ve topraklarda külün etkisini belirlemek amacıyla bazı fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Deneme topraklarının bazı fiziksel analiz sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Deneme topraklarının pH değerleri 6.81 ile 8.79 arasında değişim göstermiştir. Bu değerlere göre toprakların reaksiyonu artan kül uygulamalarıyla beraber artmıştır ($p < 0.05$). Toprakların pH sınıflandırmasındaki yerleri hafif asit, hafif alkalın ve kuvvetli alkalındır. Bu sonuçlara benzer bulgular Karaca (1997) tarafından da elde edilmiştir. Araştırmacının Afşin-Elbistan Termik Santrali çevresinde yapmış olduğu araştırmada, toprakların pH değerini 7.84-8.22 aralığında olduğunu belirlemiş ve sınıflama olarak hafif alkalın ve alkalın grubunda olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 4.1. Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Uygulama	pH	Saturasyon (%)	Tuz (%)	Organik M.(%)
1 (%0 kül)	6,81f	60,83	0,062b	2,78a
2 (%2,5 kül)	7,79e	62,56	0,178a	2,68a
3 (%5 kül)	8,01d	57,00	0,162a	2,56a
4 (%7,5 kül)	8,08d	60,83	0,168a	2,66a
5 (%10 kül)	8,23c	57,66	0,158a	2,13b
6 (%15 kül)	8,42b	62,50	0,184a	1,55c
7 (%20 kül)	8,79a	57,03	0,159a	1,65c
8 (%25 kül)	8,78a	60,83	0,184a	1,59c

Uçucu küllerin içerdiği toprak alkalın elementler nedeniyle düşük pH'lı topraklarda kireçleme materyali olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (Wilson, 1999). Uçucu küllerin, asit tepkimeli topraklarda kireçleme materyali olarak kullanıldığı bir diğer çalışmada, 4 ton/da'ı aşmayan uçucu kül uygulamasının toprak pH'sına olumlu etki yaptığı, yetiştirilen çim bitkisinin B ve P içeriklerinin önemli miktarlarda arttığı bildirilmiştir. Fosfor miktarındaki artış, asit topraklarda fiksasyona uğramış olan P'un pH'nın yükselmesiyle beraber elverişli duruma gelmesiyle ilişkilendirilmiştir (Matsi ve Keramidas, 1999).

Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi örneklerin %saturasyon değerleri 57.00 ile 62.56 arasında değişmektedir. Topraklar saturasyon durumlarına göre killi-tınlı bünye sınıfına girmektedir. Artan kül uygulamaları %saturasyon değerlerini etkilememiştir ($p<0.05$).

Toprakların %tuz değerleri 0.062 ile 0.184 arasında değişiklik göstermektedir. Kül uygulamalarıyla beraber tuz miktarında artış gözlenmiştir ($p<0.05$). Tuzluluk derecelerinde kül uygulanmayan kontrol toprağı tuzsuz, kül uygulanalar ise hafif tuzlu gruba girmektedir. Aydemir (2008), Afşin-Elbistan Termik Santrali emisyonlarının yöre topraklarına etkilerini araştırdığı çalışmada, toprakların tuzluluk sorunu olmadığını bildirmiştir.

Toprakların organik madde içerikleri de Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde organik madde miktarları %1.55 ile 2.78 arasında değişmektedir. Kül uygulama oranlarının artmasıyla beraber organik madde miktarı azalmıştır ($p<0.05$). Bu azalma organik madde içermeyen külün önemli ölçüde toprağı ilave edilmesinden kaynaklanmıştır. Topraklar organik madde sınıflandırmasında az ve yeterli gruplarında yer almaktadırlar (Nelson ve Sommers, 1996). Karaca (1997)'nin Afşin- Elbistan Termik Santrali çevresindeki topraklarda yapmış olduğu analizlerde organik madde miktarlarını %1.07–2.80 arasında bulmuş ve mevcut organik madde miktarında bir azalma gözlendiğini bildirmiştir.

4.2. Deneme topraklarının makro element (Ca, K, Mg, Na ve P) analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Toprakların değişebilir Na ve bitkice alınabilir Ca, K, Mg ve P miktarları Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Toprakların değişebilir Na ve bitki tarafından alınabilir Ca, K, Mg ve P değerleri

Uygulama	Ca (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	P (mg/kg)
1 (%0 kül)	2225,65f	172,66d	354,03a	42,00	34,98c
2 (%2,5 kül)	5249,12e	193,33d	303,00b	42,33	56,68b
3 (%5 kül)	7203,70d	268,00c	306,77b	37,00	55,03b
4 (%7,5 kül)	14407,41b	326,33b	300,68b	47,66	79,83a
5 (%10 kül)	10196,54c	324,66b	296,91bc	52,00	54,82b
6 (%15 kül)	14134,96b	357,66b	308,80b	38,00	57,72b
7 (%20 kül)	15557,26b	345,66b	267,34d	55,66	59,58b
8 (%25 kül)	17505,38a	402,33a	274,30cd	41,66	66,19ab

Deneme topraklarında bitkice alınabilir Ca miktarları 2225.65 ile 17505.38 mg/kg arasında değişiklik göstermektedir. Kül uygulama oranlarının artmasıyla beraber Ca içeriklerinde de artışlar söz konusudur ($p<0.05$). Volkan (2006), Afşin-Elbistan Termik Santral uçucu külünün kimyasal bileşiminde kuru ağırlık olarak, %29.34 Ca ve %52.4 oranında CaO bulunduğunu, dolayısıyla külün yüksek kalsiyum içerikli uçucu kül kategorisine girdiğini bildirmiştir. Kül uygulama oranlarının artmasına paralel toprak örneklerinin Ca miktarlarındaki artış, denemede kullanılan materyalin yüksek Ca ve CaO içeriğindedir.

