

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**AYDIN-GERMENCİK ALANGÜLLÜ HAVZASI
TERMAL SU KAYNAKLARINDA BULUNAN
RADYONÜKLİTLERİN VE AĞIR METALLERİN
TOPRAK, SU VE BİTKİLERDE YARATTIĞI
KİRLİLİK ÜZERİNDE ARAŞTIRMALAR**

Bihter ÇOLAK ESETLİLİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Rafet KILINÇ

Toprak Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 501.13.01

Sunuş Tarihi : 29.03.2010

Bornova-İZMİR

2010

Bihter ÇOLAK ESETLİLİ tarafından doktora tezi olarak sunulan “**Aydın-Germencik Alangüllü Havzası Termal Su Kaynaklarında Bulunan Radyonüklitlerin ve Ağır Metallerin Toprak, Su ve Bitkilerde Yarattığı Kirlilik Üzerinde Araştırmalar**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 29.03.2010 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Prof. Dr. Rafet KILINÇ
Raportör Üye	: Prof. Dr. İbrahim YOKAŞ
Üye	: Prof. Dr. Dilek ANAÇ
Üye	: Prof. Dr. Günseli YAPRAK
Üye	: Doç. Dr. Mustafa BOLCA

ÖZET

AYDIN GERMENCİK ALANGÜLLÜ HAVZASI TERMAL SU KAYNAKLARINDA BULUNAN RADYONÜKLİTLERİN VE AĞIR METALLERİN TOPRAK, SU VE BİTKİLERDE YARATTIĞI KİRLİLİK ÜZERİNDE ARAŞTIRMALAR

ÇOLAK ESETLİLİ, Bihter

Doktora Tezi, Toprak Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Rafet KILINÇ

Mart 2010, 188 sayfa

Jeotermal kaynaklar açısından zengin ve tarımsal potansiyeli yüksek bir yöre olan Alangüllü yan havzasından 2 yıl süreyle toplam 74 toprak, 20 sediment, 94 su ve 78 bitki örneği alınmıştır. Bu örneklerde fiziksel ve kimyasal analizler, ağır metal tayini (Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Cd, Co, Pb ve Ni) ve radyonüklit analizleri yapılarak jeotermal kaynakların tarım alanlarında yarattığı kirlilik etkisinin saptanması amaçlanmıştır.

Sıcak su kaynaklarının çevresinden alınan toprak örneklerinde ağır metallere Ni, Cr, B ve radyonüklitlerden ^{232}Th ile ^{226}Ra değerlerinin, farklı araştırmacılar ve UNCEAR (2000) tarafından verilmiş olan sınır değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yüksek oranda tuz ve bor içeren su örneklerinde toplam Ra aktivite değerleri de EPA tarafından izin verilebilir değer olan 5 pCi/lit 'nin üzerinde bulunmuştur. Bitki örneklerinin ağır metal ve iz element içerikleri genellikle sınır değerlerin içerisinde yer almakla birlikte özellikle jeotermal kaynak ve çevresinden yapılan bitki örneklemelerindeki yükseklik dikkat çekicidir. Termal kaynaklarda Mayıs-haziran aylarındaki ^{222}Rn ölçümleri ise ICRP ve NRPB tarafından kapalı ortamlardaki havada olması gereken maksimum radon değerinden (200-400 Bq/m³) daha yüksek bulunmuştur.

Kurulan model saksı denemesi sonuçları incelendiğinde termal sularla sulanan toprak ve bitki örneklerinin tuz, bor ve radyoaktivite kapsamalarında belirgin artışlar meydana geldiği görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Radyonüklit, Termal Su, Kirlilik, Alangüllü, Ağır Metal,

ABSTRACT**STUDIES ON SOIL, WATER AND PLANT DUE TO
RADIONUCLIDES AND HEAVY METALS EXISTING IN THE
THERMAL SPRINGS OF ALANGÜLLÜ BASIN-GERMENCİK-
AYDIN**

ÇOLAK ESETLİLİ, Bihter

PhD in Soil Sci.

Supervisor: Prof. Dr. Rafet KILINÇ

March 2010, 186 pages

In Alangüllü sub-basin, which is rich in geothermal springs and has a considerable agricultural potential, 74 soil, 20 sediment, 94 water and 78 plant samples were taken in two successive years 2007 and 2008. Physical and chemical properties, heavy metal (Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Cd, Co, Pb ve Ni) and radionuclide measurements were done to analysis on the samples, determine the size of pollution the geothermal springs created on agricultural lands.

Results showed that from the heavy metals, Ni, Cr, B and activity values of the radionuclides ^{232}Th and ^{226}Ra were above the limits recorded by different researchers and UNSCEAR (2000). In water samples, which contained high amounts of salt and boron, Ra activity measurements were found above the acceptable limit of EPA (5 pCi/l). Although heavy metal and trace element contents of plants were generally within the limits, higher findings were noticeable of near geothermal springs. As for the ^{222}Rn measurements carried out in May and June 2009, measurements exceeded the maximum acceptable levels of radon, reported by ICRP and NRPB for the air indoors, by 200-400 Bq/m³.

Results of the pot experiment showed significant increases in salt and boron contents together with high radioactivity in the samples that were irrigated with thermal waters.

Keywords: Radionuclide, Thermal water, Pollution, Alangüllü, Heavy metal

TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçimiyle, sadece doktora çalışmalarımı ve tezimin hazırlamasında değil bütün akademik çalışmalarında engin bilgilerini benimle paylaşan ve değerli katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen E.Ü.Z.F. Toprak Bölümü öğretim üyesi sayın hocam Prof. Dr. Rafet KILINÇ' a, çalışmalarım da her zaman bana destek sağlayan sayın hocam Prof. Dr. Dilek ANAÇ' a, doktora çalışmalarım boyunca değerli bilgileriyle beni yönlendiren Sayın Prof. Dr. İbrahim YOKAŞ'a, tez çalışmam süresince bilgilerini ve deneyimlerini paylaşan Sayın Prof. Dr. Günseli YAPRAK ve Prof. Dr. Yusuf KURUCU'ya, tezimin bazı aşamalarının belirlenmesinde ve yönlendirilmesinde değerli bilgilerini benimle paylaşan Sayın Doç. Dr. Mustafa BOLCA'ya, çalışmalarım da yardımcı olan Sayın Yard. Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ ve Sayın Yard. Doç. Dr. Hakan ÇAKICI'ya, araştırmam sürecinde laboratuvar çalışmalarım da yardımcı olan Araş. Gör. Fulsen ÖZEN'e ve Zir. Yük. Müh. Ece EROĞLU'na, tez çalışmalarımın tüm aşamalarında benim yanımda olan ve bana her zaman destek veren sevgili eşim Dr. Mustafa Tolga ESETLİLİ'ye ve canım aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Tez araştırmamı destekleyen Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonuna ve TÜBİTAK'a, teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xx
KISALTMALAR DİZİNİ	xxiv
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	5
2.1 Termal Kaynaklarda Bulunan Radyoaktivite ve Çevresel Etkileriyle İlgili Araştırmalar	5
2.2 Termal Kaynaklarda Bulunan Ağır Metaller ve Çevresel Etkileriyle İlgili Araştırmalar	14
3. RADYONÜKLİTLER, AĞIR METALLER VE BUNLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	19
3.1 Radyonüklitler	19
3.2 Radyonüklitlerin Çevresel ve Biyolojik Etkileri	20
3.2.1 Topraklarda Doğal Radyoaktivite Kaynakları.....	22

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2.2 Sularda Doğal Radyoaktivite Kaynakları	22
3.2.3 Atmosferdeki Radyoaktivite Kaynakları	23
3.2.4 Bitkilerdeki Radyoaktivite Kaynakları	23
3.3 Ağır Metaller.....	24
3.4 Ağır Metallerin Çevresel ve Biyolojik Etkileri.....	26
4. ARAŞTIRMA YERİ, İKLİMİ VE TOPRAK ÖZELLİKLERİ.....	29
4.1 Araştırma Yeri.....	29
4.2 Araştırma Yöresi İklim Özellikleri	32
4.3 Araştırma Yöresinin Jeoloji ve Jeomorfolojisi	34
4.4 Araştırma Alanı Aydın İli Germencik İlçesi Jeotermal Alanlarının Jeolojisi ve Hidrojeolojisi	36
4.5 Araştırma Yöresi Toprak Özellikleri	37
5. MATERYAL VE YÖNTEM	43
5.1 Materyal	43
5.2 Yöntem.....	47
5.2.1 Örneklerin Analize Hazırlanmasında Uygulanan Yöntemler	47

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.2.2 Su Örneklerinin Analizinde Uygulanan Yöntemler	48
5.2.3 Bitki Örneklerinin Analizinde Uygulanan Yöntemler	49
5.2.4 Sera Denemesi Yöntemi	49
5.2.5 Radyometrik Analizler	49
5.2.6 İstatistiksel Analiz Yöntemleri	53
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	54
6.1 Toprak Örneklerinin Analiz Sonuçları	54
6.1.1 Toprak Örneklerinin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine İlişkin Sonuçlar	54
6.1.2 Toprak Örneklerinin Bazı Toplam İz Element ve Ağır Metal İçerikleri.....	62
6.1.3 Toprak Örneklerinin Radyonüklit İçerikleri.....	72
6.2 Su Örneklerinin Analiz Sonuçları.....	79
6.2.1 Su Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları	83
6.2.2 Su Örneklerinin Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonlarına İlişkin Sonuçlar.....	105
6.2.3 Su Örneklerinin ²²⁶ Ra Konsantrasyonlarına İlişkin Sonuçlar.....	117
6.3 Sediment Örneklerinin Analiz Sonuçları.....	123

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.3.1 Sediment Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları.....	124
6.3.2 Sediment Örneklerinin Ağır Metal ve İz Element Analiz Sonuçları	126
6.3.3 Sediment Örneklerinin Radyoaktivite Analiz Sonuçları.....	128
6.4 Bitki Örneklerinin Analiz Sonuçları	131
6.4.1 Bitki Örneklerinin Ağır Metal, İz Element ve Bor Analiz Sonuçları	131
6.4.2 Bitki Örneklerinin ²³² Th, ²²⁶ Ra ve ⁴⁰ K İçerikleri	145
6.5 Jeotermal Alanlarda Radon Gazı Ölçümleri	152
6.6 Sera Denemesi Sonuçları	157
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	169
KAYNAKLAR	173
ÖZGEÇMİŞ	188

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Türkiye'deki jeotermal alanlar ve bölgesel dağılımları.....	2
1.2 Türkiye'deki jeotermal potansiyelin bölgelere göre dağılımı	2
4.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası	29
4.2 Quickbird uydu görüntüsünde çalışma alanı ve çevresi	30
4.3 Çalışma alanı eğimli arazileri	31
4.4 Çalışma alanı mısır ekili araziler	31
4.5 Çalışma alanı zeytin dikili araziler	32
4.6 Büyük Menderes Havzasının jeolojik özelliklerini gösteren harita	35
4.7 Çalışma alanını büyük bir bölümünü oluşturan, zeytin dikili kolluvial topraklar	38
4.8 Kaba bünyeli veya yumuşak sedimentlerden veya bağımsız sertleşmiş depozitlerden oluşum gösteren regosol topraklar	39
4.9 Araştırma alanında yer alan yüksek tarımsal potansiyele sahip alluvial topraklar	40
4.10 Araştırma alanında yeralan ekili ve dikili tarım yapılan üretken alluvial topraklar.....	40
4.11 Çalışma alanında sıcak su çıkışlarında yer alan toprak yüzeyinde tuz kristalleri oluşmuş araziler.....	41
4.12 Çalışma alanı sıcak su çıkışlarının bulunduğu arazi üzerinde yer alan halofit bitkiler	42
5.1 Radon ölçümlerinde kullanılan kollektör metodu sistemi	52

5.2	Film banyo ve yıkama işlemi	53
6.1	Jeotermal kaynak sularının dere ve yan derelerle taşınarak biriktiği Hıdırbeyli Sulama göleti.....	54
6.2	Jeotermal suların yoğun olarak karıştığı dere sularından yapılan sulama	55
6.3	Jeotermal suların yoğun olarak karıştığı dere sularının motopomp ile çekilerek yüksek alanlardaki zeytinliklerin sulanması	55
6.4	Yüksek sıcaklık derecesine sahip ve yoğun gaz çıkışı olan çamur ılıcası jeotermal kaynağı.....	59
6.5	Aşağı çamur ılıcası jeotermal kaynağı etkisi ile çoraklaşmış ve sadece doğal tuzcul (halofit) bitkilerin yaşam bulduğu topraklar	60
6.6	Jeotermal kaynak etkisi altındaki alanlarda tuz-kalker kabuğu oluşumu ve doğal tuzcul (halofit) bitkilerin görünümü.....	60
6.7	Jeotermal kaynağın hemen yakınında yer alan zeytin ağaçlarında jeotermal kaynak sularının zararlı etkisi.....	61
6.8	Jeotermal sularla kirlenen yeraltı ve baraj suları ile sulanan verimli tarım topraklarının yüzeyinde oluşan yoğun tuz birikimi ve çoraklaşma	61
6.9	Jeotermal kaynakların çevresinde redüksiyon koşullarında yaşam bulan yosun ve algler ile olan tuza dayanıklı bataklık bitkileri.....	62
6.10	Yüksek bor içeriğine sahip sularla sulanan tarım alanlarında yetişen zeytin ağaçlarında başlayan kurumalar	71
6.11	Jeotermal suların karıştığı sularla sulanan topraklarda yetişen domates bitkisinde bor elementi toksisitesi	71
6.12	Çamur ılıcası jeotermal kaynağı	79
6.13	Yukarı çamur ılıcası jeotermal kaynağı	80
6.14	Alangüllü Termal Tesisi içerisinde yer alan jeotermal kaynak	80

6.15	Alangüllü Termal Tesisi roma hamamı jeotermal kaynağı	81
6.16	Alangüllü-Bozköy-Çamköy yol kavşağındaki termal kaynak.....	81
6.17	Jeotermal suların karıştığı karıştığı dere yatağı	82
6.18	Jeotermal kaynak sularının karıştığı Hıdırbeyli sulama barajından kanal ve kanaletlere verilen sulama suları.....	82
6.19	MTA tarafından açılan ve sonrasında çevreye zararlı etkileri nedeniyle kapatılan kuyulardan biri	83
6.20	Sulama suyunun sınıflandırma sistemi	89
6.21	2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin pH değerleri	92
6.22	2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin EC değerleri.....	92
6.23	2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin Cl ⁻ (me/lit) değerleri	93
6.24	2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin Na ⁺ (me/lit) değerleri	93
6.25	2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin SAR değerleri	94
6.26	2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin B (ppm) değerleri.....	94
6.27	2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin pH değerleri	102
6.28	2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin EC değerleri.....	103
6.29	2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin Cl ⁻ değerleri	103

6.30	2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin Na ⁺ değerleri	104
6.31	2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin SAR değerleri	104
6.32	2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin B içerikleri	105
6.33	2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin ²²⁶ Ra içerikleri.....	119
6.34	2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin ²²⁶ Ra içerikleri.....	122
6.35	MTA tarafından açılan ve sonrasında çevreye zararlı etkileri nedeniyle kapatılan kuyu çevresindeki birikim alanları	123
6.36	Jeotermal kaynakların etkisi altındaki dere yatakları.....	124
6.37	Fasulye yapraklarında bor toksisitesi nedeniyle oluşan kenar kıvrılmaları ve kurumalar	139
6.38	Jeotermal kaynağın hemen yanında bulunan ve yüksek bor toksitesi nedeniyle kurumaya başlamış incir ağaçları.....	139
6.39	Radon gazı ölçümleri için kodak LR 115 tip 2 katıhal iz kazıma dedektörünün otel odası banyosuna yerleştirilmesi	153
6.40	Çamur ılıcası kaplıca banyosuna radon gazı ölçümleri için yerleştirilmiş kodak LR 115 tip 2 katıhal iz kazıma dedektörü	153
6.41	Alangüllü termal tesisi erkek banyosuna radon gazı ölçümleri için yerleştirilmiş kodak LR 115 tip 2 katıhal iz kazıma dedektörü	154
6.42	Alangüllü termal tesisi kollektör bölümüne radon gazı ölçümleri için yerleştirilmiş kodak LR 115 tip 2 katıhal iz kazıma dedektörü	154

6.43	Alangüllü termal tesisi depo bölümüne radon gazı ölçümleri için yerleştirilmiş kodak LR 115 tip 2 katıhal iz kazıma dedektörü.....	155
6.44	Alangüllü termal tesisteki kapalı alanlarda radon ölçümleri	156
6.45	Sera denemesi	157
6.46	Killi ve milli tın bünyeli toprakta bitkilerin çimlenme aşamasındaki görüntüsü.....	157
6.47	Farklı bünyeli topraklarda yetişen marul bitkisi.....	158
6.48	Farklı bünyeli topraklarda yetişen ısırgan bitkisi	158
6.49	Termal sularla sulanan farklı bünyeli topraklarda yetişen ısırgan bitkisinin hasat öncesi görünümü	165
6.50	Termal sularla sulanan farklı bünyeli topraklarda yetişen marul bitkisinin hasat öncesi görünümü	165
6.51	Termal sularla sulanan farklı bünyeli topraklarda yetişen marul bitkisinin tuz ve bor toksisitesi	166
6.52	Termal sularla sulanan farklı bünyeli topraklarda yetişen ısırgan bitkisinin tuz ve bor toksisitesi	166

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Toprak, sebze ve meyveler için ağır metal standartları	16
3.1 Bazı kayaların ve toprakların ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U aktivite konsantrasyonları.....	22
3.2 Sulama amacıyla kullanılan sularda farklı ülkelerce kabul edilen bazı ağır metal sınır değerleri	25
3.3 Bazı ağır metallerin bitkilerdeki kritik konsantrasyonları	25
3.4 Sulama sularının bor derişimlerine göre sınıflandırılması.....	28
4.1 Germencik'e ilişkin çok yıllık iklim verileri.....	33
5.1 Arazi çalışmalarında alınan su, toprak, sediment ve bitki örneklerinin dağılımı	44
5.2 Gama spektrometre sisteminin kalibrasyon faktörleri	51
6.1 2007 yılı arazi çalışmalarında alınan toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları	56
6.2 2008 yılı arazi çalışmalarında alınan toprak örnekleri fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları	57
6.3 2007 yılı arazi çalışmalarında alınan toprak örnekleri iz element ve ağır metal analiz sonuçları.....	63
6.4 2008 yılı arazi çalışmalarında alınan toprak örnekleri iz element ve Ağır Metal Analiz Sonuçları.....	65
6.5 Kabuksal kayalarda gözlenen radyoelement konsantrasyonları	72
6.6 Bazı ülke topraklarının radyoaktivite değerleri	73

6.7	2007 yılı arazi çalışmalarında alınan toprak örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K içerikleri	74
6.8	2008 yılı arazi çalışmalarında alınan toprak örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K içerikleri	75
6.9	Toprak özellikleri ile toprakların ağır metal ve radyonüklit kapsamaları arasındaki bazı korelasyonlar	77
6.10	2007 yılı arazi çalışmalarında alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları	85
6.11	Sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kalite parametreleri	88
6.12	2008 yılı arazi çalışmalarında alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları	95
6.13	Bazı kültür bitkilerinin değişebilir sodyum yüzdesine (ESP) olan oransal dayanmaları	101
6.14	Scofield'e göre sulama sularının bor sınıfları.....	102
6.15	Tarım alanları için sulama sularında farklı ülkelerce kabul edilen bazı ağır metal sınır değerleri	105
6.16	Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri.....	106
6.17	Sulama suyunda kimi elementlerin izin verilebilir sınırları ve etkileri	107
6.18	2007 yılı alınan su örneklerinin ağır metal ve iz element analiz sonuçları	108
6.19	2008 yılı mayıs dönemi alınan su örneklerinin ağır metal ve iz element analiz sonuçları.....	113
6.20	Ulusal ve uluslararası çalışmalarda bulunan ^{226}Ra değerleri.....	117

6.21	2007 yılı arazi çalışmalarında alınan su örneklerinin ^{226}Ra sonuçları.....	118
6.22	2008 yılı arazi çalışmalarında alınan su örneklerinin ^{226}Ra konsantrasyonları.....	120
6.23	Su ve toprak örneklerinin analiz sonuçları arasındaki bazı korelasyonlar	122
6.24	2007 yılında alınan sediment örneklerinin kimyasal analiz sonuçları	124
6.25	2008 yılında alınan sediment örneklerinin kimyasal analiz sonuçları	125
6.26	2007 yılında alınan sediment örneklerinin ağır metal ve iz element analiz sonuçları.....	126
6.27	2008 yılında alınan sediment örneklerinin ağır metal ve iz element analiz sonuçları.....	126
6.28	2007 yılında alınan sediment örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K miktarları...	129
6.29	2008 yılında alınan sediment örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K miktarları...	129
6.30	Bazı iz elementlerin ve ağır metallerin bitkilerdeki kritik konsantrasyonları.....	131
6.31	2007 yılı arazi çalışmalarında alınan bitki örneklerinin ağır metal, iz element ve bor analiz sonuçları.....	133
6.32	2008 yılı arazi çalışmalarında alınan bitki örneklerinin ağır metal, iz element ve bor analiz sonuçları.....	140
6.33	Tarımsal ürünlerdeki bazı doğal radyonüklitlerin yüksek aktivite konsantrasyonları	146
6.34	Tahıl bitkilerinde radyoaktivite değerleri	147
6.35	Lifli Bitkilerinde radyoaktivite değerleri	147

6.36	Köklü bitkiler ve meyvelerde radyoaktivite değerleri	147
6.37	2007 yılında alınan bitki örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K içerikleri	148
6.38	2008 yılında alınan bitki örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K içerikleri	150
6.39	Alangüllü yan havzasındaki jeotermal alanlarda yapılmış olan ^{222}Rn ölçüm sonuçları	155
6.40	Deneme topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri	159
6.41	Hasat sonrası saksıdaki toprakların analiz sonuçları	160
6.42	Hasat sonrası marul ve ısırgan bitkilerinin iz element ve ağır metal analiz sonuçları	164
6.43	Toprak özellikleri ile bitkilerin ağır metal ve radyonüklit kapsamları arasındaki bazı korelasyonlar	168

KISALTMALAR DİZİNİKısaltmalar

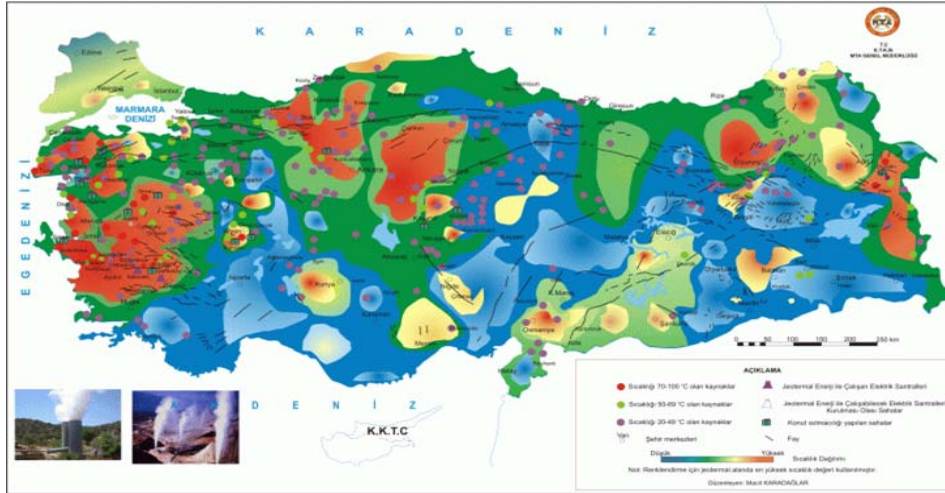
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.
IAEA	Uluslararası Atom Enerji Ajansı.
WHO	Dünya Sağlık Örgütü.
UNSCEAR	Atomik Radyasyonun Etkileri üzerine Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi.
ICRP	Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi.
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
TSE	Türk Standardları Enstitüsü.
EPA	Çevre Koruma Ajansı.
DSİ	Devlet Su İşleri
NRPB	Ulusal Radyasyondan Korunma Komitesi

1. GİRİŞ

Topraklar gerek oluştukları ana materyalde bulunan doğal radyoaktif elementler, gerekse nükleer silah denemeleri ve reaktör kazalarından kaynaklanan serpintiler (fall out), sulama suları, mineral gübre uygulamaları gibi yapay etkenler nedeniyle bir miktar radyoaktivite içerirler. Topraktaki radyonüklitlerin ve ağır metallerin kaynağı yerkürenin derinliklerinde bulunan magmadır. Magmanın yeryüzüne çıkıp katılaşmasıyla kayalar oluşur. Bu kayaların yapılarında diğer doğal elementler gibi radyonüklitler ve ağır metallerde bulunmaktadır. Toprak oluşum sürecince bunlar toprağa intikal ederler. Bu nedenle toprak kökenli yapı malzemelerinde (kum, tuğla, çimento) bir miktar radyasyon vardır. Adams (1977) tarafından bildirildiğine göre, toprakta miktar olarak en fazla bulunan radyonüklitler ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra 'dır. Bunların yanında radyumun bozunma ürünü olan radon gazı da su ve atmosfer ortamlarında bulunmaktadır. Ayrıca içinde yaşadığımız atmosferde kozmik ışınlardan kaynaklanan düşük bir radyasyon düzeyi vardır.

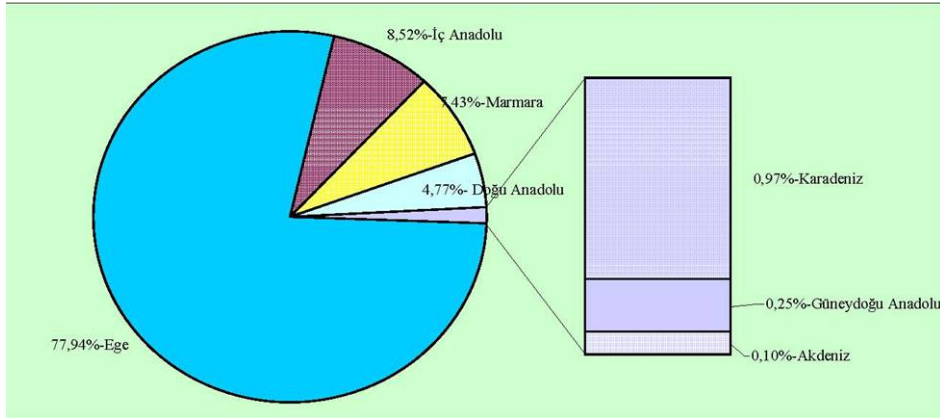
Görülüyor ki insan, doğal çevresinde radyasyonla iç içe yaşamak zorundadır. Fakat bu düşük radyasyon düzeyi insan sağlığını pek fazla etkilemez. Çünkü hücrelerin kendilerini yenileme özelliği vardır. Ancak çevre radyasyonunun herhangi bir sebeple yükselmesi ya da radyonüklitlerin yüksek dozda solunum ve sindirim sistemlerine alınması ciddi sağlık sorunlarını gündeme getirmektedir. Bu nedenle Dünya sağlık Örgütü (WHO), Birleşmiş Milletler Radyasyon Güvenliği Komitesi (UNSCEAR) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) gibi kuruluşlar, toprak, bitki, su ve atmosfer ortamlarında bulunmasına izin verilen radyoaktivite miktarlarını belirlemişlerdir. Örneğin WHO, litrede 0.1 Bq gross α ve 1 gross β radyoaktivitesi içeren suların içme suyu olarak kullanılmasını yasaklamıştır. Bu yüzden TAEK tarafından içme suyu kaynaklarında günlük radyoaktivite analizleri yapılmaktadır. Böylece, sulardaki radyasyonun belirli seviyenin üzerine çıkıp çıkmadığı kontrol edilmektedir.

Termal sular, içme sularına oranla daha fazla radyonüklit ve ağır metal içerirler. Çünkü bunların sıcak olmaları ve yüksek tuz konsantrasyonuna sahip bulunmaları topraktaki tüm elementlerin çözünmelerini kolaylaştırmaktadır (Kılınç ve Yokaş, 1987).



Şekil 1.1. Türkiye’deki Jeotermal Alanlar ve Bölgesel Dağılımları (MTA, 2010)

Türkiye, dünyanın en büyük jeotermal kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya kuşağına dahildir. Çok sayıda ve farklı büyüklüklerde fay sistemleri kapsayan ülkemizde, sıcaklıkları 20–101 °C arasında olan 1500 civarında kaynak çıkışı ve rezervuar sıcaklıkları 30–242 °C arasında değişen 600’den fazla termal kuyu bulunmaktadır (Şekil 1.1.). Bu termal kaynakların %78’i Ege bölgesinde yer almaktadır (Şekil 1.2.) (İlgar, 2005).



