

Muğla-Yatağan Termik Santrali Emisyonlarının Etkisinde Kalan Tarım ve Orman Topraklarının Kirlilik Veri Tabanının Oluşturulması ve Emisyonların Vejetasyona Etkilerinin Araştırılması*

Generating Pollution Database of the Agricultural and Forest Soils Affected by Mugla-Yatagan Coal-Fired Power Plant Emissions and Investigating Vegetation Effects

Koray HAKTANIR¹, Sonay SÖZÜDOĞRU OK¹, Ayten KARACA¹, Sevinç ARCAK¹, Funda ÇİMEN², Bülent TOPÇUOĞLU³, Cafer TÜRKMEN⁴, Hakan YILDIZ⁵

¹Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Ankara

²Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Ankara

³Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü Programı, Antalya

⁴Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Çanakkale

⁵Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, TAGEM, Uzaktan Algılama Birimi, Ankara

Özet: Bu çalışmada, Muğla-Yatağan Termik Santrali emisyonlarının santral çevresindeki tarım ve orman topraklarının ağır metal kapsamı üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla hâkim rüzgar yönü ile diğer yönlerde olmak üzere santrale 721 m ile 15 km uzaklıkta değişen mesafelerden 27 adet toprak ve 41 adet bitki örneği toplanmıştır. Toprak örneklerinde toplam ve alınabilir Ni, Cd, Fe, Cu, Zn, Mn, S ile bazı toprak özellikleri belirlenmiştir. Toprakların ağır metal ve S kapsamının santrale olan mesafe ile ilişkili olmadığı, daha çok hâkim rüzgâr yönüne bağlı olarak etkilendiği belirlenmiştir. Toprak örneklerinin ağır metal kapsamının toprak pH'sı ile ilişkili olduğu saptanmıştır. Toplam Cd ve S değerlerinin normal değerlerden oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Toprakların ekstrakte edilebilir metal kapsamının genelde santralin güney ve güneybatı yönlerinde yüksek olduğu belirlenmiştir. Bitkilerde bulunan ağır metal miktarlarının yüksek olduğu saptanmıştır. Çam ağaçlarının iğne yapraklarında alınabilir S miktarı diğer bitkilerden daha yüksektir. Susam ve havuçta Cu, Cd, Zn oldukça yüksek bulunmuştur. Bu miktarların sebzeler için tüketilmesine izin verilen değerlerin üzerinde olduğu saptanmıştır. Biyolojik izleme bitkisi olarak değerlendirilen karayosununun ağır metal ve S kapsamının son derece yüksek olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Yatağan, Termik santral, Emisyon, Uçucu kül, Ağır metal, Toprak, Bitki.

Abstract: In this study, the effect of emissions of Yatagan Coal Power plant on the heavy metal content of agricultural and forest soils surrounding of the central were investigated. For this purpose, 27 soil and 41 plant samples were collected, based on the dominant wind direction and the other directions, from the varying distances between 721 m and 15 km far from the central. Total and available Ni, Cd, Fe, Cu, Zn, Mn and S, and some properties of soil samples were determined. The results indicated that the heavy metal and S contamination were not related to the distances to the central, more, depending on the prevailing wind direction has been influenced. Soil pH also affected heavy metal content of the samples. Total Cd and S values were rather higher than that of normal values for soil and plants. It was determined that extractable heavy metals and S concentrations were high on the south and southeast part of the power plant. In plants high amounts of heavy metals were detected. Pinus trees accumulated available S on their needle leaves in very high concentrations comparing to other plant samples. Sesame and carrot samples had highest Cu, Cd and Zn content which were exceeded permitted limits for the edible vegetables. Extremely high amounts of heavy metal and S concentrations were determined in the moss which is considered as a biological monitoring plant.

Key words: Yatagan, Coal-fired power plant, Emissions, Flying ash, Heavy metal, Soil, Plant.

1. Giriş

Dünyada oldukça yaygın bir rezerv halinde bulunan linyit kömürü, artan petrol fiyatları karşısında hala önemli bir enerji kaynağı olma özelliğini sürdürmektedir. Ülkemiz linyitlerine dayalı elektrik üretimi tesislerinin kurulması, 1970'li yıllarda ortaya çıkan petrol krizinden sonra hız kazanmış olup, 2010 yılına kadar yapılan üretim planlamalarında da ağırlıklı biçimde yer almıştır. 2010 yılında ülkemizin taş kömürü ve linyit rezervlerinin % 69'unun elektrik enerjisi üretiminde kullanılması hedeflenmiştir (Yıldız, 1996).

Ülkemizde termik santraller kurulurken hep olumlu yönleri vurgulanmış, neden olacağı birçok çevre sorunları gündem dışı tutulmuştur. Kömüre dayalı elektrik üretiminde artan kömür tüketimi

* Bu proje DPT tarafından desteklenmiştir.

termal kirliliği, parçacık dağılımını (sis), sülfür yayılımını, asit yağmurları, sera etkisini ve iz element yayılımını artırmaktadır.

Kömürün bileşimindeki iz elementler ve miktarları, kömür oluşumuna farklı kömürleşme basamaklarında dâhil olmalarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Kömürdeki elementlerin çoğu mineral madde ile birlikte bulunmaktadır. Bu minerallerin önemli bir kısmı yanmadan sonra küllerde konsantre olmaktadır (Gentzis ve Goodarzi, 1997). Santralde kömürün yanması sırasında organik maddenin kaybıyla birlikte açığa çıkan ve linyitin % 13'ünü oluşturan kül de bu elementlerce zenginleşmektedir (Sawidis vd., 2001). Bu küllerin doğrudan toprak üzerinde depolanması durumunda, kül içindeki zararlı bileşenlerin yağmur suları ile toprağa sızma ve yeraltı sularına karışma olasılığı bulunmaktadır. Diğer yandan santral bacalarından mikro partiküller halinde baca külleri yani uçucu küller çıkmaktadır. Yakılan kömürden arta kalan milyonlarca ton kül, cüruf ve partiküller birkaç yüz metre yükseklikte ve binlerce hektar genişlikte başka bir arazi üzerine depo edildiğinde ormanları, maki alanlarını, tarım kültürlerini ve yerleşim alanlarını yoğun kül emisyonu altında bırakmaktadır (Karaca, 1997).

Pacyna (1982), Avrupa ülkelerinde kömürle çalışan termik santrallerin atmosfere verdiği ağır metal ve iz element miktarlarını, kullanılan linyitin uçucu kül yüzdesine bağlı olarak emisyon faktörü ile belirlemiş ve en yüksek değerleri Romanya, Yugoslavya ve Türkiye'de kullanılan linyitlerin içerdiğini saptamıştır. Bunun nedeninin ise bu ülkelerde bulunan termik santrallerde kullanılan linyitlerin kül kapsamlarının çok fazla olmasından kaynaklandığını açıklamıştır.

Yatağan Termik Santralının Muğla-Yatağan yöresinde orman toprağı ve ağaçları üzerine etkisinin araştırılması sonucu yöre topraklarında ve bu topraklar üzerinde yetişen Kızılçam (*Pinus brutia*) yapraklarında belirlenen toplam kükürt değerlerinin kabul edilebilir değerlerin çok üstünde olduğu tespit edilmiştir (Sarigül, 1991). Ayrıca topraktaki kükürt miktarının artmasıyla birlikte Kızılçam ibrelerinin kükürt kapsamlarının da arttığı dolayısıyla ağaçların hava kirliliğinden etkilenme derecelerinin kirlenici kaynağa uzaklığa, bakiya, yükseltiye ve yöredeki hâkim rüzgâr yönüne bağlı olduğu belirtilmiştir.

Yapılan bir araştırma ile Yatağan termik santralinde kullanılan kömürlerin nem içeriğinin % 32, kuru nem içeriğinin % 10.6, kül kapsamının % 39, buharlaşabilir madde miktarının % 33, C'nun % 33.8, fikse edilmiş C'nun % 18, toplam S'ün % 2.6, H'nin % 2.1, N'un % 0.8, O'nin % 22 olduğu; mineral madde kapsamının (kuru ağırlık olarak); % 2.3 illit, % 5 kaolinit/klorit, % 16.3 kuvars, % 11 kalsit, %1.6 pirit, % 0.3 jips, % 36.6 toplam minerallerden oluştuğu belirlenmiştir (Karayığit vd., 2000).

Sivas-Kangal, Çayırhan, Tavşanlı, Tunçbilek, Soma-B, Seyitömer ve Yatağan olmak üzere 7 termik santralden alınan uçucu kül örneklerinde yapılan analizlerde S, Ca, Mg ve Fe'in tüm santral örneklerinde bulunduğu ve bu elementlerin uçucu küllerin temel bileşenlerini oluşturduğu belirlenmiştir. Ca'un uçucu külde bulunması linyitin yanması sırasında bacadan çıkan dumanda sülfür dioksitin oluşumunu engellediği için istenilen bir durumdur. Ayrıca Na, K, S, Al ve Ti elementleri de önemli düzeyde bulunmaktadır (Nuhoğlu ve Bülbül, 2003).

Kantarcı (2003), Yatağan, Kemerköy ve Yeniköy Termik Santrallerinin çevrelerinde bulunan ormanlık alanları önemli derecede etkilediğini ve ağaçlarda ekonomik kayıplara yol açacak düzeyde sararma ve kurumaların olduğunu belirtmiştir.

Karaca vd. (2007), Seyitömer termik santrali çevresi topraklarında ve yine Karaca vd. (2008) Afşin-Elbistan Termik Santrali çevresinde yapmış oldukları çalışmalarda, araştırma topraklarının çoğunluğunun Ni ve Cr kapsamlarının Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği sınır değerlerinin üstünde olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bu gibi durumlarda toprakta yüksek miktarda mevcut Ni ve Cr gibi elementlerin santral emisyonlarından mı yoksa toprağı oluşturan ana materyalden mi kaynaklandığı noktasında bir ayrıma gitmek gerektiğini ve bunun içinde o alanın jeolojik açıdan da araştırılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Yukarıda belirtilen açıklamalar doğrultusunda linyit kömürü kullanılarak enerji üretimi yapılan Yatağan Termik Santralının çevresinde mevcut tarım topraklarının pH, EC, organik madde,

ağır metal, iz element ve kükürt kapsamları ile bölgede yetişen bazı bitki çeşitlerinin iz element ve ağır metal kapsamları üzerine olası etkilerinin ortaya konulması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Santralin Fiziki Coğrafya Özellikleri

Yatağan Termik santrali, Muğla yöresinde bulunan 800 milyon tonluk düşük kalorili linyitin değerlendirilerek elektrik enerjisi üretilmesi amacı ile kurulmuştur. Muğla yöresi, Aşin-Elbistan kömür havzasından sonra ülkemizin en önemli kömür havzalarından birisidir. I. Ünitesi 1982, II. Ünitesi 1983 ve III. Ünitesi 1984 yılında devreye sokulan santralin 2 km uzaklıkta 309 800 m² lik bir alanda kül stok sahası mevcuttur.