Örneklerin K değerleri 172.66 ile 402.33 mg/kg arasında değişmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı gibi kül uygulama oranlarının artmasıyla beraber K miktarları da artma eğilimi göstermiştir ($p<0.05$).

Örneklerdeki Mg değerleri 267.34 ile 354.03 mg/kg arasında değişiklik göstermiştir. Kül uygulama oranlarının artmasıyla beraber Mg içeriğinin azaldığı ortaya çıkmıştır ($p<0.05$).

Toprak örneklerinin değişebilir Na miktarları 37.00 ile 55.66 mg/kg arasında değişim göstermiştir. Örnekler istatistiksel olarak aynı grupta yer almış ve farklar önemli bulunmamıştır ($p<0.05$).

Topraklardaki bitkice alınabilir P miktarları ise 34.98 ile 79.83 mg/kg arasında değişiklik göstermiştir. Çizelge incelendiğinde kül uygulama oranlarının artışı, P miktarının da artmasına neden olduğu görülmektedir ($p<0.05$).

Kahraman (2012), Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu külleri ve toprak karışımında fasulye bitkisi yetiştirmiştir. Artan kül oranlarıyla beraber Ca ve P miktarında artma, Mg miktarında azalma tespit etmiştir. Bulgular, bu araştırma sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Hindistan'da termik santrallerin fazla olduğu bir bölgede emisyonların, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada santral çevresindeki toprakların porozite özelliği olumsuz yönde etkilenmiş, toprak pH'sı ve toprak organik karbon kapsamı yükselme eğilimine girmiş, SO₄ ve değişebilir Ca içerikleri yüksek, toplam N içerikleri düşük bulunmuştur. Ayrıca toprakların Mn, Fe, Cd, Cu, Pb ve Ni içeriklerinin de oldukça yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Santralden kaynaklanan toplam toz emisyon oranı ile topraklardaki SO₄ içeriği, havadaki SO₂ oranı ile toprak değişebilir Ca ve K düzeyleri arasında pozitif ilişkiler belirlenmiştir. Sonuç olarak santralden

kaynaklanan kirliliğin, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir (Singh ve ark., 1995).

4.3. Toprakların mikro element (Fe, Zn, Cu ve Mn) analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Deneme topraklarının DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element miktarları Çizelge 4.3.'de görülmektedir.

Toprak örneklerinin DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element miktarlarından Fe değerleri 14.06 ile 34.94 mg/kg arasında yer almaktadır. İstatistiksel olarak gruplar arasında farklar önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Ancak örneklerdeki bitkiye yarayışlı Fe miktarı ile kül oranlarının artması arasında paralellik söz konusu değildir. Fe miktarında önce azalma, son iki grupta da tekrar artma durumu görülmektedir. İstatistiksel olarak 1. uygulama ile 8. uygulama aynı grupta yer almıştır. Bu durumun nedenini Fe yarayışlılığında birden fazla faktörün yer alması olarak açıklamak da mümkündür.

Çizelge 4.3. Toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element değerleri

Uygulama	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
1 (%0 kül)	34,94a	2,81a	1,90a	110,36a
2 (%2,5 kül)	15,03d	1,78b	1,40b	34,94b
3 (%5 kül)	14,61d	1,60cd	1,38b	24,72c
4 (%7,5 kül)	14,44d	1,67bc	1,36b	24,17c
5 (%10 kül)	14,06d	1,48d	1,18c	18,64d
6 (%15 kül)	19,66c	1,30e	1,34b	14,63e
7 (%20 kül)	29,60b	1,25e	1,36b	12,84ef
8 (%25 kül)	34,74a	1,02f	1,27bc	9,803f

Çizelge 4.3. incelendiğinde DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn miktarlarının, 1.02 ile 2.81 mg/kg arasında değerler aldığı görülebilir. Burada artan kül uygulamalarıyla Zn miktarları arasında negatif bir ilişki söz konusudur ($p<0.05$).

Örneklerin DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu miktarları 1.18 ile 1.90 mg/kg arasında değişiklik göstermektedir. Burada da kül uygulama oranlarının artmasıyla Cu miktarları azalma eğilimindedir ($p<0.05$).

DTPA ile ekstrakte edilebilir Mn miktarlarına gelince, 9.80 ile 110.36 mg/kg arasında değişim göstermiştir. Kül miktarının artmasıyla beraber bariz bir şekilde Mn konsantrasyonları da düşmüştür ($p < 0.05$).

Romer ve ark. (1992), yakıt olarak kömür kullanan termik santrallerin çevrelerinde 3 km'ye kadar olan mesafelerde önemli ölçüde Cu, Mn, Ni, Zn ve Pb birikiminin olduğunu bildirmiştir. Basta ve Tabatabai (1992), pH'nın toprakta metal hareketliliğine etkisini araştırdıkları çalışma sonucunda, metallerin yayarışlılıkları üzerine $Cu=Pb \geq Ni=Zn$ sırası şeklinde bir etki yaptığını bildirmişlerdir. Schachtschabel ve ark. (1989)'ı, kayaçlarda ve kirlenmemiş topraklarda mikro elementlerin ve potansiyel toksik elementlerin ortalama içeriklerini bildirmişlerdir. Buna göre 'Bazalt/Gabro' grubunda Cu 90 mg/kg, Zn 100 mg/kg ve Mn 1400 mg/kg olarak belirtmişlerdir. Türkmenoğlu (2010), Afşin-Elbistan Termik Santrali külünün ağır metal içeriklerini tespit etmiştir. Buna göre santral külünde 37.1 mg/kg Cu, 211.6 mg/kg Zn, 187.2 mg/kg Mn bulunduğunu bildirmiştir.