Şekil 1.2. Türkiye’deki Jeotermal Potansiyelin Bölgelere Göre Dağılımı (MTA, 2010)

Dünyada ve yurdumuzda yapılan araştırmalar termal su kaynaklarında normalin üzerinde radyonüklit ve ağır metal bulunduğunu ortaya koymuştur. Örneğin, Balıkesirin Sındırgı ilçesindeki Emendere termal sularında ölçümler yapan Topçuoğlu vd. (2003), litrede 0.37 Bq gross α aktivitesi saptamışlardır. Bu miktar sularda bulunmasına izin verilen miktardan 4 kat daha fazladır. Aynı

araştırmada yörede yetiştirilen kültür bitkilerinde de yüksek oranda ^{238}U ve ^{232}Th aktivitesi bulunduğu rapor edilmiştir. Çin’de termal su kullanan otellerin havasında kullanılmayanlara oranla %489 daha fazla radon gazı belirlenmiştir (Gang Song vd., 2005). Hindistan’daki Himacal termal sularının litresinde 716 Bq radon aktivitesi llmştr (Virk vd., 1999). Radon gazının başta akciğer hastalıkları olmak üzere pek çok sağlık sorununa yol atığı bilinmektedir. William Field vd. (2000), sadece Amerika’da yılda 3000–38600 arasında değişen sayıda insanın radon solumaya bağlı akciğer kanserinden öldüğünü rapor etmişlerdir.

Ağır metallere gelince, bunlarında evre kirliliği yönünden çok önemli toksik etkilere sahip oldukları, su ve bitkiler aracılığıyla insan ve hayvanlara geçtikleri bilinen bir gerçektir (Seçer vd., 2002; Szke, 2005). Nitekim Türkdoğan vd. (2002), gerek radyoaktif elementlerin, gerekse ağır metallerin kanserojen etkiye sahip olduklarını dünya literatürüne dayanarak açık bir dille anlatmışlardır.

Termal suların taşıdığı radyonüklitler ve ağır metallerin alış güzergâhında bulunan toprakları ve su birikim havzalarını (baraj, gl, kuyu, akarsu vb.) etkilediğine kuşku yoktur. Bu kaynaklardan yapılan sulamalar da bitkilerin kirlenmesine neden olmaktadır.

Buraya kadar yapılan açıklamalar, termal bölgelerde ve termal kaynakların etkilediği ortamlarda yaşayanların ve bu sularla sulanmış tarım ürünlerini tüketenlerin sağlık açısından önemli bir risk altında bulduklarını ortaya koymaktadır. Bu nedenle gerek dünyada gerekse yurdumuzda çok yoğun araştırmalar yapılmış ve termal bölgelerin risk dereceleri belirlenmeye çalışılmıştır (Bakaç ve Kumru, 2003; Amaral, 2005).

Araştırmanın yapıldığı Aydın-Germencik Alangüllü Yan Havzası çok yüksek tarım ve turizm potansiyeline sahiptir. Başta zeytin, narenciye ve incir olmak üzere yoğun meyve ve sebze tarımı yapılmaktadır. Bu rnlerin sulama suyu ihtiyacı, Büyük Menderese dökülen iki dere ve bu derelerden biri üzerine kurulmuş Hıdırbeyli barajından sağlanmaktadır. Ayrıca, bölgede Alangüllü Termal Oteli, amur ılıcaları, jeotermal amaçlı kuyular ve henüz işletmeye alınmamış açık termal kaynaklar bulunmaktadır. Bu termal kaynakların, içme suyu olarak kullanılan su kuyularına ve sulama suyu sağlanan derelere karıştığı

bilinmektedir. Ayrıca yöre halkının şifalıdır diyerek içme ve kullanma suyu olarak termal suları tercih ettiği de gözlenmektedir.

Bu araştırmanın amacı, 4000 hektar toprak varlığı olan Alangüllü havzasından alınan toprak, sediment, termal su ve bitki örneklerinde radyonüklit ve ağır metal miktarlarını saptamak suretiyle termal sulardan kaynaklanan kirliliğin boyutlarını incelemektir. Bu yolla bölgenin insan sağlığı açısından risk derecesini belirlemek ve alınacak önlemlere ışık tutacak verileri ortaya koymak hedef alınmıştır.

2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

2.1. Termal Kaynaklarda Bulunan Radyoaktivite ve Çevresel Etkileriyle İlgili Araştırmalar

Yurdumuzda termal kaynakların fiziksel ve kimyasal özellikleri ve içerdikleri radyoaktivite miktarlarıyla ilgili ilk kapsamlı araştırma Yenil vd (1971) tarafından Ege Bölgesinde yapılmıştır. İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Hidro Klimatoloji Kürsüsünde yürütülen bu araştırmada, Aydın-Germencik yöresinde bulunan tüm termal kaynaklardan örnekler alınmıştır. Sonuçlara göre, Alangüllü Çelikli kaynakta 234 pCi/lit ^{222}Rn ve 2.34 pCi/lit ^{226}Ra , kükürtlü kaynakta ise 22 pCi/lit ^{222}Rn ve 2.96 pCi/lit ^{226}Ra aktivitesi ölçülmüştür. Ancak bu çalışmada termal suların çevresel etkileri üzerinde durulmamış, sadece tıbbi yönden şifalı etkilerini belirlemek amaçlanmıştır.

Aradan geçen yıllara paralel olarak çevre ve insan sağlığı bilincinin gelişmesiyle termal kaynakların toprak, su ve bitkilerde yarattığı radyoaktivite ve ağır metal kirliliği üzerinde yoğun araştırmalar yapılmış ve bu parametrelerin insan sağlığı üzerindeki etkileri ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Asikainen vd. (1980), Finlandiya'daki içme sularında ^{222}Rn , ^{226}Ra , toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerini tespit etmişlerdir. Nüfusun 2/3'ünün yaşadığı bölgedeki özel ve resmi içme suyu kaynaklarından alınan su örneklerinde toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri sırasıyla <1.70 pCi/lit ve <1.30 pCi/lit olarak bulunmuştur. ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu 670–17000 pCi/lit, ^{226}Ra ise 2.9-2100 pCi/lit arasında değiştiği belirlenmiştir.

Cline vd. (1983), Amerika'nın Georgia Eyaletindeki içme suyu kaynaklarından alınan 1380 su örneğinde toplam alfa, toplam beta, radyum ve uranyum belirlemeleri yapılmıştır. Toplam alfa radyoaktivite sonuçlarının 5 pCi/lit'den yüksek bulunması halinde radyum, 15 pCi/lit'yi aşması durumunda ise uranyum tayini yapılmıştır. Tüm örneklerden 27'sinde maksimum kirletici seviyesinin üzerinde değerler bulunmuştur. 24 örnekte ise radyum konsantrasyonu 5 pCi/lit'den yüksek olduğu belirtilmiştir.

Marovic vd. (1996), Hırvatistan'daki termal ve mineral sularda bulunan ^{226}Ra konsantrasyonunu araştırmışlardır. Banyo, terapi, rehabilitasyon ve bazı yerleşim birimlerinde içme suyu olarak kullanılan bu kaynaklarda ^{226}Ra konsantrasyonu 0.07 – 4.40 Bq/l arasında değişim göstermektedir. İçme sularındaki ^{226}Ra için izin verilen sınır 1 Bq/l'tir. Sağlık merkezlerinde içme kürü olarak 1 hafta süreyle 1 lt su içilmesinin önerildiğini vurgulayan araştırmacılar, bu süre içinde vücuda alınan radyumun, normal çeşme suyu içenlerin 1 yılda aldıklarından 2.1 kat yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

Jamino vd. (1996), Brezilya'nın doğal radyoaktivitesi yüksek olan Aguas da Prata bölgesindeki mineral kaynak sularındaki ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{222}Rn miktarlarını belirlemişlerdir. 10 ayrı kaynaktan alınan örneklerde $1.8\text{--}2.2 \times 10^3$ mBq/l ^{226}Ra , $2.3\text{--}3.7 \times 10^1$ m Bq/l ^{228}Ra ve $8 \times 10^{-1}\text{--}2.16 \times 10^1$ m Bq/l ^{222}Rn aktivitesi ölçülmüştür. Sonuçları değerlendiren yazarlar, bu suların sürekli kullanılması nedeniyle ölümcül kanser olaylarının %0.5–2 oranında artacağı yargısına varmışlardır.

Al Bataina vd. (1997), Ürdün'deki farklı doğal su kaynaklarında ^{222}Rn konsantrasyonlarının belirlenmesinde CR-39 plastik dedektörü kullanmışlardır. ^{222}Rn aktivitesi, soğuk kaynaklarda 3.3–10.7 Bq/l, sıcak kaynaklarda 3.2–5.5 Bq/l, kuyu sularında 3.1- 5.7 Bq/l, içme sularında 2.5–4.7 Bq/l ve deniz suyunda 4.3-6.3 Bq/l arasında değişim göstermiştir. Bu sulara ölçülen radon düzeylerinin normal sınırlar içerisinde olduğu belirtilmiştir.

Çelebi ve Alkan (1997), Çanakkale'nin Ezine ilçesindeki termal ılıcada ve ılıcadan 1 km uzaklıktaki Körüktaş kasabasında 50 evde γ radyasyon ölçümleri yapmışlar ve buralarda yaşayanların aldıkları radyasyon dozunu hesaplamışlardır. Bulgulara göre, ılıcalardaki doz oranları 1.91–2.08 mSv kasabada ise 2.34–3.93 mSv arasında değişmektedir. Toplamda yıllık etkili doz oranı Körüktaşında, İstanbul'da yaşayanlardan üç kat daha fazladır. Sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde, ılıcalara yakın yerlerde yaşayanların ve ılıcada çalışanların, ılıcalardan uzak yerlerde yaşayanlara göre daha yüksek düzeyde γ ışınlarına ve radona maruz kaldığı yargısına varılmıştır.

Duenas vd. (1998) tarafından yapılan bir araştırmada, İspanya'nın Andalusia bölgesindeki termal sularda gross α , gross β , ^{226}Ra , ^{224}Ra ve ^{222}Rn ölçümleri yapılmıştır. Alınan örneklerde ^{222}Rn konsantrasyonunun 0.225–130, ^{226}Ra ve ^{224}Ra konsantrasyonlarının ise sırasıyla 2–1367 ve 2-122 Bq/l arasında değiştiği saptanmıştır. Ayrıca ^{222}Ra ile ^{226}Ra miktarlarıyla gross α , ^{224}Ra ile gross β aktiviteleri arasında güvenilir korelasyonlar bulunmuştur. Sonuçta ^{224}Ra ve ^{226}Ra 'nın kalsiyuma benzediği ve bu nedenle kemiklerde yerleşerek zararlı etkiler yaratacağı ileri sürülmüştür.

Virk vd. (1999), Hindistan'ın Himacal Pradesh eyaletinde bulunan uranyum sahasındaki köylerde toprak gazında ve konutlarda (iç mekânlarda) radon araştırması yapmışlardır. En yüksek radon gazı miktarı toprak havasında 75400 Bq/m³ olarak ölçülmüştür. Bölgedeki üç kasabada iç mekân ortalamaları da 161±13, 200±16, 249±14 Bq/m³ bulunmuştur. Bu sonuçlara dayanılarak radon gazının kanserojen etkisi kapsamlı bir biçimde tartışılmıştır.

Anonymus (1999), Amerika genel halk sağlığı kuruluşu yayınladığı bir raporda, çevremizde doğal olarak bulunan en önemli radyonüklitlerin uranyum, radyum ve radon olduğunun altını çizerek, bunların sürekli solunum ve sindirim sistemlerine alınmasıyla; kronik akciğer hastalıkları, akut lökopeni, anemi, ağızda nekrosis gibi sağlık sorunlarının gündeme gelebileceği vurgulanmıştır. Rapora göre, radyum eğer sindirim sistemine alınırsa; kemik, kafatası ve burun tümörlerine neden olmaktadır. Uranyum ise akciğer kanseri, lenfatik ve hemotopetik tümörleri oluşturur. Toryumda uzun dönemde akciğer, pankreas, kemik, böbrek, kan ve dalak kanserlerine yol açabilmektedir.

Bakaç ve Kumru (1999) tarafından yapılan bu çalışmada, denize döküldüğü noktadan başlayarak doğduğu noktaya kadar Gediz havzasının radyoaktivite düzeyi araştırılmıştır. 321 toprak örneğinde yapılan ölçümler sonucunda toprakların 0.10–7.54 ppm uranyum, 0.35–27.13 ppm toryum ve %0.043–3.19 potasyum içerdikleri saptanmıştır. Ayrıca yüzey gama ölçümlerinin 56–176 cps ve 6–16 $\mu\text{R/h}$ ve radyometrik uranyum beta ve gama ölçümlerinin ise sırasıyla 0-15 cps ve 0-24 cps aralığında değiştiği belirlenmiştir.

Horvath vd (2000), Venezuela'nın kuzey bölgesinde yer alan termal su kaynaklarında ^{222}Ra ölçümleri yapmışlardır. Araştırma konusu su kaynaklarında 1–560 Bq/lit arasında değişen miktarlarda radon bulunduğu belirtilerek radon miktarının, jeolojik yapı ve sulardaki uranyum ile ilintili olduğu rapor edilmiştir. Örneğin, yüksek sıcaklıkta granit kayalarının arasından çıkan ve yüksek düzeyde uranyum içeren Castano termal sularında 360 Bq/lit radon ölçülürken, volkanik kayalardan çıkan, düşük uranyum içeren ve nispeten düşük sıcaklıktaki San Juan de los Morros termalindeki radon miktarı 1 Bq/lit bulunmuştur. Ayrıca yazarlar Venezuela'nın tüm bölgelerinde 6 araştırma ekibinin çevresel radyasyon ve insan sağlığına etkilerini araştırmaya aktif olarak devam ettiklerini belirtmişlerdir.

Zauridakis vd. (2002), Yunanistan'ın Selanik kenti kuzey doğusunda yer alan Migdonia vadisinden alınan içilebilir su örneklerinde ^{238}U ve ^{222}Rn konsantrasyonları üzerinde çalışmışlar ve litrede 0-50 μg ^{238}U ve background düzeyi ile litrede 160 Bq arasında değişen radon aktivitesi bulmuşlardır.

Labidi vd. (2002), Tunus'taki termo mineral sulara (11 sıcak ve 1 soğuk su örneği) bulunan radyonüklitler üzerinde çalışmışlardır. Tunus'ta ilk kez yapılan bu araştırmada, ^{238}U , ^{234}U ve ^{226}Ra aktivitelerinin sırasıyla 1.5-43, 1.1- 82.2 ve 34-3900 mBq/lit arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. $^{226}\text{Ra} / ^{234}\text{U}$ aktivite oranları 9–961 gibi yüksek değerler vermiştir. Bu oranın yüksek bulunduğu sulara sıcaklık ve Cl^- konsantrasyonu da yüksektir. Sonuçta, termal sulara radyonüklit konsantrasyonunun çok düşük, sıcak sulara ise uranyum miktarının düşük, radyumun ise oldukça yüksek olduğu vurgulanmıştır.

Kumru vd. (2002), Gediz nehrinden Ege denizine taşınan radyum miktarlarını aylık ve yıllık olarak hesaplamaya çalışmışlardır. Gediz nehrinin denize yakın bölümlerinden alınan su örneklerinde ortalama 6.70 pCi/lit radyum aktivitesi bulunduğu ve yılda 5.74 Ci gibi yüksek bir radyoaktivitenin Ege denizine taşındığını belirten araştırmacılar, taşınan miktarın mart ayında en yüksek haziran ayında ise en düşük olduğunu ve bu durumun yağışlardan ileri geldiğini savunmuşlardır.

Bakaç ve Kumru (2003), Orta Gediz Havzasından alınan toprak, su ve sediment örneklerinde uranyum, toryum ve potasyum analizleri yapmışlardır.

Toprak ve sediment örneklerinde 0.10-3.94 ve 0.56-4.46 ppm aralığında değişen miktarlarda uranyum ve 1.44-4.54, 0.86-2.99 pCi/lit radyum aktivitesi saptayan araştırmacılar, su örneklerinde ise radyum aktivitesinin 2.87 ile 21.82 pCi/lit arasında değişim gösterdiğini ortaya koymuşlardır. 3500 km² yüz ölçümü olan Orta Gediz havzasında en yüksek uranyum konsantrasyonu, Köprübaşı ilçesi ve Demirköprü barajının batı kısımlarında ölçülmüştür. Tanımlanan bölgede, MTA tarafından önceki yıllarda çalıştırılmış olan bir uranyum madeni bulunduğu bilinmektedir.

Saç ve Kumru (2003), içme ve kullanma suyu sağlanan İzmir'in Halkapınar, Menemen ve Gaziemir ile Manisa'nın Sarıkız ve Gökçe ilçelerindeki sondaj kuyularından alınan örneklerde ²²²Ra ve ²²⁶Ra konsantrasyonlarını belirlemiştir. Sonuçta içme ve kullanma amacıyla tüketilen su örneklerinde ²²²Ra ve ²²⁶Ra konsantrasyonlarının sırasıyla 0-5.8 ve 0-0.8 pCi/lit sınırları içinde değiştiği ortalama miktarların da 1.7 ile 0.2 pCi/lit olduğu rapor edilmiştir.

Topçuoğlu ve arkadaşlarının 2003 yılında yaptıkları bir araştırmaya göre, Balıkesir-Sındırgı ilçesi Emendere Termal kaynağından ve bu kaynağın çevresinden alınan su, sediment, bitki ve gölde yaşayan balık örneklerinde ²³⁸U, ²³²Th, ²²⁶Ra, ⁴⁰K, ²¹⁰Po ve ¹³⁷Cs ölçümleri yapılmıştır. Termal sularda 0.37 Bq/lit gros α ve 0.39 Bq/lit gros β aktivitesi saptamışlardır. Sonuçta, su örneklerinin içme suyu olarak kullanılmaması gerektiği, çevrede yetişen bitki ve balık örneklerinin tüketilmesinde bir sakınca olmadığı yargısına varılmıştır.

Ahmed (2004), Mısır'ın bazı bölgelerinde içme ve yeraltı sularının içerdiği ²²⁶Ra ve ²³²Th miktarlarını araştırmıştır. Quena bölgesinde ortalama ²²⁶Ra konsantrasyonu 1.32 pCi/lit olarak belirlenmiştir. Kızıldeniz fosfat yataklarının olduğu bölgede ise içme sularının 1.52, yeraltı sularının ise 3.05 pCi/lit ²²⁶Ra ve aynı sırayla 0.79- 1.39 pCi/lit ²³²Th içerdikleri ortaya konulmuştur. Sonuçta halkın içme sularıyla vücuda aldığı yıllık efektif dozun 0.008 mSv olduğu ve bu miktarın WHO limitlerini aşmadığı ileri sürülmüştür.

Canbazoglu (2004), Elazığ ilinin doğal radyoaktivite düzeyini belirlemek amacıyla yöreden toplanan toprak, bitki, hava ve su örneklerinde radyoaktivite ölçümleri yapmıştır. Topraklarda 8.5–89.6 Bq/kg arasında ²³⁸U, 8.1–49.9 Bq/kg

arasında ^{232}Th ve 314- 524 Bq/kg arasında da ^{40}K bulunduğunu saptamıştır. Özellikle uranyum ve toryumun bazı topraklarda yüksek olması bunların granit ana materyal üzerinde oluşmalarına bağlanmıştır. Su örneklerinin toplam alfa düzeyleri 0.0336 ile 0.1524 Bq/l arasında değişim göstermiş olup çoğunluğu WHO ve TSE tarafından izin verilen 0.1 Bq/l limitinin üzerindedir. Bu durum ölçülen su örneklerinin yeraltı orijinli olmalarıyla açıklanmıştır. Bitki örneklerinde ise yaprakları yenen bitkilerin meyvesi yenen bitkilere göre daha yüksek radyoaktivite içerdiği belirlenmiş ve radyoaktivitesi yüksek olan topraklar üzerinde yetiştirilen bitkilerin kapsadığı radyonüklit konsantrasyonu daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuç, toprakta bulunan radyoaktif elementlerin bitkiye geçtiğini kanıtlamaktadır. Bu çalışmada bina içi radon gazı ölçümleri de yapılmıştır.

Song vd. (2005), Çin'de pek çok termal otel ve ılıcanın bulunduğu Guandong bölgesindeki sıcak sulara radon konsantrasyonu 53.4-292.5 Bq/l, dış mekanlardaki havada ise 17.2-190.9 Bq/m³ arasında değişim gösterdiğini belirlemişlerdir. Sıcak suların ve yetersiz havalandırmanın otel odalarındaki radon düzeyini yükselttiğini vurgulayan araştırmacılar, termal su kullanan otel odalarında kullanmayanlara oranla %13.8- 489 oranları arasında daha yüksek radon gazı ölçüldüğünü bildirmişlerdir. Bu sonuçlar çalışanlar ve konaklayanlar için belirlenen yönetmelik değerlerinden oldukça yüksektir. Bu çalışmada ayrıca Çin topraklarının background düzeylerinin yüksek olduğu fakat araştırma bölgesinde saptanan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K içeriklerinin background düzeyinden sırasıyla 12, 14 ve 32 kat daha yüksek olduğu rapor edilmiştir.

Kitto vd. (2005), Newyork'taki Saratoga kaynak sularında yaptıkları çalışmada ^{224}Ra , ^{226}Ra ve ^{228}Ra izotoplarını ölçerek sırasıyla 1.20 ve 2 Bq/l radyoaktivite saptamışlardır. Görüldüğü gibi termal kaynak sularında bulunan radyoaktivitenin yaklaşık %80'i ^{226}Ra izotopundan ileri gelmektedir. Buna karşılık Saratoga termal sularında çözülmüş uranyum aktivitesi çok düşük (ortalama 50 mBq/l) bulunmuştur. Bilindiği gibi ^{226}Ra , bozunma ürünü olarak radon gazı üretir. Gerek radyum, gerekse radon gazı A tipi kanserojen maddelerdir. Bu nedenle araştırmacılar, söz konusu termal sulardaki sağlık riskine dikkat çekmişlerdir.

Wanabongse vd. (2005), Tayland'ın 22 ilinden aldıkları 75 doğal sıcak su örneğinde 0.8 – 7219 Bq/lt arasında değişen miktarlarda radon bulunduğunu saptamışlar ve bir genelleme yaparak, güneydeki illerde radon düzeyinin yüksek, diğer illerde ise düşük olduğunu ileri sürmüşlerdir. İç mekan ölçümlerinde de 21-52 Bq/m³ aralığında radon bulunduğu belirlenmiştir.

Mortavazi vd. (2005), İran'ın yüksek radyasyon bölgesi olarak bilinen Ramsar şehrinde Radon düzeyinin 3700 Bq/m³ olduğunu bildirmişlerdir. Evlerin havasında saptanan radon miktarlarının EPA'nın izin verdiği değerlerden ortalama 200 Bq/m³ daha fazla olduğuna dikkat çeken yazarlar, bölgedeki kanser olaylarını gündeme getirmişlerdir.

Yarar vd. (2005) tarafından yapılan bu araştırmada, Tekirdağ şehri ve Dikili Jeotermal bölgesinden alınan su örneklerindeki radyum düzeyleri incelenmiştir. Örnekler, kuyulardan, belediye içme suyu şebekesinden ve ılıcalardan sağlanmıştır. Elde edilen verilere göre, tüm su örneklerinde saptanan radyum miktarlarının EPA tarafından belirlenen 11 Bq/lt düzeyini aşmadığı ortaya çıkmıştır.

Vesterbacka vd. (2005), Finlandiya'da bulunan 472 özel içme suyu kuyusunda doğal radyoaktivite ölçümleri yapmışlardır. İncelenen kuyuların %10'unda radon konsantrasyonu 1000 Bq/lt ve %18'inde ise uranyum konsantrasyonu 15 Bq/lt'nin üzerinde bulunmuştur. Bu kuyulardan içilen suların insanların aldıkları yıllık efektif doz, 0.40 mSv olarak hesaplanmıştır. Kuyuların açılmış olduğu topraklardan alınan yıllık doz ise 0.05 mSv'tir. Bu rakamlar uluslararası radyasyon güvenlik kuruluşlarının koyduğu limitlerden yüksektir. Finlandiya topraklarının ve sularının yüksek doğal radyoaktivite içermesi, toprakların granit kökenli olmasıyla açıklanmıştır.

Luo vd. (2005), Çin'de akciğer kanserinden ölümlerin yüksek olduğu Fujian bölgesinde doğal radyoaktivite araştırması yapmışlardır. İç mekanlarda ²²²Rn ve ²²⁰Rn konsantrasyonlarının ortalama olarak sırasıyla 29 ve 0.8 Bq/m³ olarak ölçüldüğü belirtilen çalışmada halkın radon ve toron gazlarına maruz kalma oranının dünya ortalaması olan 1.2 mSv/yıl değerine eşdeğer olduğu savunulmuştur.

Florou vd. (2006), Ege denizinin doğusunda olan Yunanistan'a ait, Ikaria adasındaki jeotermal kaynaklarda ^{238}U , ^{226}Ra ve ^{222}Rn analizleri yapmışlardır. Elde edilen verilerin literatürdeki miktarlarla uyum gösterdiğini fakat Yunanistan'da bulunan diğer jeotermal kaynaklara göre daha yüksek olduğu ileri süren araştırmacılar, içilebilir kaynaklardan insanların aldıkları doz oranlarını ve çevre sağlığına etkilerini de rapor etmişlerdir.

İlani vd. (2006), tarafından yapılan bu çalışmada, İsrail' in ulusal su kaynağı olan Kinneret gölü çevresinde ve Rift vadisinde yer alan tuzlu sıcak su kaynaklarında bulunan radyonüklit konsantrasyonları araştırılmıştır. Sonuçlara göre, su örneklerindeki ^{226}Ra miktarları 2.6- 6.6, ^{222}Rn miktarları ise 61-274 Bq/l arasında değişim göstermektedir. Oldukça yüksek olan bu radyoaktivitenin nedeni suların tuzlu ve sıcak olmasıyla açıklanmıştır.

Misdaq vd. (2007), Fas'ta 19 farklı şehirden toplanan içme suyu örneklerinde uranyum ve toryum konsantrasyonları ile ^{222}Ra ve ^{220}Ra alfa aktivitelerini belirlemişlerdir. Örneklerde saptanan radon alfa aktivite oranları 0.37 – 13.6 Bq/l arasında değişim göstermiştir. Sonuçta, bu suların içilmesiyle zamanla gastrointestinal sistemde sağlık sorunlarının ortaya çıkabileceği yargısına varılmıştır.

Jasminka vd. (2007), Balkanların orta bölgesinde yer alan Sırbistan'daki su kaynaklarında ve şişelenen mineral su örneklerinde doğal radyoaktivite analizleri yapmışlardır. Kaynak sularında, 92.4-289 mBq/l ^{226}Ra ve 610 – 1170 mBq/l ^{228}Ra aktivitesi içerdiklerini buna karşılık şişelenen mineral sularda çözünmüş ^{238}U miktarlarının yüksek olduğunu (0.21-71.5 mBq/l) belirleyen araştırmacılar, ^{238}U ve ^{232}Th serilerinin bozunma ürünleri arasındaki oranları da hesaplamışlardır. En yüksek total alfa ve total beta aktivitelerinin metamorfik kayalardan çıkan kaynaklarda bulunduğu belirtilen çalışmada, mineral sulardaki yüksek total beta aktivitesinin yüksek ^{40}K 'tan ileri geldiği savunulmuştur.

Anke vd. (2009), Yer kabuğunda 2.4-3.2 ppm arasında değişen miktarlarda uranyum bulunduğunu ve bu miktarın iyottan, kadmiyumdan ve selenyumdan daha fazla olduğunu belirterek gıda zincirine uranyum geçişini incelemişlerdir. 116 gıda ürünü ve bazı içeceklerin uranyum kapsamlarını tayin eden

araştırmacılar, margarin, bal ve yulafta 0.8 mg/kg, kuşkonmazda ise 50 mg/kg uranyum bulunduğunu, mineral suların 0.1-25 mg/kg arasında uranyum içerdiğini rapor etmişlerdir. Hayvansal gıdalarda yapılan ölçümlerde tereyağın 1.1-1.9 mg/kg, inek sütünün 1.5-3.1 mg/kg, domuz, tavuk ve sığır etlerinin 3-10 Bq/kg, balıkların ise 10-16 Bq/kg arasında değişen miktarlarda uranyum kapsadıkları ortaya konulmuştur. Genel değerlendirmede, şeker, nişasta ve yağca zengin gıdalarda daha az, yapraklı bitkiler ile çay ve şıfalı bitkilerde daha yüksek uranyum bulunduğu bildirilmiştir. İnsanların ağız yoluyla aldıkları uranyumun %41'i içeceklerden, %33' sebzelerden, %26'sı ise hayvansal gıdalardan gelmektedir.

Vinson vd. (2009), yeraltı sularında bulunan radyum ve radon miktarlarıyla suların kimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla Amerika'nın Kuzey Karolina bölgesinden 117 su rneği toplamışlardır. Su rnelerinin ortalama olarak 249 Bq/lit radon, 18.6 mBq/lit radyum aktivitesi ve 30 mg/lit uranyum içerdiği belirtilen çalışmada, bu miktarların EPA limitlerinin üzerinde olduğu vurgulanmıştır. Yapılan korelasyon hesaplamaları sonucunda; radon aktivitesi ile toplam iyon konsantrasyonu arasında negatif, suda çözünmüş oksijen miktarı arasında da pozitif ilişkiler ortaya çıkmış, fakat ²²⁶Ra aktivitesi bu korelasyonların tam tersini vermiştir. Ayrıca suların içerdiği uranyum miktarları ile pH, HCO₃⁻, Ca⁺² ve sülfat arasında güvenilir pozitif korelasyonlar bulunmuştur.