Yatağan termik santrali, Yatağan-Milas karayolunun kuzeyinde, Yatağan ilçesine 3 km uzaklıktaki Yatağan ovasında yer almakta olup, 1 163 000 m²'lik bir alan kaplamaktadır. Bu ovanın rakımı 325 m iken ovanın kuzeyinde Yatağan tepesinde 718 m, kuzeybatıda Aladağ tepesinde 776 m, güneyde Bakladağ tepesinde 778 m, Akdağ tepesinde 1210 m, ve Kocakarlık tepesinde 1396 m'dir. Dolayısıyla küçük bir ova düzlüğü ve bu düzlüğü çevreleyen tepe ve dağlardan oluşan Yatağan yöresinde jeolojik yapı neojen yaşlı marn ve gölsel (lakustrin) yumuşak kalkerler ile permien-mesozoik yaşlı jerizitli-kloritli şistlerden ve sert kalkerlerden oluşmaktadır (Günay, 1986).

Yatağan termik santralinin etkisi altında bulunan topraklar genel olarak kollüviyal özellikte olup, Kırmızı Kahverengi Akdeniz büyük toprak grubuna girmektedir. Eğimleri % 2-6 arasında değişmekte olan bu topraklar genelde killi tın bünyede ve orta ve derin profillere sahip bulunmaktadır. Topraklar hafif alkali özelliktedir. Ormanlık bölgede ise Kahverengi orman ve Kireçsiz Kahverengi orman toprakları yaygındır. Eğimi % 6-12 ile daha dik arasında değişen, sıg, kaba bünyeli ve orta derecede erozyona sahip topraklardır. Topraklar asit ve hafif alkali özelliktedir (Özbek, 1996).

2.2. Toprak Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması

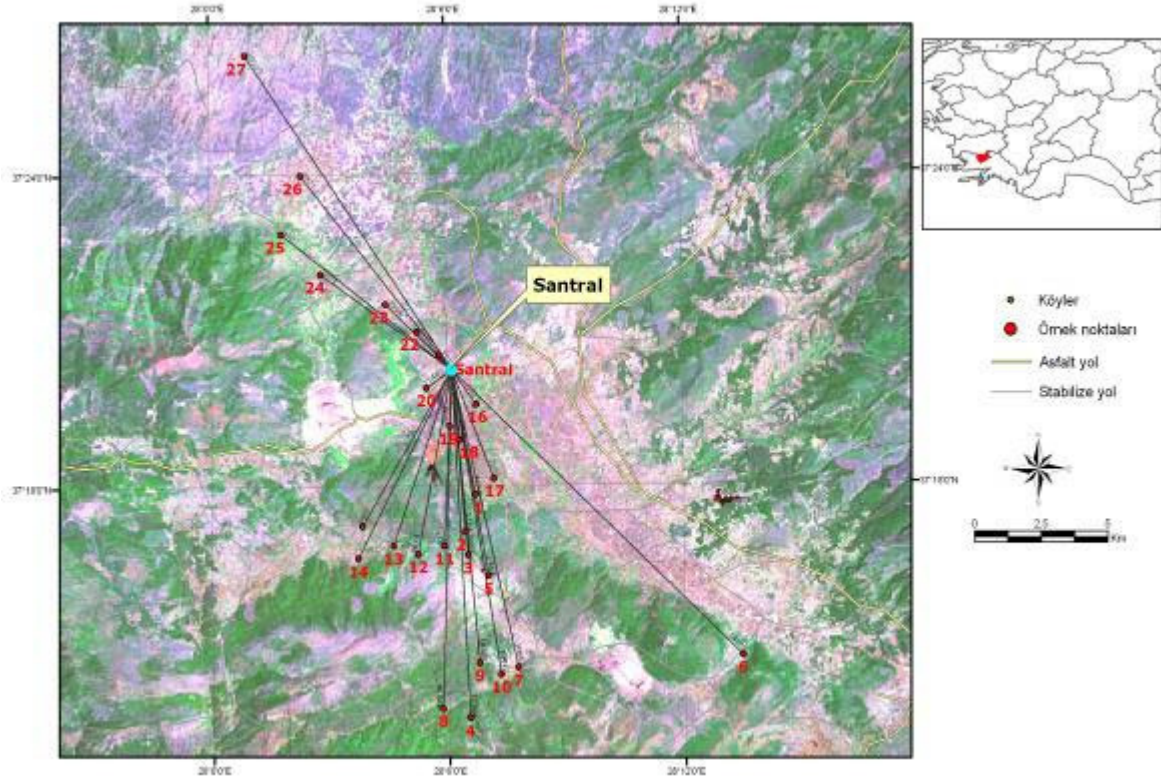
Örnekleme yerleri santrale olan uzaklık, hakim rüzgar yönü ve en yakın ormanlık alanın genel durumu dikkate alınarak belirlenmiştir. Hakim rüzgar yön, o bölgede rüzgarın en sıklıkla estiği yön olarak ele alınmakta ve bu tanım çerçevesinde, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden elde edilen 2000-2004 yıllarına ait aylık ortalama verilere göre hakim rüzgar yönü kuzeyden güneye doğrudur. Bölgede hakim rüzgar yönü dışında rüzgarın 2. ve 3. sıklıkla estiği yönler ise kuzeydoğudan güneybatıya ve kuzeybatıdan güneydoğuya doğrudur. Emisyonların hakim rüzgar yönünde hareket edeceği göz önüne alınarak, güneyden 1-5, 7-15, 17,18 ve 19 no'lu örnekler olmak üzere tarım ve orman alanlarından 17 adet toprak örneği alınmıştır. Meteorolojik verilere göre, bölgede hakim rüzgar yön dışında rüzgarın 2. sıklıkla estiği yön olan güneybatı yönünden 20 no'lu örnek, rüzgarın üçüncü sıklıkla estiği yön olan güneydoğu yönünden de 6 ve 16 no'lu örnekler alınmıştır. Ayrıca 21-27 no'lu örnekler de tam tersi yönde kuzeybatıdan alınmıştır. Toprak örneklerinin alınmasında Bölge Orman Müdürlüğünün belirlemiş olduğu orman zararlanma alanları da dikkate alınmıştır. Toprak ve bitki örneklerinin alındığı yerler Şekil 1 ve Çizelge 1'de, verilmiştir. Toprak örneklerinin alınma mesafeleri santrale en yakın olarak 721 m, en uzak olarak 14903 m arasında değişmektedir.

Toprak örneklerinin her biri 0-20 cm'den alındıktan sonra naylon torbalara konularak laboratuara getirilmiştir. Havada kurutulan toprak örnekleri öğütüldükten sonra 2 mm'lik elekten elenmiş ve fiziksel ve kimyasal analizler için hazır hale getirilmiştir. Toprak örneklerinin alınması sırasında arazi üzerinde mevcut, tarımı yapılan kültür bitkileri ve orman vejetasyonu örneklerinden tesadüfi örnekleme yapılmıştır. Örnekleme 2002 yılında yapılmıştır ve veriler 2002 yılına ait verilerdir.

Bitki örnekleri laboratuarda saf sudan geçirildikten sonra 65°C de kurutulmuş, plastik ağızlı değirmende öğütülmüştür. Toprak örneklerinde organik madde Walkley-Black yöntemine göre (Jackson, 1962), toprak reaksiyonu (pH) 1:2,5 toprak/su süspansiyonunda (Richards, 1954)

belirlenmiştir. Toprak ve bitkide toplam kükürt Elttra CS 500 Carbon Sulfur Determinator cihazında 1450 °C’de yakma ile saptanmıştır

Toplam Cd, Pb ve Ni değerleri, toprak ve bitki örnekleri HNO₃-HCl karışımında (1:3 v/v oranında) yaş yakılarak ve Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresinde okunarak belirlenmiştir (AAS- Shimadzu AA-625-01) (Kacar, 1995), alınabilir Cd, Pb ve Ni ise DTPA+CaCl₂ ile ekstrakte edilen örneklerin AAS (Shimadzu AA-625-01) cihazında okunmasıyla saptanmıştır (Lindsay ve Norvell,1978) .



Şekil 1.Santral ve toprak örneklerinin alındığı noktalar.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Araştırma Topraklarının Bazı Özellikleri

Toprak örneklerinin pH, EC, kireç, organik madde ve azot içerikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Araştırma topraklarının pH değerleri 4,68-7,52 arasında değişim göstermiştir. Genel olarak orman topraklarının pH’larının çok kuvvetli asit ve kuvvetli asit (4.79-5.19), tarım topraklarının pH değerleri ise nötr veya hafif alkalin karakterdedir (Sağlam, 1997).

Santralden alınan kül örneğinin pH’sı çok yüksek alkali değerde 12.9’dur. Yatağan termik santralinin emisyon zararlanmalarının ele alındığı bir araştırmada, emisyon etkisi altında kalan orman serilerinde 0-5 cm’lik toprak katmanlarında asitleşme eğilimi belirlendiği ifade edilmiştir (Sarigül, 1991).

Araştırma topraklarının elektriksel iletkenlik değerleri 0,054-0,179 dSm⁻¹ arasında değişmekte ve tuzluluk sınıflamasında tuzsuz grubuna girmektedir (Usta, 1995). Genelde toprakların kireç kapsamı % 0-57.1 arasında değerler göstermiş, 6, 20, 22, 23, 25 no’lu örnekler hariç düşük bulunmuştur. Genelde pH’sı düşük orman topraklarında kireç saptanmamıştır. 1-3,7,9-18,27 no’lu örnekler kireçsiz; 4,19,26 (az kireçli); 5 orta kireçli; 6, 22, 25 çok kireçli; 8, 24 kireçli; 20 ve 23 çok fazla kireçli; 21 kireçli özellik göstermektedir (Kacar, 1995). Külün kireç kapsamı % 7.65 olup orta kireçli sınıfa girmektedir.

Toprakların organik madde kapsamı % 0.71-5.07 arasında değişmekte, orman alanlarının organik madde kapsamının yüksek olmasına rağmen tarım alanlarının organik madde kapsamı yetersiz bulunmaktadır. Toprak örneklerinin toplam azot değerleri (% 0,07-0.80) düşüktür.

Çizelge 1. Toprak ve Bitki Örneklerinin alındığı yerler.