Topraktaki mikro element seviyelerinin düşük olmasının nedeni olarak yüksek pH, düşük organik madde içeriği ve bir kısmının da bitkiler tarafından alınmasının olduğu düşünölmektedir. Kül uygulamaları pH'yı ve Ca miktarını artırmış, organik madde miktarını düşürmüştür.

4.4. Bitki analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Mısır bitkilerinin hasat öncesi boyları ölçölmüş, deneme sonunda ise hasat edilen mısır bitkilerinin kök, gövde ve yapraklarının ağırlıkları yıkanma ve kurutulma işleminden sonra belirlenmiştir. Yaprak örneklerinin ayrıca bazı besin maddesi içerikleri de analiz edilmiştir.

4.4.1. Bitki fiziksel analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Çizelge 4.4.'de bitkide yapılan fiziksel (bitki boyu, gövde ağırlığı, yaprak ağırlığı ve kök ağırlığı) analizlerin sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.4. Bitki fiziksel analiz sonuçları

Uygulama	Bitki Boy (cm)	Gövde Ağırlık (g)	Yaprak Ağırlık (g)	Kök Ağırlık (g)
1 (%0 kül)	171,00ab	105,35a	56,77a	17,01a
2 (%2,5 kül)	182,66a	78,21b	42,06b	9,93b
3 (%5 kül)	154,66b	31,12c	21,77c	6,59bc
4 (%7,5 kül)	108,66c	11,04cd	4,99d	4,76cd
5 (%10 kül)	89,33c	5,07d	1,90d	2,50cd
6 (%15 kül)	51,00d	0,81d	0,64d	1,30de
7 (%20 kül)	92,33c	5,68d	1,47d	1,61de
8 (%25 kül)	35,66d	0,19d	0,27d	0,08e

Bitki fiziksel analiz sonuçlarının hepsinde de (Bitki boyu, gövde ağırlığı, yaprak ağırlığı ve kök ağırlığı) kül uygulama oranlarının artmasına paralel olarak azalmalar tespit edilmiştir ($p<0.05$). Bitki boyu değerleri 35.66 ile 171.00 cm arasında, gövde ağırlık miktarları 0.19 ile 105.35 g arasında, yaprak ağırlık miktarları 0.27 ile 56.77 g arasında, kök ağırlık miktarları 0.08 ile 17.01 g arasında değişim göstermiştir.

Genel olarak bakıldığında artan kül oranlarının, bitki gelişimini olumsuz yönde etkilediği görülebilir. Muğla Yatağan Termik Santrali bölgesindeki kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağaçlarının santralden kaynaklanan kirlilikten etkilenme derecesinin araştırıldığı bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla 1961-1982 yılları arasında 6 farklı bölgede gözlemler ve analizler yapılmıştır. Sonuç olarak kızılçam ağaçlarında halka genişliklerin, yıllık ortalama 0.7-2.8 mm azaldığı tespit edilmiştir (Tolunay, 2003).

Hava kirliliğinin bitkiler üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, ağaçların kambiyum, ksilem ve floem dokuları incelenmiş ayrıca yaprakların kimyasal kompozisyonları araştırılmıştır. Kirlilikten etkilenen bölgede yaprakların ağır metal içerikleri önemli derecede yüksek bulunmuştur. Anatomik analizler sonucunda da, gelişme sezonu başında kambiyal hücrelerde azalma, floemi oluşturan hücrelerde azalma ve biçimlenmelerinde bozulma, trakeidler (ksilem iletim demeti) ve floem halkalarında yapısal bozulmalar meydana geldiği gözlenmiştir (Kurczynska ve ark., 1997). Benzer bir çalışmada emisyon kaynağına yakın çevrede yetişen *Vaccinium vitis idaea* bitkisinin yapraklarının morfolojik yapısı üzerine ağır metallerin etkisi araştırılmıştır. Bulgulara göre, özellikle Ni ve Cu birikimi olan yapraklarda

epidermis ve epidermal hücrelerde hasar, kütikular yapı ve stomatal komplekste bozulmalar meydana gelmiştir (Balagnskaya ve Kudrjajtseva, 1998).

4.4.2. Bitki Makro Element Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bitki yapraklarının bazı makroelement ve Na içerikleri Çizelge 4.5.'te verilmiştir. Genel olarak kül uygulamalarının artması ile beraber yaprakların Na içeriğinde istatistiksel olarak önemli bir artış olmuştur. Sadece %20 kül uygulamasında bu bulgulara uyumlu olmayan okumalar elde edilmiştir. Bu durum artan dozlarda kül uygulamaları ile bitki gelişiminin sekteye uğraması ve bunun sonucunda bitkinin kaldırdığı besin maddesi miktarlarında azalma ile açıklanabilir.

Kaya ve Tuna (2005), yaptıkları bir derlemede şu açıklamalarda bulunmuşlardır; Na bitkiler için mM düzeyde bile toksik etki yapabilmektedir. Potasyum noksanlığı ve Sodyum toksitesi dünyada sık görülen ve bitkisel üretimi kısıtlayan önemli problemlerdir. Bitki dokularında element bağlama yerlerinde Na ile K ve Ca gibi katyonik elementler rekabet içindedirler. Bu yüzden Na/K ve Na/Ca dengesi hızla bozulmakta ve bu elementlerin alınması ve taşınması azalmaktadır.