Gruber vd. (2009) tarafından gerçekleştirilen bir projede, 12000 km² yzlm olan ve 1.4 milyon kişinin yaşadığı yukarı Avusturya bölgesinden alınan 350 içme suyu örneğinde radon ve diğer radyonüklitler üzerinde çalışılmıştır. Sularda ortalama 100 Bq/lit radon bulunduğunu fakat jeolojik yapıya göre radon konsantrasyonunun büyük farklılıklar gösterdiğini belirleyen araştırmacılar, uranyum ve radyum konsantrasyonlarının Avrupa topluluğunun koyduğu standartları aşmadığını fakat ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb miktarlarının bu standartların üzerinde olduğunu ileri sürmüşlerdir.

2.2. Termal Kaynaklarda Bulunan Ağır Metaller ve Çevresel Etkileriyle İlgili Araştırmalar

Hashem (1993), Suudi Arabistan'ın 10 farklı bölgesinden aldığı toprak ve su örneklerinde bulunan ağır metal konsantrasyonlarını incelemiştir. Toprak örneklerinde Al, Br, Cd, Cu, Fe, Pb ve Zn miktarlarının daha yüksek, sular da ise daha düşük bulunduğu belirlenmiştir. Topraklarda ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarda olması, körfez savaşı ve petrol kuyularının yanmasıyla açıklanmıştır. Toprakların Cd içeriklerinin 0.8-2.6 ppm, Co içeriklerinin 6.2-25.1 ppm ve Zn içeriklerinin ise 17-125 ppm arasında değişim gösterdiği bildirilen araştırmada, Al, Br, Fe ve Cu içeriklerinin körfez savaşından önce ölçülen düzeylerde bulunduğu ileri sürülmüştür.

Elmacı (1995), Güney Marmara bölgesinde sanayi domatesi yetiştiriciliğinin yoğun olduğu M. Kemalpaşa, Karacabey ve Biga ilçelerinden alınan toprak, su ve meyve (domates) bitki örneklerinin ağır metal içeriklerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, üç yöreye ait tüm topraklarda Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Cd ve Tl yönünden kirlilik söz konusu değildir. Biga ve M. Kemalpaşa topraklarında Pb değerlerinin sınır değerlerin altında bulunmasına karşın Karacabey topraklarının %11'inde, sulama sularının ise %29'unda Pb miktarları yüksek çıkmıştır. M. Kemalpaşa topraklarının %89'unda, Karacabey topraklarının ise %33 oranında Ni kirliliği görülmüştür. Cr ve Sb kirliliği her üç ilçe topraklarında da ciddi boyutlara ulaşmıştır. Bu durumun, sanayi atıklarının karıştığı sular ile sulama yapılmasından kaynaklandığı belirtilen çalışmada, sulardaki Cr miktarları ile topraktaki Cr arasında önemli korelasyonlar saptanmıştır. Üç yöreye ait domates meyve örneklerinin Fe, Zn, Cu ve Cd içerikleri izin verilen sınır değerinden düşük, Co, Ni, Sb ve Cr içerikleri ise yüksek bulunmuştur.

Aydın ve Seferoğlu (1999), Menderes Havzasında sulama yapılan bazı alanlarda sulama suyundan gelen borun toprak ve bitkideki durumu araştırmışlardır. Jeotermal kaynakların oldukça yoğun olduğu bu bölgeden alınan su örneklerinde, bor içeriği 0.33-6.41 ppm, bitki örneklerinde 61-957 ppm arasında bulunmuştur. Toprak örnekleri ise 0-30 cm ve 30-60 cm derinliklerinden sulama öncesi ve sulama sonrasında iki farklı dönemde alınmıştır. I. dönemde

alınan toprakların bor içerikleri 0–30 cm derinlikte 1.37–5.96 ppm arasında, 30–60 cm derinlikte ise 1.17–6.25 ppm arasında bulunmuştur. II. dönemde alınan toprak örneklerinde ise 0–30 cm derinlikte 1.24–6.51 ppm, 30–60 cm derinlikte ise 0.93–5.75 ppm arasında değiştiği belirlenmiştir.

Bakaç ve Kumru (1999) tarafından yapılan bu çalışmada, sanayi ve tarım kuruluşlarının yoğun biçimde yer aldığı ve Gediz nehrinin yıkadığı Menemen ovasından 60 toprak ile 60 su örneği toplanmıştır. Örneklerde radyonüklit konsantrasyonları yanında Cu, Cd, Pb ve Cr miktarları da ölçülerek ağır metal kirliliği araştırılmıştır. Sonuçta, sularda incelenen ağır metaller yönünden bir kirliliğin söz konusu olmadığı topraklarda ise sadece cr yönünden ciddi sorun bulunduğu ortaya konulmuştur. Topraklardaki Cr yüksekliğinin nedeninin bölgedeki deri işletmeleri ve benzeri sanayi kuruluşları olabileceği dile getirilmiştir. Manisa Çevre İl Müdürlüğü'nün yaptığı ölçümlerde kış aylarında sularda Cr düzeyinin arttığı belirlenmiştir. Taşkınlarla topraklara geçen Cr zamanla birikerek topraklarda kirliliğe neden olabilir. Bu yüzden Menemen ovasında ve Gediz nehrinde mevsimsel ağır metal ölçümlerinin yapılması, kirlilik boyutlarını kontrol etmek açısından büyük önem taşımaktadır.

Yavuz (1999) tarafından Nif çayının kirlilik parametrelerinin ve doğal radyoaktivite içeriğinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, ortalama ağır metal konsantrasyonları Fe için 1070 µg/l, Cu için 29 µg/l, Hg için <1 µg/l, Ni için 23 µg/l, Cd için <1 µg/l olarak bulunmuştur. Nif çayının ağır metal kirliliği bakımından II. sınıf su kapsamına girdiği ve gerekli önlemlerin alınması gerektiği belirtilmiştir.

Altınbaş ve Bolca (2000), İzmir ili Seferihisar bölgesindeki yaptıkları çalışmada bitkiler için zararlı olan bor elementi içeriklerini jeotermal kaynaklarda 9.00–14.10 ppm sınırları arasında saptanmışlardır. Bora dayanıklı bitkiler için 3.75 ppm'lik ölçüt kullanılamaz sınır iken yörede saptanan verilerin bunun 4–5 katı olduğu belirlenmiştir.

Demir vd. (2000), foseptik atık suları ile sulanan ve sulanmayan marul bitkilerinde Zn, Cu, Pb, Mn ve Fe analizleri yapmışlardır. Atık sularla sulanan bitkilerde ağır metal birikimi olduğu belirlenen araştırmada, ağır metal birikiminin

gerek ürün verimi gerekse insan sağlığı açısından sorun oluşturabileceği savunulmuştur.

Prasad ve Bose (2001), Hindistan'da muson yağmurları öncesinde ve sonrasında Sirmour bölgesinden ve kalker yataklarına yakın yerlerden aldıkları 8 yüzey ve 9 kaynak suyunda Cu, Cd, Fe, Cr, Mn, Pb ve Zn konsantrasyonlarını belirlemiştir. Tüm örneklerdeki ağır metal miktarları içme suyu kalite standartlarından daha düşük bulunmuştur. Elde edilen veriler, kirlilik indeksi hesaplamalarında kullanılmış ve sonuçların kirlilik indeksi üst limiti olan 100'ün çok altında olduğu görülmüştür. Kalker madeni işletme kapasitesinin çok artmasına karşılık bölgede bir ağır metal kirliliği söz konusu değildir.

Türkdoğan vd. (2002), çevresel ağır metale maruz kalmanın kanser için çok iyi bilinen bir risk faktörü olduğunu belirterek, gastrointestinal kanser türlerinin yaygın olduğu Van bölgesi topraklarında ve bu topraklar üzerinde yetiştirilen meyve ve sebzelerde ağır metal (Co, Cd, Pb, Zn, Mn, Ni, Cu) miktarlarını araştırmışlardır. Sonuçlara göre; topraklarda ölçülen Cd, Pb, Cu ve Co konsantrasyonları izin verilen standartlardan 2-50 kat daha yüksek, Zn ise 40 kat düşük bulunmuştur. Zn hariç diğer 6 ağır metalin meyve ve sebzelerde ölçülen miktarları ise standart değerlerden 3.5-340 kat daha yüksektir. Bu bulgulardan yola çıkan yazarlar, bölgedeki yaygın kanser olaylarının toprak ve bitkilerde bulunan yüksek ağır metal konsantrasyonları ile ilgili olabileceği kanısına varmışlardır. Bu araştırmada kullanılan ağır metal standart değerleri Çizelge 2.1.'den izlenmektedir.

Çizelge 2.1. Toprak, sebze ve meyveler için ağır metal standartları (ppm)

Element	Toprak	Sebze ve Meyveler
Pb	2.0-13.4	6-9
Cd	<0.1	<0.5
Cu	5.0-5.6	2-20
Ni	10-50	1-10
Mn	100-400	10-20
Zn	60-780	5-100
Co	1-20	0.02-0.50
Cr	10-80	0.1-1.0

Özmen vd. (2004), Elazığ ilinde yer alan Hazar gölünden aldıkları yüzey suyu ve sediment örneklerindeki radyonüklit ve sediment örnekleri üzerinde çalışmışlardır. Araştırma sonuçları, Hazar gölünde ağır metaller yönünden bir kirlenme olmadığını göstermiştir. Ağır metallerin $Fe > Mg > Ca > Mn > Zn > Ni > Cr > Cu > Co > Pb$ sırasıyla azaldıkları belirlenmiş fakat örneklerin gross alfa aktiviteleri WHO ve TSE'nün koydukları limitlerin üzerinde bulunmuştur. Ayrıca, ^{226}Ra konsantrasyonları da tüm örnek alınan yerlerde izin verilen miktarların üzerindedir.

Baba vd. (2005) Çanakkale' deki Tuzla jeotermal sahasında, kaynak sularının çevredeki yeraltı ve yerüstü su kaynaklarına ve toprağa etkileri üzerinde çalışmışlardır. Bölgenin Güneydoğusundan gelen EC'si düşük (600-800 micromho/cm) yer altı tatlı su kaynaklarının, jeotermal suların etkisi ile EC'sinin yükseldiği (1400-3200 micromho/cm) belirlenmiştir. Sıcak su kaynaklarının içerdiği bor miktarlarının (11.1-32 ppm arasında) çok yüksek olması nedeniyle bu suların beslediği dere yatağında bor konsantrasyonu en yüksek (83 ppm) değere ulaşmıştır. Genel olarak sıcak su kaynaklarının çevresindeki topraklarda ağır metal içeriği yüksek bulunmuştur. Termal suların etkisi ile termal kaynak çevresindeki tarım arazilerinin kullanılmadığı belirtilmiştir.

Szöke (2005), Macaristan'daki Karstik mağara sularında 2000 ile 2004 yılları arasında meydana gelen ağır metal değişimlerini incelemiştir. Geçen 5 yıl içerisinde mağara sularında Pb ve Cd kirliliğinin önemli düzeyde arttığına dikkat çeken araştırmacı, örneğin Nagy-Tohonga kaynağında 2000'de 0.042 mg/lt olan kurşun içeriğinin 2004 sonunda 0.118 mg/lt'ye yükseldiğini, Siphon gölünde aynı dönemlerde sırasıyla 0.025 – 0.094 mg/lt Pb saptandığını bildirmiştir. En yüksek kurşun içeriği Retek akarsuyunda 0.39 mg/lt olarak ölçülmüştür. Diğer ağır metal miktarları da içme suları için verilen limitlerin üzerinde bulunmuştur.

Kır vd. (2007), Kovada gölünün su ve sedimentlerindeki ağır metallerin mevsimsel değişimi üzerinde çalışmışlardır. Sularda en fazla bulunan ağır metalin Fe, sedimentlerde ise Al olduğu saptanmış ve su örneklerinde tüm ağır metal konsantrasyonlarının ilkbahar ve yaz aylarında arttığı belirlenmiştir. Ancak, Tarım Bakanlığının koyduğu kriter değerlere göre Fe'in yaz-2005, çinkonun ilkbahar-2005 ve Kış-2006'daki miktarları dışında bir tehlike söz konusu değildir. Çünkü

2005 yazında Cr (17.59 ppm), Cu (13.77 ppm), Fe (7345 ppm), Mn (166 ppm), Pb (4.42 ppm), Al (9990 ppm) ve Ni (25.93 ppm) konsantrasyonlarının en yüksek düzeye ulaştığı, buna karşılık Zn (33.42 ppm) ve Cd (0.27 ppm)'un 2005 ilkbaharında en yüksek bulunduğu görülmüştür. Yaz aylarında gerek su, gerekse sedimentte ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının yüksek çıkması buharlaşma ve su döngüsünün olmamasıyla açıklanmıştır.

Al Naem (2008), Suudi Arabistan'ın Al Hassa Oasis bölgesindeki sulama ve diğer amaçlarla kullanılan 10 kaynak suyunun hidrokimyasal özellikleri ve ağır metal içeriklerini belirlemiştir. Ölçülen 20 iz element ve ağır metalin su örneklerindeki konsantrasyonları, WHO tarafından içme ve kullanma suları için verilen limitlerin üzerinde bulunmamıştır. Fakat sular hidrokimyasal özellik olarak C_4S_2 (yüksek tuzlu ve orta alkalın karakterli sular) sınıfına girmektedir. İçerdikleri Cl^- , Na^+ ve NO_3^- konsantrasyonları izin verilen sınırların çok üzerindedir. Bu nedenle bu sular içme suyu veya tuza hassas bitkiler için sulama suyu olarak kullanılmamalıdır. Ayrıca zaman içinde toprakları tuzlulaştırma ve alkalileştirme tehlikesi de vardır.

Kurt vd. (2008), endüstriyel, petrokimyasal ve tarımsal faaliyetlerin çok yoğun olduğu Mersin'in Karaduvar bölgesinden ve 30 ayrı noktadan toprak örneği (0-20 cm) almışlardır. XRD yöntemiyle toprakların mineral kompozisyonlarını belirleyen araştırmacılar, 11 ağır metalin analizlerini ICP-MS cihazı ile yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, ağır metal konsantrasyonlarının ppm olarak değişim sınırları şöyledir; As 3.35–7.26; Cd 1.18–3.96; Co 10.76–20.26; Cr 37.99–63.48; Cu 18.55–243.1; Mn 338.7–565.6; Mo 4.42–6.44; Ni 148–279.3; Pb 10.12–73.71; V 17.93–36.55 ve Zn 25.46–331.7'dir. Faktör analizi bulguları, Co, Cr, Mn ve Ni dağılımlarının litolojik kökenli faktörlere bağlı olduğunu göstermiştir. Cu, Pb ve Zn elementlerinin dağılımları ise kimyasal gübre, pestisit ve herbisit gibi tarım ilaçlarının yoğun kullanılmalarından ya da petrol türevleriyle kirlenmiş yeraltı sularıyla bitkilerin sulanmasından kaynaklanmış olabilir. Cd ve Mo'nin yüksek konsantrasyonları genellikle dizel yakıtlı termik santral ve ATAŞ petrol rafinerisi civarında ölçülmüştür. As ve V elementlerinin kaynağı kesin olarak belirlenememiştir.

3. RADYONÜKLİTLER, AĞIR METALLER VE BUNLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

3.1. Radyonüklitler

Bazı elementlerin çekirdeklerinden yüksek enerjili parçacıklar (α^+ ve β^- ışınları) ve elektromanyetik dalga niteliğinde ışınlar (γ ışınları) yayınlamasına radyoaktivite, bu ışınları yayınlayan elementlere de radyonüklitler yada radyoizotoplar denir. Söz konusu ışınlar çekirdekten yayınladıkları için çekirdek ışınımları veya nükleer radyasyonlar adını almaktadır.

Doğal ve yapay olmak üzere iki türlü radyoaktivite vardır.

a) Doğal Radyoaktivite

Doğada bulunan ve atom ağırlıkları 209'dan büyük olan tüm elementler, dışarıdan herhangi bir uyarı olmaksızın kendiliğinden ışın yayınlama özelliğine sahiptirler. Doğal radyoaktivite, ağır elementlerin çekirdeklerindeki nötron (n^0) ve proton (p^+) sayılarının dengesizliğinden ileri gelir. Hafif elementlerde n^0/p^+ oranı yaklaşık 1 civarındadır. Bu durumdaki elementler kararlı düzeydedir ve ışın yayınlamazlar. Fakat ağır elementlere doğru gidildikçe n^0 sayısı p^+ sayısına oranla daha fazla artmakta ve $^{209}\text{Bi}_{83}$ 'tan sonraki elementlerde n^0/p^+ oranı 1,5 düzeyine ulaşmaktadır. Örneğin, en tanınmış doğal radyoaktif element olan uranyumda 146 n^0 ve 92 p^+ bulunmaktadır. n^0/p^+ oranı yaklaşık 1,5 olduğundan çekirdek dengesi bozulmuştur. Bu nedenle elementler fazla nötron ve protonlarını dışarı atarak kararlı düzeye indirmek eğilimindedirler. Çekirdekte bulunan fazla parçacıkların dışarı atılma eylemi alfa (α), beta (β) ve gama (γ) ışınımları şeklinde gerçekleştirilmektedir.

α Işınları; $2p^+ + 2n^0$ yapısında pozitif yüklü ağır parçacıklarıdır. Havada 3-8 cm yol alabilirler. Giricilikleri son derece düşüktür. Bir pelür kâğıdından bile geçemezler. Ancak, ağız ve solunum yoluyla bünyeye alınırlarsa, dokularla direkt temas edecekleri için son derece tehlikeli olurlar. İyonlaştırma güçleri çok yüksektir.

β Işınları; e^- yapısında olan negatif yüklü parçacıklardır. Havada 1-2 m yol alabilirler. 2 mm kalınlığında alüminyum levhalardan geçebilirler.

γ Işınları; Yüksek enerjili kısa dalga boylu elektro manyetik dalga karakterinde ışınlardır. Havada kilometrelerce yol katedebilir ve 30 cm kalınlığında kurşun duvarlardan geçebilirler. Bu nitelikleri yüzünden tehlikeli ışınlardır. İyonlaştırma güçleri diğer ışınlarla oranla zayıftır.

Doğal radyoaktivite özelliği ağır elementlere özgü olmakla beraber istisna olarak bazı hafif elementlerde de görülmektedir. Bunların tarım yönünden en önemlisi $^{40}\text{K}_{19}$ izotopudur. Doğada, canlıların yapısında, yiyeceklerde ve gübrelerde bulunan toplam potasyumun %0,0118'i $^{40}\text{K}_{19}$ formunda olup doğal olarak β ve γ ışınları yayınlamaktadır.

Doğal radyonüklitler doğada ^{238}U , ^{235}U ve ^{232}Th serilere halinde bulunurlar. Toprak, su atmosfer ortamlarında bulunan doğal radyonüklitler bu serilerin bozunma ürünleri ve $^{40}\text{K}_{19}$ 'dir (Yaprak, 1995 ve 2008).

b) Yapay Radyoaktivite

Aslında radyoaktif olmayan bir elementin çekirdeğine atom reaktörlerinde ya da özel düzenekler yardımıyla nötron, proton, elektron gibi parçacıklar sokarak çekirdek dengesini bozmak ve elementi yapay yoldan radyoaktif hale getirmek mümkündür. Böylece yapay radyoaktif elementler elde edilir. Bunlar, tıp, tarım, biyoloji, endüstri gibi temel bilimlerde teşhis, tedavi ve araştırma amacıyla kullanılmaktadırlar.

3.2. Radyonüklitlerin Çevresel ve Biyolojik Etkileri

Çekirdek ışınlarını canlı dokulara çarptıkları zaman hücreleri oluşturan elementlerden elektron kopartarak iyonlaşmalara neden olurlar. Bunun sonucunda hücrelerin kimyasal ve fizyolojik dengesi bozulduğundan hücre ölümleri, anormal hücre çoğalmaları (kanser), enzim fonksiyonlarında değişimler ve kromozom deformasyonları gibi önemli sağlık sorunları ortaya çıkmaktadır.

Bu biyolojik etkilerin meydana gelmesi kuşkusuz alınan radyasyon miktarına, ışınların özelliklerine ve radyasyonun alınış biçimine bağlıdır.

Canlıların ortamda bulunan radyasyondan etkilenmeleri 2 türlü değerlendirilir.

1. Dışsal (External Exposure): Dıştan ışın alma durumunda ışın yayınlayan madde vücut dışındadır. Radyasyon havada bir yol katederek hücrelere ulaşır. Bu yüzden aradaki uzaklık ne kadar fazla ise yapacağı etki o denli az olmaktadır. Çünkü radyasyonun şiddeti aradaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır (L'annuziata, 1984). Taş, toprak ve yapı malzemelerinde bulunan radyoizotopların çevreyi etkilemesi eksternal ışın alma olayıdır.

2. İçsel (Internal Exposure): Radyasyonun internal etkisi ise radyoaktif maddelerin herhangi bir yolla canlıların bünyesine alınmasından kaynaklanır. Bu durumda hücreler ışın yayınlayan madde ile temas halinde olduklarından radyasyonun etkisi daha şiddetli olur. Çünkü arada bir uzaklık söz konusu değildir. Işımlar doğrudan doğruya hücreleri bombardıman etmektedirler.

Radyasyonun internal etkisi incelenirken her üç ışını, özellikle α ışınlarını göz önüne almak gerekir. Çünkü α ışınları $2p^+ + 2n^0$ yapısında ağır parçacıklardır, hücrelerle temas halindeyken şiddetli iyonlaşmalara neden olurlar (Kılınç, 1981). Internal radyasyonun değerlendirilmesinde β ve γ ışınlarının biyolojik etkileri karşılaştırılacak olursa, α ışınların β ışınlarına göre 10 kat daha etkili olduğu kabul edilmektedir. Doğal radyoizotopların çoğunluğunun α ışını yaydığı düşünülürse internal radyasyonun çevresi ve biyolojik önemi daha iyi anlaşılabilir.

Toprak ve su kaynaklarında bulunan doğal radyoizotoplar bitkiler aracılığıyla ve beslenme yoluyla insanlara geçebilmekte, atmosferde bulunanlar ise solunum yoluyla bünyeye alınarak organlara internal etki yapabilmektedir. Organların hiçbir zarar görmeden alabilecekleri radyasyon dozu 500 milirem (0,5 Rem) dir. Bu eşik dozun altında alınan radyasyon canlılar üzerinde herhangi bir sağlık sorununa yol açmaz. Çünkü hücrelerin bir dereceye kadar kendilerini onarma yetenekleri vardır (Kınacı, 1970).

3.2.1. Topraklarda Doğal Radyoaktivite Kaynakları

UNSCEAR (2000) raporunda topraklarda bulunan doğal radyoaktivite konsantrasyonları, ortalamaları ile birlikte ^{238}U için 35 (16-110), ^{226}Ra için 35 (17-60), ^{232}Th için 45 (11-64) ve ^{40}K için 400 (140-850) Bq/kg olarak verilmektedir. Topraktaki doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonları, toprakların jeolojik kökenine dayalı olarak değişim göstermektedir. Bazı kaya ve topraklardaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları Çizelge 3.1.'den izlenmektedir (Canbazoğlu, 2004; Liden ve Holm, 1985).

Çizelge 3.1. Bazı kayaların ve toprakların ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U aktivite konsantrasyonları

Kaya Türü	^{40}K (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{238}U (Bq/kg)
Püskürük			
Granit	1200	70	35
Bazalt	230	15	12
Tortul			
Kireçtaşı	70	8	25
Kumtaşı	300	11	18
Toprak			
Dünya Ort.	370	25	25

Görüldüğü gibi, granit en yüksek ^{238}U ve ^{232}Th içeren kayadır. Granitte bu radyonüklitlerin miktarları 30 ppm'i aşmaktadır. Kuvarsça zayıf kayalar ise genellikle 0.1 ppm'den az uranyum kapsarlar (Gascoyne, 1982).

3.2.2. Sulardaki Radyoaktivite Kaynakları

Sularda bulunan radyonüklitlerin kaynağı atmosfer ve topraktır. Yağmur suları bu ortamlarda bulunan radyonüklitleri çözerek yeraltı ve yerüstü su kaynaklarına ulaştırırlar. Kaplıca ve maden suları içme sularına oranla daha fazla radyonüklit içerirler. Çünkü bunların sıcak ve yüksek tuz konsantrasyonuna sahip olmaları çözünmeleri kolaylaştırır (Kılınç ve Yokaş, 1987).

Sularda en fazla bulunan radyonüklitler ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{222}Rn ve ^{238}U 'dir. Son yıllarda nükleer silah denemeleri, reaktör kazaları ve endüstriyel kullanımlar nedeniyle yapay radyoizotopların (^{137}Cs ve ^{90}Sr) da sularda artış gösterdikleri saptanmıştır (Cambray, 1983).

Enviromental Protection Agency (EPA), içme sularında izin verilebilir üst sınır olarak ^{226}Ra için 0.19 Bq/lit ve ^{222}Rn için 7.4 – 22.2 Bq/lit değerini belirlemiştir. Yeraltı sularında bulunan ^{222}Rn miktarları ise 10-200 Bq/lit arasında değişim göstermektedir (Scott, 1982).

3.2.3. Atmosferdeki Radyoaktivite Kaynakları

Uzaktan atmosfere gelen ve çoğu yüksek enerjili protonlardan oluşan kozmik ışınlar, atmosferdeki bazı elementlerle reaksiyona girerek onları yapay yoldan radyoaktif hale getirirler. Bu yolla atmosferde oluşan radyoizotopların başlıcaları ^3H , ^7Be , ^{14}C ve ^{38}Cl 'dir. Bunların dışında, uranyum ve toryum serilerinin bozunma ürünü olan Radon ve Thoron gibi gazlar, toprak ve sulardan atmosfere karışarak solunum yoluyla canlılara geçmekte ve çok önemli sağlık sorunlarına yol açmaktadırlar. Topraktan gaz halinde atmosfere geçen radon miktarı m^2 başına 1344 Bq'dir (Kınacı, 1982).

Uluslararası Radyolojik Koruma Komitesi tarafından ^{222}Ra için verilen eşik değerleri, evlerde 200 Bq/m^3 uranyum madeni bulunan bölgelerde 1500 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. 400 Bq/m^3 lük sınır değerinin akciğer kanseri meydana getirme riski %6'dır (ICRP, 1993).

3.2.4. Bitkilerde Radyoaktivite Kaynakları

Bitkiler kök bölgelerinde bulunan radyoaktif maddeleri az veya çok bünyelerine alırlar. Atmosferde bulunan radyonüklitler ise solunum yoluyla bitkiye geçmektedirler. Toprak ve atmosferde bulunan radyonüklit miktarları arttıkça bitkiye geçen miktarlarda artmaktadır. Nitekim, Papastefanou vd (1999), Çernobil reaktör kazasını izleyen 11 yıllık periyotta toprak ve bitkilerde ^{137}Cs , ^7Be ve ^{40}K ölçümleri yapmışlar, toprakların ortalama 224.4 Bq/kg , bitkilerin ise 399 Bq/kg ^{40}K içerdiğini ve transfer faktörünün 0.73 olduğunu rapor etmişlerdir.

Kovancı ve Kılınç (1977) ise uranyum madeni saptanan topraklar üzerinde yetişen bitkilerin, normal tarım alanlarında yetişenlere oranla 2-3 kat daha fazla gross β^- aktivitesi içerdiklerini belirlemişlerdir. Bitkilerde bulunan radyonüklitlerin gıda zinciri yoluyla insan ve hayvanlara geçerek önemli sağlık sorunlarına neden olduklarına kuşku yoktur.

3.3. Ağır Metaller

Ağır metal tanımı, fiziksel özellikler açısından yoğunluğu 5 gr/cm³'ten daha yüksek olan metaller için kullanılır. Bu gruba kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, civa ve çinko olmak üzere 60'tan fazla metal dâhildir. Bu elementler doğaları gereği yer kürede genellikle karbonat, sülfat, sülfür halinde stabil bileşik olarak veya silikatlar içinde hapis olarak bulunurlar.

Ağır metaller, su kaynaklarına, endüstriyel atıklar veya asit yağmurlarının toprağı ve dolayısı ile bileşiminde bulunan ağır metalleri çözmesi ve çözünen ağır metallerin ırmak, göl ve yer altı sularına ulaşmasıyla geçerler. Sulara taşınan ağır metaller aşırı derecede seyrelirler ve kısmen karbonat, sülfat, sülfür olarak katı bileşik oluşturarak su tabanına çöker ve bu bölgede zenginleşirler. Sediment tabakasının adsorpsiyon kapasitesi sınırlı olduğundan dolayı da suların ağır metal konsantrasyonu sürekli olarak yükselir (Kahvecioğlu, 2010).

Yüzeysel suların tarımsal sulamada kullanımı, yaygın görülen bir uygulamadır. Ancak çevre sağlığı ve toprak verimliliği yönünden potansiyel sorunların meydana gelmesi söz konusudur. Bu problemlerden biri toprağı bulaşan çeşitli ağır metallerin bitkilerde toksik etki oluşturmasıdır (Korukçu vd., 1996).

Suların ve toprakların kirlenmesi tarımsal faaliyetler ve bitkisel üretim üzerine hem kalite hemde verim açısından etkili olmakta, hatta bazı durumlarda bitkisel ve hayvansal ürünlerin kullanım ve tüketimini zararlı sonuçlar nedeniyle imkânsız hale getirmektedir. Bu nedenle tarımsal amaçlı kullanılan sulama sularında farklı ülkelerce ağır metal sınır değerleri belirlenmiştir (Çizelge 3.2.), (Elmacı, 1995).