	Yer	Mevki	Koordinat Boylam	Koordinat Enlem	Santrala Uzaklık (m)	Yükseklik (m)	Bitki	Örnek alma yeri
	Santral		5 97 633	41 32 842		355		
1	Kapubağ	Yanacak	5 98 534	41 28 412	4521	520	Zeytin	Zeytinlik
2	Bağyaka	Aladağ	5 98 156	41 27 092	5774	480	İğne yapraklı	Orman
3	Bağyaka	Havdan	5 98 259	41 26 265	6607	595	İğne yapraklı, incir yaprağı	Orman
4	Bağyaka	Havdan	5 98 357	41 2 048	12384	581	Anız	Orman içi tarım alanı
5	-	Yurttepe	5 99 022	41 25 529	7444	651	Mısır anızı, ılgın	Orman içi tarım alanı
6	Tınaz	Selvili Çeşme	6 08 598	41 22 750	14903	444	İğne yapraklı, tütün yaprağı	Orman içi tarım alanı
7	Çaybükü	Yayla	6 00 158	41 22 278	10862	493	Anız, zeytin, çam	Orman içi tarım alanı
8	Çukuröz	Yarpınar	5 97 335	41 20 807	12039	568	Kızılcım ibresi, iğne yaprak,	Orman
9	Çukuröz	Akyar	5 98 711	41 22 436	10462	534	Çam, piren	Orman
10	Çukuröz	Akyar	5 99 521	41 22 029	10977	486	Mısır	Tarım alanı
11	Bağyaka	Helvacı Yarı	5 97 373	41 26 593	6255	477	Çam, pırnal meşesi	Orman
12	Bağyaka	Erincik	5 96 377	41 26 287	6674	506	İğne yaprak, karaselvi, akasya	Orman
13	Cazkırılar	Beşpınar	5 95 462	41 26 583	6625	486	Pırnal meşesi, çam ibresi	Orman
14	Cazkırılar	Delikavak	5 94 142	41 26 120	7575	520	Buğday anızı	Orman içi tarım alanı
15	Cazkırılar	Işıkdanı	5 94 302	41 27 276	6487	483	Pırnal meşesi	Orman
16	Şahinler	Bahçeüstü	5 98 555	41 31 627	1525	344	Anız, pıyam, zeytin, pamuk	Tarım alanı
17	Bozüyük	Tozlukahve	5 99 216	41 28 991	4164	431	Mısır	Tarım alanı
18	Kapudağ	Çalış	5 97 953	41 30 362	2501	365	Mısır (alt ve üst yaprak)	Tarım alanı
19	Kapudağ	Çalış	5 97 560	41 30 841	2002	370	Havuç (yaprak ve kök)	Tarım alanı
20	Şahinler Köyü İçi		5 96 690	41 32 195	1144	390	Sirken ve kökü	Tarım alanı
21	Turgut Yolu	Yeniköy	5 97 150	41 33 377	721	340	Susam	Tarım alanı
22	Turgut Yolu	Yeniköy	5 96 321	41 34 189	1880	380	Zeytin	Zeytinlik
23	Yeşil Bağcılar	Dağdibi	5 95 148	41 35 154	3394	398	Anız	Tarım alanı
24	Yeşil Bağcılar	Bozukbağ	5 92 706	41 36 215	5971	450	Zeytin	Tarım alanı
25	Turgut Çıkışı	Musluk	5 91 220	41 37 635	8007	497	Domates, patlıcan	Tarım alanı

26	Turgut	Yortan	5 91 943	41 39 713	8921	340	Akdarı	Tarım alanı
27	Yeşil bağcılar	Bozukbağ	5 89 836	41 43 976	13593	549	Zeytin	zeytinlik

Çizelge 2. Toprakların bazı kimyasal özellikleri.

Örnek No	pH (1:2.5)	EC dSm ⁻¹ (1:2.5)	N %	OM (%)	CaCO ₃ (%)
1	4,83	0,094	0,16	1,87	0,0
2	4,79	0,123	0,26	2,67	0,0
3	5,19	0,104	0,24	2,91	0,0
4	7,23	0,120	0,12	1,01	2,80
5	7,28	0,134	0,08	0,81	4,96
6	7,41	0,159	0,20	2,81	23,9
7	7,52	0,091	0,10	1,31	1,00
8	7,03	0,190	0,80	6,52	10,2
9	5,41	0,054	0,11	1,24	0,0
10	6,77	0,083	0,10	1,01	0,0
11	4,82	0,158	0,61	5,07	0,0
12	5,10	0,064	0,69	3,06	0,0
13	5,43	0,064	0,21	2,75	0,0
14	4,68	59,2	0,15	0,87	0,0
15	5,55	76,4	0,12	1,75	0,0
16	7,16	129,7	0,17	1,95	0,91
17	6,77	125,6	0,07	1,28	1,42
18	6,14	138,8	0,11	0,97	0,26
19	6,88	172,3	0,23	1,86	3,73
20	7,40	147,0	0,21	2,60	57,1
21	7,49	179,2	0,24	0,98	13,4
22	7,46	126,3	0,10	1,15	36,6
23	7,51	140,7	0,19	0,84	50,7
24	7,17	142,5	0,18	2,73	12,4
25	7,09	142,5	0,18	1,86	32,6
26	7,37	121,3	0,08	0,71	2,20
27	5,69	68,7	0,11	2,13	0,15
Kül	12,9	7,65	0,03	0,30	7,65

3.2. Araştırma Topraklarının Toplam Pb, Ni, Cd, Fe, Cu, Zn, Mn ve S Kapsamları

Toprak örneklerinde ve kül taşıyıcı banttardan alınan kül örneğinde saptanan toplam Pb, Ni, Cd, Fe, Cu, Zn, Mn, ve S miktarları Çizelge 3’de verilmiştir.

Pb: Toprak örneklerinin toplam Pb kapsamları en düşük 10.2 mgkg⁻¹ (2 no'lu ormanlık alan), en yüksek 95.8 mgkg⁻¹ (23 no'lu tarım alanı) olarak belirlenmiştir. Toprakta bulunan Pb miktarı ana kaya, iklimsel koşullar veya topoğrafik koşullara bağlı olarak çok değişken olabilir. Aktaş (1991), toprakta 2-200 mg kg⁻¹ değerleri arasında Pb bulunduğunu belirtirken, Schwertman vd. (1982), podzol toprakların 30-100 mg kg⁻¹ Pb içerdiğini belirtmişlerdir. Aubert ve Pinta (1979) ise bir çalışmalarında, kirlenmemiş topraklarda 10-80 mg kg⁻¹ Pb saptadıklarını, santral yakınlarındaki topraklarda da bu değerlere yakın değerler bulduklarını ve kıyaslama yapıldığında Pb birikiminin henüz olmadığını belirtmişlerdir. Haktanır vd. (1995), Ankara bölgesinde trafiğe yakın topraklarda 120 mgkg⁻¹ Pb, trafikten uzak ve kirlenmemiş alanlardan alınan topraklarda ise 25 mgkg⁻¹ Pb belirlemişlerdir. Bu projede çalışma alanının, yani santral ve çevresinin kırsal alan olmasından dolayı santralden etkilenimin olmasına karşın Pb değerleri birkaç değer dışında kırsal alan değerleriyle benzerlik göstermektedir. Yatağan santralinden alınan kül Pb değeri 81.4 mgkg⁻¹ olarak saptanmıştır ki bu değer görüldüğü gibi düşük bir değerdir. Baba (2002), Yatağan Termik Santralinin 3 km'lik çevresinden aldığı toprak örneklerinde KB yönünde örnekleme noktalarında Pb konsantrasyonunun arttığını, bunun nedeninin de geçmişte küllerin kuru sistemle depolanması ve bu depolanmanın KB hakim rüzgar yönünde olmasından kaynaklandığını belirtmiştir. Çiçek ve Koparal (2004), Tunçbilek Santrali çevresinde yaptıkları çalışmada benzer sonuca varmışlardır.

Ni: Toplam Ni en düşük ve en yüksek olmak üzere sırasıyla 7.9 mgkg⁻¹ (12 no'lu) ve 51,6 mg kg⁻¹ olarak (13 no'lu) orman topraklarında saptanmıştır. 1,5,6 ve 8 no'lu örneklerde 40 mgkg⁻¹'in biraz üzerinde değerler saptanmıştır. Çiçek ve Koparal (2004) Tunçbilek Termik santrali çevresinde yaptıkları araştırmada toprakların Ni kapsamlarını 20.1-372 mgkg⁻¹ arasında bulmuşlar, kritik düzeyi 50 mgkg⁻¹ bildirmişlerdir. Daha yüksek değerler Seyitömer termik santrali çevresi topraklarında bulunmuştur. Bu yüksekliğin toprakların jeolojik yapısından kaynaklandığı yapılan bir çalışmayla ortaya konmuştur (Kadioğlu ve Bayramın, 2007). Yatağan kül örneğinin Ni değeri 49.1 mgkg⁻¹'dir, görüldüğü gibi bu değer yüksek bir değer değildir. Sonuçlar, Baba (2002) tarafından yapılan araştırma sonuçları ile uyumlu bulunmuştur. Topraklar Ni içerikleri yönünden değerlendirildiğinde, G ve GB esintili rüzgarlar doğrultusunda kalan 13 no'lu örneğin Ni içeriği 50 mgkg⁻¹ civarında olup belirlenen en yüksek değeri oluşturmaktadır. Schwertman vd. (1982), Almanya topraklarının ortalama 10-50 mgkg⁻¹ Ni içerdiğini saptamışlardır. GAP bölgesi gibi endüstriyel bulaşmanın etkin olmadığı topraklarda 11.4-60.2 mgkg⁻¹ arasında Ni bulunduğu belirtilmektedir (Hakerlerler vd. 1992).

Cd: Toprakların toplam Cd değerleri en düşük 6.45 mgkg⁻¹ (12 no'lu ormanlık alan) en yüksek 12.35 mgkg⁻¹ (20 no'lu tarım alanı) bulunmuştur. Çevre Bakanlığı Toprak Kirliliği Yönetmeliğine göre toprakların Cd için sınır değerleri pH<6 için 1 mgkg⁻¹, pH> 6 için 3 mgkg⁻¹ olarak belirtilmiştir. Bölgede Cd dağılımı ilginç bir özellik göstermekte olup, tarım alanlarında Cd artışı dikkati çekmektedir. 6, 20, 22, 23, 25 nolu örneklerin Cd içerikleri diğerlerine göre yüksek bulunmuştur. Bu alanların tarım alanları olması nedeniyle Cd yüksekliği gübre ve diğer tarımsal girdilerin kullanımından kaynaklanabilir. İlgililerle yapılan görüşmelerde son yıllarda yörede üretilen ballarda bulunan Cd miktarında artış olduğu belirtilmiştir (Muğla Tarım İl Müdürlüğü, Sözlü Görüşme 2002). En yüksek Cd içeriğinin saptandığı 20 no'lu örneğin, kül depolama alanına çok yakın olması geçmişte bu bölgeden esintilerle bu alana Cd içeriği yüksek kül partiküllerinin taşınma olasılığı olduğunu ve alanı etkilediğini düşündürmektedir. Yatağan kül örneğinin 12.95 mgkg⁻¹ Cd kapsamı kirlilik oluşturma değerleri göz önüne alındığında (1 ve 3 mgkg⁻¹) bu olasılığı güçlendirmektedir. Çiçek ve Koparal (2004) Tunçbilek termik santrali çevresinde yaptıkları araştırmada topraklarda 1.4-21.7 mgkg⁻¹ arasında değişen Cd değerleri saptamışlardır.