Bitki yapraklarının K içerikleri genel olarak %15 kül uygulamasına kadar bir artış göstermiş, daha yüksek uygulamalarda ise tekrar düşüşe geçmiştir (Çizelge 4.5.). Yaprakların fosfor içerikleri ise kontrol ve düşük kül uygulamalarında (%2,5 ve %5) istatistiksel olarak aynı grupta yer almış ve daha yüksek kül uygulamalarında ise azalan bir eğilim göstermiştir. Bitki yapraklarının Ca ve Mg içerikleri ise kül uygulamaları ile genel olarak bir artma eğilimi göstermişlerdir.

Hasat sonrası topraklarda yapılan bitkiye yararlı besin maddeleri analizleri ile yaprakların besin maddeleri içerikleri arasında tam bir paralellik olduğu söylenemez. Toprak analizlerine göre kül uygulamaları ile yaprakların Na içeriklerinin değişmemesi, K, P ve Ca içeriklerinin artması ve Mg içeriğinin de azalması beklenirdi. Toprak analizlerine zıt olarak kül uygulamaları ile yaprak Na içerikleri artmış, P içerikleri azalmış ve Mg içeriklerinde ise artış meydana gelmiştir. Bu durum iki şekilde açıklanabilir. İlk olarak, toprak analizleri hasat sonrası yani bitkiler ortamdan besin maddelerini kaldırdıktan sonra yapıldığından böyle bir korelasyon eksikliği ortaya çıkmış olabilir. Diğer bir neden ise artan kül uygulamaları ile toprak pH'sında ve diğer toprak özelliklerinde meydana gelen değişimler standart olarak kullanılan bitkiye yararlı besin maddesi miktarlarını etkilemiş olabilir.

Çizelge 4.5. Bitki yapraklarının Na, K, P, Ca ve Mg analiz sonuçları

Uygulama	Na (mg/kg)	K (%)	P (%)	Ca(%)	Mg (%)
1 (%0 kül)	223,95cd	1,29bc	0,15ab	0,36d	0,20bc
2 (%2,5 kül)	271,86cd	1,91ab	0,17a	0,52cd	0,19c
3 (%5 kül)	251,61cd	1,59abc	0,14abc	0,72cd	0,20bc
4 (%7,5 kül)	208,86d	1,76ab	0,11bcd	0,61cd	0,20bc
5 (%10 kül)	471,53b	1,95ab	0,08d	0,85c	0,22bc
6 (%15 kül)	658,66a	2,15a	0,07d	1,36b	0,35b
7 (%20 kül)	333,34c	1,22bc	0,09d	0,81c	0,23bc
8 (%25 kül)	709,56a	0,91c	0,10cd	2,15a	0,55a

Erdal ve ark. (2012), kireçli bir toprakla, termik santral uçucu külünü belirli oranlarda karıştırmış; bu karışımda nohut ve buğday yetiştirerek uçucu külün etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Araştırma sonucunda nohut bitkisinde makro element (N, P, K, Ca, Mg) bakımından istatistiksel olarak uçucu külün etkisinin olmadığını, buğdayda ise sadece K düzeyinde bir artış olduğunu bildirmişlerdir.

Kül uygulamaları sonucunda bitki gelişimi dolayısıyla bitki kuru madde miktarları önemli ölçüde azalmıştır. Bunun sonunda artan kül uygulamaları ile topraktan kaldırılan besin maddesi miktarlarında değişimi daha iyi analiz edebilmek için yaprak besin maddesi içerikleri sadece mg/kg ya da % olarak değil aynı zamanda yaprak kuru maddesinde (g), mg besin maddesi içeriği olarak ta hesaplanmıştır (Çizelge 4.6.). Bu şekilde bir dönüştürme ile oluşturulan Çizelge incelendiğinde, ilk kül uygulama dozu olan %2,5 üzerine çıkıldığında yaprakların topraktan kaldırdığı besin maddeleri içeriğinde azalan kuru madde miktarına paralel olarak bir azalma meydana geldiği görülmektedir.

Çizelge 4.6. Bitkinin yapraklarının kaldırdığı makro element miktarları (mg/ykm)

Uygulama	Na (mg/b)	K (mg/b)	P (mg/b)	Ca (mg/b)	Mg (mg/b)
1 (%0 kül)	12,89a	740,67a	85,15a	213,30a	112,98a
2 (%2,5 kül)	11,76a	819,08a	72,12a	220,15a	77,01b
3 (%5 kül)	5,47b	366,83b	30,29b	156,29a	43,66c
4 (%7,5 kül)	0,99c	86,63c	5,76c	29,83b	9,62d
5 (%10 kül)	0,88c	36,45c	1,59c	16,06b	4,23d
6 (%15 kül)	0,42c	13,66c	0,43c	8,74b	2,24d
7 (%20 kül)	0,50c	17,75c	1,28c	12,19b	3,32d
8 (%25 kül)	0,19c	3,36c	0,27c	5,86b	1,45d

4.4.3. Bitki Mikro Element Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kül uygulamaları sonucunda yaprakların metal mikro element içerikleri istatistiksel olarak önemli bir farklılık göstermiştir (Çizelge 4.7.). Genel olarak yaprakların Mn, Zn, Fe ve Cu içerikleri artan kül uygulamaları ile bir artış göstermiştir. Makro elementlere benzer şekilde toprak analizleri ile yaprakların kaldırdığı metal mikro elementler arasında bir paralellik bulunamamıştır. Bu durum DTPA testinin kül uygulanan topraklar için uygun olmadığı sonucunu ortaya çıkarabileceği gibi hasat sonrası saksı gibi bitki kökleri tarafından aşırı sömürülen bir toprak hacminden yapılan analizlerin bitkinin kaldırdığı besin maddesi miktarını belirlemede kullanılmaması gerektiğini de gösteriyor olabilir.