Çizelge 3.2. Sulama amacıyla kullanılan sularda farklı ülkelerce kabul edilen bazı ağır metal sınır değerleri

Ülkeler	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
FAO	0.010	0.050	0.1	0.20	0.20	5.0	2.0
ABD	0.005	0.200	5.0	0.20	0.50	5.0	5.0
İngiltere	0.020	-	2.0	0.50	0.15	2.0	1.0
Hollanda	0.010	0.200	1.0	0.20	0.20	5.0	2.0
Avustralya	0.010	-	1.0	0.20	0.20	5.0	2.0
Japonya	0.005	-	-	0.02	-	0.1	0.5

Bitkilerde elementler genellikle kuru ağırlık esasına göre ifade edilmektedir. Bitki gelişiminde %10'luk azalmaya yol açan konsantrasyonlar kritik noksanlık düzeyi veya kritik toksiklik düzeyi şeklinde ifade edilmektedir. Çizelge 3.3.'te bazı ağır metallerin değişik konsantrasyonlarda bitkilere etkileri görülmektedir (Brohi vd., 1994).

Çizelge 3.3. Bazı ağır metallerin bitkilerdeki kritik konsantrasyonları (Brohi vd., 1994)

Ağır Metal	Noksanlık	Yeterli	Aşırı veya Toksik
Fe	<50	100-500	>500
Mn	15-25	20-300	300-500
Zn	10-20	27-150	100-400
Cu	2-5	5-10	20-100
Mo	0.03-0.15	0.1-2.0	>100
B	5-30	10-200	50-200

3.4. Ağır Metallerin Çevresel ve Biyolojik Etkileri

Demir: Canlıların yaşamı için gerekli olan demir, doğada miktar olarak en fazla bulunan elementlerden biridir. Topraklarda ortalama %2 demir bulunur (Mengel ve Kirkby, 1987). Her türlü toprakta kullanılan sulama sularının Fe içeriği maksimum 5 ppm olmalıdır (Saatçı vd., 1988). Bitkilerde ise kuru maddede 100 ppm Fe yeterli düzeydedir (Mengel ve Kirkby, 1987).

Demir noksanlığında ortaya çıkan anemi en yaygın hastalıklardandır. Fazlalığında karaciğerde siroz, pankreas hücrelerinin yıkımına bağlı diabet ve derinin bronzlaşması gibi önemli sağlık sorunları ortaya çıkar. Fazla demirin miyokarda birikmesi ile ritim bozuklukları ve sonrasında kalp yetmezliği gelişir. İç salgı bezlerinde demir birikimi endokrin hipo fonksiyonlarına sebep olmaktadır (Sencer, 1983).

Bakır: İnsan sağlığı için gerekli bir element olan bakıra yetişkinlerde günde 2 mg düzeyinde ihtiyaç duyulmaktadır. Kıta içi su kaynaklarının sınıflandırılmasında, I. sınıf sular için 0.02 mg/lt, II. sınıf sular için 0.05 mg/lt ve III. sınıf için 0.2 mg/lt kritik değerler olarak kabul edilir. Topraklarda izinli verilen değer 100 ppm'dir (Yavuz, 1999).

Karaciğerde bakır birikimi siroza, beyin bazal çekirdeklerinde birikimi ise doku tahribine yol açar. Sonuçta ağır nörolojik belirtiler ve şiddetli titremeler görülür. Böbreklerde aminoasitüri'ye neden olur. İlk belirtiler genç-erişkin yaşlarda ortaya çıkar.

Çinko: Tüm canlılar için mutlak gerekli bir elementtir. Günlük gereksinim yetişkinlerde 5 mg'dır. Topraklarda ortalama 50 ppm düzeyinde bulunur (Mortvert, 2000). Sularda 5-15 ppm Zn olması gerektiği bildirilmiştir (Elmacı, 1995). Fazlalığı seyrek olarak görülmektedir. Çok toksik bir element değildir. Aşırı fazlalığında, bulantı, kusma ve ateşle seyreden toksik tablolar tanımlanmıştır (Sencer, 1983).

Kurşun: Atmosfere metal veya bileşik olarak yayıldığında ve her durumda toksik özellik taşıdığından çevresel kirlilik yaratan en önemli ağır metaldir. Endüstriyel atıklardan sonra su, toprak ve bitki ortamlarında geçmekte

ve kemik dokusunda birikerek kurşun zehirlenmesine yol açmaktadır (Kahvecioğlu, 2010). Tarım topraklarında 2-200 ppm Pb bulunabileceği bildirilmiştir (Mengel ve Kirkby, 1987). Sularda ise 0.1 ppm sınır değeri verilmiştir (Elmacı, 1995). Kurşun zehirlenmelerinde, kansızlık, sinir hastalıkları, ensefalopati, hipertansiyon ve ciltte kapanmayan yaralar olmaktadır (Sencer, 1983).

Krom: Vücutta insülin hareketini sağlayarak karbon hidrat, su ve protein metabolizmasını etkileyen krom, her ortamda bulunabilen bir metaldir. Havada $>0.1 \text{ mg/m}^3$, kirlenmemiş sularda 1 mg/lt ve topraklarda 2-60 mg/lt düzeylerinde krom saptanmıştır. Dünya sağlık örgütü (WHO), sularda 0.05 ppm seviyesinin kritik değer olduğunu belirtmektedir (Elmacı, 1995). Toprakta izin verilen miktar 100 ppm, sedimentlerde ise 110 ppm'dir (Persaud vd., 1992).

Manganez: Canlılar için mutlak gerekli bir iz elementtir. Topraklar, 200-3000 ppm arasında değişen miktarda Mn içerirler. Toksisitesi en az olan elementtir. Sulardaki miktarı 0,5 ppm düzeyindedir. TSE ise sular için izin verilen miktarı 0,05 ppm olarak kabul etmiştir. Fazlalığında ruhsal ve Parkinsona benzeyen sinirsel bozukluklar ortaya çıkar (Sencer, 1983).

Nikel: Bilinen bir biyolojik fonksiyonu olmayan nikel, orta derecede toksik etkiye sahip bir ağır metaldir. Organik formu, inorganik formundan daha toksiktir. Deriye tahrip etmesinin yanında kalp-damar sistemine çok zararlı ve kanserojen etkiye sahiptir. Yer kabuğunda ortalama nikel miktarı 45 ppm'dir. Sularda izin verilen nikel konsantrasyonu ise 0,2 mg/lt olarak belirlenmiştir (Kukul, 2007).

Kobalt: Kırmızı kan hücrelerinin üretiminde ve sinir sisteminin düzenli çalışmasında görev yapan B-12 vitamininin yapısında yer alır. Bu nedenle özellikle hayvan beslenmesi yönünden çok önemi bir elementtir. Bitkiler içinde bir iz element olarak kabul edilir. Topraklarda 0,2-31 ppm Co bulunduğu bildirilmiştir (Mengel ve Kirkby, 1987). TSE ve WHO tarafından sularda izin verilen miktar 0.05 ppm olarak belirlenmiştir (Elmacı, 1995). Kobalt fazlalığı, guatr, hipertiroidi ve kalp yetmezliği yapabilir (Sencer, 1983).

Kadmiyum: Önemli enzim fonksiyonlarında çinkonun yerine geçen ve bu fonksiyonları engelleyen bir elementtir. Suda çok kolay çözülür. Bu yüzden doğada yayılım hızı yüksektir. Endüstriyel atıklar ve aşırı fosforlu gübreleme nedeniyle su ve toprak ortamlarına karışan kadmiyum, insan yaşamı için gerekli elementlerden değildir (Yavuz, 1999). Kirliliğin söz konusu olmadığı sularda genellikle 2 µg/lit altında bulunur. Fakat kirlenmiş sularda bu rakam 1000 µg/lit'yi aşmaktadır (Kayhan, 2006). TSE ve WHO sularda 0.01 ppm kadmiyum bulunmasına izin vermektedir. Topraklardaki sınır değeri ise 3 ppm'dir (Elmacı, 1995). İnsan vücuduna fazla kadmiyum alınması, ölümcül osteomalasi, aminoasidüri ve hipertansiyona neden olmaktadır (Sencer, 1983).

Bor: Bor doğada serbest olarak bulunmaz. Bor oksit (B_2O_3) ve Borik asit (H_3BO_3) olarak minerallerin yapısında yada toprak zerreciklerinde adsorbe edilmiş olarak bulunabilir. Serbest borat (BO_3^{-3}) anyonu halinde toprak çözeltisinde mevcuttur. Ülkemizde sulama sularını en çok kirlüten toksik elementlerin başında yer almaktadır. Yer altı sularında 0.01-10 mg/lit bor bulunabilir (Anonymous, 2004). Sulama sularının bor içermesi durumunda bu suların uzun süreli ve kısa süreli kullanımı sonucunda tarım alanlarındaki bitkilerde ortaya çıkabilecek etkileri Çizelge 3.4.'te gösterilmiştir (Kukul, 2007).

Çizelge 3.4. Sulama sularının bor derişimlerine göre sınıflandırılması (ppm)

Element	Uzun süreli sulama	Kısa süreli sulama	Özellikler
Bor (B)	0.75	2.00	Bitki gelişimi için mutlak gereklidir. Ancak, toprakta 1 mg/lit' nin altında olmalıdır. Örneğin turunçgillerde 1 mg/lit düzeyi bile toksisite gösterebilir. Çoğu otsu bitkinin direnci 2-10 mg/lit arasında değişir.

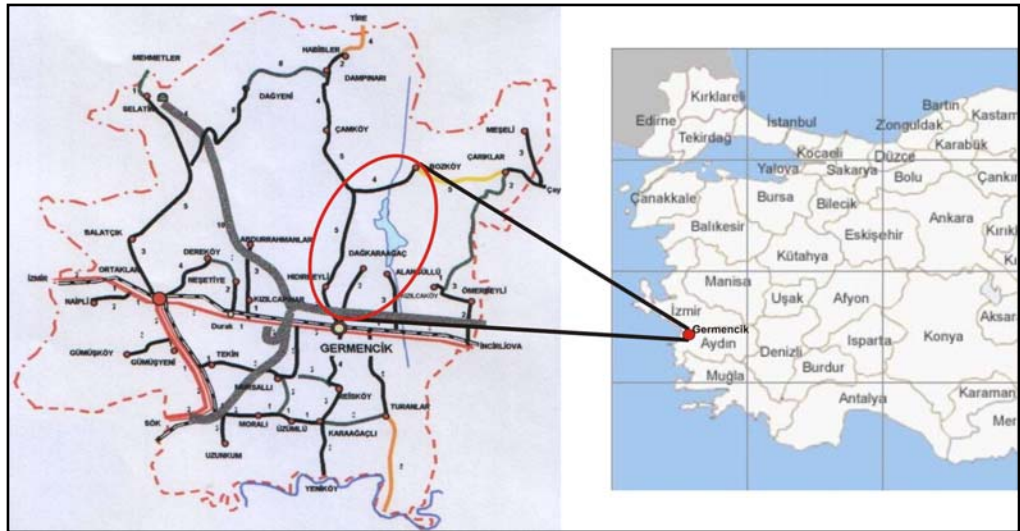
Çeşitli meyve ve sebzelerden günde insan vücuduna alınan B miktarı 10-20 mg'dır. Toksik bir etki yapması için vücutta birikimi 100 mg'ı aşmalıdır (Sencer, 1983). İçme suları için TSE tarafından konulan sınır değeri 0.3 mg/lit, müsaade edilebilir maksimum miktar ise 1 mg/lit'dir (Elmacı, 1995).

4. ARAŞTIRMA YERİ, İKLİMİ VE TOPRAK ÖZELLİKLERİ

4.1. Araştırma Yeri

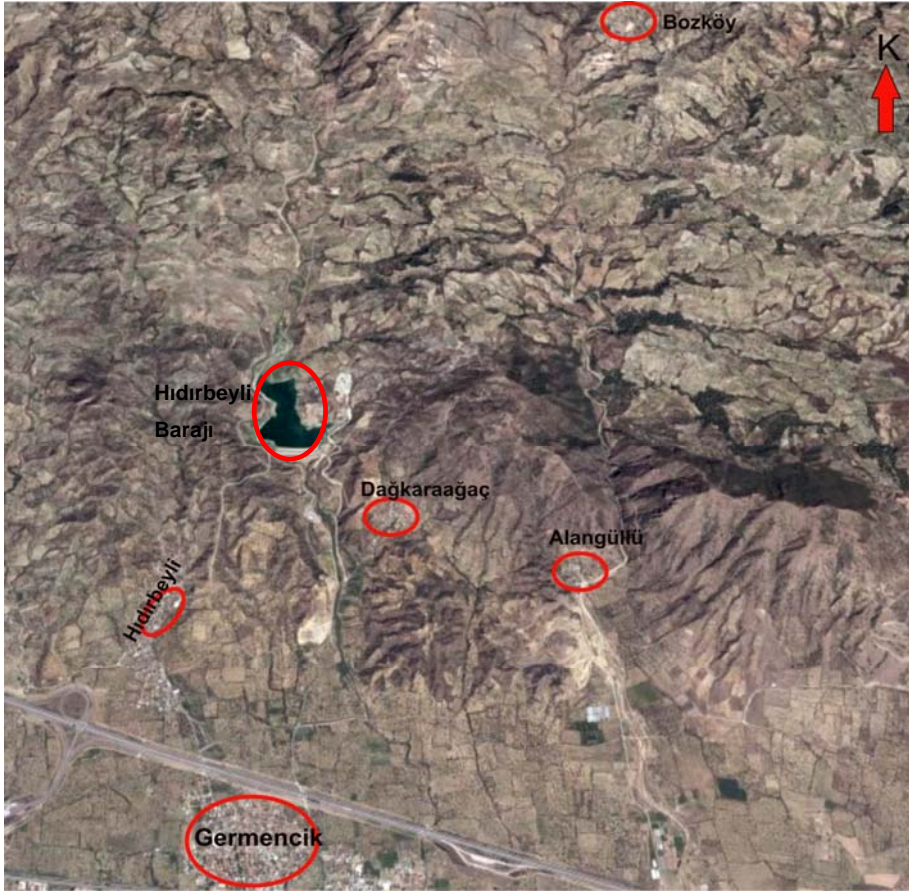
Büyük Menderes Havzası içinde Aşağı Aydın Ovalarının kuzeyinde, çok sayıda fay hattının ve buna bağlı olarak doğal sıcak su kaynaklarının bulunduğu Alangüllü yan havzasını içermektedir. Alangüllü yan havzası, Büyük Menderes havzasına bağlanan en büyük su toplama yüzeyine sahip yan havzalardan birisidir. Çalışma alanını Aydın-Germencik ilçesi ve bu ilçeye bağlı olan Hıdırbeyli, Alangüllü, Dağkaraağaç ve Bozköy kasabaları üçgeninde yer alan araziler oluşturmaktadır (Şekil 4.1).

Aydın ili Germencik ilçesi ve çevresi, Türkiye'nin tarım, sanayi ve dış ticaret ile turizm faaliyetlerinin bir arada bulunduğu, ekonomisi en gelişmiş bölgelerden olan Ege Bölgesi içindedir. Kuzeyde İzmir, Manisa, doğusunda Denizli, güneyinde Muğla ve batısında Ege Denizine açılır. Kuzey ve güneyi dağlık, engebelidir, iki bölüm arasında iki yandan faylarla sınırlanmış ve sonradan alüvyonlarla örtülmüş genç bir çöküntü alanı olan Büyük Menderes ovası yer alır.



Şekil 4.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Araştırma alanı içerisinde Hıdırbeyli, Alangüllü, Dağkaraağaç ve Bozköy kasabaları ile DSİ tarafından 1995 yılında yapılmış olan sulama amaçlı bir baraj bulunmaktadır. Germencik ilçesinden itibaren Bozköy Kasabası yönünde eğimli araziler ile tepe ve dağlık coğrafi şekilli arazileri içeren çalışma alanının yüzölçümü yaklaşık 4000 hektardır (Şekil 4.2). Çalışma alanının tamamına yakın bölümü orta (%6-12) ile dik (%12-20) eğimli araziler oluşturmaktadır (Şekil 4.3). Arazi yüzeyleri, ondüle mikrorölyefe sahiptir. Bu durumdan da anlaşılacağı gibi, araştırma orta ve dik eğime sahip araziler üzerinde yürütülmüştür.



Şekil 4.2. Quickbird uydu görüntüsünde çalışma alanı ve çevresi



Şekil 4.3. Çalışma alanı eğimli arazileri (Orijinal, Mayıs 2007)

Araştırmanın yapıldığı Aydın-Germencik Alangüllü Yan Havzası çok yüksek bir tarım potansiyeline sahiptir. Başta zeytin, narenciye ve incir olmak üzere yoğun meyve ve sebze tarımı yapılmaktadır ve bu ürünler dış satımda da önemli bir yer tutmaktadırlar (Şekil 4.4, 4.5.).



Şekil 4.4. Çalışma alanı mısır ekili araziler (Orijinal, Mayıs 2007)



Şekil 4.5. Çalışma alanı zeytin dikili araziler (Orijinal, Mayıs 2008)

4.2. Araştırma Yöresi İklim Özellikleri

Ege Bölgesinde yer alan Alangüllü Yan Havzası, tipik Akdeniz iklimi özelliğine sahiptir. Yazları genellikle kurak ve sıcak, kışları ise yağışlı ve ılık geçer. Bu bölgede dağların denize dikey olarak uzanmaları nedeniyle denizin etkisi içerilere kadar hissedilmektedir.

Aydın-Germencik'in uzun yıllar ortalaması iklim değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Yağışlı ayların dağılımına bakıldığında en fazla yağışın Aralık-ocak aylarında olduğu görülür. Sahil kesimlerinde 700–900 mm arasında değişen yıllık toplam yağış miktarı dağlık kesimlerde 700-1000mm arasında değişirken Menderes Vadisi boyunca iç kesimlere doğru gidilerek azalır. Bu azalma 500–700 mm ye kadar düşer. Yıllık ortalama yağış Aydın İlinde 667 mm Germencikte ise 796.6 mm dir. Yılın 83 günü yağışlıdır. Yıllık en çok yağış 1019 mm olarak günlük en çok yağış ise 91 mm olarak ölçülmüştür. Yörede sıcaklık ise 8 °C ile 28 °C arasında değişir. Ortalama sıcaklık 17.7 °C dir.

Çizelge 4.1. Germencik'e ilişkin çok yıllık iklim verileri

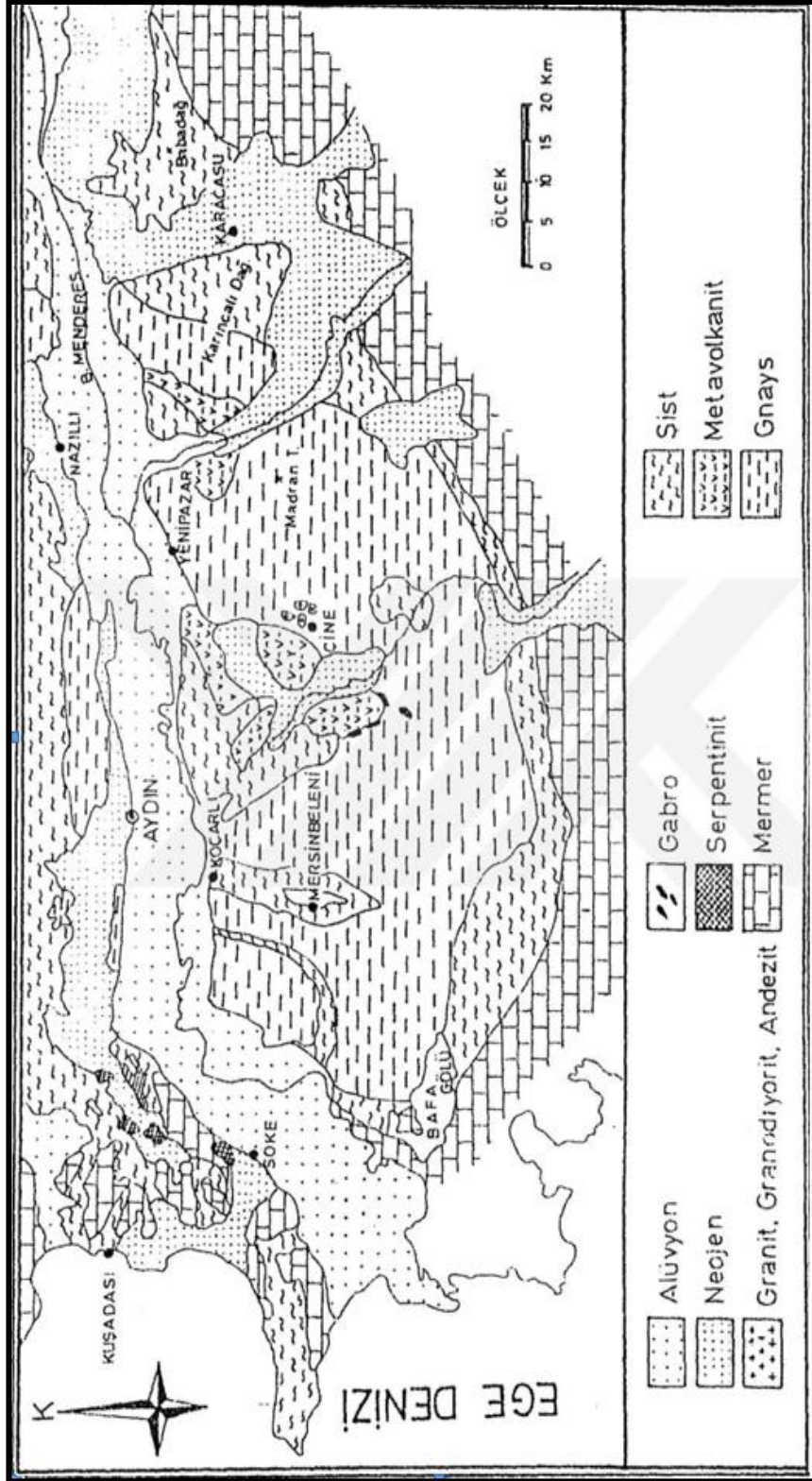
AYLAR		X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	YILLIK
Yağış mm	Toplam	49.6	82.3	92.8	110.5	64.1	58.7	34.6	16.3	2.0	0.9	1.9	14.6	528.3
	Ortalama	18.9	12.1	8.7	6.7	9.2	12.1	17.1	21.5	26.2	28.1	28.6	23.9	17.8
Sıcaklık Hava	Ext.Maks.	25.8	18.8	14.8	12.1	14.3	17.6	23.7	29.1	33.7	36.0	36.8	31.7	24.5
	Ext Min.	14.2	7.6	4.4	3.1	5.4	7.8	11.9	14.5	18.7	21.3	21.7	17.9	12.3
Açık Yüzey Buharlaşması (mm)	Ortalama	68.3	32.9	16.8	5.1	0.2	38.3	83.8	132.0	174.1	195.0	175.2	115.7	86.5
	Toplam	6.2	4.3	4.1	5.1	4.3	5.4	6.4	8.5	9.5	10.2	9.5	8.1	81.6
Günlük Güneşlenme Süresi (sa-da)	Ortalama	7.1	5.0	4.1	4.4	5.1	6.3	7.4	9.1	11.1	11.3	10.9	9.4	7.6
	Nem (%)	69.7	71.0	69.4	76.1	75.9	72.8	65.3	56.2	51.4	51.7	52.6	58.5	70.0
Rüzgâr (m/sec)	Ortalama Hız	1.0	1.2	1.3	1.3	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.8	1.5	1.5

4.3. Araştırma Yöresinin Jeoloji ve Jeomorfolojisi

Jeolojik olarak, çalışma alanının temelini, Paleozoyik yaşlı gnays şist meta kuvarsit ve mermerlerden yapıları olan Menderes Masifi'ne ait kayaçlar oluşturur. Mermerler şistlerle uyumlu ve yer yer geçişli olup, mercek konumdadır. Bölgede genellikle şistlerin alt seviyelerinde bulunan gnayslar ise inceleme alanında şistlerin üzerine bindirme fayı ile yerleşmiştir. Menderes Masifi'ne ait bu metamorfik temel kayaçların üzerine çakıtaşı, kumtaşı, çamurtaşı ve kiltası ardalanmasından oluşan Tersiyer (A. Pliyosen-Ü. Pliyosen) yaşlı kırıntılı çökeller uyumsuzlukla yer alır. Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozu birimleri yöredeki en genç oluşumlar olup, tüm birimleri uyumsuzlukla örterler.

Çalışma alanının jeomorfolojisi incelendiğinde, Menderes masifinin Paleozoyik metamorfikleri (gnays, çeşitli şistler, mermer) temeli kurmaktadır (Şimşek, 1981). Uzun bir stratigrafik boşluktan sonra, karasal Üst Miyosen çökelleri açısız uyumsuzlukla, metamorfikler üzerine gelmektedir. Aşınım yüzeylerinde ayrılmış gnays, kuvarsit, mermer, çakıllarının akarsu ortamında birikmesiyle Üst Miyosen birimleri oluşmuştur. Bu kaba taneli kırıntılar üzerine yine açısız uyumsuzlukla, Pliyosen yaşlı görsel kumtaşı, kiltası, marn çökelleri gelmektedir.

Pliyokuvaternerde, tektoniğin etkinliği sonucu, iri bloklar içeren, yaygın alüvyon yelpazeleri oluşmuştur. Yakın çevredeki, volkanik etkinlikler bu evreye aittir. (Yüksel, 1971; Ercan, 1982). Kuvaternerde, aktüel alüvyon yelpazeleri, yamaç molozları ve travertenler oluşmuştur (Şekil 4.6). Kuvaterner içi tektonik gelişmenin sonucu, çalışma alanında oluşmuş özgün vadiler ve şekiller, aşamalı bir yükselme ve çökmeyi yansıtmaktadırlar. Doğu batı doğrultulu faylanmalar, kuzey-güney yönlü ana vadilerin oluşumu hazırlamıştır. Vadilerin boyuna profillerinin yukarı kesimlerinin yaşlı, aşağı kesimlerinin genç oluşu, yöreye özgü bir biçimleniştir. Vadilerin bu özelliği, genç tektonik gelişmenin doğal bir sonucudur. Büyük Menderes nehrine kuzeyden dik olarak katılan, yan kolları oluşturduğu, kuzey-güney yönlü uzanımlı vadilerin konsekan, fakat ikinci ve üçüncü dereceden, doğu batı yönlü vadiler, graben fayların empoze ettiği, sübsekan vadilerdir. Tektonik gençleşme ile asılı vadiler, horstların varıldığı kesimlerde ise, epijenik (sürepoze) yarma vadiler gelişmiştir.



Şekil 4.6. Büyük Menderes Havzasının jeolojik özelliklerini gösteren harita (Kun vd., 1986)

4.4. Araştırma Alanı Aydın İli Germencik İlçesi Jeotermal Alanlarının Jeolojisi ve Hidrojeolojisi

Bölgenin temelinde Menderes Masifi metamorfikleri olarak adlandırılan Paleozoik yaşlı metamorfik birimler oluştururlar. Bunlar alttan üste doğru gnays, mikaşist, mermer, kalkışist ardalanması şeklindedir. Bu temel üzerindeki büyük bir stratigrafik boşluk bilinmektedir. Bu boşluk devresinde Menderes Masifin' deki tektonik gelişim olmuş, aşınma evresinden sonra ise Tersiyer sedimanları çökelmiştir. Khayat (1988) tarafından çalışma alanındaki kaya birimleri su içeriklerine göre Ganys, Şist, Mermer, Çakıltaşı, Kumtaşı, Kıltaşı ile Alüvyon birimleri olmak üzere 5 bölüme ayrılmıştır.

1. Gnays Birimi; Menderes Masifi' nin çekirdeğini oluşturan gnays birimi genel olarak geçirimsiz olmakla birlikte çok fazla çatlaklı olması nedeniyle akifer özelliği taşımaktadır. Gnays birimdeki suların karakterinin oldukça iyi olması ve içme suyu özelliği taşıması nedeniyle bu birimlerden içme suyu temin edilmektedir.

2. Şist Birimi; Çalışma alanında gnayslarla birlikte görülen temel kayalarındandır. Geçirimsiz kaya özelliği taşımaktadırlar. Ancak eklemli ve çatlaklı olan şistler eklem ve çatları boyunca su geçirimliliğini sağlarlar.

3. Mermer Birimi; Çalışma alanında Paleozoik birimler içinde hazne kaya özelliği taşımakla birlikte, jeotermal kaynakların da kökenini oluştururlar. Akifer özelliği taşıyan bu birimin geçirimsiz şistlerle olan teması kaynakları belirler. Mermer birimi içerisinde erime çatlakları, mağaralar ve karstik boşluklar görülmektedir.

4. Çakıltaşı, Kumtaşı, Kıltaşı Birimleri; Çalışma alanında Senozoyik çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı birimleriyle temsil edilmiştir. Çakıltaşı birimi gevşek tutturulmuş, ortaç pekleşmiş özelliği ile akifer karakteri taşımaktadır. Kumtaşı, kıltaşı ve siltaşı ile ardalanma göstermesi özelliği ile akifer olma özelliği daha zayıftır. Kıltaşı ise geçirimsiz özelliği ile çakıltaşı ve kumtaşı arasında geçirimsiz örtü kaya durumundadır.