Fe: Toprakların toplam Fe içerikleri ana materyale bağlı olarak %0.02-10 arasında değişmekle beraber (Güneş vd. 2000), santralden itibaren hakim rüzgar yönünde ormanlık ve yüksek rakımlı alanlara gidildikçe Fe konsantrasyonunda önemli düzeyde bir artış gözlenmiştir. Bu durum bölgenin jeolojik yapısı ile ilgili olabilir (kalkerli yapı). Toplam Fe düzeyleri tarım toprağında en düşük (23) 5500 mgkg⁻¹, orman toprağında en yüksek (12) 40400 mgkg⁻¹'dir. Santralden alınan kül örneğinin

toplam Fe kapsamı 10950 mgkg⁻¹ olarak bulunmuştur. Baba (2002) aynı bölgede yaptığı çalışmada toprak örneklerinin Fe içeriklerinin %0.82-2.73 arasında değiştiğini belirlemiştir. Bu bulgulara karşın Nuhoğlu ve Bülbül (2003), Yatağan Termik santrali uçucu küllerinde yaptıkları araştırmada Fe kapsamını % 7.24 olarak saptamışlardır.

Çizelge 3. Toprakların Toplam Ağır Metal kapsamaları ile toplam S miktarları (mgkg⁻¹).

Örnek no	Pb	Ni	Cd	Fe	Cu	Zn	Mn	S
1	54,7	42,2	9,15	16200	84,4	135	2185	98,78
2	10,8	37,9	8,05	24200	29,7	52,2	657	95,73
3	30,9	34,9	7,85	13600	39,1	56,3	1065	145,65
4	36,3	30,7	7,55	15000	19,0	40,2	94	118,37
5	30,1	41,9	8,55	14800	39,5	74,6	756	53,39
6	40,5	42,2	11,5	11400	26,8	67,4	450	399,44
7	64,3	32,7	7,65	17100	21,6	48,3	325	108,06
8	46,3	40,2	10,6	12400	23,1	63,9	565	673,08
9	13,8	20,1	7,35	13200	24,3	38,5	545	63,57
10	23,4	23,1	7,75	12200	32,5	60,9	437	75,58
11	35,1	26,9	8,15	17300	23,6	58,9	275	728,03
12	24,2	7,9	6,45	40400	6,00	19,8	86	95,47
13	73,3	51,6	8,95	21600	52,8	99,9	1668	113,39
14	17,7	39,1	7,05	23600	27,1	53,5	403	70,76
15	64,7	35,5	7,15	17800	30,6	51,8	563	101,29
16	41,5	24,8	7,45	10200	23,4	42,0	467	213,15
17	72,8	29,5	7,35	14000	23,8	48,2	561	102,51
18	40,1	30,8	6,75	7500	19,0	31,4	382	151,89
19	81,2	21,0	8,05	8900	18,7	39,8	499	488,35
20	94,9	29,3	12,4	7100	16,1	43,5	260	486,46
21	10,2	28,5	8,65	8000	10,9	34,2	330	275,01
22	79,3	29,1	10,8	6000	11,8	36,9	190	276,31
23	95,8	27,9	11,2	5500	9,50	23,1	147	296,76
24	66,4	35,9	9,85	18800	41,1	59,0	531	447,66
25	82,4	23,0	11,0	8900	20,7	45,2	232	298,65
26	35,1	28,4	8,55	18300	17,7	34,5	312	108,46
27	63,4	16,3	6,65	11100	10,4	30,4	175	138,49
Kül	81,4	49,1	12,95	10950	37,0	63,55	281	31335,5

Cu: Alınan örneklerden 1 no'lu zeytinlik (84,4 mgkg⁻¹) ile 13 no'lu orman (52,8 ppm) ve 24 no'lu tarım alanı (41,1 mgkg⁻¹) hariç genelde toprakların Cu değerleri 6.0-39.5 mgkg⁻¹ arasında bulunmuştur. En düşük değer orman içi tarım alanında 6.00 mgkg⁻¹'dir. Aynı santral çevresinde daha dar bir alanda çalışan Baba (2003), topraklarda Cu değerlerinin 10-26 mgkg⁻¹ arasında değiştiğini, uçucu küllerde ve kül depolama alanından alınan örneklerde Cu miktarlarının topraklardan daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Kül örneği Cu kapsamı 37.0 mgkg⁻¹ bulunmuştur. Diğer yandan Çiçek ve Koparal (2004) Tunçbilek termik santrali çevresinde yaptıkları araştırmada toprakların Cu

kapsamlarının 12.6-261.3 mgkg⁻¹ arasında değiştiğini saptamışlar ve kritik seviyenin 50-125 mgkg⁻¹ arasında olduğunu belirtmişlerdir. Zeytinlik olan 1 no'lu toprağın pH değerinin asidik olması ve santrale yakın olması buradaki Cu yoğunlaşmasının sebepleri olarak belirtilebilir.

Zn: Araştırma b"lgesinin Zn dağılımına bakıldığında, santrale en yakın mesafede ancak yamaç bir arazide yer alan 1 no'lu zeytinlik toprağında saptanan Zn değerinin (135 mgkg⁻¹) diğer "rnneklerin Zn kapsamlarından birkaç kat daha fazla y"ksek değerini g"stermesi dikkat çekicidir. Toprak "rnneklerinde ve k"lde bulunan Zn değerleri Baba (2003)'nin sonuçları ile uyumludur. Aubert ve Pinta (1977) genelde toprakların Zn değerlerinin 50-100 mgkg⁻¹ arasında değiştiğini, Kloke (1980) ise Zn kirliliğinin topraklarda sınır değerinin 250 mgkg⁻¹ olduğunu bildirmişlerdir. Toprak Kirliliği Kontrol Y"netmeliğinde de Zn için belirtilen sınır değerleri; pH<6 olan topraklarda 150 ppm, pH>6 olan topraklarda ise Zn 300 mg kg⁻¹'dir. Bu y"rede "retim yapan çiftçilerle yapılan g"r"şmelerde zeytin yapraklarında sık sık u yanmalarının g"zlendiği ifade edilmiştir. Benzer g"zlem tarafımızdan da yapılmıştır. Bu g"zlemler emisyonların bu b"lgeye taşındığını g"stermekte ise de toprakta saptanan değerlerin sınır değerleri civarında olduğu g"z "n"nde bulundurulursa yukarıda da belirtildiği gibi hen"z toprakta bir Zn kontaminasyonundan bahsetmek olası değerildir. Diğer yandan k"l "rneğinin Zn değerine (63.55 mgkg⁻¹) bakıldığında Zn y"n"nden k"l depolama alanları ve çevresinde zamanla birikim olacağı d"ř"n"lebilir.

Mn: Y"ksek toplam Mn değerleri 1 no'lu zeytinlik (2185 mgkg⁻¹), 3 no'lu orman (1065 mgkg⁻¹) ve 13 no'lu orman (1668 mgkg⁻¹) "rnneklerinde belirlenmiştir. Baba (2003) aynı alanda toprak "rnnekleri için toplam Mn değerlerinin 103-683 mgkg⁻¹ arasında değiştiğini saptamıştır. Baba (2003)'nin Yatağan santraline 1-2 km uzaklıkta saptamış olduğu toplam Mn değerleri ile bu araştırmada aynı mesafede kalan "rnneklerin Mn değerleri benzerlik g"stermektedir. Hakim r"zgar y"n"nde ve santrale 4.5-7.5 km mesafelerde y"ksek ormanlık arazilerde daha y"ksek Mn değerleri saptanmıştır. Aubert ve Pinta (1977), çoğu toprakların toplam Mn değerlerinin 500-1000 mgkg⁻¹ arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Topraklarda ana materyal dışında Mn kaynağı g"brelerdir. Ancak Mn kapsamı y"ksek alanlar içinde ormanların bulunması Mn girdisinin tamamen g"brelerden kaynaklanmadığını g"stermektedir. Bu alanların h"kim r"zgar y"n"nde, geçmişte orman serilerinde zararlanmaların çok olduğu b"lgede yer alması dikkat çekicidir. K"lde saptanan ortalama değer 281 mgkg⁻¹'dir. Bu değer Baba (2003)'"n k"l sonuçları ile uyumludur.

S: Ilıman b"lge topraklarında toplam S içeriği 50-400 mgkg⁻¹ arasında değişmektedir (Aktaş 1995). Bu araştırmada toprak "rnneklerinde saptanan S değerleri en d"ř"k 53.39 mgkg⁻¹, en y"ksek 728.03 mgkg⁻¹'dir. Saptanan y"ksek S değerlerinin hakim r"zgar y"n"ne bağlı olarak etkilendiği belirlenmiştir. K"k"rt miktarı ormanlık alan olan 11 no'lu "rnnekte 728.03 mgkg⁻¹ ve bunu izleyen 8 no'lu ormanlık alanda 673.08 mgkg⁻¹ olarak saptanmıştır. 19, 20 ve 24 no'lu tarım alanlarında ise değerler sırasıyla 488.34, 486.47 ve 447.66 mgkg⁻¹ olarak belirlenmiştir. K"l "rneğinde ise S miktarı çok y"ksek olup 31335,55 mgkg⁻¹ (yaklaşık %3,1) bulunmuştur. Bu değer k"m"rde bulunan değerler (%1.9-4.3) arasındadır. K"m"rlerin kimyasal bileşimleri çıkarıldıkları yatakların damarlarına g"re bile değişim g"stermektedir (Baba 2006, s"zl" g"r"şme). Bu nedenle y"ksek değerler bulunması olasıdır. Moen vd. (1986), Hollanda'da ıkarılan "Toprak Koruma" kanununda toplam S'e ilişkin 3 ayrı başlangıç değerinin olduğunu bildirmişlerdir: toplam S miktarı 2 mgkg⁻¹ olan topraklar "kirletilmemiş" topraklar, 20 mgkg⁻¹ S içeren topraklar olası bir bulaşma tehlikesine karşı araştırma yapılması gerekli olan topraklar, 200 mgkg⁻¹'in "st"nde S içerenler ise temizlenmesi zorunlu olan topraklardır. Her ne kadar "lkelerin toprak ve iklim yapıları farklılık g"sterse de bu değerlere bakılacak olursa S y"n"nden "nemli bir sorun olduğu g"r"lebilir. Karaca (1997), Aşşin-Elbistan termik santrali baca gazı emisyonlarının toprakların toplam S dağılımı "zerine yaptığı araştırmada, "zellikle santrale 2 km mesafeye kadar ve 30 km'deki "rnnekte "nemli S birikimlerinin olduğunu ve derinliğe bağlı olarak S miktarının azaldığını ve toprak y"zeyindeki birikimin belirgin olduğunu belirtmiştir.