Bu çalışmada elde edilen bulgulara benzer şekilde, Kalra ve ark. (1998), gübreleme materyali olarak kül kullanımının araştırıldığı bir çalışmada, uçucu kül eklenen bir ortamda yetiştirilen mısır, mercimek, hardal ve buğday bitkilerinin Zn, Cu, Fe ve Mn içeriklerinin yükseldiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca küllerin tarımsal amaçlı kullanımında yararlar sağlanabileceği, ancak daha fazla araştırmaların gerektiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4.7. Bitki yapraklarındaki Mn, Zn, Fe ve Cu analiz sonuçları

Uygulama	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)
1 (%0 kül)	58,81bc	27,20bc	83,33c	7,37c
2 (%2,5 kül)	48,72c	29,56bc	85,62c	8,80bc
3 (%5 kül)	61,63bc	23,26bc	98,61c	8,81bc
4 (%7,5 kül)	58,41bc	19,99c	82,57c	6,41c
5 (%10 kül)	75,26b	24,98bc	117,47c	8,77bc
6 (%15 kül)	80,96ab	33,25bc	181,38b	14,59a
7 (%20 kül)	102,41a	40,52b	118,47c	10,45abc
8 (%25 kül)	102,35a	64,34a	291,30a	11,85ab

Bitki yaprakları tarafından kaldırılan mikro elementler yaprak kuru maddesinde (g), mg olarak ifade edildiğinde en düşük kül uygulaması dışında (%2,5), kül uygulamaları ile saksılardan kaldırılan mikro element içeriklerinin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir (Çizelge 4.8.).

Çizelge 4.8. Bitkinin yaprakları ile kaldırdığı mikro element miktarları (mg/bitki)

Uygulama	Mn (mg/b)	Zn (mg/b)	Fe (mg/b)	Cu (mg/b)
1 (%0 kül)	3,34a	1,52a	4,72a	0,44a
2 (%2,5 kül)	2,01b	1,24a	3,63a	0,38a
3 (%5 kül)	1,35b	0,51b	2,18b	0,19b
4 (%7,5 kül)	0,29c	0,10c	0,39c	0,03b
5 (%10 kül)	0,14c	0,05c	0,22c	0,02b
6 (%15 kül)	0,05c	0,02c	0,11c	0,01b
7 (%20 kül)	0,15c	0,06c	0,17c	0,02b
8 (%25 kül)	0,03c	0,02c	0,08c	0,01b

Ağır metallerin bitkide birikimiyle ilgili olarak yapılan bir saksı denemesinde, düşük dozda uygulanan baca külünün, yüksek doz uygulamalarına göre daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Pandey ve ark., 2009). Baca küllerinin özelliklerine bağlı olarak tarımsal amaçlı kullanımına ilişkin yapılan bir diğer çalışmada, kullanılan kömürün kaynağına bağlı olarak baca külünün de çok değişiklikler gösterdiği bildirilmiştir. Benzer bir çalışmada, yüksek pH'lı küllerin kireçleme materyali olarak kullanılabileceği belirtilmiş, asidik özellikteki küllerin

topraktaki bazı elementlerin toksik düzeylere çıkmasına neden olabileceği bildirilmiştir (Haynes, 2009).

Bu zamana kadar yapılan çalışmalardan çıkartılabilecek ortak noktalardan biri de, küllerin ağır metal içermeleri tarımda kullanımını sınırlayan en önemli faktörler arasında yer almasıdır. Bizim yaptığımız bu çalışmada, artan kl uygulama oranlarıyla beraber bitki dokularında makro ve mikro element düzeyleri genel olarak artma eğilimi göstermesine rağmen, bitkilerin gelişimi olumsuz yönde etkilenmiştir. Bu durum bitki fiziksel analizlerinin incelenmesiyle anlaşılabilecektir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tüm dünyada enerji ihtiyacı hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Ülkemizde enerji kaynaklarının büyük bir kısmını linyitler oluşturmaktadır. Bu linyitlerin düşük kaliteli olması nedeniyle önemli çevre sorunlarına yol açtığı bilinmektedir. Ancak kendi kaynaklarımızı değerlendirmek zorundayız. Elimizde bulunan en yüksek potansiyele sahip enerji kaynağı kömürdür. Özellikle linyitlerin, çevreye en az oranda zarar verecek şekilde kullanımını sağlamak için yeni yakma, filtreleme ve depolama teknolojilerinin incelenmesi ve ülkemiz koşullarına uyarlanması gerekmektedir. Ayrıca santral atık ürünlerinin değerlendirilmesine yönelik araştırmaların yapılması, dünyadaki konuyla ilgili araştırmaların da incelenerek ortak çevre politikaları geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Bu çalışmada Afşin-Elbistan Termik Santrali küllerinin mısır (*Zea mays* L.) tarımında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kül uygulamaları hem bazı toprak özellikleri hem de mısır bitkisinin gelişimi üzerine etkili olmuştur. Bitki gelişimi ve yapraktan kaldırılan besin maddesi miktarları kül uygulamaları ile azalmıştır.