5. Alüvyon; Çalışma alanı içerisinde akifer özelliği taşıyan en önemli birimdir. Sulama sularının büyük bir bölümü alüvyondan temin edilmektedir. DSI' nin alüvyonda açmış olduğu bir çok kuyu vardır. Bunlardan bazılarının debisi 15-35 l/s olduğu görülmektedir.

4.5. Araştırma Yöresi Toprak Özellikleri

Çalışma alanı arazilerinin büyük çoğunluğu regosol topraklar ile kolluvial topraklar üzerinde dağılım göstermektedirler.

Kollüvial topraklar, eğimin fazla olduğu alanlarda yerçekimi veya yüzeysel akımla ve yan derelerin kısa mesafelerden taşıyarak eğimin azalmış olduğu yerlerde depo ettikleri materyallerin meydana getirdiği genç (A)C profilli topraklardır.

Toprak özellikleri daha çok civardaki yüksek arazi topraklarının karakterlerine benzemektedir. Yağışın şiddetine ve eğimin derecesine bağlı olarak çeşitli parça büyüklüklerine sahip katlar ihtiva ederler. Bu katlar aluvial topraklar gibi birbirine paralel olmayıp dağınık yapı gösterirler. Dik yamaçların eteklerinde ve vadi boğazlarında bulunanlar daha ziyade az topraklı kaba taş ve molozları içerirler. Yüzeysel akımının hızı azaldığı oranda parçaların da çapları küçülmekte ve hatta aluviyal toprak parça büyüklüğüne eşit olmaktadır. Böylece doğal eğimin çok azaldığı yerlerde koluvial ve aluviyal topraklar birbirlerine geçişli olarak karışırlar. Çalışma alanı topraklarının çoğu derin ve çoğunlukla orta bünyelidir. İyi ve orta drenaja sahip tuzsuz arazilerde incir, zeytin, sebze ve meyve üretiminde kullanılmaktadır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Çalışma alanını büyük bir bölümünü oluşturan, zeytin dikili kolluvial topraklar
(Orijinal, Mayıs 2007)

Regosol topraklar, bütün karakterlerini diğer oluşum faktörlerinden daha çok esas olarak ana materyalden alan Regosol Büyük Toprak Grubu toprakları (A)C profil oluşumu gösterirler. Bu topraklar kalkerli veya kalkersiz kumullardan oluşan kaba bünyeli veya yumuşak sedimentlerden veya bağımsız sertleşmiş depozitlerden ibarettir. A horizonu esas olarak mineraldir. Zayıf oluşmuş sığ veya derin olup C horizonuna kesin bir geçiş yapmaz ve aynı zamanda taşlılık göstermezler.

Regosoller bütün iklimlerde oluşabilir. Genel kural olarak bu topraklar yüksek geçirgenlik ve düşük su tutma kapasitelerinden dolayı bulunduğu iklim ne olursa olsun fizyografik kurudurlar. Regosoller daha çok kum yığınlarında lösler, volkanik kül ve eğimli buzul birikintileri üzerinde görülür. Ana maddede yumuşak tuf, rüzgar ve su ile harekete maruz genellikle kalkerli, sürüklenmiş yuvarlanmış materyal, marn, kalkerli kil ve tebeşirdir. Araştırma alanında dağlık arazi tipinde çamur akıntısı ana materyaller üzerinde yeralan dik-çok dik eğimli arazileri içeren topraklardır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Kaba bünyeli veya yumuşak sedimentlerden veya bağımsız sertleşmiş depozitlerden oluşum gösteren regosol topraklar (Orijinal, Mayıs 2007)

Alüvial topraklar, araştırma alanında düz, düze yakın (%0-2) eğim içeren su etkisiyle taşınarak oluşturulan düz ova görünümündeki topraklardır. Araştırma alanında alluvial ana materyaller üzerinde oluşum gösteren arazilerin çok az bir bölümü devamlı veya yılı belli dönemlerinde su etkisi altında olan ıslak topraklardır. Basit drenaj yöntemleri ile çayır, suyu seven ağaç cinsleri veya yem bitkileri yetiştiriciliğinin yapılabileceği topraklardır. Fazla su etkisinde kalmaları halinde uzun süre bataklık konumundadırlar.

Çalışma alanı topraklarının çoğu derin ve çoğunlukla orta bünyelidir. İyi ve orta drenaja sahip tuzsuz arazilerde incir, zeytin, sebze ve meyve üretiminde kullanılmaktadır (Şekil 4.9, 4.10).



Şekil 4.9. Araştırma alanında yeralan yüksek tarımsal potansiyele sahip alluvial topraklar
(Orijinal, Mayıs 2007)



Şekil 4.10. Araştırma alanında yer alan ekili ve dikili tarım yapılan üretken alluvial topraklar
(Orijinal, Mayıs 2007)

Tuzlu alkali topraklar ise buharlaşmanın çok olduğu arid veya subhümid iklimlerde yetersiz drenaja sahip yerlerde oluşur. Bu topraklarda tuz birikimi halen devam edebileceği gibi eski zamanlarda da ait olabilir. Tuzlu (Solonçak) topraklar, Na, Ca, Mg, K, Cl⁻, SO₄⁻, CO₃ ve HCO₃⁻ tuzlarını çok fazla miktarda

içerebilirler. Saturasyon ekstraktı elektriki kondaktivite (EC) değeri 4 mmhos/cm'den büyüktür. pH değeri 8.4.'den düşüktür. Değişebilir sodyum yüzdesi %15'den düşüktür. Bu toprakların yüzeyinde ince, gri veya beyaz renkte tuz kabuğu bulunur. Üst toprak tabakası tuzlu, ince granüler yapıda ve organik maddece fakirdir. Alt toprak tabakası tuzlu, gri renkli redüksiyon lekelerine sahiptir. Alt toprak tabakasında toprak stürüktürü yapısız, zayıf granüler, zayıf prizma veya blok yapıda olabilir.

Çalışma alanında yer alan doğal kaynak çıkışlarının bulunduğu arazilerde tuzlu taban suyu yüzey altından kapillarite ile yüzeye çıkmaktadır. Yaz aylarında hızlı buharlaşmaya bağlı olarak yüzeyde tuz kabukları oluşmaktadır. Bu arazilerde tuz seven (halofit) ot ve çalılar doğal bitki örtüsü olarak görülmektedir (Şekil 4.11, 4.12).



Şekil 4.11. Çalışma alanında sıcak su çıkışlarında yer alan toprak yüzeyinde tuz kristalleri oluşmuş araziler (Orijinal, Haziran 2007).



Şekil 4.12. Çalışma alanı sıcak su çıkışlarının bulunduğu arazi üzerinde yer alan halofit bitkiler (Orijinal, Temmuz 2007).

Araştırma alanında bu toprak grupları dışında bulunan toprak gruplarına ek olarak; kireçsiz kahverengi topraklar, kırmızı kahverengi akdeniz toprakları, kahverengi orman toprakları, ırmak taşkın yataklarını ve kireçsiz kahverengi orman topraklarını verebiliriz.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Materyal

Araştırma materyalini, tarım, sanayi ve turizm yönünden önemli bir bölge olan 4000 hektarlık Aydın-Germencik Alangüllü Havzasından 2 yıl (2007–2008) süreyle alınan toplam 74 toprak, 20 sediment, 94 su ve 78 bitki örneği oluşturmaktadır.

Toprak örnekleri, jeotermal sularla sulanan tarım alanlarından ve termal suların etkisi altında olan farklı uzaklıktaki arazilerden alınmıştır ve örnekleme termal suların en fazla etkili olduğu A horizonundan (0-30 cm derinlikten) alınmasına özen gösterilmiştir. Bitki örnekleri, toprakların alındığı araziler üzerinde yetişen bitkilerden örnek alma yöntemlerine uygun olarak toplanmıştır. Su ve sediment örnekleri ise havzadaki termal kaynaklardan, termal kaynakların karıştığı akarsu ve derelerden, Alangüllü yan havzasının yüzey akış sularının toplanarak depolandığı Hıdırbeyli barajından ve baraj suyunu dağıtan ana kanal ve yan kanaletlerden sağlanmıştır.

Saksı denemesinde kullanılan kumlu tın, milli tın ve kil tekstürlü topraklar, termal kaynak kapsamayan Küçük Menderes ovasından alınmıştır. Termal sulardan kaynaklanan kirliliği belirlemek için test bitkisi olarak Marul (*Lactuca Sativa* L.) ve Isırgan (*Urtica Diocia* L.) yetiştirilmiştir.

Araştırma örneklerinin alındığı yerler, ayrıntılı olarak Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Arazi Çalışmalarında Alınan Su, Toprak, Sediment ve Bitki Örneklerinin Dağılımı

Örnek No	Alındığı Yer	Toprak	Su	Sediment	Bitki
1	Alangüllü Termal Tesis Kaynağı		X	X	
2	Alangüllü Termal Tesis-Roma Hamamı Kaynağı		X		
3	Termal Kaynağın Boşaldığı Dere Yatağı		X	X	
4	Alangüllü Termal Tesis Kollektör Çıkışı		X		
5	Bozköy Termal Sularının Boşalım Gösterdiği Dere Yatağı		X	X	
6	Bozköy Termal Sularının Boşalım Gösterdiği Yan Dere Yatağı		X	X	
7	Bozköy Termal Sularının Boşalım Gösterdiği Yan Dere Yatağının Yanındaki Tarla	X		X	X
8	Alangüllü-Bozköy-Çamköy Yol Kavşağındaki Termal Kaynak	X	X	X	X
9	Çamköy-Bozköy Yol Ayrımı Dere Yatağı		X		
10	Çamur Ilıcası Mevkii Aşağı Termal Kaynak ve Çevresindeki Tarım Arazileri	X	X	X	X
11	Çamur Ilıcası Mevkii Yukarı Termal Kaynak ve Çevresindeki Tarım Arazileri	X	X		
12	Göçenli Tepesi Mevkiisi Hıdırbeyli Deresi Köprü Altı		X	X	
13	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Arazileri	X	X		X
14	Hıdırbeyli Sulama Barajı		X		
15	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X	X		
16	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X	X		
17	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X	X		
18	Çarıklar-Meşeli Köyü Bölgesi	X	X		X
19	Alangüllü MTA Kuyusu	X	X	X	X
20	Alangüllü Termal Tesisleri Sulama Suyu		X		

Çizelge 5.1. Devamı

Örnek No	Alındığı Yer	Toprak	Su	Sediment	Bitki
21	Baraj Çıkışı Sulama Kanalı		X		
22	Baraj Suyu İle Sulanan Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X	X		X
23	Baraj Suyu İle Sulanan Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X	X		
24	Alangüllü Köyü Tarım Arazileri	X	X		X
25	Alangüllü Köyü Tarım Arazileri	X	X		X
26	Alangüllü Köyü Tarım Arazileri	X	X		X
27	Alangüllü Köyü Tarım Arazileri	X	X		X
28	Çamur Ilıcası Mevkii Tuzlu Araziler	X			
29	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Arazileri	X			X
30	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Arazileri	X			X
31	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Arazileri	X			X
32	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Arazileri	X			X
33	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Arazileri	X			X
34	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Arazileri	X			X
35	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X			X
36	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X			X

Çizelge 5.1. Devamı

Örnek No	Alındığı Yer	Toprak	Su	Sediment	Bitki
37	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X			X
38	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X			X
39	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X			
40	Hıdırbeyli MTA Kuyusu			X	
41	Baraj Suyu İle Sulanan Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X			X
42	Baraj Suyu İle Sulanan Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X			X
43	Baraj Suyu İle Sulanan Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X			X
44	Baraj Suyu İle Sulanan Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X			X
45	Baraj Suyu İle Sulanan Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X			X
46	Germencik İlçesi Mesudiye Mahallesi Tarım Arazileri	X			
47	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Dağkaraağaç Köyü Tarım Arazileri	X			X
48	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Dağkaraağaç Köyü Tarım Arazileri	X			
49	Termal Kaynak Etkisi Altındaki Hıdırbeyli Köyü Tarım Arazileri	X			

5.2. Yöntem

Araştırma sürecinde araştırma akış düzenine göre farklı birçok yöntem kullanılmıştır. Jeotermal kaynakların direkt veya dolaylı olarak etkilediği su kaynakları, toprak ve bitkilerde örnekleme yapılmıştır. Toprak, bitki ve sediment örnekleme yıllık, su örnekleme ise yaz dönemi (temmuz-ağustos) ve kış dönemi (mart-nisan) olmak üzere iki yıl içinde dört dönem şeklinde planlanarak yapılmıştır. Su örnekleme dört dönem olarak yapılması ile jeotermal kaynakların fiziksel, kimyasal ve radyometrik özelliklerinin mevsimsel değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Alınan toprak, bitki, su ve sediment örneklerinin tümünde fiziksel kimyasal özellikler saptanmış ve radyometrik yöntemler kullanılarak ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{222}Rn (Radon gazı) ölçümleri yapılmıştır.

Bunun yanında, jeotermal su bulunmayan Küçük Menderes ovasından alınan kumlu tın, milli tın ve kil tekstürlü topraklar ve kontrol olarak perlit kullanılarak model bir saksı denemesi kurulmuştur. Test bitkisi olarak Marul (*Lactuca Sativa L.*) ve Isırgan (*Urtica Diocia L.*) yetiştirilmiştir. Alangüllü yan havzası termal suları ile sulama yapılan denemede kirliliğin bitki gelişimi üzerine etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

5.2.1. Örneklerin Analize Hazırlanmasında Uygulanan Yöntemler

Toprak ve sediment örnekleri 2 kg'lık naylon torbalar içinde laboratuara getirildi. Laboratuar koşullarında hava kurusu hale getirilerek tahta tokmakla dövüldü ve 2 mm'lik elekten geçirilerek analize hazırlandı (Soil Survey Staff, 1951; Jackson, 1958).

Su örnekleri, önceden saf su ile yıkanan ve örnek alınan su ile 2 kez çalkalanan 5 ve 25 lt'lik polietilen bidonlar içerisinde laboratuara getirildi. Buzdolabında saklanan örneklerden iz element ve ağır metal ayrılanlara HCl ve HNO₃ ilave edilerek pH=2'ye düşürüldü (Saatçı vd., 1988). Örnekler, analizler boyunca karanlık bir ortamda saklandı.

Termal kaynakların çevresinde bulunan ya da termal sularla sulanan arazilerden alınan tek yıllık ve çok yıllık bitki örnekleri laboratuarda saf su ile yıkanıp kurulandı, 65 °C'de kurutulduktan sonra mikro değirmende öğütülerek analize hazır hale getirildi (Kacar, 1995).

Toprak ve sediment örneklerinin analizinde uygulanan yöntemler;

Toprak Reaksiyonu (pH): Saf su ile doygun hale getirilen örneklerde pH, cam ve kalomel elektrodlu pH-metre ile ölçüldü (Jackson, 1967).

Suda Çözünebilir Toplam Tuz: Saf su ile doygun hale getirilen örneklerin ohm cinsinden direnci Backman geçirgenlik aleti kullanılarak saptandı ve toplam tuz ilgili grafikten bulundu (Soil Survey Staff, 1951).

Kireç (CaCO₃): Scheibler kalsimetresi yardımıyla volumetrik CO₂ çıkışından yararlanarak hesap yoluyla belirlendi (Schlichting ve Blume, 1966).

Organik Madde: Schlichting ve Blume (1966) tarafından verilen yöntemle % olarak tayin edildi.

Bünye: Hidrometre yöntemiyle bulunan kum, mil ve kil yüzdelerinin bünye üçgenine uygulanmasıyla saptandı (Black, 1965).

Ağır Metaller (Fe, Zn, Mn, Cu, Cd, Co, Cr, Ni, Pb): Kral suyu (HNO₃ + 3 HCl) ile ekstraksiyon yöntemine göre Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresinde tayin edildi (Slawin, 1955; Kick ve ark., 1980).

5.2.2. Su Örneklerinin Analizinde Uygulanan Yöntemler

Su örneklerinde buharlaşma kalıntısı, 110 °C'de buharlaştırılarak ve filtrasyon sonucu hesaplanarak, pH, cam elektrodlu pH-metre kullanılarak, Elektriksel geçirgenlik ise kondüktometre cihazı ile belirlendi. Na ve K flamefotometrik, Ca + Mg 0.01 N EDTA yöntemiyle ölçüldü. Cl⁻ ayarlı 0.05 N AgNO₃ çözeltisiyle titre edilerek saptandı (Anonim, 1954). SO₄⁻², BaCl₂ ile çöktürülerek gravimetrik yolla, CO₃⁻ ve HCO₃⁻ ise fenolftaleyn ve metil oranj indikatörleri varlığında 0.1 N HCl çözeltisiyle titre edilerek tayin edildi (Tuncay, 1994). Bor analizinde Azometin-H Yöntemi kullanıldı (Wolf, 1971). SAR ve RSC

özel formülleriyle hesaplandı. Suların kalite bakımından sınıflandırılması, ABD Riverside tuzluluk laboratuvarı özel grafik sistemine göre yapıldı (Anonim, 1954).

Bazı iz elementler ve ağır metallerin (Fe, Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Cr, Cd ve Pb) tayini için su örnekleri buharlaştırılarak 10 misli deriştirildi. Derişik örneklerdeki elementler A.A.S kullanılarak analiz edildi (Parker, 1972).

5.2.3. Bitki Örneklerinin Analizinde Uygulanan Yöntemler

Ögütülen bitki örneklerinden 5'er gr tartıldı. 500–550 °C'de kül haline getirilen bitki örnekleri 2 N HCl ile ekstre edildi. Elde edilen süzük, Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresinde okunarak bitkilerin Fe, Zn, Mn, Cu, Cd, Co, Cr, Ni ,Pb ve B içerikleri belirlendi (Slawin, 1955; Isaac ve Kerber, 1969; FAO 1967; Kacar, 1984; Wolf, 1971).

5.2.4. Sera Denemesi Yöntemi

Termal sularla sulanan bitkilerde oluşan radyonüklit ve ağır metal kirliliğini belirlemek amacıyla bir sera denemesi düzenlendi. Termal kaynak kapsamayan Küçük Menderes ovasından farklı bünyeli (Kumlu Tun, Milli Tın ve Kil) üç toprak örneği alındı. 5 kg kapasiteli plastik saksılara 4.5 kg toprak 0.5 kg perlit karıştırılarak 4 tekerrürlü olarak saksı denemesi kuruldu. Kontrol olarak sadece Perlit kullanıldı. Isırgan ve Marul tohumu ekilen saksılara tarla kapasitesinin %60'ı kadar saf su verildi. Çimlenmeden sonra saksılar her hafta tartılarak eksilen miktar kadar termal su ile sulandı. 4 ay yetiştirilen bitkiler hasat edilerek bitkilerde ve topraklarda radyoaktivite ve ağır metal analizleri daha önce belirtilen yöntemlerle yapıldı.

5.2.5. Radyometrik Analizler

Çalışmada, toprak, sediment ve bitki örneklerinde NaI (TI) sintilasyon gama spektroskopisi sistemi kullanılarak ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K belirlenmiştir. Su örneklerinde ise kolektör yöntemine göre radon ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca jeotermal kaynak çıkışlarının olduğu alanlardaki kapalı ortamlarda aylık ^{222}Rn ölçümleri yapılmıştır.

Toprak ve sediment örnekleri, araziden alındıktan sonra kurutuldu ve öğütüldü. 100 gr ağırlığında tartıldı. 57 mm çapında ve 44 mm yüksekliğindeki plastik kaplara yerleştirildi. Oluşan radon gazının kutu içerisinden çıkışını engellemek için kutu kapakları yapıştırıcı ile sıkıca yapıştırıldı. Örneklerin zamansal dengeye gelmesi amacıyla örnekler en az 30 gün bekletildi. Örneklerin 7200 sn. sayım süresince gama sayımları yapıldıktan sonra net sayım değerleri belirlendi. Aşağıda belirtilen formüllerde yerine koyularak eTh^{232} , eU^{232} ve $\%K^{40}$ konsantrasyonları hesaplandı.

Bitki örnekleri ise araziden alındıktan sonra laboratuarda saf su ile yıkanıp kurulandı, $65^{\circ}C$ 'de kurutuldu ve tartımları alındı. Daha sonrada sıcaklığı en fazla $500^{\circ}C$ olacak şekilde ayarlanan kül fırınında kül haline getirildi. İçeriğinde radyoaktivite bulunmadığı daha önceden belirlenen nişasta ile karıştırılarak homojen hale getirildi. 57 mm çapında ve 44 mm yüksekliğindeki plastik kaplara yerleştirildi. Toprak ve sediment örneklerinde olduğu gibi sayımları alınarak eTh^{232} , eU^{232} ve $\%K^{40}$ konsantrasyonları belirlendi.

5.2.5.1. NaI(Tl) Sintilasyon Gama Spektroskopisi

Herhangi bir jeolojik örnek matrisi içinde genelde U, Th, K elementleri değişik konsantrasyonlarda ve bir arada bulunurlar. NaI (Tl) sintilasyon dedektörlerinin sınırlı ayırma gücü nedeniyle, bu primordial radyonüklitler için seçilen gama enerjileri (2.6 MeV, 1.76 MeV, 1.46 MeV) sintilasyon gama spektroskopisiyle yapılan ölçümlerde konsantrasyon hesabında doğrudan kullanılamazlar. Böyle bir örneğin sintilasyon gama spektrumunda, bu radyonüklitlerin birbirlerine olan katkılarının uygun faktörlerle çıkartılması gerekmektedir. Bu katkı oranlarını geometriye ve spektrometrenin çeşitli ayarlarına bağlı olarak veren **Sıyırma (Stripping) Oranlarının** ve net sayımlardan K(%), eU (ppm), eTh (ppm) olarak konsantrasyona geçmeyi sağlayan **Duyarlılık (Sensitivite) Faktörleri'nin** nasıl saptanacağına ilişkin yöntem, ilgili literatürlerde (Yener ve Yaprak, 1988; Yaprak, 1995) geniş şekilde verildiği için bu bölümde detaylandırılmamıştır.

Çalışmada kullanılan NaI (Tl) sintilasyon gama spektrometresi, Tennellec 3"x 3" NaI(Tl) dedektör ilgili elektronik ekipman ve PC bazlı çok kanallı

analizörden oluşmaktadır. Dedektör sistemi 50 mm kurşun ile zırhlanmıştır. Klasik olarak nitelendirilen bu yöntemde, örnek içindeki U, Th ve K aktivite konsantrasyonlarına aşağıdaki eşitliklerle geçilmektedir.

$$^{232}\text{eTh (Bqkg}^{-1}) = \frac{C(\text{Th})}{K_1} \alpha$$

$$^{238}\text{eU (Bqkg}^{-1}) = \frac{1}{K_2} [C(\text{U}) - \alpha C(\text{Th})]$$

$$^{40}\text{K (Bqkg}^{-1}) = \frac{1}{K_3} [C(\text{K}) - \gamma [C(\text{U})] - \alpha C(\text{Th}) - \beta C(\text{Th})]$$

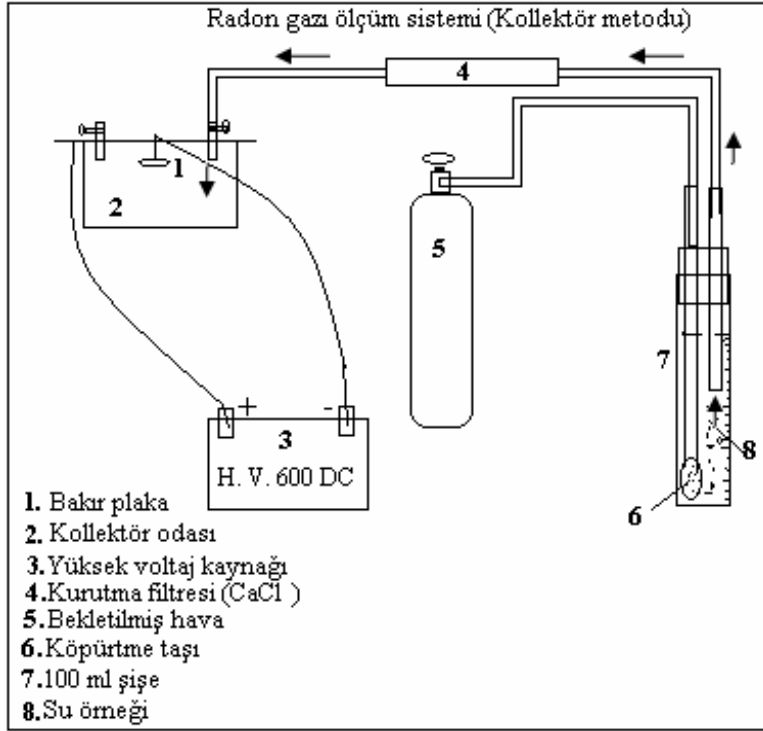
Bu eşitliklerde duyarlılık faktörleri; K_1 , K_2 ve K_3 , birim aktivite konsantrasyonu başına sayım hızı iken α , β ve γ ; spektrum sıyırma oranlarıdır (Şekil 5.2).

Çizelge 5.2. Gama Spektrometre Sisteminin Kalibrasyon Faktörleri

Sıyırma Oranları	$\alpha = 0.75$ $\beta = 0.81$ $\gamma = 1.32$
Duyarlılık Faktörleri	$K_1 = 6.2 \text{ counts/10000s per Bq/kg } ^{232}\text{Th}$ $K_2 = 7.3 \text{ counts/10000s per Bq/kg } ^{238}\text{U}$ $K_3 = 2.4 \text{ counts/10000s per Bq/kg } ^{40}\text{K}$

5.2.5.2. Kolektör yöntemine göre radon ölçümleri

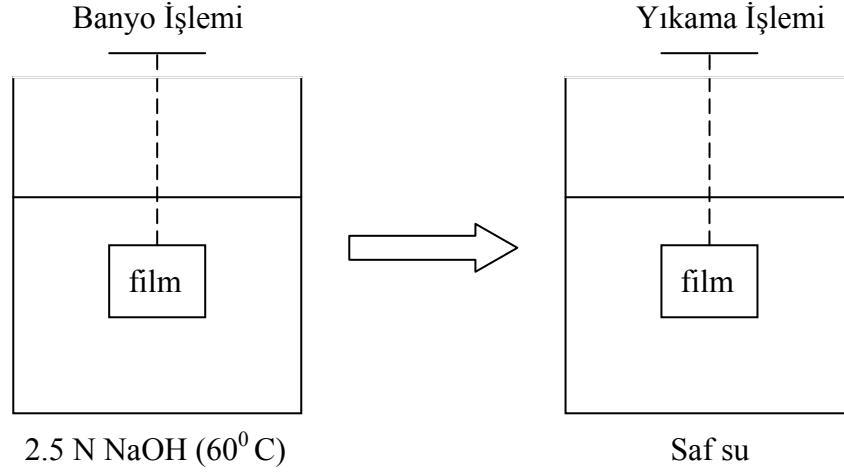
Termal su istasyonlarında örnekleme işlemi suyun çıktığı ana kaynaktan 100 ml'lik şişelere yapılmıştır. Şişedeki su köpürtülerek radon gazı ve ürünleri içinde bakır disk bulunan kolektör odasına aktarılmıştır. Aktarma işlemi sonucunda Şekil 5.1.' de görüldüğü gibi kolektör odasına 600 voltluk bir potansiyel uygulanmıştır. Kolektör odası radon ve ürünleri arasında dengenin oluşması için 4 saat kadar bekletilmiş ve bu süre sonunda bakır disk üzerine biriken radon ve ürünleri ZnS (Ag) dedektöründe sayılmıştır. Sulardaki radon miktarını belirlenmesi için verim grafiği (Toplam verim = ZnS (Ag) + kolektör yöntemi) kullanılmaktadır ve sonuçlar pCi/l olarak verilmiştir.



Şekil 5.1. Radon ölçümlerinde kullanılan kollektör metodu sistemi (Kumru, 1992)

5.2.5.3. İz kazıma film detektörler ile radon ölçümleri:

Bir ile iki cm^2 'lik kesilen iz kazıma detektör (LR-115) filmleri ölçüm istasyonlarda radon gazı çıkışını belirlemek için jeotermal kaynak, havuz, banyo ve sauna odalarına sudan etkilenmeyecek şekilde asılırlar. Bu alanlara yerleştirilen filmler belli periyotlarla bekletildikten sonra alınırlar. Bu süreç sonunda laboratuvar ortamına getirilen dedektörler saf su ile yıkanır ve radon izlerinin mikroskop altında belirlenebilmesi için 2.5 N NaOH ile 60°C 'de 2 saat süre ile banyo edilirler. Daha sonra çözeltiden çıkarılarak tekrar saf su ile yıkama işlemine tabii tutulurlar. İz kazıma işlemi (kimyasal banyo işlemi) sonrasında dedektörler üzerindeki birim alandaki alfa iz sayısı 100X büyütmeli dijital mikroskop altında analiz edilmektedir. Daha sonra bırakıldıkları süre bazında birim alandaki iz sayıları ($\text{iz} / \text{cm}^2 / \text{ay}^1$) kalibrasyon faktörü kullanılarak aktivite (Bq/m^3) değerlerine dönüştürülmektedir (Saç ve ark., 2004; Kumru ve ark., 2005).