Kerme K"rfezi'nin kuzeyinde yer alan Yatağan'da kurulmuş olan termik santralinin baca gazları, y"rede kuzey r"zgarları etkisinde bulunan Bencik Dağı ile Sepetçi Dağı "zerinde bulunan

kızılcam ormanlarının ve çevredeki tarım alanlarının şiddetle etkilenmesine neden olmuştur. Bencik Dağı - Sepetçi Dağı arazisinde henüz kurumamış olan kıızılcam ormanlarında ise önemli bir artım düşüklüğü belirlenmiştir. Bu ormanlardaki kıızılcamların yapraklarında S oranı 1,600-3,800 mgkg⁻¹ arasında olup, yıllık halkaları çok daralmıştır. Bu şekilde etkilenmiş olan kıızılcam ağaçlarının kerestelik odun kalitesinde de önemli ve olumsuz değişiklikler olmaktadır. Asit yağmurlarından etkilenen toprakların reaksiyonunun yer yer 4.3 PH'ya (0.1 N KCl' de) düştüğü bildirilmiştir. Bu durum ağaçların beslenmesini etkileyen ve kurumalarını kolaylaştıran bir faktördür. Ayrıca çevredeki köylerde; zeytin, antep fıstığı, incir, badem ağaçları, üzüm bağları, sebzeçilik ve yaygın tarım ürünü olan tütüncülük şiddetle zarar görmüştür. Ağaçların bir kısmı kurumuş, kurumayanların verimi %60-80 oranında azalmıştır (Türk Tabipleri Birliği, 2000).

3.3. Araştırma Topraklarının Ekstrakte edilebilir Pb, Ni, Cd, Fe, Cu, Zn, Mn ve S Kapsamları

Araştırma topraklarının DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal ve alınabilir kükürt kapsamları Çizelge 4'de verilmiştir.

Pb: Ekstrakte edilebilir Pb değerleri en düşük 0.09 ve en yüksek 1.04 mgkg⁻¹'dir. En yüksek değer 6 no'lu orman içinde tarım alanında ortaya çıktığı görülmektedir. Bu örnek hakim rüzgar doğrultusundan oldukça uzakta yer alan bir örnektir. Hakim rüzgar doğrultusunda bunu takip eden ikinci yüksek değer 8 no'lu (orman-0.86 mg kg⁻¹) örnekte görülmektedir. Bu değerler oldukça düşüktür, bölgede tarım açısından Pb kirlenmesi ile ilgili henüz endişe edici bir durum olmadığı düşünülmektedir. Kül örneklerinin ortalama ekstrakte edilebilir Pb miktarı 11.85 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur.

Ni: Örnekler içinde en yüksek Ni değerleri 1 no'lu zeytinlik, 3 no'lu orman, 11 no'lu orman ve 14 no'lu orman içinde tarım alanında saptanmıştır. Toprak örneklerinin ekstrakte edilebilir Ni kapsamları en düşük 0,24 mgkg⁻¹, en yüksek 1.65 mgkg⁻¹'dir. Ekstrakte edilebilir Ni kapsamının pH'nın düşmesine bağlı olarak arttığı ve kil mineralleri, organik madde ile Mn ve Fe oksitlerin miktarındaki artışa bağlı olarak azaldığı bildirilmektedir (Özbek vd. 1993).

Cd: Ekstrakte edilebilir Cd değeri yine diğer elementlerde olduğu gibi en yüksek 1 no'lu toprak (zeytinlik) örneğinde saptanmıştır. 13 (orman) ve 11 (orman) no'lu örneklerde de diğer örneklerle nazaran daha yüksek değerler belirlenmiştir. Araştırma topraklarının ekstrakte edilebilir Cd içerikleri 0,02 ile 0.43 mg kg⁻¹ arasındadır. Alloway (1968), toprak çözeltisindeki 0.001 mgkg⁻¹ düzeyindeki Cd'ü sınır değer olarak belirtmiştir. Dolayısıyla örneklerin ekstrakte edilebilir Cd kapsamları sınır değer üstündedir ve Cd bulaşmasının ilerlemiş olduğu anlaşılmaktadır. Santralden alınan kül örneklerinin ise ortalama ekstrakte edilebilir Cd miktarı 0.10 mg kg⁻¹'dir. Ekstrakte edilebilir Cd miktarına, toprakların toplam Cd içeriği ve toprak pH'sı önemli düzeyde etki etmektedir. Artan pH'ya bağlı olarak Cd adsorpsiyonu artmakta ve Cd'nin çözünürlüğü azalmaktadır. Cd konsantrasyonu toprak çözeltisinde pH 7'de en düşük düzeyde, pH 6-6.5 değerinin altında ise konsantrasyonu hızla yükselmektedir. Ayrıca Cd'un büyük kısmının topraklarda adsorbe olmuş formda bulunması nedeniyle, Cd'un çözünürlüğü toplam Cd artışına bağlı olarak artmaktadır (Özbek vd. 1993).

Fe: Hâkim rüzgar doğrultusunda yer almakta olan 8 (orman), 11 (orman), 12 (orman) 14 ve 27 no'lu (orman içinde tarım alanı) örneklerin Fe kapsamları aynı yöndeki diğer örneklerle kıyasla daha yüksektir. Toprakların ekstrakte edilebilir demir içerikleri birbirinden oldukça farklılık göstermektedir. En düşük ekstrakte edilebilir Fe içeriği 1,78 mgkg⁻¹, en yüksek değer 45,1 mgkg⁻¹'dir. Kuzey batı yönlü hakim rüzgar istikametinde ters yönünde alınmış 21-26 (tarım alanları ve zeytinlikler) no'lu örneklerin ekstrakte edilebilir Fe miktarları ise 3.48-6.48 mgkg⁻¹ arasında değişmiştir. Karaca (1997), Afşin-Elbistan termik santrali baca gazı emisyonlarının çevre topraklarına etkisini incelediği çalışmasında santralden uzaklaştıkça toprakların ekstrakte edilebilir Fe kapsamlarının artış gösterdiğini bildirmiştir.

Çizelge 4. Toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir ağır metal kapsamı (mgkg⁻¹).

Örnek No.	Pb	Ni	Cd	Fe	Cu	Zn	Mn	S
1	0,29	1,30	0,43	9,62	2,94	1,82	48,0	11,6
2	0,69	0,41	0,03	7,50	0,22	0,16	7,62	9,90
3	0,35	1,36	0,15	14,7	1,00	0,62	19,7	8,50
4	0,39	0,41	0,04	4,90	0,96	0,18	1,54	4,95
5	0,43	0,25	0,06	1,78	0,22	0,16	1,70	8,25
6	1,04	0,58	0,11	2,36	1,20	0,58	2,00	6,60
7	0,22	0,31	0,03	6,32	0,70	0,46	6,80	11,5
8	0,86	0,56	0,39	21,1	0,52	2,50	6,02	21,5
9	0,14	0,45	0,05	7,04	0,38	0,28	27,2	9,90
10	0,12	0,27	0,06	5,48	1,06	0,44	10,0	13,2
11	0,50	1,47	0,20	45,1	0,56	3,26	16,6	24,8
12	0,35	0,37	0,02	21,1	0,10	0,20	4,52	9,00
13	0,18	0,69	0,22	11,7	0,62	0,44	15,3	13,0
14	0,32	1,65	0,04	26,8	0,44	0,38	34,4	9,00
15	0,09	0,24	0,02	5,78	0,22	0,16	4,92	13,0
16	0,42	0,61	0,10	5,98	1,80	0,36	8,68	9,50
17	0,24	0,42	0,05	3,16	1,34	0,48	8,64	19,8
18	0,13	0,66	0,04	4,96	0,58	0,40	11,4	47,9
19	0,39	0,56	0,09	5,04	1,24	0,60	8,20	5,00
20	0,53	0,74	0,10	4,48	0,78	1,46	7,62	14,9
21	0,57	0,61	0,07	3,48	0,60	0,40	4,90	6,50
22	0,41	0,75	0,07	4,42	0,62	0,54	5,54	9,25
23	0,39	0,65	0,03	3,56	0,24	0,22	5,22	8,50
24	0,49	0,62	0,09	6,48	1,72	1,22	11,6	6,50
25	0,40	0,63	0,03	4,70	1,94	1,54	8,10	4,95
26	0,44	0,44	0,02	4,68	0,64	0,26	4,66	13,2
27	0,11	0,52	0,02	20,9	0,16	0,22	9,62	11,5
kül	0,62	0,69	0,10	11,85	0,68	0,26	0,03	-

Cu: Toprakların ekstrakte edilebilir Cu kapsamı yönünden yine 1 no'lu zeytinlik toprağı en yüksek Cu değeri göstermiştir. Bunu tarım alanları olan 25, 16, 24 ve 17 nolu örnekler izlemiştir. Bakır en düşük 0,10 mgkg⁻¹ en yüksek 2,93 mgkg⁻¹, ortalama 0,84 mgkg⁻¹ olarak saptanmıştır. Külün ortalama Cu kapsamı 0,68 mgkg⁻¹dir. Dhane ve Shukla (1995) yüzey topraklarında ekstrakte edilebilir Cu ile organik madde kapsamının çok önemli pozitif ilişki içerisinde bulunduğunu saptamışlardır.

Zn: En yüksek değere sahip 11 nolu orman örneğini, 8 (orman), 1 (zeytinlik), 25 (tarım alanı), 20 (tarım alanı), 24 (tarım alanı) nolu toprak örnekleri izlemiş ve değerler 3,26-1,22 mg kg⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Ekstrakte edilebilir Zn içerikleri en düşük 0,16 mg kg⁻¹ en yüksek 3,26 mgkg⁻¹dir. Udo vd. (1970), kireçli alkalin topraklarda çinkonun, toprak kompleksleri ile güç çözünen bileşikler oluşturduğunu ve böylece yarayışlılığın azaldığını bildirmektedir.

Mn: En yüksek Mn yine 1 no'lu (zeytinlik) örnekte belirlenmiş olup, 14 (orman içinde tarım alanı), 9 (orman), 3 (orman), ve 13 (orman) no'lu örneklerde de diğer örneklerle göre daha fazla Mn saptanmıştır. Toprakların ekstrakte edilebilir Mn kapsamı en düşük 1,54 mgkg⁻¹, en yüksek 48 mgkg⁻¹dir. Bu toprak örneklerinin pH'ları irdelendiğinde asidik oldukları (4,83-5,43) görülmektedir. Asit pH lı topraklarda Mn bileşiklerinin çözünürlüğü yüksektir. Küldeki ortalama Mn miktarı oldukça düşük olup 0,03 mgkg⁻¹dir.

S: En yüksek değeri 18 no'lu tarım alanı göstermiştir. Araştırma topraklarının ekstrakte edilebilir S kapsamlarının 4,95 ile 47,9 mgkg⁻¹ arasında değiştiği, ortalama 12,3 mgkg⁻¹ saptanmıştır. Türkiye topraklarının ekstrakte edilebilir S içeriklerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen bir çalışmada, Türkiye topraklarının % 11,5'inin kritik düzey olarak belirlenen 10 mgkg⁻¹ S'ün altında olduğunu belirtilmiştir (Ülgen vd., 1989).