Yapılmış olan bu bir yıllık çalışma termik santral küllerinin yüksek oranlarda toprağa karıştırılmasının sürdürülebilir bir tarım uygulaması olarak uygun olmadığını göstermektedir. Kullandığımız en düşük kül oranı (%2,5) ve daha az dozlarla yeni denemelerin kurulması, küllerin tarımda kullanım olanakları hakkında daha belirleyici sonuçlar ortaya koyabilir.

KAYNAKLAR

- Abrahamson, D.E., 1989. Global Warming; The Issue, Impacts, Responses. The Challenge of global Warming, Island Press, Washington D.C.
- Adriano, D.C., Page, A.L., Elseewi, A.A., Chang, A.C., Straugham, I., 1980. Utilization and disposal of fly ash and other coal residues in terrestrial ecosystems. A review. J. Environ. Qual., 9:333-444.
- Ajaz, S., Azam, M.F., Tiyagi, S., 2004. Utilization of fly ash for the management of *Rhizoctonia Solani* infesting bottlegourd, Archives Of Phytopathology And Plant Protection, 37:4, 269-274, DOI: [10.1080/032354004123311273377](https://doi.org/10.1080/032354004123311273377)
- Ajmal, M., Khan, A., 1986. Effects of coal fired thermal power plant discharges on agricultural soil and crop plants. Environmental Research, 39,405-17.
- Anonim, 1991. Türkiye'nin Çevre Sorunları, Web sitesi <http://www.meteor.gov.tr/> Türkiye Çevre Sorunları Vakfı, Ankara.
- Anonim, 2005. Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
- Anonim, 2014a. <http://www.euas.gov.tr/>
- Anonim, 2013. <http://www.teias.gov.tr/>
- Anonim, 2014b. <http://www.ttae.gov.tr/>
- Aruntaş, H.Y., 2006. Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 21, No 1, 193-203.
- Ateşok, G., 2004. Kömür Hazırlama ve Teknolojisi. Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayını, İstanbul.
- Aydemir, G., 2008. Afşin-Elbistan Termik Santrali Emisyonlarının Yöre Topraklarına Etkilerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aytekin, S., 2009. Uçucu Küllerin Killi Zeminlerin İslahında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Baba, A., Türkman, A. 2001. "Investigation of geochemical and leaching characteristics of solid wastes from Yenikoy (Mugla-Turkey) Power Plant." Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences 25: 315-319.
- 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.
- Balaganskaya, E.D., Kudrjajtseva, O.V., 1998, Change of the morphological structure of leaves of *Vaccinium vitis idaea* caused by heavy metal pollution. Chemosphere. 36(4-5), 721-726.

- Barbir, F., Veziroğlu, T.N., 1992. Assessment of Environmental Damage by Fossil Fuels. Clean Utilization of Coal, NATO ASI Series. Series:C, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 77, No. 9/10, s. 1056-1066.
- Basta, N.T., Tabatabai M.A., 1992. Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils. II. Effect of equilibrium solution pH. Soil Sci. 153(3):195-204.
- Basu, M., Pande, M., Bhadoria, P.B.S. Mahapatra, S.C., 2009. "Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review." Progress in Natural Science 19.10: 1173-1186.
- Baykan, A.R., 2004. Türkiye Çevre Atlası. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Bşk., Ankara.
- Bhattacharjee, U., Kandpal, T. C., 2002. Potential of fly ash utilisation in India. Energy, 27 (2), 151-166.
- Birand, Ş.A., 1949. Mineraloji Dersleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Sayı:12.
- Brake, S.S, Jensen, R.R, Mattox, J.M., 2004. Effects of coal fly ash amended soils on trace element uptake in plants. Environmental Geology, 45: 680-689.
- Bunzl, K., Rosner, G. Schmindt, W., 1983. Distribution of lead, Cobalt and Nickel in the soil around a coal fired power plant. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk, 146, 705-13.
- Calvert, S., Englund, H.M., 1984. Handbook of Air Pollution Technology. A Wiley-Interscience Publication, s. 65-97.
- Carlson, C.L., Adriano, D.C., 1993. Environmental Impacts of Coal Combustion Residues. Journal of Environmental Quality, 22, 227-247.
- Cline, J.A, 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.
- Çancı, B., 1998. Geochemical Assessment of Environmental Effects of Fly Ash from Seyitömer (Kütahya) Thermal Power Plant. Msc Thesis. Department of Geological Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Demiralay, İ., 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi No.143, Erzurum.
- Erdal, İ., Özkul, M., Yavuz, G., Küçük yumuk, Z., 2012. Kireçli Bir Toprakta Yetiştirilen Nohut ve Buğdayın Gelişimi ve Mineral Beslenmesi Üzerine Termik Santral Uçucu Külünün Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 7 (2):65-72, ISSN 1304-9984, Araştırma Makalesi.
- Goldemberg, J., Johanson, T.B., 2004. World Energy Assessment: Overview Update. New York: United Nations Development Programme.
- Haktanır, K., Karaca, A., Ok, S., Arcak, S., Türkmen, C., Topçuoğlu, B., Türel, F. 2006. Muğla Yatağan Termik Santral Emisyonlarının Etkisinde Kalan Tarım ve Orman