Şekil 5.2. Film banyo ve yıkama işlemi

5.2.6. İstatistiksel Analiz Yöntemleri

Toprak, bitki su ve sediment örneklerine ait verilerin tanımlayıcı istatistikleri SPSS 17.0 programı ile yapılmıştır. Saksı denemesinde ise bünye, bitki ve tekkerür ile bunların karşılıklı etkileşimlerine (interaksiyon) göre varyans analizleri 3 faktörlü tesadüf parselleri deneme desenine göre TARİST programı ile yapılmıştır.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

4000 hektarlık Alangüllü Yan Havzasını temsilen, 37 noktada 2 yıl 0–30 cm’de 74 toprak, 20 sediment, 78 bitki ve 94 su örneği alınmıştır. Toprak, bitki ve sediment örneklerinde, fiziksel ve kimyasal analizler, bazı ağır metal ve iz element tayinleri ile radyometrik analizler yapılmıştır. Su örnekleri iki yıl ve dört dönemde alınmıştır. 94 su örneğinde kimyasal analizler, ağır metal tayinleri ve ^{226}Ra ölçümleri yapılmıştır. Toprak, bitki, sediment, su örnekleri ve jeotermal alanlarda yapılan radon gazı ölçümlerine ait elde edilen analiz bulguları, yorumları, değerlendirmeleri ve çevreye olan etkileri ayrı bölümler şeklinde verilmiştir.

6.1. Toprak Örneklerinin Analiz Sonuçları

6.1.1. Toprak Örneklerinin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine İlişkin Sonuçlar

Jeotermal kaynakların direkt olarak etkilediği tarım alanları ile jeotermal suların sularının karıştığı dere ve yanderelerin sularının biriktirildiği Hıdırbeyli barajından bırakılan sularla sulama yapılan arazilerden 2007 ve 2008 yılında toplam 74 adet toprak örneği alınmıştır (Şekil 6.1., 6.2., 6.3.).



Şekil 6.1. Jeotermal kaynak sularının dere ve yanderelerle taşınarak biriktiği Hıdırbeyli Sulama göleti (Orijinal, Haziran 2008)



Şekil 6.2. Jeotermal suların yoğun olarak karıştığı dere sularından yapılan sulama (Orijinal, Haziran 2007)



Şekil 6.3. Jeotermal suların yoğun olarak karıştığı dere sularının motopomp ile çekilerek yüksek alanlardaki zeytinliklerin sulanması (Orijinal, Haziran 2007)

Çizelge 6.1. 2007 yılı arazi çalışmalarında alınan toprak örnekleri fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Örnek No	pH	TUZ (%)	CaCO ₃ (%)	OM (%)	Kum (%)	Mil (%)	Kil (%)	BUNYE
7	7.58	0.20	4.85	5.12	56.08	24.72	19.20	Kumlu Tın
8	9.53	1.20	32.28	2.77	56.08	31.28	12.64	Kumlu Tın
10	8.05	0.40	4.77	2.04	52.08	27.44	20.48	Kumlu Killi Tın
11	8.35	1.38	12.8	6.03	52.08	33.44	14.48	Kumlu Tın
13	7.47	0.10	0.78	5.84	68.08	22.72	9.20	Kumlu Tın
15	7.59	0.10	2.71	2.69	30.08	42.72	27.20	Killi Tın
16	7.94	0.20	1.67	1.91	60.08	30.00	9.92	Kumlu Tın
17	7.81	0.13	1.32	3.28	60,08	28.72	11,20	Kumlu Tın
18	7.77	0.14	1.09	5.72	58.08	24.72	17,20	Kumlu Tın
19	7.43	0.16	0.85	3.85	66.80	22.00	11.20	Kumlu Tın
22	7.77	0.14	5.55	2.85	64.80	25.28	9.92	Kumlu Tın
23	7.75	0.14	7.95	3.15	70.80	19,28	9.92	Kumlu Tın
24	7.67	0.14	4.07	2.25	58.08	25.28	16.64	Kumlu Tın
25	7.65	0.15	2.45	2.05	56.08	31.28	12.64	Kumlu Tın
26	7.70	0.20	4.22	2.04	58.08	24.72	17.20	Kumlu Tın
27	8.05	0.70	3.75	0.35	60.80	27.28	11.92	Kumlu Tın
28	8.45	1.45	12.8	6.03	52.08	33.44	14.48	Kumlu Tın
29	7.38	0.10	0.66	2.69	60.80	24.00	15.20	Kumlu Tın
30	7.47	0.10	0.78	5.84	68.08	22.72	9.20	Kumlu Tın
31	7.70	0.08	0.97	1.78	58.08	26.00	15.92	Kumlu Tın
32	7.63	0.25	0.62	1.45	72.08	18.72	9.20	Kumlu Tın
33	7.46	0.10	0.58	6.98	72.08	16.72	11.20	Kumlu Tın
34	8.06	0.40	5.08	1.71	62.08	23,44	14.48	Kumlu Tın
35	6.86	0.15	0.97	4.29	78.08	14.72	7.20	Tınlı kum
36	6.84	0.10	0.66	2.84	56.08	28.72	15.20	Kumlu Tın
37	7.27	0.15	1.43	1.22	62.80	24.00	13.20	Kumlu Tın
38	7.85	0.16	3.88	3.72	48.08	29.44	22.48	Tın
39	7.74	0.19	3.88	1.45	32.08	40.00	27.92	Killi Tın
41	7.71	0.05	3.87	0.91	58.08	24.72	17.20	Kumlu Tın

Çizelge 6.1. Devamı

Örnek No	pH	TUZ (%)	CaCO ₃ (%)	OM (%)	Kum (%)	Mil (%)	Kil (%)	BUNYE
42	7.74	0.07	9.02	2.77	64.08	23.28	12.64	Kumlu Tın
43	8.09	0.16	6.87	0.57	78.08	9.28	12.64	Kumlu Tın
44	7.60	0.05	2.73	2.56	58.08	27.28	14.64	Kumlu Tın
45	8.02	0.40	5.96	2.17	60.08	27.28	12.64	Kumlu Tın
46	7.90	0.68	8.05	3.49	48.08	32.00	19.92	Tın
47	7.93	0.70	2.58	3.45	60.80	24.00	15.20	Kumlu Tın
48	8.00	0.65	1.78	1.88	48.08	32.00	19.92	Tın
49	8.05	1.03	2.02	2.09	48.08	32.00	19.92	Tın

Çizelge 6.2. 2008 yılı arazi çalışmalarında alınan toprak örnekleri fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Örnek No	pH	TUZ (%)	CaCO ₃ (%)	OM (%)	Kum (%)	Mil (%)	Kil (%)	BUNYE
7	8.53	0.65	7.47	0.72	56.08	24.72	19.20	Kumlu Tın
8	9.43	1.20	11.86	4.14	56.08	31.28	12.64	Kumlu Tın
10	9.02	1.45	16.70	2.53	6.95	48.37	44.68	Milli Kil
11	10.23	1.50	8.86	0.60	32.80	45.28	21.92	Tın
13	7.89	0.40	4.51	1.24	48.80	33.28	17.92	Tın
15	7.63	0.08	2.55	2.49	36.80	35.28	27.92	Killi Tın
16	8.04	0.90	1.70	1.85	56.08	28.72	15.20	Kumlu Tın
17	7.98	0.15	1.38	3.06	60.08	30.00	9.92	Kumlu Tın
18	7.80	0.15	1.03	4.75	60.08	27.28	12.64	Kumlu Tın
19	8.20	1.05	0.88	2.69	72.08	16.72	11.20	Kumlu Tın
22	7.90	0.69	4.88	2.80	62.80	25.28	11.92	Kumlu Tın
23	7.89	0.72	3.72	1.75	56.08	31.28	12.64	Kumlu Tın
24	7.95	0.15	2.31	1.91	70.80	19.28	9.92	Kumlu Tın
25	7.91	0.65	2.77	1.55	64.80	25.28	9.92	Kumlu Tın
26	7.88	0.40	2.08	1.91	70.80	19.28	9.92	Kumlu Tın
27	8.02	0.45	3.89	0.47	52.80	33.28	13.92	Kumlu Tın

Çizelge 6.2. Devamı

Örnek No	pH	TUZ (%)	CaCO ₃ (%)	OM (%)	Kum (%)	Mil (%)	Kil (%)	BUNYE
28	10.19	1.75	14.29	4.09	48.80	27.28	23.92	Kumlu Killi Tın
29	8.08	0.40	2.46	2.17	78.08	9.28	12.64	Kumlu Tın
30	7.54	0.15	3.47	3.76	58.08	27.28	14.64	Kumlu Tın
31	7.74	0.15	4.24	1.98	72.08	17.28	10.64	Kumlu Tın
32	7.81	0.40	0.70	1.55	64.08	22.56	13.36	Kumlu Tın
33	7.50	0.10	0.60	4.22	60.80	27.28	11.92	Kumlu Tın
34	8.12	0.10	4.66	1.60	58.08	24.72	17.20	Kumlu Tın
35	8.05	0.40	0.79	3.52	80.08	11.28	8.64	Tınlı kum
36	8.07	0.40	1.00	1.55	58.08	27.28	14.64	Kumlu Tın
37	7.66	0.12	1.33	2.84	64.08	23.28	12.64	Kumlu Tın
38	7.92	0.40	0.66	2.50	44.08	37.28	18.64	Tın
39	7.93	0.68	4.42	2.90	36.80	35.28	27.92	Killi Tın
41	8.15	0.70	4.70	1.14	64.80	25.28	9.92	Kumlu Tın
42	8.04	0.68	6.55	2.07	70.80	19.28	9.92	Kumlu Tın
43	8.12	0.66	6.39	0.57	72.08	17.28	10.64	Kumlu Tın
44	8.18	0.66	2.21	2.56	48.08	33.28	18.64	Tın
45	8.10	0.08	5.80	2.21	52.08	33.44	14.48	Kumlu Tın
46	7.65	0.15	7.90	2.96	48.08	29.44	22.48	Tın
47	7.83	0.08	1.00	3.05	60.80	24.00	15.20	Kumlu Tın
48	8.00	0.07	0.79	1.73	48.08	32.00	19.92	Kumlu Tın
49	7.98	0.67	2.79	2.68	32.80	45.28	21.92	Tın

Çizelge 6.1. ve 6.2.'nin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi pH değerleri 2007 yılı için 6.84 ile 9.53 arasında, 2008 yılı için ise 7.5 ile 10.23 değerleri arasında değişim göstermektedir. Ancak iki yıl alınan 74 toprak örneğinden 2 tanesi nötr, 7 tanesi ise aşırı alkali durumdadır. Geri kalan 66 örnek hafif ve orta alkali sınıfına girmektedir. Bu sonuçlardan havza topraklarının alkali karakterli oldukları yargısına varılmaktadır.

Yüzde toplam tuz sonuçlarına göre, örneklerin alındığı alanların büyük çoğunluğunda tuzluluk tehlikesi söz konusudur. Özellikle pH'nın aşırı alkali

olduğu 7 toprakta %tuz miktarı 0.65–1.75 arasındadır. Bu sonuç bölgede yer yer tuzlu alkali alanların var olduğunu göstermektedir. Her iki yıl içerisinde alınan toprak örneklerinden özellikle jeotermal kaynakların direkt olarak etkisi altında bulunan termal kaynak ve çevresinden alınan 8, 10, 11, 28 no'lu örneklerin suda çözünebilir (%) tuz içeriğince en üst sınıf olan 0.40-1.45 sınırları arasında kuvvetli tuz etkisi altında olduğu belirlenmiştir. Jeotermal kaynaklardan uzak olan ancak jeotermal suyun karışım gösterdiği Hıdırbeyli sulama barajı suları ile sulanan topraklardan alınan örneklerde de suda çözünebilir toplam tuz içeriği oldukça yüksek bulunmuştur.

Jeotermal kaynakların yer kabuğunun derinliklerinden yüzeye çıkarken yüksek sıcaklık dereceleri nedeniyle değinim gösterdikleri kaya ve mineralleri ve özellikle de suda en kolay çözünebilir tuz içerikli mineralleri çözerek iyon halinde serbest hale getirdikleri bilinmektedir (Şekil 6.4.). Bu yüksek tuz içerikli sıcak suların direk yada dolaylı olarak sulama amaçlı kullanılması halinde, tuzlar topraklarda birikerek tuzluluk ve alkalilik oluşturmaktadırlar. Yüksek tuz içeriğinden dolayı bu topraklar çoraklaşmakta ve tuza dayanıklı olan doğal tuzcul (halofit) bitkiler dışında herhangi bir bitkinin yaşam bulması mümkün olamamaktadır (Şekil 6.5.)



Şekil 6.4. Yüksek sıcaklık derecesine sahip ve yoğun gaz çıkışı olan Çamur Ilıcasi jeotermal kaynağı (Orijinal, Temmuz 2008)



Şekil 6.5. Aşağı Çamur Ilıcasi jeotermal kaynağı etkisi ile çoraklaşmış ve sadece doğal tuzcul (halofit) bitkilerin yaşam bulduğu topraklar (Orijinal, Mayıs 2007)

% CaCO_3 içerikleri yönünden topraklar kireçli ve kireççe zengin sınıfta yer almışlardır. Özellikle jeotermal kaynak çevresinde kireç içeriği oldukça yüksek bulunmuştur. Jeotermal kaynakların yerin derinliklerinden toprak yüzeyine çıkarken kireçtaşlarını eritmeleri ve toprak yüzeyine taşımaları nedeniyle toprak yüzeyinde kireç ve tuz birikimleri söz konusudur (Şekil 6.6.). Yüksek pH, tuz ve kireç içeriği çevredeki bitkilerin kurummasına ve ileri aşamalarda da ölümlerine neden olmaktadır (Şekil 6.7.,6.8.).



Şekil 6.6. Jeotermal kaynak etkisi altındaki alanlarda tuz-kalker kabuğu oluşumu ve doğal tuzcul (halofit) bitkilerin görünümü (Orijinal, Mayıs 2008)



Şekil 6.7. Jeotermal kaynağın hemen yakınında yer alan zeytin ağaçlarında jeotermal kaynak sularının zararlı etkisi (Orijinal, Mayıs 2007)



Şekil 6.8. Jeotermal sularla kirlenen yeraltı ve baraj suları ile sulanan verimli tarım topraklarının yüzeyinde oluşan yoğun tuz birikimi ve çoraklaşma (Orijinal, Mayıs 2008)

Toprak örneklerinin organik madde kapsamaları, 2007 yılı içinde alınan toprak örneklerinde %0.35 ile %6.98 arasında, 2008 yılında ise %0.47 ile %4.75 arasında değişim göstermiştir. Araştırma alanı, organik madde açısından homojen bir yapıya sahip değildir. Bu yüzden organik maddece zenginden organik madde içeriği düşüğe kadar değişen bir dağılım gözlenmektedir. Ortamdaki tuz ve Na^+ iyonu yoğunluğu mikrobiyal aktiviteyi yavaşlatıp, redüksiyon ortamı

oluşturduğundan organik madde ayrışması yavaşlamış ve sonuçta toprak yüzeyi ve derinliklerde organik madde birikimi yoğunlaşmıştır. Bu nedenle jeotermal alan ve çevresindeki toprakların organik madde içerikleri normal değerlerin üstündedir (Şekil 6.9.).



Şekil 6.9. Jeotermal kaynakların çevresinde redüksiyon koşullarında yaşam bulan yosun ve algler ile olan tuza dayanıklı bataklık bitkileri (Orijinal, Mayıs 2007)

2007 ve 2008 yıllarında alınan 74 toprak örneğinde yapılan bünye tayinlerine göre ise toprakların büyük çoğunluğu kumlu tın ve tın bünyeye sahiptir.

6.1.2. Toprak Örneklerinin Bazı Toplam İz Element ve Ağır Metal İçerikleri

Alangüllü Yan Havzasından 37 noktadan 2 yıl 0-30 cm'den alınan 74 toprak örneğinde bazı önemli ağır metal ve iz element analizleri yapılmıştır. 2007 yılında alınan toprak örneklerinde yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 6.3.'de, 2008 yılında alınan toprak örneklerinde yapılan analizlerin sonuçları ise Çizelge 6.4.'de verilmektedir.

Çizelge 6.3. 2007 yılı arazi çalışmalarında alınan toprak örnekleri iz element ve ağır metal analiz sonuçları

Örn. No	Fe	Cu	Mn	Zn	Cd	Co	Ni	Pb	Cr	B
	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
7	0.37	17.36	252.22	47.73	0.25	12.23	102.61	9.42	44.78	2.95
8	2.22	14.65	186.21	54.85	0.66	17.65	156.49	6.27	33.65	7.02
10	2.85	14.12	377.21	65.12	0.26	15.95	116.12	7.55	99.11	6.51
11	2.45	13.65	366.54	59.95	0.34	14.65	112.65	6.85	95.23	6.98
13	2.11	17.86	170.06	45.25	0.43	9.28	59.24	5.38	19.21	3.46
15	0.36	25.62	352.41	63.72	0.39	18.00	102.15	7.54	53.24	1.67
16	0.36	16.29	242.87	45.50	0.26	12.28	68.52	5.25	36.15	0.32
17	0.35	17.31	251.78	45.79	0.28	13.10	73.17	5.52	38.07	1.92
18	0.36	9.22	145.01	39.48	0.19	9.08	35.11	5.48	29.09	2.14
19	0.35	9.72	208.61	36.38	0.19	7.25	29.51	4.69	39.89	2.84
22	0.35	14.15	238.61	35.58	0.33	6.91	41.64	4.72	25.34	0.86
23	0.35	13.57	239.81	33.62	0.19	11.36	48.82	5.31	29.23	1.72
24	0.37	12.94	216.33	37.48	0.17	8.59	23.51	4.40	20.41	1.44
25	2.01	19.85	170.01	42.20	0.22	12.10	109.32	4.75	19.00	0.68
26	0.35	16.41	229.79	39.53	0.23	8.58	39.38	5.66	30.45	0.32
27	2.01	19.25	165.23	49.05	0.45	14.96	130.05	4.96	22.55	0.60
28	4.66	28.25	545.23	88.22	0.36	19.95	101.12	8.95	155.95	28.40
29	0.38	15.62	248.72	40.07	0.27	9.61	45.34	6.57	32.22	1.66
30	0.37	13.14	232.02	33.02	0.21	7.96	38.43	9.48	27.78	1.60
31	0.36	15.63	241.50	39.61	0.23	9.90	47.11	6.07	31.94	0.45
32	0.38	12.53	225.72	30.39	0.19	7.63	32.29	5.20	25.90	1.69
33	0.38	12.74	238.18	29.07	0.21	8.07	37.47	5.77	30.21	2.14

Çizelge 6.3. Devamı

Örn. No	Fe	Cu	Mn	Zn	Cd	Co	Ni	Pb	Cr	B
	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
34	0.35	16.26	214.20	35.18	0.18	9.80	36.50	5.00	30.29	1.76
35	0.37	12.22	225.07	38.03	0.17	6.51	20.96	5.04	19.32	2.56
36	0.38	16.42	237.85	42.25	0.28	10.35	42.46	6.40	32.67	1.12
37	0.37	30.15	226.52	44.44	0.25	10.41	59.19	4.69	31.79	0.41
38	0.35	15.56	246.95	40.94	0.22	12.10	73.81	6.39	37.05	2.08
39	0.33	24.05	333.89	62.82	0.35	17.94	106.02	7.43	55.72	1.28
41	0.34	14.02	224.38	39.15	0.22	10.25	117.21	5.58	50.29	0.67
42	0.34	16.94	225.47	47.03	0.22	7.62	74.85	4.77	40.31	1.60
43	0.32	8.02	153.88	26.20	0.14	9.19	48.43	5.65	24.16	1.18
44	0.35	75.36	263.79	472.91	0.69	9.76	36.16	68.83	44.03	1.25
45	0.36	17.13	258.30	39.07	0.24	9.64	39.64	5.57	29.34	1.50
46	0.35	12.41	198.54	32.06	0.20	13.50	29.44	4.86	22.98	4.02
47	0.31	18.65	356.85	55.50	0.32	12.10	76.90	7.01	44.98	2.03
48	0.29	13.12	301.64	45.60	0.22	12.41	68.46	5.90	42.80	2.28
49	0.30	14.96	333.80	52.45	0.30	15.60	90.01	5.85	41.76	1.99

Çizelge 6.4. 2008 yılı arazi çalışmalarında alınan toprak örnekleri iz element ve ağır metal analiz sonuçları

Örn. No	Fe	Cu	Mn	Zn	Cd	Co	Ni	Pb	Cr	B
	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
7	0.36	15.44	245.11	45.23	0.18	10.28	100.66	8.32	40.56	3.55
8	2.12	11.14	171.19	44.25	0.45	12.91	118.18	4.13	23.84	7.99
10	2.11	16.44	170.13	45.75	0.40	12.56	135.86	71.88	20.11	4.50
11	2.26	12.26	348.75	52.63	0.10	11.46	107.63	5.63	82.00	1.80
13	2.28	22.74	174.75	48.75	0.68	15.03	117.39	7.13	17.85	1.63
15	0.96	25.03	350.04	60.74	0.40	15.85	100.03	7.12	50.41	1.56
16	0.40	17.40	244.10	46.00	0.30	12.75	69.25	5.74	35.94	0.54
17	0.38	17.05	258.70	45.79	0.31	12.98	73.73	5.70	38.63	1.90
18	0.35	8.34	148.42	42.07	0.23	10.75	36.99	6.53	38.41	2.70
19	0.45	8.80	210.14	35.85	0.21	7.52	30.35	5.06	40.08	3.05
22	0.37	15.02	240.01	34.84	0.35	6.95	42.08	4.97	25.88	0.91
23	0.39	13.85	240.05	34.07	0.21	11.70	50.44	5.62	29.96	1.55
24	0.30	11.24	202.65	35.41	0.10	7.21	20.11	4.07	18.54	1.42
25	2.22	20.25	172.59	47.75	0.28	13.80	114.43	5.00	21.03	0.80
26	0.30	14.99	215.32	34.54	0.19	8.12	37.18	5.21	28.55	1.31
27	2.26	20.50	173.44	48.50	0.53	15.08	128.44	5.50	23.95	0.67
28	3.97	24.44	523.75	83.63	0.23	18.40	99.88	7.25	140.88	24.20
29	0.31	15.25	300.25	39.62	0.27	11.62	59.75	5.37	36.37	2.42
30	0.51	17.86	170.06	45.25	0.43	9.28	59.24	5.38	19.21	2.02
31	0.38	13.48	245.65	35.33	0.26	10.55	50.17	9.11	40.04	0.66
32	0.38	11.55	230.72	30.89	0.22	9.88	36.92	8.66	30.02	2.02
33	2.02	15.24	180.25	35.00	0.52	9.75	78.65	5.98	17.35	1.70

Çizelge 6.4. Devamı

Örn. No	Fe	Cu	Mn	Zn	Cd	Co	Ni	Pb	Cr	B
	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
34	0.37	15.05	215.33	35.88	0.21	9.02	39.71	5.33	30.42	1.66
35	0.32	12.77	253.75	34.25	0.17	8.86	29.87	4.25	22.87	1.01
36	2.31	14.50	284.12	42.75	0.24	10.78	47.37	7.00	45.50	2.30
37	0.33	31.62	297.75	56.50	0.32	14.33	78.50	5.12	40.00	1.61
38	0.36	14.28	249.00	41.76	0.27	14.81	79.94	6.80	36.49	2.15
39	0.33	23.78	336.51	64.42	0.35	19.07	123.59	7.37	64.52	1.02
41	0.31	13.45	212.85	37.23	0.19	9.25	103.56	5.12	48.12	2.23
42	0.28	15.23	215.85	44.85	0.20	9.88	70.54	3.85	38.45	2.66
43	0.33	7.56	156.45	25.03	0.19	9.78	54.99	6.07	22.67	1.22
44	0.35	70.49	267.35	473.98	0.65	10.51	40.84	67.70	43.60	1.31
45	0.36	17.13	258.30	39.07	0.24	9.64	39.64	5.57	29.34	1.50
46	0.36	12.22	195.22	32.06	0.18	13.50	29.44	4.86	22.98	1.02
47	0.36	19.37	362.12	54.50	0.35	15.37	78.50	7.37	45.25	2.19
48	0.35	15.87	300.00	44.62	0.28	12.56	70.00	6.50	42.62	2.23
49	0.35	17.87	335.37	53.50	0.32	16.62	95.62	6.12	46.25	2.08

Scheffer-Schachtschabel (1989) göre, toprakların toplam Fe içeriği %0.5–5 arasındadır. Buna göre iz elementlerden toplam Fe miktarı bildirilen sınır değerler arasında, 2007 yılında alınan örneklerde minimum %0.29 maksimum %4.66, 2008 yılında alınan örneklerde ise minimum %0.28 maksimum %3.97 olarak bulunmuştur.

Toprakların Toplam Cu miktarları da 2007 yılında alınan örneklerde minimum 8.02 ppm maksimum 75.36 ppm, 2008 yılında alınan örneklerde minimum 7.56 ppm maksimum 70.49 ppm arasında saptanmıştır. Alloway (1990) göre, toprakların toplam Cu içeriklerinin 2-250 ppm arasında değişebileceği bildirilmiştir. El-Bassam ve Tietjen (1977), Kabata-Pendias (1979), Kloke (1979),

Linzon (1978) ve Schachtshabel ve Blume (1984) tarafından ise, topraklardaki toplam Cu için izin verilebilir sınır değeri 100 ppm olarak bildirilmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında araştırma topraklarının toplam bakır değerlerinin normal sınır değerleri arasında olduğu belirlenmiştir.

Toprakların toplam Mn içeriklerini Kabata-Pendias ve Pendias (1992) 164–1330 ppm, Mengel ve Kirkby (1987) ise toplam Mn için kritik konsantrasyonu 200–3000 ppm olarak bildirmişlerdir. Araştırma alanının toplam Mn miktarları, 2007 yılında alınan örneklerde minimum 145.01 ppm maksimum 545.23 ppm, 2008 yılında alınan örneklerde minimum 148.42 ppm maksimum 523.75 ppm arasında belirlenmiştir. Buna göre bu değerlerin toplam Mn için verilen kritik değerlerin arasında olduğu saptanmıştır.

İz elementlerden bir diğeri olan toplam Zn miktarları ise 2007 yılında alınan örneklerde minimum 26.22 ppm maksimum 472.92 ppm, 2008 yılında alınan örneklerde minimum 25.03 ppm maksimum 473.98 ppm arasında bulunmuştur. Bitkiler için mutlak gerekli bir besin elementi olan Zn'nun, tarım alanlarında toplam 110 ppm olması önerilmiştir (Goncharuk ve Sideronko,1986). Bitkilere toksik etki gösterdiği topraktaki toplam konsantrasyonu ise El-Bassam ve Tietjen (1977), Kabata Pendias (1979), Kloke (1979), Schachtschabel vd. (1984) tarafından, 300 ppm Zn olarak bildirmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından toplam Zn içeriği için değişik sınır değerleri önerilse de 300 ppm Zn değeri genel kabul gören kritik konsantrasyon olarak dikkate alınmıştır (Saatçi vd., 1988, Hakerlerler vd., 1994, Elmacı, 1995). Bu değerler dikkate alındığında her iki yılda alınan örnekler içerisinde yalnızca 44 numaralı örneğin 300 ppm değerinin üzerinde olduğu, diğer tüm örneklerin bu sınır değerinin altında olduğu görülmektedir.

Toprakların Cd içerikleri, 2007 yılında alınan örneklerde minimum 0.14 miktarda maksimum ise 0.69 ppm, 2008 yılında alınan örneklerde minimum 0.10 ppm maksimum 0.68 ppm arasında değişmiştir. Toprak örneklerinde Cd toksisite sınır değerleri, Kloke (1982) tarafından 3 ppm, Feige ve Grunwaldt (1977) ise 100 ppm olarak bildirmiştir. Toprak örnekleri 3 ppm sınır değeri göz önüne alınarak incelendiğinde, örneklerin toplam Cd içeriğinin bu sınır değerinin altında olduğu belirlenmiştir.

Ana materyalin bileşimine bağlı olarak toprakların Co içeriklerinin genellikle 5–15 ppm arasında değiştiği Scheffer-Schachtshabel (1989) tarafından bildirilmiştir. Alloway (1990) ise topraklardaki normal Co sınır değerinin 0.5–65 ppm arasında olarak belirtmiştir. El-Bassam ve Tietjen (1977), Kabata ve Pendias (1979), Kitagishi ve Yamane (1981), Kloke (1982) tarafından, topraklardaki kirliliğin sınır değeri 50 ppm Co olarak bildirilmiştir. Araştırmamızda toplam Co değerleri; 2007 yılında alınan örneklerde minimum 6.51 ppm maksimum ise 19.95 ppm, 2008 yılında alınan örneklerde ise minimum 6.95 ppm maksimum 19.07 ppm arasında belirlenmiştir. Bu değerlerin, 50 ppm olan sınır değerine göre normal sınırlar arasında olduğu saptanmıştır.