3.4. Bitki Örneklerinin Toplam Pb, Ni, Cd, Fe, Cu, Zn, Mn ve S İçerikleri

Toprak örneklerinin alınması sırasında, tarımı yapılan kültür bitkileri ve orman vejetasyonu örneklerinden de tesadüfi örnekleme yapılmıştır. Bitki çeşitlerine göre ağır metal ve kükürt içerikleri Çizelge 5'de verilmiştir. Bitki türlerinin çeşitliliği nedeniyle sonuçlar geniş bir dağılım göstermektedir. Bitkilerin çeşitli faaliyetler sonucu ekolojik sisteme girmiş olan ağır metalleri bünyelerine aldıkları hatta biriktirdikleri bilinmektedir. Toprakların elementlerce varıl veya yoksul oluşu ise oluşum koşulları, oluştuğu ana materyal, iklim, topoğrafya gibi koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bitkiler asıl olarak toprakta bulunan elementleri kökleri vasıtasıyla absorbe etmekle birlikte *Bryophytes* (kara yosunları) gibi atmosferik taşınım ile gelen elementleri de bünyelerine alabilirler. Bu özellikten dolayı hava kaynaklı ağır metallerin izlenmesinde bazı bitkiler, likenler ve yosunlar anatomik, fizyolojik (yüksek adsorpsiyon kapasitesi gibi) ve morfolojik karakterlerinden dolayı biyolojik monitör olarak kullanılmaktadır. Bitki yaprak yüzeyi özellikleri atmosferik kontaminasyon nedeniyle ulaşan ağır metallerin tutulmasında farklı etkiler oluşturabilmektedir; örneğin yaprak yüzeyi tüylü olan bitkilerin tüylü olmayanlara göre daha fazla Pb tuttuğu belirlenmiştir (Martin ve Coughtrey, 1982). Yine bitkilerin yapraklarının yaşları da önem taşımaktadır, 2 yıllık çam ibrelerinin 1 yıllık ibrelere göre daha fazla metal içerdiği ortaya konmuştur (Ward vd., 1974).

Pb: Bitki örneklerinin Pb kapsamları 0,27-10,58 mgkg⁻¹ arasında değişmiştir. En yüksek değer kara yosununda saptanmış olup 10,58 mgkg⁻¹'dir. Uğur vd. (2004) aynı çalışma alanında yaptıkları araştırmada santrale 3 km uzaklıktan alınan karayosununda Pb miktarını 47,23 ug g⁻¹, 4,5 km uzaklıkta 45 ug g⁻¹, 7 km uzaklıkta ancak farklı yönde alınan 2 ayrı örnekte 5,38 ug g⁻¹ ve 39,4 ug g⁻¹ olarak saptamışlardır. Kontaminasyonun olmadığı varsayılan noktada (50 km uzaklık) yapılan karayosunu örneklemede ise 23,96 ug g⁻¹ Pb belirlenmiştir.

Bu araştırmada farklı yerlerden alınan anız örneklerinde Pb değerleri 1,48 ile 6,85 mgkg⁻¹ arasında değişmiştir. Zeytin yapraklarında 0,27 ile 6,97 mgkg⁻¹, ormanlık alandan toplanan iğne yapraklı ağaçlarda ise en yüksek değer 7,64 mg kg⁻¹ olarak saptanmıştır. Bu araştırmada özellikle doğal vejetasyon olarak bölgede yayılım gösteren karayosunu türlerinde en yüksek Pb değerinin bulunması ilgi çekicidir. Diğer yandan alınan örnekler içinde havuç ve susamın Pb kapsamlarına bakıldığında yenmesine izin verilebilir Pb değeri olan 0,5 mgkg⁻¹'den çok yüksektir (Bergmann 1992). Havucun kömür sularından gelen sularla yıkandığı göz önüne alınırsa bu suyun sulama için elverişli olmadığı açıktır.

Ni: Bitki örneklerinin Ni içerikleri 0,60-15,7 mg kg⁻¹ arasında değişmiştir. En yüksek değer kara yosununda saptanmıştır (15,7 mgkg⁻¹). Bazı kaynaklarda belirtilen 25-40 mg kg⁻¹ sınır değerlere göre (Çiçek ve Kopal, 2004) bu çalışmadaki bitki örneklerinin toplam Ni değerleri kritik düzeylerin altında olduğu görülmektedir. Bir çalışmada, Yatağan santraline 3 km, 4,5 km ve 7'şer km (iki ayrı nokta) uzaklıkta bulunan yerlerden alınan karayosunlarının Ni kapsamlarını sırasıyla 23,75, 18,3, 36,6, 25,27 ug g⁻¹ olarak belirlenmiş ve bu değerlerin veritabanı değeri olarak alınan uzak bir noktadan (50 km) alınan karayosunu değerinden (11,92 ug g⁻¹) daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Uğur vd., 2004).

Çizelge 5. Bitkilerin ağır metal (mgkg⁻¹) ve kükürt (%) içerikleri

Örnek no	Bitki Çeşidi	Pb	Ni	Cd	Fe	Cu	Zn	Mn	S
1	Zeytin yaprağı	3,01	3,10	6,7	75,2	4,3	7	74,5	955
2	İğne yaprak	1,13	2,10	2,5	50,1	2,3	29,8	33,4	1527
3/1	İncir yaprağı	4,51	4,30	2,2	67,6	2,7	5,7	106,5	1172
3/2	İğne yaprak	6,09	0,60	4,2	95,3	3,2	5,5	16,2	1154
4	Buğday anızı	1,48	3,00	2,3	454,9	2,6	3,1	10,8	696
5	Mısır anızı	2,80	12,5	3,0	123,3	7,3	40,1	19,7	916
6/1	İğne yaprak	7,08	2,00	2,5	81	2,0	16,7	41,2	1555
6/2	Tütün yaprağı	4,05	3,90	5,4	138,8	8,0	3,7	36,5	2440
7/1	Buğday anızı	1,77	4,80	2,8	670,1	3,7	5,4	8,5	367
7/2	Zeytin yaprağı	0,27	1,60	3,4	70,6	5,0	5,2	9,6	1131
7/3	İğne yaprak	5,82	1,50	3,5	47,2	3,1	8,3	9,4	961
8/1	İğne yaprak	3,55	0,70	3,6	50,2	1,8	56,9	180,4	1587
8/2	Kara yosunu	10,6	15,7	5,4	5500	15,6	11,4	250	2330
9/1	İğne yaprak	3,19	2,50	3,7	61,2	2,2	10,7	76,0	1876
9/2	Piren bitkisi çiçeği	5,72	2,80	3,2	72,4	6,1	43,5	38,0	821
10	Mısır anızı	5,30	2,00	3,9	105	7,6	2,6	46,1	1259
11/1	İğne yaprak	5,03	1,90	3,7	63,9	2,7	6,7	176	1309
11/2	Pırnal meşesi yaprağı	3,94	4,10	3,9	79,4	5,6	8,3	109,2	761
12	İğne yaprak	3,62	2,10	4,7	49,9	3,4	4,7	43,9	1595
13/1	Pırnal meşesi yaprağı	6,14	2,70	4,3	61,9	4,0	10,0	81,1	749
13/2	İğne yaprak	2,53	4,40	4,7	67,8	2,8	11,3	63,4	1323
14	Buğday anızı	4,92	6,30	3,6	1056	3,9	4,7	470	507
15	Pırnal meşesi yaprağı	9,31	5,60	4,6	59,4	3,5	1,9	27,9	719
16/1	Buğday anızı	6,85	2,60	4,00	375,6	3,30	17,3	72,7	287
16/2	Yabani ot (piyam)	2,34	3,00	4,70	179,3	6,20	6,50	14,0	1856
16/3	Zeytin yaprağı	6,03	2,50	4,20	60,8	5,20	21,3	47,3	1047
16/4	Pamuk yaprağı	6,24	4,20	6,40	45,9	6,00	4,40	23,2	9391
18/1	Mısır üst yaprak	5,61	3,00	3,90	86,7	6,10	7,30	48,1	1931
18/2	Mısır alt yaprak	2,98	4,20	4,90	344,1	7,40	8,20	40,8	2208
19/1	Havuç üst yaprak	7,12	4,00	5,10	213,1	6,00	12,2	11,7	4011
19/2	Havuç	0,88	3,60	4,80	131,1	6,30	21,9	54,7	145
20/1	Sirken yaprağı	3,99	3,10	5,40	100,9	7,30	15,2	19,0	311
20/2	Sirken kök	6,68	2,80	5,00	242,1	6,30	13,6	2,30	645
21	Susam tane	8,06	3,80	5,00	94,2	9,00	10,3	0,70	248
22	Zeytin yaprağı	3,15	3,40	4,80	121,4	5,60	1,20	7,90	2131
23	Buğday anızı	7,62	4,70	4,30	202,1	1,90	3,90	14,7	547
24	Zeytin yaprağı	5,63	1,50	5,90	86,2	3,50	13,6	43,2	826
25/1	Domates yaprağı	3,26	4,10	5,40	225	14,6	17,5	17,2	3474
25/2	Patlıcan yaprağı	9,33	4,30	5,10	121,9	14,3	8,00	10,7	2506
26	Akdarı başak	6,12	5,00	5,40	84,5	5,10	6,50	14,1	1091
27	Zeytin yaprağı	3,67	3,30	5,50	59,1	5,10	0,70	0,90	1165

Cd: Bitki örneklerinin Cd kapsamı 2.2-6.7 mgkg⁻¹ arasında saptanmıştır. Çiçek ve Kopalal (2004) kritik Cd değerinin bitkiler için 5 mgkg⁻¹ olarak bildirmişlerdir. Havuçta ise sebzeler için

belirtilen 0.10 mgkg⁻¹'in üzerindedir. Kuzeybatı yönünde yer alan (21-27 nolu örnek grupları) örnekler değerlendirildiğinde farklı bitki türlerine rağmen toplam Cd değerleri arasında belirgin bir farklılık bulunmamıştır. Hâkim rüzgâr yönündeki tarım alanları örneklemelerinde (zeytin, akdarı, domates, patlıcan, akdarı, , mısır bitkilerinin yaprakları ile susam tane) Cd değerlerinin bitkiler için tanınan sınırlara yakın veya biraz üzerinde bulunması dikkat çekicidir. Bölgede hakim rüzgar yönü ile 2. sıklıkla esen rüzgar yönü dışında GB yönlü rüzgar doğrultusunda ve santralden en uzak noktadan alınan tütün örneğinde 5.4 mgkg⁻¹ Cd belirlenirken, iğne yapraklılarda 2.5 mgkg⁻¹ olarak saptanmış olması tarımsal faaliyetlerin girdilerinin yan etkisi olarak değerlendirilebilir.

Alloway (1995), bitkilerin Cd düzeylerinin 0.1-1 mgkg⁻¹ arasında değiştiğini ve bitkilerin Cd alınımını etkileyen en önemli toprak faktörlerinden birinin toprak pH'sı olduğunu belirtmiştir. Kara yosununda 5.4 mgkg⁻¹ Cd saptanmıştır. Bu değer çalışma alanında yapılan bir araştırmada kara yosunu için 0.56-1,50 ugkg⁻¹ arasında bulunmuştur (Uğur vd., 2004).