- Topraklarının Kirlilik Veri Tabanının Oluşturulması ve Vejetasyon Etkilerinin Araştırılması. DPT Projeleri, Ankara.
- Haynes, R.J. 2009. Reclamation and Revegetation of Fly Ash Disposal Sites-Challenges and Research Needs. *Journal of Environmental Management*, 90 (1): 43-53.
- Helmke, P.A., Sparks, D.L., 1996. Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium and Cesium. In D.L. Sparks (ed) *Method of Soil Analysis: Chemical Methods, Part 3*, SSSA, Madison, WI. S: 551-575.
- Iyer, R.S., Scott, J.A., 1999. Power Station Fly Ash-a Review of Value-Added Utilization outside of The Construction Industry, *Resources Conservation & Recycling*, Australia.
- Jones, J.R., J.B., Case, V.W., 1990. Sampling, Handling and Analysing Plant Tissue Samples. Chapter 15 in R.L. Westerman (ed) *Soil Testing and Plant Analysis (Third edition)* SSSA Madison U.S.A. S: 389-427
- Kahraman, Y., 2012. Afşin-Elbistan Termik Santrali Küllerinin Tarımda Kullanım Olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Kalra, N., Jain, M.C., Joshi, H.C., Choudhary, R., Harit, R.C., Vatsa, B.K., Sharma, S.K., Kumar, V., 1998. Flyash as a soil conditioner and fertilizer. *Bioresour. Technol.* 64, 3, 163-167.
- Karaca, A. 1997. Afşin-Elbistan termik santrali emisyonlarının çevre topraklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine etkileri. Ankara Üniv. Fen Bil. Ens., Ankara. Doktora Tezi (yayınlanmamış).
- Karaca, A., Turgay, O.C., Karaca, S., Sağlam, M., Türkmen, F., Deviren, S. Türkmen, N. 2007. Seyitömer termik santrali emisyonlarının çevre toprakları üzerine etkileri. Proje, Yayınlanmamış, Ankara.
- Karagöktaş, M., 2012. Afşin-Elbistan Termik Santrali'nin Çevreye Olan Olası Etkisinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Kaya, C., Tuna, A.L., 2005. Potasyumun Tuz Stresinde Yetişen Bitkilerde Rolü ve Önemi. Tarımda Potasyum Sempozyumu. 3-4 Ekim, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Eskişehir.
- Keskin, M. ve Mert, A., 2002. "Türkiye'de enerji ve çevre konusunda yapılan en büyük hataların bir laboratuvarı: Yatağan-Yeniköy-Gökova termik santralleri", *Mühendis ve Makine* 509, http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2002/haziran/makale_enerji_cevre_yatagan.htm, son erişim 20.02.2005.
- Koçak, Ç., Kürkçü, S.N., Yılmaz, S., 2001. Afşin-Elbistan Linyit Havzasının Değerlendirilmesi ve Linyit Kaynakları Arasındaki Yeri, Ankara.
- Kolukısa, S. 1999. Uçucu Kül İçeren Alüminyum Matrisli Kompozit Üretim, Özellikleri ve Mikroyapı Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Kuo, S., 1996. Phosphorus. In D.L. Sparks (ed) Method of Soil Analysis: Chemical Methods. Part 3. SSSA, Madison, WI. S: 869-921.
- Kurczynska, E.U., Dmuchowski, W., Wloch, W., Bytnerowicz, A., 1997. The influence of air pollutants on needles and stems of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees. Environ. Pollut. 98, 325-334.
- Lee, H., Ha, H.S., Lee, C.S., Lee, Y.B., Kim, P.J., 2006. Fly Ash Effect on Improving Soil Properties and Rice Productivity in Korean Paddy Soil. Bioresour. Technol., 97, 1490-1497.
- Lindsay, W.L., Norvel, W.A., 1978. Development of DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cu. Soil Sci. Amer. J. 42(3), 421-28.
- Mahale, N.K., Patil, S.D., Sarode, D.B., Attarde, S.B., 2012. Effect of Fly Ash as an Admixture in Agriculture and the Study of Heavy Metal Accumulation in Wheat (*Triticum aestivum*), Mung Bean (*Vigna radiata*) and Urad Beans (*Vigna mungo*). Polish journal of Environmental Studies, 21 (6), 1713-1719.
- Martinez-Tarazona, M.R., Spears, D.A. 1996. The Fate of Trace Elements and Bulk Minerals in Pulverized Coal Combustion In a Power Station. Fuel Processing Technology, 47:79-92.
- Masto, R.E., Ansari, M.A., George, J., Selvi, V.A. Ram, L.C. 2013. Co-application of biochar and lignite fly ash on soil nutrients and biological parameters at different crop growth stages of *Zea mays* Ecological Engineering, 58, 314-322.
- Matsi, T., Keramidias, V.Z., 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.
- Menon, M.P., Sajwan, K.S., Ghuman, G.S., James, J., Chandra, K. 1993. Fly ash-amended compost as a manure for agricultural crops. Journal of Environmental Science & Health Part A, 28(9), 2167-2182.
- Meriçboyu, A.E., Beker, Ü.G., Küçükbayrak, S., 1998a. "Kömürün Kullanımını Belirleyen Önemli Özellikleri", Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş. İstanbul. s.149-163.
- Meriçboyu, A.E., Beker, Ü.G., Küçükbayrak, S., 1998b. Kömür ve Çevre İlişkileri Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, Bölüm 32 Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş. İstanbul.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1996. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In D.L. Sparks (ed) Method of Soil Analysis: Chemical Methods, Part 3, SSSA, Madison, WI. S: 961-1011.
- Nuhoğlu, Y. 1993. Muğla-kemerköy termik santralinin oluşturacağı çevre kirliliğinin ormanlar üzerindeki etkileri. Doktora tezi, İstanbul Üniv. Fen Bil. Ens., İstanbul. (yayınlanmamış).