Kabata-Pendias ve Pendias (1992), dünya topraklarının ortalama toplam Ni içeriğinin 2.20 ppm olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bergmann (1993), normal şartlarda topraklarda 5-500 ppm arasında Ni bulunduğunu bildirmiştir. Topraklarda toplam Ni'in toksite etkisi gösterdiği sınır değerleri, El-Bassam ve Tietjen (1977), Kabata-Pendias (1979), Kitagishi ve Yamane (1981) ve Linzon (1978) tarafından 100 ppm, Goncharuk ve Sideronko (1986) 35 ppm, Schachtschabel ve Blume (1984) ve Kloke (1982) 50 ppm, Bergmann (1993) ise 40–50 ppm olarak bildirmişlerdir. Ülkemizde tarım topraklarının ağır metal kirliliğini belirlemek üzere yapılan çalışmalarda ise Ni kirliliğinin izin verilebilir sınır değeri olarak 50 ppm değeri kabul edilmiştir. (Saatçi vd., 1988; Hakerlerler vd., 1994; Elmacı, 1995). Araştırma alanından alınan toprak örneklerinin Ni içerikleri ise 2007 yılında alınan örneklerde minimum 20.96 ppm maksimum ise 156.49 ppm, 2008 yılında alınan örneklerde minimum 20.11 ppm maksimum 135.86 ppm arasında bulunmuştur. Nikel kirliliğinin sınır değeri olarak 50 ppm dikkate alındığında, toprakların Ni içeriklerinin genellikle bu sınır değerinin üzerinde bulunduğu belirlenmiştir. Örneklerin alındığı yerler dikkate alındığında özellikle termal kaynakların çevresindeki ve Hıdırbeyli sulama barajı ile sulanan arazilerden alınan toprak örneklerinin Ni konsantrasyonunun yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Çok su ihtiyacı gösteren tarımsal bitkilerin yetiştirildiği topraklarda da daha fazla sulama dolayısıyla daha fazla nikel elementi taşınımı ve birikimi söz konusu olmaktadır.

Çalışma Alanına ait toprakların Pb miktarları, 2007 yılında alınan örneklerde minimum 4.40 ppm maksimum ise 68.83 ppm, 2008 yılında alınan

örneklerde minimum 3.85 ppm maksimum 71.88 ppm arasında saptanmıştır. Bergmann (1993), normal koşullarda kirlenmemiş toprakların Pb içeriklerinin 1–20 ppm, Alloway (1990) ise 2–300 ppm olarak bildirmişlerdir. El-Bassam ve Tietjen (1977), Kabata-Pendias (1979), Kloke (1982) ve Schachtschabel ve Blume (1984) tarafından, toprakların Pb birikiminin göstergesi olarak 100 ppm, Kitagishi ve Yamane (1981) ise 400 ppm, değerlerini önermektedirler. Ülkemizde tarım topraklarının Pb içeriğini değerlendirmek üzere yapılan çalışmalarda sınır değeri olarak 100 ppm değeri alınmıştır (Saatçi vd., 1988; Hakerlerler vd., 1994; Elmacı, 1995). Bu değerlere göre çalışma alanının toplam Pb içeriği normal sınır değerleri içerisindeydi.

Alloway (1990), toprakların toplam Cr sınır değerinin 5–1500 ppm arasında olduğunu bildirmiştir. Mengel ve Kirkby (1987) ise toprakların genelinde Cr içeriklerinin 100 ppm'den daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Çok sayıda araştırmacı tarafından, topraklardaki toplam Cr konsantrasyonu için genel kabul gören üst sınır 100 ppm olarak bildirilmiştir (El-Bassam ve Tietjen, 1977; Kabata-Pendias, 1979; Kloke, 1979; Schachtschabel ve Blume, 1984). Yurt dışında olduğu gibi ülkemizde de kimi araştırmacılar tarafından toprakların toplam Cr içeriklerinin yeterlilik durumlarının belirlenmesinde 100 ppm Cr içeriği kullanılmaktadır (Saatçi vd., 1988; Hakerlerler vd., 1994). Araştırma alanının Cr içerikleri, 2007 yılında alınan örneklerde minimum 19.00 ppm maksimum ise 155.95 ppm, 2008 yılında alınan örneklerde minimum 17.35 ppm maksimum 140.88 ppm arasında belirlenmiştir. Buna göre, toprak örneklerinin toplam Cr içerikleri 100 ppm sınır değeri dikkate alındığında genellikle sınır değerinin altında olduğu belirlenmiştir. Ancak ikinci yıl alınan 7 ve 28 numaralı toprak örneklerinin toplam Cr içerikleri bu sınır değerinin üzerindedir. Termal kaynak çevresinden alınan bu örneklerin toplam Cr içeriklerinin yüksek olması dikkat çekicidir. Diğer tarım yapılan alanlardan alınan toprak örneklerindeki Cr elementi değeri kritik değer olan 100 ppm' in altında olmasına rağmen normal değerlerden oldukça yüksektirler. Bu şekilde jeotermal sularla bulaşan dere, baraj gibi su kaynaklarından yapılacak olan devamlı sulamalarla topraklarda Cr elementi birikimi ve toksik seviyelere gelmesi kaçınılmaz olacaktır.

Sıcak suda eriyebilir B değerleri ise, 2007 yılında alınan örneklerde minimum 0.32 ppm maksimum ise 28.40 ppm, 2008 yılında alınan örneklerde

minimum 0.54 ppm maksimum 24.20 ppm arasında değişmiştir. Sauchelli (1969) göre, topraklardaki bor kapsamı 2-2.5 ppm'in arasındaki toprakların kritik, 2.5-4.9 ppm arası yüksek ve 5 ppm'in üzerindeki bor ise toksik seviye olarak bildirmiştir. Kumlu, tınlı, killi topraklarda bor sınıflamasına göre ise bor düzeyi, <0.3 ppm çok düşük, 0.4–0.8 ppm düşük, 0.9–1.5 ppm optimum, 1.6–3.0 ppm yüksek, >3.0 ppm çok yüksek olarak belirtilmiştir (Uygan, 2004). Bu değerlere göre jeotermal kaynakların tarım topraklarına ve çevresine verdiği en büyük zararlı etkinin yüksek bor içeriği kaynaklı olduğu söylenebilir. Araştırma bölgesinden alınan toprak örneklerinin B konsantrasyonları genellikle yüksektir. Özellikle termal kaynakların çevresindeki tarım arazilerinde bor konsantrasyonu toksite sınırı olan ve ancak bor elementi toksisitesine dayanıklı bitkilerin yetişebileceği 3 ppm sınırının oldukça üstünde bulunmuştur. Bu şekilde jeotermal suların karıştığı dere, baraj gibi su kaynakları ile yapılacak olan sulama sonucunda topraklarda geri dönüşü mümkün olmayacak şekilde bor kirliliği meydana gelmesi beklenmektedir. Bor elementi ancak sıcak sularda (50-60 °C) çözünür hale geçerek toksisite yaratmaktadır. Normal sulama suları bu sıcaklık derecelerinde olmadıkları için toprak içerisinde bileşik halinde olan bor elementini çözememektedir. Bor elementinin yüksek derecede çözünebilirliği yüksek sıcaklık derecelerine sahip olan jeotermal kaynak sularının etkisi altında olan arazilerde meydana gelmektedir. Bu alanlarda yoğun olarak biriken bor elementinin topraktan uzaklaştırılması mümkün olmadığı için bitkilere toksik etki yapmaktadır (Şekil 6.10., 6.11.).



Şekil 6.10. Yüksek bor içeriğine sahip sularla sulanan tarım alanlarında yetişen zeytin ağaçlarında başlayan kurumalar (Orijinal, Temmuz 2008)



Şekil 6.11. Jeotermal suların karıştığı sularla sulanan topraklarda yetişen domates bitkisinde bor elementi toksisitesi (Orijinal, Temmuz 2008)

6.1.3. Toprak Örneklerinin Radyonüklit İçerikleri

UNCEAR 2000 raporunda, topraklarda doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları ortalamaları ile birlikte; ^{238}U için 35 (16-110) Bq/kg, ^{226}Ra için 35 (17-60) Bq/kg, ^{232}Th için 30 (11-64) Bq/kg ve ^{40}K için 400 (140-850) Bq/kg olarak verilmektedir. Bu aktivite konsantrasyonları, yüzey topraklarının jeolojik kökenine; granit yapılar, volkanik alanlar ve monozit içeren sahil kumları vb. dayalı olarak artmaktadır. Çizelge 6.5.'te kabuksal kayalarda gözlenen doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları için ortalama değerleri verilmiştir (IAEA, 1979). Yer kabuğundaki radyoelement ve eser element içerikleri için background konsantrasyonlarını sunan bu değerler referans kabul edilmektedir.

Çizelge 6.5. Kabuksal kayalarda gözlenen radyoelement konsantrasyonları (IAEA, 1979)

Kaya Tipi	^{40}K (Bq/kg)	^{238}U (Bq/kg)		^{232}Th (Bq/kg)	
		Ortalama	Tipik Aralık	Ortalama	Tipik Aralık
Kabuksal Ortalama	650	37	-	49	-
Magmatik (Mafik)	155	12	2-37	12	2-41
Magmatik (Inter.)	309-772	28	6-86	37	8-81
Magmatik (Asitik)	1237	55	12-148	73	20-86
Sedimenter (arenaceous)	433	12	6-25	12	8-24
Sedimenter (argillaceous)	835	25	12-160	65	8-191
Kireçtaşı	93	25	12-123	8	-
Siyah Shale	835	99	37-3088	65	-
Lateritler	Düşük	123	37-494	65	-
Metamorfik		İlksel kaya tipine bağlıdır.			

Bazı ülke topraklarındaki ortalama radyoaktivite değerleri de Çizelge 6.6'da verilmiştir (UNSCEAR, 2000).

Çalışma alanından 37 noktadan 2 yıl 0-30 cm'den alınan 74 toprak örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K içerikleri belirlenmiştir. 2007 yılında alınan toprak örneklerinde yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 6.7.'de, 2008 yılında alınan toprak örneklerinde yapılan analizlerin sonuçları ise Çizelge 6.8.'de verilmektedir.

Çizelge 6.6. Bazı ülke topraklarının radyoaktivite değerleri (UNSCEAR, 2000)

Bölge/Ülke	Popülasyon 10 ⁶ (1996 verileriyle)	Topraktaki Konsantrasyon (Bq/kg)							
		⁴⁰ K		²³⁸ U		²²⁶ Ra		²³² Th	
		Ort.	Aralık	Ort.	Aralık	Ort.	Aralık	Ort.	Aralık
Cezayir	28.78	370	66-1150	30	2-110	50	5-180	25	2-140
Mısır	63.27	320	29-650	37	6-120	17	5-64	18	2-96
A.B.D.	269.40	370	100-700	35	4-140	46	8-160	35	4-130
Çin	1232	440	9-1800	33	2-690	3259	2-440	41	1-360
Hongkong	6.19	530	80-1100	84	25-130		20-110	95	16-200
Hindistan	944.6	400	38-760	29	7-81	29	7-81	64	14-160
Japonya	125.4	310	15-990	29	2-59	33	6-98	28	2-88
Kazakistan	16.82	300	100-1200	37	12-120	35	12-120	60	10-220
Kore	45.31	670	17-1500	-	-	-	-	-	-
Malezya	20.58	310	170-430	66	49-86	67	38-94	82	63-110
Tayland	58.70	230	7-712	114	3-370	48	11-78	51	7-120
Ermenistan	3.64	360	310-42	46	20-78	51	32-77	30	29-60
İran	69.98	640	250-980	-	-	28	8-55	22	5-42
Suriye	14.57	270	87-780	23	10-64	20	13-32	20	10-32
Danimarka	5.24	460	240-610	-	-	17	9-29	19	8-30
Estonya	1.47	510	140-1120	-	-	35	6-310	27	5-59
Litvanya	3.73	600	350-850	16	3-30	-	-	25	9-46
Norveç	4.35	850	-	50	-	50	-	45	-
İsveç	8.82	780	560-1150	-	-	42	12-170	42	14-94
Belçika	10.16	308	70-900	-	-	26	5-50	27	5-50
Almanya	81.92	-	40-1340	-	11-30	-	5-200	-	7-34
İrlanda	3.55	350	40-800	37	8-120	60	10-200	26	3-60
Lüksemburg	0.41	620	80-1800			35	6-52	50	7-70
Hollanda	15.58	-	120-730		5-53	23	6-63	-	8-77
İsviçre	7.22	370	40-1000	40	10-150	40	10-900	25	4-70
İngiltere	58.14	-	0-3200	-	2-330	37	-	-	1-180
Bulgaristan	8.47	400	40-800	40	8-190	45	12-210	30	7-160
Macaristan	10.05	370	79-570	29	12-66	33	14-76	28	12-45
Polonya	38.60	410	110-970	26	5-120	26	5-12	21	4-77
Romanya	22.66	490	250-1100	32	8-60	32	8-60	38	11-75
Rusya	148.1	520	100-1400	19	0-67	27	1-76	30	2-79
Slovakya	5.31	520	200-1380	32	15-130	32	12-120	38	12-80
Arnavutluk	3.40	360	15-1150	23	6-96	-	-	24	4-160
Hırvatistan	4.50	490	140-710	110	83-180	54	21-77	45	12-65
G. Kıbrıs	0.76	140	0-670	-	-	17	0-120	-	-
Yunanistan	10.49	360	12-1570	25	1-240	25	1-240	21	1-190
Portekiz	9.81	840	220-1230	49	26-82	44	8-65	51	22-100
Slovenya	1.92	370	15-1410	-	-	41	2-210	35	2-90
İspanya	39.67	470	25-1650	-	-	32	6-250	33	2-210
Medyan		400	140-850	35	16-110	35	17-60	30	11-64
Popülasyon Ağırlıklı Ortalama		420	-	33	-	32	-	45	-

Çizelge 6.7. 2007 yılı arazi çalışmalarında alınan toprak örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K içerikleri

Örnek No	^{232}Th (Bq/Kg)	^{226}Ra (Bq/Kg)	^{40}K (Bq/Kg)
7	45.04±8	44.68±1	516.03±45
8	34.61±8	336.41±12	377.01±11
10	55.04±8	3.68±1	817.03±45
11	27.18±8	8.08±3	423.79±42
13	31.40±8	ND	679.22±50
15	38.49±8	22.26±5	925.38±45
16	26.67±8	ND	573.85±54
17	39.67±8	23.90±5	385.42±34
18	41.19±8	44.54±6	527.70±34
19	30.22±8	12.57±4	938.73±48
22	30.22±8	2.63±1	592.12±7
23	38.83±8	48.64±7	529.88±34
24	20.26±8	31.10±7	498.96±38
25	40.21±8	22.63±5	622.41±43
26	20.43±8	2.36±1	639.5±48
27	30.55±8	35.13±6	677.43±41
28	33.43±8	46.62±7	534.74±35
29	36.30±8	ND	788.65±48
30	30.39±8	ND	674.22±56
31	59.76±8	ND	829.60±59
32	37.99±8	ND	825.08±65
33	80.02±9	96.14±7	715.91±30
34	32.75±8	ND	773.19±6
35	52.84±8	ND	965.38±48
36	21.61±8	40.58±8	550.39±38
37	26.00±8	10.79±4	489.49±43
38	30.73±8	ND	762.51±48
39	31.74±8	ND	550.62±57
41	44.40±8	24.44±4	651.08±40
42	55.04±8	3.68±1	817.03±45

Çizelge 6.7.'nin devamı.

Örnek No	²³² Th (Bq/Kg)	²²⁶ Ra (Bq/Kg)	⁴⁰ K (Bq/Kg)
43	ND	ND	216.07±90
44	229.77±10	ND	671.26±46
45	30.39±8	ND	674.22±56
46	51.32±8	31.24±5	770.71±40
47	13.85±8	91.10±8	646.10±41
48	ND	36.75±6	721.16±29
49	ND	55.40±7	700.88±30

Çizelge 6.8. 2008 yılı arazi çalışmalarında alınan toprak örneklerinin ²³²Th, ²²⁶Ra ve ⁴⁰K içerikleri

Örnek No	²³² Th (Bq/Kg)	²²⁶ Ra (Bq/Kg)	⁴⁰ K (Bq/Kg)
7	60.44±8	ND	833.69±48
8	40.69±8	143.81±9	503.29±23
10	54.70±8	14.74±3	773.91±43
11	32.11±8	10.21±3	475.40±45
13	40.69±8	35.23±6	631.35±38
15	42.81±8	28.53±6	898.10±49
16	30.12±8	9.86±3	560.04±51
17	39.67±8	23.90±5	385.42±34
18	38.25±8	50.46±7	557.70±32
19	36.83±8	15.63±5	974.76±49
22	42.25±8	4.21±1	555.28±17
23	40.96±8	46.71±7	513.74±24
24	40.01±8	ND	693.00±49
25	36.13±8	19.59±4	680.78±42
26	35.79±8	20.71±5	552.05±40
27	27.52±8	31.58±6	677.43±41
28	67.36±8	ND	858.17±47
29	22.06±8	9.39±4	615.67±37
30	39.17±8	ND	581.43±51

Çizelge 6.8.'in devamı.

Örnek No	²³² Th (Bq/Kg)	²²⁶ Ra (Bq/Kg)	⁴⁰ K (Bq/Kg)
31	66.82±8	ND	829.6±59
32	42.33±8	ND	802.10±62
33	37.48±8	ND	760.21±49
34	32.75±8	ND	773.19±46
35	60.44±8	1.99±1	980.66±50
36	35.63±8	54.02±8	654.22±42
37	35.66±8	16.45±5	522.20±46
38	33.93±8	2.56±1	802.45±49
39	39.96±8	2.28±1	604.14±55
41	45.41±8	10.71±2	586.88±42
42	53.65±8	4.82±1	569.79±42
43	ND	3.85±1	275.54±45
44	260.05±8	ND	688.55±47
45	42.21±8	ND	702.53±50
46	59.56±8	40.74±6	796.46±41
47	12.25±7	88.30± 8	662.07±40
48	ND	31.99±5	705.39±28
49	ND	51.25±6	699.20±31

2007 yılında alınan toprak örneklerinin radyoaktivite değerleri incelendiğinde, ²³²Th içerikleri ND ile 229.77±10 Bq/kg arasında, ²²⁶Ra içerikleri ND ile 336.41±12 Bq/kg arasında, ⁴⁰K içerikleri ise 216.07±90 ile 965.38±48 Bq/kg arasında saptanmıştır. 2008 yılında yapılan örneklemelerde ise ²³²Th içerikleri ND ile 260.05±8 arasında, ²²⁶Ra içerikleri ND ile 143.81 ± 9 arasında, ⁴⁰K içerikleri ise 275.54±45 ile 980.66±50 Bq/kg arasında olduğu görülmektedir.

Jeotermal kaynakların direkt veya dolaylı etkisi altında olan ve tarımsal üretim yapılan topraklardan alınan örneklerde belirlediğimiz bu değerleri dünyadaki ortalama değerlerle karşılaştırdığımızda, özellikle jeotermal su kaynaklarının etkisi altındaki topraklarda radyoaktivite seviyesinin bu değerlerin 2-3 kat üzerinde olduğu görülmektedir.

Alangüllü yan havzasındaki kaynakların etkisindeki tarım alanlarında ^{226}Ra değerleri olması gereken normal sınırların çok üstünde saptanmıştır. Jeotermal kaynakların devamlı ve uzun süreli etkisi altında kalan topraklarda bu zararlı radyoaktif elementlerin, tarımı yapılan bitkilere ile bunlarla beslenen insan ve hayvanlara besin zinciri yoluyla geçeceği kaçınılmazdır. Tarım yapılan ve devamlı olarak jeotermal suların bulaştığı sularla sulanan topraklarda bu zararlı etkilerin gün geçtikçe artacağı düşünülmektedir.

2007 ve 2008 yıllarında belirlenen toprak özellikleri ile toprakların ağır metal ve radyonüklit kapsamları arasında yapılan korelasyon hesaplamalarının sonuçları Çizelge 6.9.'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.9. Toprak özellikleri ile toprakların ağır metal ve radyonüklit kapsamları arasındaki %1 düzeyinde önemli bulunan korelasyonlar

2007		2008	
Değişkenler	Korelasyon Katsayısı	Değişkenler	Korelasyon Katsayısı
pH-CaCO ₃	0.803	pH-CaCO ₃	0.734
CaCO ₃ -B	0.445	CaCO ₃ -B	0.577
B-Tuz	0.662	B-Tuz	0.576
Co-Kum	-0.736	Co-Kum	-0.522
Co-Mil	0.757	Co-Mil	0.598
Co-Kil	0.559	Co-Kil	0.552
Ni-Kum	-0.490	Ni-Kum	-0.633
Ni-Mil	0.534	Ni-Mil	0.584
Ni-Kil	0.334	Ni-Kil	0.570
Co-Mn	0.610	Co-Mn	0.525
^{226}Ra -CaCO ₃	0.747	^{226}Ra -CaCO ₃	0.489

En önemli toprak özelliklerinden biri olan pH değeri ile toprağın kireç içeriği arasında pozitif ve doğrusal bir ilişki vardır. Toprakta kireç yüksek ise toprağın pH değeri genellikle alkalın ve yüksek pH değerindedir (Çolakoğlu, 2007).

Topraktaki bor ve CaCO_3 ilişkisi incelendiğinde, Ca/B oranı bitkilerin B beslenmesinin ölçüsü olarak kabul edilmektedir (Blamey et al., 1979). Topraklardaki alınabilir bor miktarına en fazla etkiyi yapan faktörlerden birinin CaCO_3 olduğu bildirilmekte (Goldberg, 1997) ve bitkilerin bor alımı ile toprakta bulunan toplam ve suda çözünebilir Ca miktarları arasında çok önemli düzeyde negatif bir ilişkinin var olduğu belirtilmektedir (Kızılgöz vd., 2004). Marschner (1997), özellikle kireç ve kilce zengin yüksek pH'ya sahip topraklardaki bitkilerce alınabilir bor miktarının, B(OH)_4 oluşumu ve anyon adsorpsiyonu nedeniyle, azaldığını ifade etmektedir. Kalsiyumca zengin topraklarda yetiştirilen bitkilerin bor ihtiyacının çok fazla olduğu bildirilmektedir (Brady and Weil, 2008).

Topraktaki bor ve tuz arasındaki pozitif ilişki ise, jeotermal suların içermiş olduğu yüksek bor ve tuz içeriğinin topraktaki yüksek bor konsantrasyonuna neden olduğunu ortaya koymaktadır.

Toprakta bulunan kobalt ve nikel elementinin kum ile negatif, mil ve kil ile pozitif ilişki vermesi, bu elementlerin kil ve mil taneciklerinde tutunabildiğini göstermektedir. Toprakta Co adsorpsiyonu üzerine çalışan Hodgson (1960) tarafından bildirildiğine göre, kobalt kil minerallerinden montmorillonit tarafından, ancak katyon değişim kapasitesinin yüzde birkaçı kadar, iz düzeylerde, adsorbe olmaktadır. Adsorpsiyonun % 70-90 gibi büyük kısmı değişebilir formda olmakta, küçük bir kısmı da kil mineralinin yapısına girmesi nedeni ile değişebilir olmayan formda bulunmaktadır. Ayrıca, Co ve Mn arasında belirlenen pozitif ilişkinin, toprakta şelat oluşturan ağır metallere biri olarak tanımlanan Co'nun Mn^{+2} ile yer değiştirme yoluyla toprakta mangan oksitlere kuvvetli bir şekilde bağlanmasından kaynaklandığı saptanmıştır (Karaca, 2010)

Toprakta bulunan ^{226}Ra ve Ca elementleri arasında da pozitif bir korelasyon bulunmuştur. Bazı araştırmacılar tarafından radyumun kimyasal bakımdan kalsiyuma benzediği ve dolayısıyla topraktaki Ca ile ^{226}Ra 'nın davranışlarının da benzer olabileceği belirtilmiştir (Million vd., 1994; Linsalata vd., 1989).

6.2. Su Örneklerinin Analiz Sonuçları

Jeotermal kaynaklar çok iyi bir çözünen olmaları nedeniyle köken aldığı arazinin mineral bileşimine bağımlı olarak içeriğinde çözünebilir tuzlar ve ağır metalleri yoğun olarak bulundurur. Bunlar çevredeki akarsu, yeraltı su kaynakları ve toprakları günden güne kirleterek onların kullanılamaz şekle dönüşmelerine neden olurlar. Aynı zamanda çevredeki hayvan, bitki ve tarımsal atıkların bu sulara karışması ile organik madde içerikleri bakımından zenginleşebilirler. Sıcak suların içerisinde askıda bulunan bu organik maddeler zamanla alıcı ortamlara doğru, doğrudan veya dolaylı yollardan taşınarak oralarda birikimlere ve dip çamuru oluşumlarına neden olurlar. Dip çamuru oluşumlarında metan ve toksik maddelerin artışı söz konusu olmaktadır.

Bu tip sıcak ve soğuk su kaynaklarının yoğun olarak bulunduğu Alangüllü yan havzasından 2007 ve 2008 yıllarında ve 4 dönem (bahar ve yaz) olmak üzere 94 su örnekleme yapılmıştır (Şekil 6.12., 6.13., 6.14.,6.15.,6.16., 6.17., 6.18.)

Bu örneklerde fiziksel ve kimyasal analizler, ağır metal ve iz element tayinleri ile toplam Ra aktivitesi analizleri yapılmıştır ve analiz sonuçları, çizelgeler şeklinde verilmiş ve değerlendirmeleri yapılmıştır.



Şekil 6.12. Çamur ılıcası jeotermal kaynağı (Orijinal, Temmuz 2008)



Şekil 6.13. Yukarı çamur ılıcası jeotermal kaynağı (Orijinal, Temmuz 2008)



Şekil 6.14. Alangüllü Termal Tesisi içinde bulunan jeotermal kaynak
(Şadırvanlı Havuz, Orijinal, Temmuz 2007)



Şekil 6.15. Alangüllü Termal Tesisi Roma Hamamı jeotermal kaynağı (Orijinal, Mayıs 2007)



Şekil 6.16. Alangüllü-Bozköy-Çamköy yol kavşağındaki termal kaynak (Orijinal, Mayıs 2007)



Şekil 6.17. Jeotermal suların karıştığı karıştığı dere yatağı (Orijinal, Mayıs 2007)



Şekil 6.18. Jeotermal kaynak sularının karıştığı Hıdırbeyli sulama barajından kanal ve kanaletlere verilen sulama suları (Orijinal, Temmuz 2007)

Alangüllü Yan Havzasında bulunmakta olan ve daha önce Maden Tetkik ve Arama kuruluşu tarafından bazı jeotermal kaynaklarda yapılan araştırmalara göre Bozköy kaplıcası 59 °C sıcaklıkta, 1,5-2 l/s debili, çamurlu kaynağı ise 65 °C sıcaklıkta ve 2.5 l/s debili olduğu belirlenmiştir. Araştırma alanı içerisindeki Germencik-Ömerbeyli jeotermal sahasında da açılmış dokuz adet derin sondaj kuyusu bulunmaktadır (Şekil 6.19.).



Şekil 6.19. Maden Tetkik ve Arama Kurumu tarafından açılan ve sonrasında çevreye zararlı etkileri nedeniyle kapatılan kuyulardan biri (Orijinal, Mayıs 2007)

6.2.1. Su Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

Alangüllü Yan Havzasından, 2007 yılında bahar ve yaz ayları ile 2008 yılında bahar ve yaz ayları olmak üzere dört dönem alınan su örneklerinde, pH, EC, toplam anyon, toplam katyon, sodyum adsorbsiyon oranları (SAR), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) ve bor miktarları belirlenmiştir.

6.2.1.1. 2007 Yılı Alınan Su Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

2007 yılında alınan bahar ve yaz olmak üzere iki dönem alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6.10.'da gösterilmiştir. Buna göre bahar döneminde alınan su örneklerinin pH sınırları minimum 6.15 maksimum 8.38 arasında değişmekteyken yaz döneminde alınan su örneklerinin pH sınırları 5.99 ile 8.50 arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 6.21.).

Çizelge 6.10. 2007 yılı arazi çalışmalarında alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Ör. No	Dönem	pH	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	Anyonlar (me/l)				Kasyonlar (me/l)				SAR	Bakiye Na_2CO_3	S.S.S	ESP*	B ppm
				Cl^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	toplam	$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	K^+	Na^+					
1	Bahar	7.03	8000	30.10	iz	7.75	42.35	80.20	4.16	4.73	69.83	78.72	48.42	C4S4	41.23	25.60
	Yaz	6.70	8900	35.77	iz	36.40	15.05	87.22	13.20	5.21	70.59	89.00	43.78	C4S4	38.77	27.40
2	Bahar	6.69	7700	28.46	iz	7.65	40.44	76.55	5.00	3.70	69.43	78.13	43.91	C4S4	38.84	32.70
	Yaz	6.32	8700	36.89	iz	33.80	15.87	86.56	11.89	4.97	69.99	86.85	37.71	C4S4	35.22	29.50
3	Bahar	7.68	7500	28.24	iz	7.80	39.08	75.12	5.50	4.11	66.62	76.23	40.17	C4S4	36.71	28.60
	Yaz															
ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR**																
4	Bahar	7.52	6700	28.10	iz	7.80	31.37	67.27	11.00	3.29	52.97	67.26	22.59	C4S3	24.27	25.50
	Yaz	7.52	6900	26.05	iz	7.22	36.45	69.72	10.75	3.15	55.45	69.35	23.92	C4S3	25.38	26.01
5	Bahar	7.80	1200	2.65	iz	1.75	9.01	13.41	7.80	0.24	4.01	12.05	2.03	C3S1	1.71	2.16
	Yaz	8.10	1250	5.98	iz	1.95	5.01	12.94	6.95	0.44	4.90	12.29	2.63	C3S1	2.55	2.98
6	Bahar	7.06	1750	7.85	iz	2.25	8.15	18.25	8.40	0.39	9.23	18.02	4.50	C3S1	5.11	1.52
	Yaz															
ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR**																
8	Bahar	7.87	7800	37.75	iz	7.95	33.36	79.06	7.10	3.91	66.62	77.63	35.36	C4S4	33.73	40.30
	Yaz	6.45	8000	29.41	iz	14.40	14.60	71.61	8.00	3.55	64.79	76.34	32.40	C4S4	31.75	29.00
9	Bahar	7.80	1750	7.86	iz	2.45	8.29	18.60	9.30	0.40	7.62	17.33	3.54	C3S1	3.80	3.40
	Yaz	7.92	2050	7.02	iz	2.85	11.22	21.09	8.74	0.29	11.62	20.66	5.56	C3S1	6.49	4.20
10	Bahar	7.32	7800	33.10	iz	6.95	37.44	77.49	4.30	3.29	67.82	75.41	46.25	C4S4	40.11	28.90
	Yaz	7.13	8000	37.05	iz	7.40	14.70	78.75	9.60	3.84	67.19	80.64	50.08	C4S4	42.07	25.50
11	Bahar	7.40	7500	48.99	iz	12.40	13.44	74.83	7.55	14.23	54.12	75.89	27.85	C4S4	28.48	9.45
	Yaz	7.55	7500	48.15	iz	13.00	15.06	76.21	8.80	15.85	51.15	75.80	24.39	C4S4	25.77	10.05
12	Bahar	7.53	5500	24.55	iz	5.30	26.02	55.87	11.15	2.06	44.54	57.75	18.87	C4S3	20.99	9.23
	Yaz															
ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR***																

Çizelge 6.10.'un devamı.