Fe: Bitki örneklerinin Fe içerikleri orman ve tarım vejetasyonuna bağlı olarak önemli ayırım göstermektedir. Değerler 45.9-5500 mgkg⁻¹ arasında değişim göstermektedir. Bölgedeki hakim rüzgar ile 2. sıklıkla esen rüzgar istikametinde toplanmış yaprak örneklerinde saptanmış olan Fe değerleri, anız örnekleri hariç, bitkiler için verilen kritik değerler içinde kalmaktadır (50-200 mgkg⁻¹) (Çiçek ve Koparal, 2004). Anızlarda saptanan değerler bitki kritik değerlerine göre 2-4 kat daha fazla olabilmektedir (4, 5, 7/1, 14 nolu örnekler). Anızlardaki Fe değerlerinin yüksekliğinin tarım aletleri kullanımı sırasında oluşan bulaşmadan kaynaklanması olasıdır. Santrale 12 km uzaklıkta olan ormanlık alanda kaya üzerinden alınan karayosununda Fe, en yüksek değer olan 5500 mgkg⁻¹ saptanmıştır. Uğur vd. (2004) Yatağan Termik santraline farklı uzaklıktaki örnekleme noktalarından topladıkları karayosunlarının Fe kapsamının oldukça yüksek olduğunu, bunun nedeninin de hem toprakların Fe içeriğinin yüksek olmasından hem de kömürün yanarken Cr, Pb ve Hg ile birlikte Fe'in de atmosfere yayılması olduğunu bildirmişlerdir.

Cu: Bölgede toplanmış olan farklı bitki dokularındaki toplam Cu değerleri genellikle normal değerlerden düşük bulunmuştur. Bitkilerin Cu kapsamı genelde 2-20 mgkg⁻¹ arasında değişmektedir (Güneş vd. 2000). Örneklerin toplam Cu değerleri 1.8-15,6 mgkg⁻¹ arasında saptanmış olup, kritik değerlerin bir hayli altında bulunmaktadır (100 mgkg⁻¹) (Çiçek ve Koparal, 2004). En yüksek değer 15.6 mgkg⁻¹ ile karayosununda saptanmıştır. Bu sırayı domates ve patlıcan yaprakları ile tane susamda belirlenen değerler geriden takip etmiştir.

Uğur vd. (2004) Yatağan santraline farklı uzaklıktaki örnekleme noktalarından aldıkları karayosunlarının Cu kapsamlarını 14.01 ile 18.60 ugkg⁻¹ arasında bulmuşlardır.

Zn: Araştırma alanından alınan bitki örneklerinin Zn kapsamı 0,7-56,9 mgkg⁻¹ arasında, kritik değerlerin altında yer almaktadır (80-200 mgkg⁻¹). Buna karşın havuçta bulunan Zn değeri yenilmesine izin verilebilir sınır olan 15 mgkg⁻¹'in üzerinde belirlenmiştir (Çiçek ve Koparal, 2004). Kara yosununda Zn değeri 11.4 mgkg⁻¹'dir. Uğur vd (2004) aynı çalışma bölgesinden aldıkları karayosunu örneklerinde veritabanı düzeyde 89.04 ugkg⁻¹ Zn belirlemişler buna karşılık santrale yakın karayosunu örneklemelerinde 147-166 ugkg⁻¹ arasında Zn saptamışlardır.

S: Santralden yayılan emisyonların bitkiler üzerine zararlarının en etkili olduğu element kükürttür. Ormanlık ve tarım alanından alınan örneklerin ayırımına bakıldığında şu farklılıklar izlenmiştir. İğne yapraklı ağaçlardan alınan örneklerde en yüksek değer güney yönlü hakim rüzgar yönünde, santralden 10 km uzaklıkta bulunan ormanlık alandan alınan (9 nolu örnek) kızılçam ibresinde 1876 mgkg⁻¹2'dir. 1984-1985 yıllarında Bencik dağındaki ormanlardaki kızılçamlarda (*Pinus Brutia*) Yatağan Termik santralinden kaynaklanan emisyonlarla meydana gelen etkilenmede zarar görmüş ve çok zarar görmüş 1 yaşlı çam ibrelerinde ortalama değerler 2581-5826 mgkg⁻¹ arasında, 2 yaşındaki çam ibrelerinde ise 3682-4313 mgkg⁻¹ S olarak belirlenmiştir. (Kantarıcı ve Müezzinoğlu, 1997). Bölgedeki Yatağan Orman İşleri Müdürlüğü'nden alınan bilgilere göre bu alandaki çamların 13 yıldır büyüme göstermediği, hep aynı boyda kaldıkları belirtilmiştir. Arazide ağaçlar incelendiğinde ağaçların 30 yaşında olmasına rağmen 30 yıllık gibi gözükmeye başladığı gözlenmiştir. Ayrıca yeni jenerasyonun yetişmediği Yatağan Orman Müdürlüğü tarafından belirtilmiştir (Yatağan Orman İşleri

Müdürlüğü, Sözlü görüşme, 2002). İğne yapraklı örneğin alındığı 8 nolu alandan kaya üzerinde bulunan kara yosunu örneği de alınmış ve S miktarı 2330 mgkg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu değer oldukça yüksek olmakla birlikte tarım ürünlerinde daha yüksek değerler de saptanmıştır. Tarım ürünlerinden zeytin bitkisi yapraklarında en yüksek S değeri santralden 1 km uzaklıkta olan 22 nolu örnekte saptanmıştır (2131 mgkg⁻¹). Bu değeri sırasıyla diğer zeytin yaprak örneklerinin değerleri, 1165 mg kg⁻¹ (27 nolu örnek, santrale 16 km uzaklıkta), 1131 mgkg⁻¹ (7 nolu örnek), 1047 mg kg⁻¹ (16 nolu örnek, santrale yakın), 955 mg kg⁻¹ (1 nolu), 816 mgkg⁻¹ (24) nolu örnek, kömür yataklarına 100 m mesafede) izlemiştir. Diğer tarım ürünlerine bakıldığında 19 nolu örnek alanından alınan havuç yaprağında 4011 mgkg⁻¹ S saptanırken, en düşük değer havucun kökünde saptanmıştır. Bu alanın özelliği linyit depolanma alanından gelen suyun sulama amaçlı kullanılması dolayısıyla kömürden yikanan S'ün bitkiye kolaylıkla ulaşması sonucu yüksek değer saptandığı düşünülmektedir.

Domates ve patlıcan bitkilerinin yaprak örneklerinde (25 nolu örnek) S değerleri sırasıyla 3474 ve 2506 mgkg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu alan santrale 6 km uzaklıkta olup gaz zararlarına en fazla uğrayan alandır. Bunu 2440 mgkg⁻¹ S içeriği olan tütün yaprağı takip etmiştir ki bu örnek (6 nolu) santralden oldukça uzak etkisiz alan gibi görünmekle beraber 3. sıklıkla esen rüzgar yönünde bulunan örnekleme noktasından alınmıştır.

Diğer bitki örneklerinde belirlenen S değerleri şu şekildedir: Piyam (yabani ot) 1856 mg kg⁻¹ (16 no'lu örnek, santrale en yakın örneklerden biri), akdarı 1091 mgkg⁻¹ (26 no'lu örnek, santrale 8 km uzaklıkta zararların önceleri görüldüğü ancak filtre takıldıktan zararlanmaların azaldığı alan), susam 248 mgkg⁻¹ (21 no'lu örnek, santralin güney yönünde 721 m mesafede), 18 nolu alandan alınan mısır bitkisinin (yaklaşık 2.5 km) taze yeşil üst yaprağında 1931 mgkg⁻¹, alt yaprağında 2208 mgkg⁻¹ olarak S belirlenmiştir. Bu alanın güçlü emisyon bölgesinin bulunması yanında zaman zaman kül barajından sulama yapılmasının S değerlerinin yükselmesine neden olduğu düşünülmektedir.

Alınan buğday anızı örneklerinde S miktarları en yüksek 4 nolu örnek olmak üzere (696 mgkg⁻¹), 23 no'lu (547 mg g⁻¹) (santrale 2 km uzaklıkta), 14 no'lu (507 mg kg⁻¹), 7 no'lu örnek (367 mgkg⁻¹) ve 16 no'lu (287 mgkg⁻¹) (santrale 1.5 km uzaklıkta) örneklerde saptanmıştır. Mısır anızı örneklerinde S miktarları buğday anızı değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek değer 1259 mgkg⁻¹ ile 10 no'lu örnekte belirlenmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Yatağan Termik Santralının etrafı tepe ve dağlarla çevrili küçük bir ovada kurulmuş olması, 120 m yükseklikteki santral bacalarından salınan emisyonların rüzgâr etkisiyle çevreye yayılmasına ve tarım alanları ve ormanlık alanlarda sorunlara yol açmasına neden olmaktadır. Diğer yandan santralde kullanılan linyitlerin düşük kalorili olması nedeniyle yüksek kül içermesi, yine yüksek S kapsamı, santralin baca filtrelerinin verimsiz çalışmasından dolayı çevreye kül ve toz dağılması, küllerin taşınımı ve aktarımı sırasında kaçakların meydana gelmesi sorunların esas kaynağını oluşturmaktadır. Ayrıca yanma sonucu kömürün yapısında bulunan ağır metallerde açığa çıkmaktadır.

Bu araştırma santral çevresindeki tarım ve orman topraklarının santralin bacalarından çıkan emisyonlardan kaynaklanabilecek olası ağır metal kirliliğini ortaya koymak ve elde edilen sonuçlarla etkin olabilecek bir veri tabanı elde edilmesini sağlayacak bir alt yapı oluşturmak amacıyla yürütülmüştür.

Araştırma kapsamında toprak için elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

1. Toprak tekstürleri heterojen bir dağılım göstermiştir.
2. Toprak örneklerinin pH'larının ormanlık alanlarda genellikle asidik karakterde, tarım alanlarında ise nötr veya alkalik karakterde olduğu belirlenmiştir.
3. Topraklar tuz içeriklerine göre tuzsuz özellik göstermiştir.
4. Orman toprakları kireç içermezken, tarım topraklarının bir kısmı kireçsiz, bir kısmı da, çok fazla kireçli bulunmuştur.
5. Toprakların organik madde kapsamı orman topraklarında yüksek (>5%), tarım topraklarında ise yetersiz bulunmuştur. Buna bağlı olarak da azot değerleri düşüktür.

6. Toprakların toplam ağır metal kapsamaları incelendiğinde genelde santralin güney, güney batısı ve kuzeybatısındaki topraklarda ağır metal içeriğinin yüksek bulunduğu ve bu değerlerin santrale olan uzaklığa değil hâkim rüzgâr yönlerine bağlı olduğu belirlenmiştir.
7. Toprakların ekstrakte edilebilir ağır metal kapsamaları güneybatı ve güney yönünde yoğunlaşmakla birlikte, santralin güneydoğusunda yer alan 6 nolu örnekte diğer örneklere göre göreceli olarak yüksek bulunmuştur. Ayrıca santrale en yakın yerden alınan 1 nolu toprak ve bitki örneklerinde sonuçlar göre oldukça yüksek bulunmuştur.