- Olsen, S.R., Cole, A.V., Watanable, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soil by Extracting with Sodium Bicarbonate. U.S. Dept. of Agric. Circ. 939. Washington D.C.
- Onacak, T. 1999. Türkiye'deki termik santrallara beslenen kömürlerin ve yanma sonucu oluşan katı atıkların çevresel etkileri. Doktora Tezi, H.Ü. Fen Bilim. Enst., Ankara (yayınlanmamış).
- Pacyna, J.M. 1987. Atmospheric emissions of As, Cd, Pd, and Hg from high temperature processes in power generation and industry. Ed. T.C. Hutchinson and K.M. Meema, John Wiley and Sons Ltd.
- Pahtan 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.
- Pahtan 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.
- Painter, D.E., 1974. *Air Pollution Technology*. Pitt. Technical Institute, Greenville, Reston Publishing Company, s. 258-259.
- Pandey, V.C., Abhilash, P.C., Upadhyay, R.N. Tewari, D.D. 2009. Application of Fly Ash on the Growth Performance and Translocation of Toxic Heavy Metals within *Cajanus cajan* L.: Implication for Safe Utilization of Fly Ash for Agricultural Production. *Journal of Hazardous Materials*, 166: 255-259.
- Pandey, V.C. Singh, N., 2010. Impact of fly ash incorporation in soil systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 136(1), 16-27
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Gasses. In D.L. Sparks (ed) *Method of Soil Analysis: Chemical Methods, Part 3*, SSSA, Madison, WI. S: 417-437.
- Romer, W., Jank, H. J. Demele, H. 1992. Heavy metal contents of grassland soils and plants near a coal-fired power plant. *Agribiological Research*, 45(2), 137-46.
- Sawyer, R.F., 1971. *Combustion Generated Air Pollution*. Sarkman, E.S., Ed., Plenum Pres, New York.
- Schachtschabel, P., Blume, H.P., Bürümmer, G., Hartge, K.H., Schwertmann, U., 1989. Çevirenler; Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M. ve Kaptan, H., 1993. *Toprak Bilimi*. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Genel Yayınları, No:73, Ders Kitabı No:16, Adana.
- Seyrek, A., 1999. Mineraloji Petrografi. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları. No:12.
- Sharma, S.K., Karla, N., Singh, G.R., 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.

- Shen, T.T., 1980. The Environmental Impact of Conventional Fossil Fuel Sourcess. Energy and the Environment İnteractions, Theodore L.; Buonicore, A.J., Eds., Vol 1, Chapter 2, CRC Press Inc., Florida.
- Singh, J., Agrawal, M., Narayan, D. 1995. Changes in soil characteristics around coal-fired power plants. Environment international. 21(1), 93-102.
- Sümer, H., 2006. Barajlara termik santral külü, Aksiyon Haftalık haber dergisi yıl: 10 Sayı: 617, <http://www.aksiyon.com.tr/detay.php?id=25024>
- Swaine, D.J. 1990. Trace elements in coal. Butter worts, London, Eyland. 278 s.
- Şengül, Ü. 2002. Kangal Termik Santralinde Uçucu Kül Atımının Çevresel Etkileri. Ekoloji ve Çevre Dergisi, 44. Sayı, Cilt:11, s:21-24.
- Taşkın, Ö., 1998. Uçucu Kül ve Bazı Organik Materyallerin Toprak Biyolojik Aktivitesi Üzerine Etkileri. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and Acidty, P: 475-491. In D.L. Sparks (ed) Method of Soil Analysis: Chemical Methods, Part 3, SSSA, Madison, WI.
- Tokyay, M., Erdoğan, K., 1998. Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu, TÇMB, Ankara.
- Tolunay, D., 2003. Dendroclimatological investigation of the effects of air pollution caused by Yatagan Thermal Power Plant (Mugla-Turkey) on annual ring widths of *Pinus brutia* trees. Fresenius Environmental Bulletin. 12(9), s:1006-1014.
- Tripathi, R.c., Jha, S.K. & Ram, L.C. 2010. Impact of Fly Ash Application on Trace Metal Contents in Some Root Crops, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 32:6, 576-589, DOI: [10.1080/15567030903058584](https://doi.org/10.1080/15567030903058584)
- Tuna, A.L. ve Girgin, A.R., 2005. Mısırdada (*Zea mays* L.) Gelişme, Mineral Beslenme ve Ağır Metal İçeriği Üzerine Yatağan Termik Santral Uçucu Küllerinin Etkisi. Ekoloji, 14 (57): 7-15.
- Türkmenoğlu, M., 2010. Uçucu Küllerin Liç Karakteristiklerinin ve Çevreye Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ural, S., 2005. Comparison of fly ash properties from Afşin-Elbistan coal basin, Turkey, Journal of Hazardous Materials B 119, 85-92. s.
- Volkan, Selahattin., 2006. Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinden Yanmamış Karbonun Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Adana.
- Wilson, N., 1999. Applying Coal Ash to Fields as a Fertilizer or Liming Agent Water/Land Application. Minnesota Pollution Control Agency, MPCA, Minnesota.
- Yıldız, N., 2004. Toprak ve Bitki Ekosistemindeki Ağır Metaller. ZT-531. Yüksek Lisans Ders Notları, Erzurum.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Mesut KENGER
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 27.04.1972
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (344) 280 20 39
Faks :
e-posta : mkenger@ksu.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	KSÜ/Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı	2014
Lisans	ÇÜ/ Toprak Bölümü	1994
Lise	Kahramanmaraş Lisesi	1990

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009- 2014	KSÜ	Bilgisayar İşletmeni

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- 1.
- 2.

Hobiler

Doğa bilimleri, Satranç.