Araştırma kapsamında bitki için elde edilen sonuçlar ise şu şekildedir: Ağır metallerin bir kısmı bitki besin maddesi olmamasına rağmen biyolojik döngüde yer almakta ve bitkiler tarafından alınarak biriktirmektedir. Bazılarının bitkide henüz bir fonksiyonunun olup olmadığı saptanamamıştır. Araştırma bölgesinde, Pb için bitki örneklerinde saptanan değerler değişkenlik göstermekle beraber yenilebilir olmasından dolayı havuç ve susam örneklerinin Pb değerleri meyve ve sebzelerde izin verilebilir en yüksek değer olan 0.5 mgkg^{-1} 'in üzerindedir. Havuçta yine Cu için verilen sınır değer (5 mgkg^{-1}) üzerinde, 6.30 mgkg^{-1} , susamda 9 mgkg^{-1} belirlenmiştir. Cd'un sebzeler için sınır değeri 0.10 mgkg^{-1} olmakla beraber bu değer havuçta 4.80 mgkg^{-1} 'dir. Yine havuçta bulunan Zn (21.9 mgkg^{-1}) sınır değeri olan 15 mgkg^{-1} 'in üzerindedir. Havuç bitkisi Bergmann (1992)'a göre önemli düzeyde ağır metal biriktiren bitki sınıfına girmektedir. Kömür depolama alanından gelen su ile sulanarak yetiştirilen bu bitkide değerlerin yüksek olmasının bu suyun sulama için uygun olmadığı ve birikim sorununa yol açtığı görülmektedir. Alınabilir S değerleri iğne yapraklı ormanlık alanlardan alınan örneklerde hâkim rüzgâr doğrultusunda diğerlerine göre daha fazla saptanmıştır. Santralin güneyinde yer alan ve santralin ilk zararlarının görüldüğü alanlardır. Ormanlık alandan alınan karayosunu örneğinde ağır metal değerleri ve alınabilir S oldukça yüksek bulunmuştur. Karayosunlarının hava etkileşimine en açık bitkiler olduğu ve ağır metal biriktirdikleri bilinmektedir.

Ülkemizdeki araştırmaların eksik yönlerinden birisi de aynı alanda uzun yılları içeren çalışmaların olmayışı ya da çok az olmasıdır. Bu araştırmada elde edilen sonuçlar ülkemizde farklı araştırmacılar tarafından da olsa aynı alanda birbirinin ardı sıra, farklı yıllarda yapılan araştırmalara bir katkı sağlayacak ve ileriki çalışmalar için yararlı bir veri tabanı oluşturacaktır.

Kaynaklar

- Aktaş, M. 1995. Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği. A.Ü. Ziraat Fak. Yayın No: 1429. Ankara.
- Alloway, B.J. 1995. Heavy Metals In Soils. Blackie Academic and Professional, London, p.354
- Alloway, W.H. 1968. Agronomic controls over environmental cycling of trace elements. Adv. Argon. 20: 235-274.
- Aubert, H. ve Pinta, M. 1977. Trace Metals In: Soil. Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam.
- Baba, A. 2002. Assesment of radioactive contaminants in by- products from Yatagan (Mugla- Turkey) coal-fired power plant, Environ Geol, 41,916-921.
- Baba, A. 2003. Geochemical assessment of environmental effects of ash from Yatagan (Mugla-Turkey) thermal power plant, Water, Air, & Soil Pollution, 144, pp. 3-18.
- Bergman, W. 1992. Nutritional disorders of plants-development, visual and analytical diagnosis. Jena: Gustav Fischer.
- Çiçek, A. and Koparal, A. S. 2004. Accumulation of sulfur and heavy metals in soil and tree leaves sampled from the surroundings of Tunçbilek Thermal Power Plant. Chemosphere, 57, 1031–1036.
- Dhane, S.S. ve L.M. Shukla. 1995. Zinc adsorption and its thermodynamics in soil series of Maharashtra, J. Indian Soc. Soil Sci. 43, 590.
- Gentzis, T. ve F. Goodarzi. 1997. Trace Element Geochemistry of Brackish-Water Coals in the Central Alberta Plains, Canada. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 19: 5, 493-505.
- Günay, T. 1986. Muğla-Yatağan Termik Santralinin çevresinde bulunan ormanlara etkileri. Rapor. Orman Genel Müdürlüğü Toprak Laboratuarları, Eskişehir

- Güneş, A., Alpaslan, M. ve İnal, A. 2000. Bitki Besleme ve Gübreleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No:1514. Ankara.
- Hakerlerler, H., Taysun, A., Okur, İ. ve Arslan, S. 1992. GAP bölgesi topraklarının ağır metallerinin birikimi. Tr. J. Of Engineering of Environ. Sci. 19: 423-431.
- Haktanır, K., Arcak, S., Erpul, G. ve Tan, A. 1995. Yol kenarındaki topraklarda trafikten kaynaklanan ağır metallerin birikimi. Tr. J. Of Eng. Of Environ. Scien. 19, 423-431.
- Jackson, M.L. 1962. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall, Inc. New York.
- Kacar, B. 1995. Toprak Analizleri. A.Ü.Z.F. Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No: 3, 627-629, Ankara.
- Kadioğlu, Y.K. ve İ. Bayramın. 2007. Kütahya-Seyitömer çevresindeki kayaç ve toprakların jeolojik, petrografik ve jeokimyasal yönden irdelenmesi. Rapor. Ankara Üniv.
- Kantarci, M. D. ve Muezzinoglu, A. 1997, 'Impact of the three lignite-fired power plants on the forests at Mugla region of Turkey. Regional and Global Scales', in S. Incecik, E. Ekinci, F. Yardim and A. Bayram (eds.), *Environmental Research Forum*, Vol. 7-8, Trans Tech Publication Switzerland, pp. 555-563.
- Kantarci, M.D. 2003. The Effects of Three Thermo Electric Power Plants on Yerkesik-Denizova Forests in Mugla Province (Turkey). *Water, Air&Soil Pollution*, 3:211-219
- Karaca, A. 1997. Afşin-Elbistan Termik Santrali Emisyonlarının Çevre Topraklarının Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri. Ankara Üniv. FBE, Ankara. Doktora Tezi.
- Karaca, A., Kadioğlu, Y.K., Bayramın, İ., Turgay, O.C., Türkmen, F. ve Sağlam, M., 2007. Afşin-Elbistan Termik Santrali Emisyonlarının Çevre Toprakları Üzerine Etkileri. Proje, (Yayınlanmamış) Ankara.
- Karaca, A., Turgay, O.C., Karaca, S., Sağlam, M., Türkmen, F., Deviren, S. ve Türkmen, N. 2007. Seyitömer termik santrali emisyonlarının çevre toprakları üzerine etkileri. Proje, (Yayınlanmamış), Ankara.
- Karayigit, A. I., Gayer, R. A., Querol, X., ve Onacak, T. 2000. Contents of major and trace elements in feed coals from Turkish coal-fired power plants. *International Journal of Coal Geology* 44:169-184.
- Kloke, A. 1980. Orientierungstaden für tolerierbare gesamtghalte einger elemente in kulturboden. (Richwerte 80). Biologische Bundesantait for Land und Forstwirtschaft, Berlin.
- Lindsay, W.L. ve Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cu. *Soil Sci. Amer. J.* 42 (3): 421-28.
- Martin, M.H. ve P.J. Coughtrey. 1982. Biological monitoring of heavy metal pollution, Applied Science Publishers, London, p. 475.
- Moen, J.E.T., Cornet, J.P. ve Evers, C.W.A. 1986. Soil protection and remedial actions. Criteria for decision making and standarization of requirements. 441-448. In: *Contaminated Soil* (ed. J.W. Assink and W,J, Wanderbink) Martinue Nijhoff Dordrecht).
- Nuhoglu, Y. ve Bulbul, F. 2003. Türkiye'nin büyük termik santralleri küllerinin elemental analizi. *J. Trace and Microprobe Techniques* 21(4), 721-728.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M. ve Kaptan, H. 1993. Toprak Bilimi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 73, Ders Kitapları No: 16.
- Özbek, H.B. 1996. Yatağan Termik Santrali Emisyonlarının Etkileri. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara (yayınlanmamış).
- Pacyna, J.M. 1982. Trace element emissions from coal and oil power plants in Eurape methodology of calculations. Norwegian Ins. For Air Research. Nilu Supplement Til Technics Raport No. 5/82. Ref. 24781.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U.S. Dept. Agr. Handbook, No.60, 110-8pp.
- Sağlam, T. 1997. Toprak Kimyası. Trakya Üniv. Tekirdağ Zir. Fak. Yayın No:190

- Sarıgöl, M. 1991. Hava kirliliğinin Muğla-Yatağan yöresinde orman toprağı ve ağaçları üzerine etkisi. Ormancılık Araştırma Ens. Teknik Bülten, No. 217-248.
- Sawidis, T., M.K. Chettri, A. Papaionnou, G. Zachariadis and J. Stratis. 2001. A study of metal distribution from lignite fuels using trees as biological monitors. *Ecotox. Environ. Safe*, 48: 27-35.
- Schwertman, W., Fischer, W.R. ve Fecther, H. 1982. Spurenelemente in bodensequenzen. I. Zwei Brunerde-Podzol-Sequenzen aus fonschieferschutt. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 145: 181-196.
- Türk Tabipleri Birliğı 2000. Yatağan'da hava kirliliğinin değerlendirilmesi. TTB Raporu
- Udo, E.J., Bohn, H.L. ve Tucker, T.C. 1970. Zinc adsorption by calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34, p. 405.
- Uğur, A., G. Yener, M., Saç, M., Altınbaş, U., Kurucu, Y., Bolca, M. ve Özden, B. 2004. Vertical Distribution of the Natural and Artificial Radionuclides in Different Soil Profiles to Investigate Soil Erosion, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 259 (2): 265-270.
- Usta, S. 1995. Toprak Kimyası. Ank. Üniv. Zir. Fak. Yayınları, Yayın No: 1387.
- Ülgen, N., Eyüpoğlu, F., Kurucu, N. ve Talaz, S. 1989. Türkiye topraklarının bitkiye yararışlı kükürt durumu. Toprak Gübre Araştırma Enstitüsü. Genel Yayın No: 209, Ankara.
- Ward, N.I., Brooks, R.R. ve Reeves, R.D. 1974. Effect of lead from motor-vehicle exhausts on trees along a major thoroughfare in Palmerston North, New Zealand. *Environ. Pollut.*, 6, 149-58.
- Yıldız, T. 1996. Orhaneli termik santrali emisyonlarının etkileri. Ankara Üniv., FBE Yüksek Lisans Tezi, Ankara (yayınlanmamış).