Ör. No	Dönem	pH	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	Anyonlar (me/l)				Kasyonlar (me/l)				S.A.R	Bakiye Na_2CO_3	S.S.S.	ESP*	B ppm	
				Cl^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	toplam	$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	K^+	Na^+						Toplam
13	Bahar	7.85	1700	5.30	iz	2.10	9.07	16.47	4.81	0.51	12.05	17.37	7.78	iz	C3S1	9.26	8.30
	Yaz	7.92	1750	6.40	iz	1.95	8.86	17.21	6.10	0.45	12.25	18.80	7.02	iz	C3S1	8.33	8.92
14	Bahar	8.15	2000	8.40	iz	2.05	9.10	20.55	6.25	0.52	15.65	22.42	8.85	iz	C3S1	10.55	3.20
	Yaz	8.50	1900	10.31	2.00	4.00	2.33	18.64	6.12	0.51	13.80	20.43	7.89	iz	C3S1	9.40	4.40
15	Bahar	6.57	2600	8.55	iz	3.83	13.48	25.86	11.30	0.59	14.66	26.55	6.17	iz	C3S1	7.27	5.12
	Yaz	7.01	2050	11.20	iz	2.60	10.41	21.21	8.12	0.61	13.05	21.78	6.48	iz	C3S1	7.66	6.01
16	Bahar	6.55	2000	8.85	iz	2.60	9.04	20.49	10.02	0.44	12.04	22.50	5.38	iz	C3S1	6.26	12.60
	Yaz	6.75	1900	12.05	iz	3.06	14.12	19.23	8.58	0.36	11.04	19.98	5.33	iz	C3S1	6.19	12.30
17	Bahar	6.74	2500	9.85	iz	3.20	10.40	23.45	15.10	0.41	10.03	25.54	3.65	iz	C3S1	3.96	12.10
	Yaz	6.82	2050	8.99	iz	2.90	9.20	21.09	10.75	0.25	10.15	21.15	4.38	iz	C3S1	4.94	13.01
18	Bahar	7.40	1000	2.65	iz	2.05	4.50	9.20	9.30	0.34	0.96	10.60	0.44	iz	C3S1	0.61	4.39
	Yaz																
ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR**																	
19	Bahar	8.38	9000	49.50	1.30	6.25	42.60	93.40	10.50	7.41	78.25	91.66	52.17	3.05	C4S4	43.08	31.31
	Yaz	8.39	10000	82.20	10.60	4.20	2.74	99.74	7.50	1.26	91.59	100.35	47.30	7.30	C4S4	40.65	39.40
20	Bahar	7.57	900	0.55	iz	1.25	7.01	8.96	7.50	0.24	1.24	8.98	0.64	iz	C3S1	iz	14.80
	Yaz	7.80	1000	1.62	iz	2.06	7.30	10.98	8.55	0.25	2.15	10.95	1.04	iz	C3S1	0.27	15.05
21	Bahar	7.50	1750	7.99	iz	4.99	4.89	17.87	6.22	0.31	11.53	18.05	6.54	iz	C3S1	7.73	1.55
	Yaz	7.72	1890	9.90	iz	3.80	6.10	19.80	6.04	0.60	14.00	20.64	8.06	1.56	C3S1	9.60	1.72
22	Bahar	8.20	2400	15.20	iz	5.81	4.10	25.11	7.15	0.31	18.51	25.97	9.79	iz	C4S2	11.64	9.75
	Yaz	8.16	3000	20.61	2.80	3.20	2.40	29.01	6.20	0.60	20.00	26.80	11.36	iz	C4S2	13.41	11.80
23	Bahar	6.22	1900	6.86	iz	7.86	4.95	19.67	10.72	0.52	8.26	19.50	3.57	iz	C3S1	3.85	4.11
	Yaz	6.18	1790	5.90	iz	7.50	3.87	17.27	10.40	0.47	7.20	18.08	3.16	iz	C3S1	3.29	4.32
24	Bahar																
	Yaz																
ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR**																	
ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR**																	

Çizelge 6.10.'un devamı.

Ör. No	Dönem	pH	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	Anyonlar (me/l)				Kasyonlar (me/l)				S.A.R	Bakiye Na_2CO_3	S.S.S.	ESP*	B ppm	
				Cl^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	toplam	$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	K^+	Na^+						Toplam
25	Bahar	6.15	2100	17.81	iz	1.5	2.12	21.43	8.03	0.28	13.73	22.04	6.85	iz	C3S2	8.12	3.01
	Yaz	5.99	2400	19.28	iz	0.60	1.54	27.82	11.00	0.46	15.20	26.66	6.48	iz	C4S1	7.66	3.32
26	Bahar	6.18	2000	10.46	iz	7.42	3.01	20.89	8.62	0.53	11.79	20.94	5.68	iz	C3S1	6.64	12.30
	Yaz	6.02	2050	10.61	iz	7.20	2.64	20.45	9.24	0.49	10.80	20.53	5.02	iz	C3S1	5.79	14.80
27	Bahar	6.25	2750	12.85	iz	12.61	2.6	28.06	9.15	0.41	19.21	28.77	8.98	6.46	C4S2	10.70	1.25
	Yaz	6.22	3080	21.97	iz	6.80	2.12	30.89	9.08	0.60	22.03	31.71	10.34	7.72	C4S2	12.27	1.22

* Su örneğinin kullanıldığı topraktaki ESP'nin artış miktarı

** Kuyuların kapalı olması ve mevsimsel nedenlerden dolayı örnek alınamamıştır.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği tarafından sulama sularının kalite kriterlerinde esas alınması istenen değerler de Çizelge 6.11.'de verilmiştir. (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).

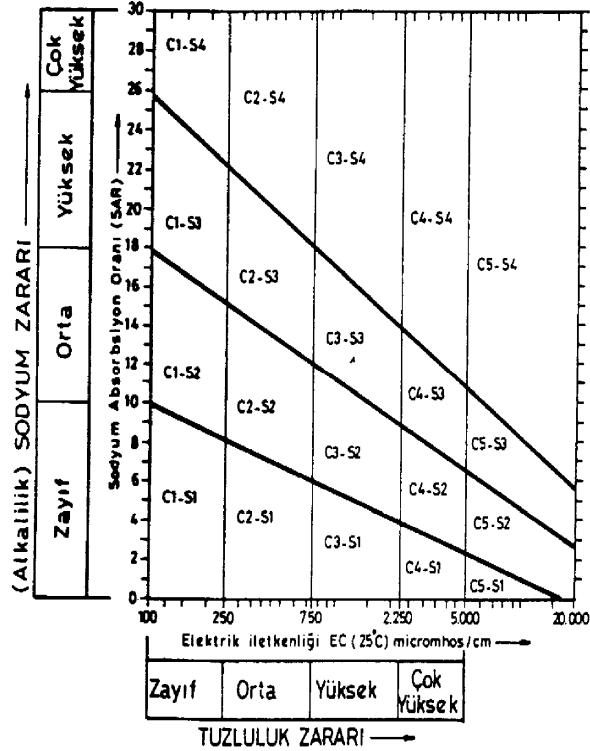
Çizelge 6.11. Sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kalite parametreleri

Kalite kriterleri	Sulama suyu sınıfı				
	I. Sınıf	II. Sınıf	III. Sınıf	IV. Sınıf	V. Sınıf
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	> 3000
Değişebilir Sodyum Yüzdesi (% Na)	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80
Sodyum Adsorbsiyon oranı (SAR)	< 10	10-18	18-26	> 26	
Sodyum karbonat kalıntısı (RSC) meq/l Mg/l	> 1.25 < 66	1.25-2.5 66-133	> 2.5 > 133	-	-
Klorür (Cl^-), meq/l mg/l	0-4 0-142	4-7 142-249	7-12 249-426	12-20 426-710	> 20 > 710
Sülfat (SO_4^{2-}) meq/l mg/l	0-4 0-192	4-7 192-336	7-12 336-575	12-20 575-960	> 20 > 960
Toplam tuz konsantrasyonu (mg/l)	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	> 2100
Bor konsantrasyonu (mg/l)	0-0.5	0.5-1.12	1.12-2.0	> 2.0	-
Sulama Suyu Sınıfı	C_1S_1	$\text{C}_1\text{S}_2, \text{C}_2\text{S}_2, \text{C}_2\text{S}_1$	$\text{C}_1\text{S}_3, \text{C}_2\text{S}_3, \text{C}_3\text{S}_3, \text{C}_3\text{S}_2, \text{C}_3\text{S}_1$	$\text{C}_1\text{S}_4, \text{C}_2\text{S}_4, \text{C}_3\text{S}_4, \text{C}_4\text{S}_4, \text{C}_4\text{S}_3, \text{C}_4\text{S}_2, \text{C}_4\text{S}_1$	-

Genel olarak sıcak suların, kuyu sularının, Hıdırbeyli baraj suyunun ve kanaletlere verilen sulama sularının elektriki geçirgenlik (EC) yani suyun içinde bulunan çözülmüş tuz içeriği değerleri çok yüksektir. Bölgedeki sıcak jeotermal sularla atmosferik kökenli soğuk yüzey akış suları karşılaştırıldığında sıcak su kaynaklarının EC'sinin çok yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.10.' da bahar döneminde alınan suların elektriksel geçirgenlik (EC) değerleri, minimum 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ maksimum ise 9000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerleri arasında bulunmuştur. Yaz dönemi alınan örneklerin elektriksel geçirgenlik (EC)

değerleri ise 1000 – 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Bu değerler Çizelge 6.11.'de verilmiş olan sulama suyu sınıflandırma sistemine göre incelendiğinde araştırma alanından alınan su örneklerinin büyük bir çoğunluğunun EC değerlerinin C.3 Fazla Tuzlu sular ile C.4 Çok Fazla Tuzlu Sular sınıflarına girdikleri görülmektedir (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954)(Şekil 6.20.).



Şekil 6.20. Sulama suyunun sınıflandırma Sistemi (Özbek, 1987)

Sulama suyu kalitesi yönünden aşırı tuzlu sular sınıfı olan suların tarımsal açıdan herhangi bir sulama suyu olarak kullanımı söz konusu değildir. Canlı yaşamı yönünden önemli bir öge olan suyun böylesine kirlenmesine neden olan katyonlar ve bunlarla eş içerikte bulunan anyonlar yönünden genel olarak katyon dağılımı $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{++}$, anyonlar ise $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{--}$ sırasını izlemekte olup burada birikim gösteren temel tuz NaCl ' dir (Çizelge 6.10.). Sıcak sularla diğer su örnekleri karşılaştırıldığında sıcak suların EC değerleri daha yüksek bulunmuştur (Şekil 6.22.).

Söz konusu bölgeden bahar döneminde alınan su örneklerinin, Cl^- anyonu miktarları minimum 0.55 – 49.50 me/lit arasında değişmiştir. Yaz döneminde alınan örneklerin ise Cl^- anyonu miktarları minimum 1.62 – 82.20 me/lit arasında değişmiştir (Şekil 6.23.). CO_3^{--2} anyonuna bahar döneminde 19 numaralı örnekte

rastlanırken (1.30 me/lt), yaz döneminde CO_3^{2-} anyonu 14, 19 ve 22 numaralı örneklerde (sırasıyla 2.00, 10.60, 2.80 me/lt) saptanmıştır. Bahar döneminde HCO_3^- anyonu 1.06 – 30.80 me/lt değerleri arasındadır. Yaz döneminde ise 0.98 – 30.01 me/lt değerleri arasında bulunmuştur. SO_4^{2-} anyonu içerikleri de bahar ve yaz dönemlerinde sırasıyla 1.54 – 17.02 me/lt ve 2.15 – 29.95 me/lt arasında saptanmıştır. Belirtilen bu anyonların toplam miktarları da bahar döneminde 8.00 me/lt ile 86.44 me/lt, yaz döneminde 9.01 me/lt ile 89.80 me/lt arasında belirlenmiştir. Çizelge 6.11.'de verilmiş olan sulama suyu kalite parametrelerine göre bulunan anyon değerleri incelendiğinde bahar ve yaz dönemi alınan jeotermal suların V. Sınıf sular içerisinde yer aldığı geri kalan su örneklerinin ise III. ve IV. sınıf sular içerisinde bulunduğu saptanmıştır.

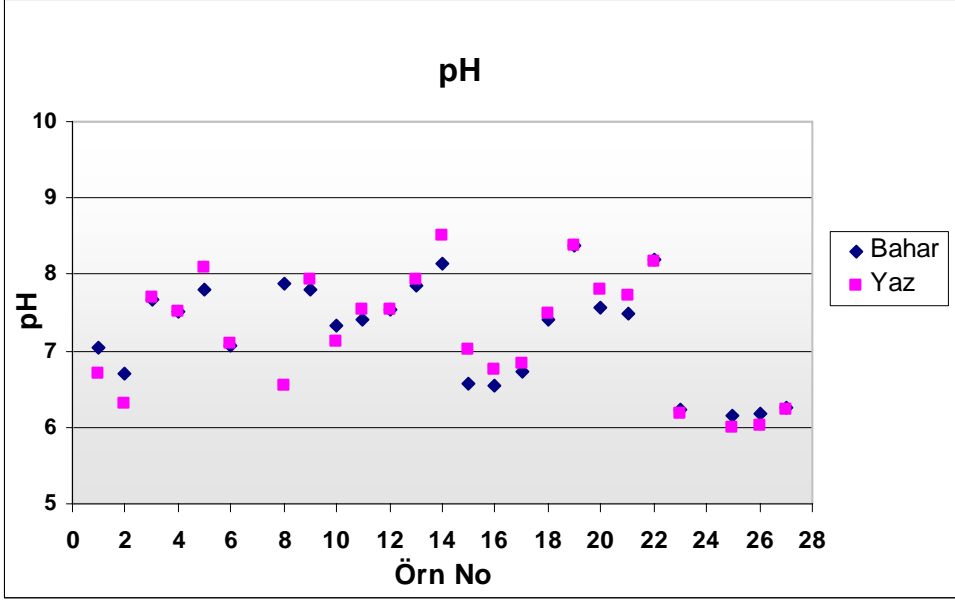
İncelenen bahar dönemi sularının $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ miktarları 2.74 me/lt ile 11.40 me/lt arasında, K^+ içerikleri 0.20 – 16.70 me/lt sınırları içerisinde, Na^+ değerleri ise 0.96 me/lt ile 78.25 me/lt değerleri arasında bulunmuştur (Şekil 6.24). Bu katyonların toplam miktarları ise 8.51 – 89.55 me/lt me/lt olarak belirlenmiştir. Yaz döneminde alınan su örneklerinin ise $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ miktarları 4.15 me/lt ile 14.10 me/lt arasında, K^+ içerikleri 0.21 – 25.71 me/lt sınırları içerisinde, Na^+ değerleri ise 2.15 me/lt ile 91.59 me/lt değerleri arasında saptanmıştır Bu katyonların toplam miktarları ise 9.20 – 89.90 me/lt olarak belirlenmiştir.

Sularda bakiye sodyum karbonat içeriği bahar ve yaz dönemlerinde alınan 1, 2, 3, 8, 10, 11, 19, 21 ve 27 numaralı örneklerde belirlenmiştir. Sodyum Adsorbsiyon oranları (SAR) ise bahar ve yaz dönemlerinde sırasıyla 0.44 – 52.17 ile 1.04 – 50.08 değerleri arasında değişmiştir (Şekil 6.25.). Çizelge 6.10'da verilen değerlere göre SAR değeri >26 olarak hesaplanan tüm sular IV. sınıf sular kapsamında değerlendirilmektedir. Bahar döneminde alınan 1, 2, 3, 8, 10, 11 ve 19 numaralı suların C4S4 (çok yüksek tuzlu - çok yüksek sodyumlu) sınıfına girdiği belirlenmiştir. 4 ve 11 numaralı suların C4S3 (çok yüksek tuzlu – yüksek sodyumlu) sınıfına, 22-27 numaralı suların C4S2 (çok yüksek tuzlu-orta sodyumlu) sınıfına, 25 numaralı suyun ise C3S2 (yüksek tuzlu – orta sodyumlu) sınıfına dahil olduğu saptanmıştır. Geri kalan suların kalite sınıfı ise C3S1 (yüksek tuzlu-az sodyumlu)olarak bulunmuştur. Yaz ayları içerisinde yapılan örneklemelerde alınan 1, 2, 8, 10, 11 ve 19 numaralı suların C4S4 (çok yüksek

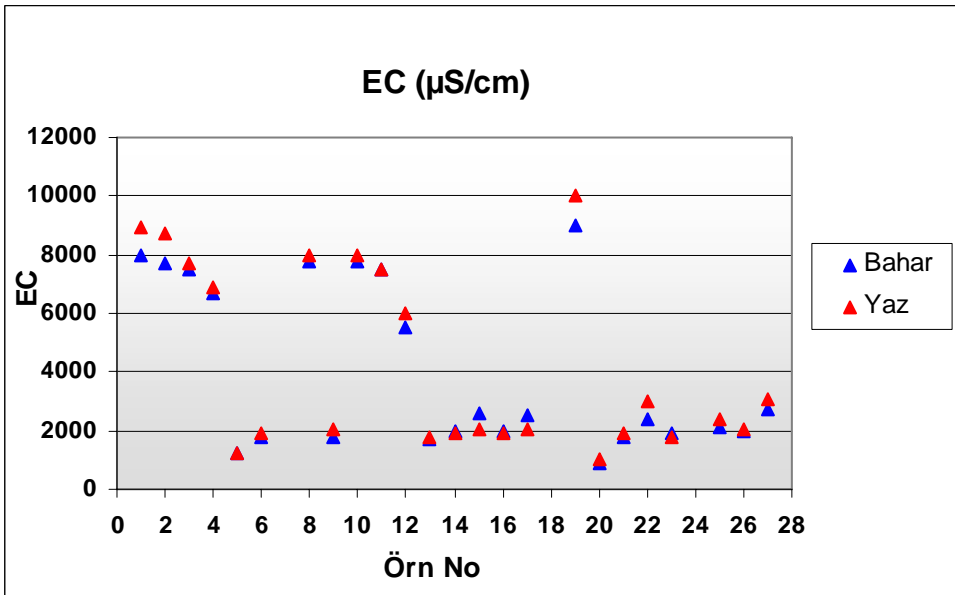
tuzlu - çok yüksek sodyumlu) sınıfına girdiği belirlenmiştir. 4 numaralı su C4S3 (çok yüksek tuzlu – yüksek sodyumlu) sınıfına 22, 27 numaralı suların C4S2 (çok yüksek tuzlu-orta sodyumlu) sınıfına, 25 numaralı suyun ise C4S1 (çok yüksek tuzlu – az sodyumlu) sınıfında olduğu saptanmıştır. Diğer su örneklerinde kalite sınıfı C3S1 (yüksek tuzlu-az sodyumlu) olarak bulunmuştur. Bahar dönemi alınan suların, toprağın su ile denge halinde iken adsorbe edebileceği değişebilir sodyumun yüzdesi (ESP) değeri iz ile 43.08 arasında, yaz dönemi suların, toprağın su ile denge halinde iken adsorbe edebileceği değişebilir sodyumun yüzdesi (ESP) değeri 0.27 ile 42.07 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Suların bor içerikleri bahar döneminde 1.25 – 40.30 ppm arasında, yaz döneminde ise 1.22 – 39.40 ppm arasında değişmektedir. Bahar ve yaz dönemlerinde alınan su örneklerinin bor konsantrasyonları karşılaştırıldığında çok büyük farklılıklar görülmemektedir (Şekil 6.26.). Tüm su kaynaklarından alınan örneklerde de sulama suyu sınıfı toksik kriter değerinin (1 ppm) üstünde bor konsantrasyonu saptanmıştır. Çizelge 6.11.'de izlenmekte olan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği tarafından sulama sularının kalite kriterlerinde esas alınması istenen bor değerlerine göre de 2 ppm'in üzerinde bor içeren sular IV. sınıf sular kapsamında değerlendirilmelidir.

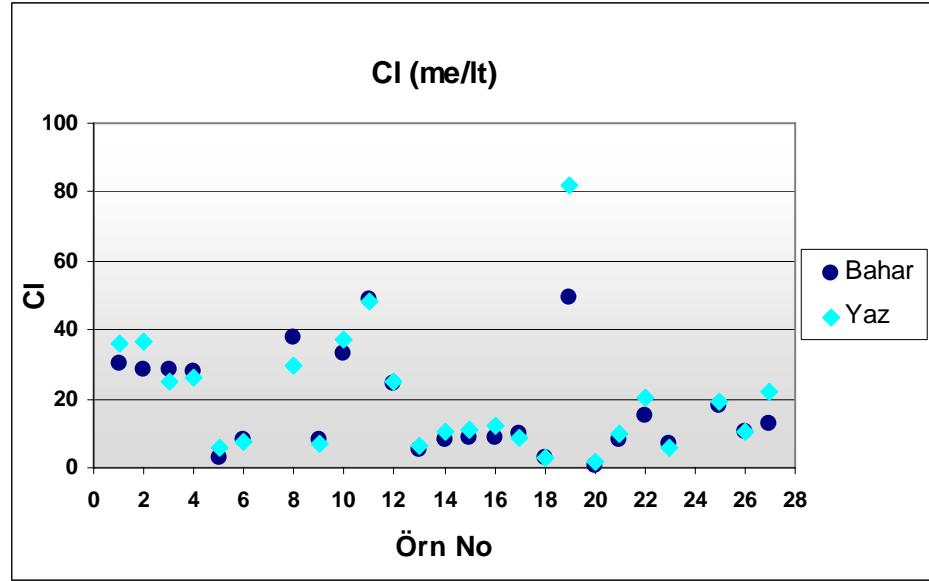
Özellikle termal sularda diğer su örneklerine göre bor konsantrasyonu çok yüksek miktarlarda bulunmuştur. Ancak baraj suyunun, kanaletlerden alınan suların ve kuyu sularının bor konsantrasyonlarının 1 ppm'in üzerindeki değerlerde çıkması dikkat çekmekte ve sıcak suların bu sulara karıştığı izlenimini vermektedir.



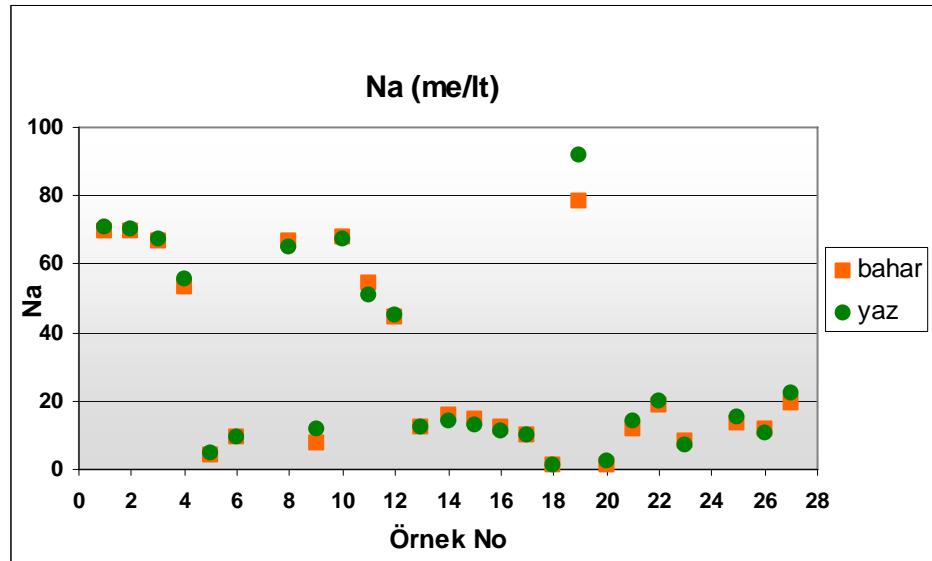
Şekil 6.21. 2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin pH değerleri



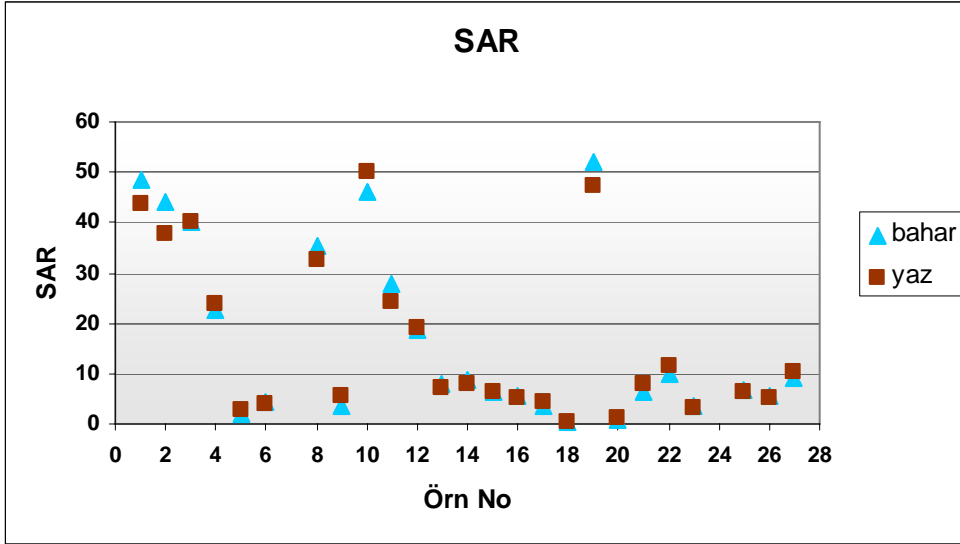
Şekil 6.22. 2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin EC değerleri



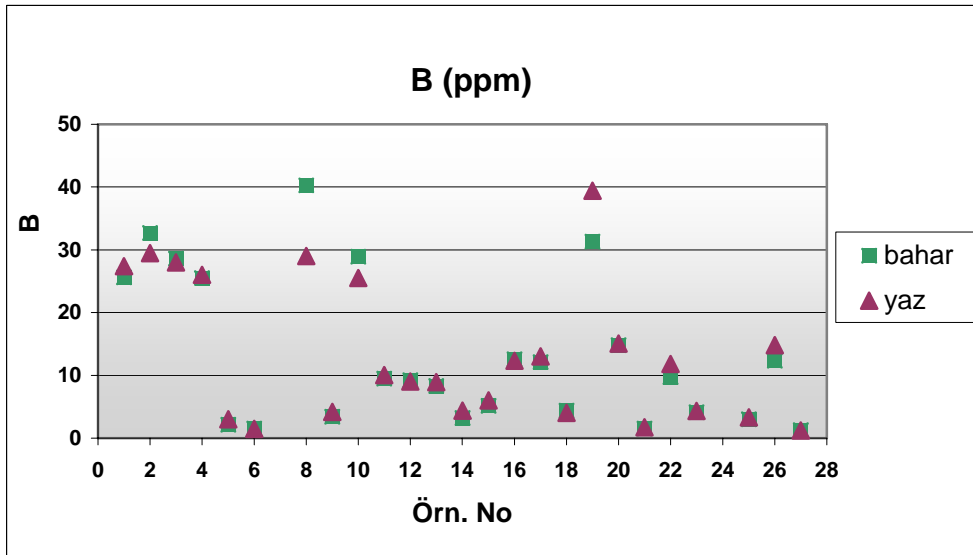
Şekil 6.23. 2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin Cl⁻ (me/l) değerleri



Şekil 6.24. 2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin Na⁺ (me/l) değerleri



Şekil 6.25. 2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin SAR değerleri



Şekil 6.26. 2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin B (ppm) değerleri

6.2.1.2. 2008 Yılı Alınan Su Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

Alangüllü Yan Havzasından, 2008 yılında bahar ve yaz dönemlerinde alınan su örneklerinin kimyasal değerleri Çizelge 6.12.'de gösterilmiştir

Çizelge 6.12. 2008 yılı arazi çalışmalarında alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Örnek No	Dönem	pH	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	Anyonlar (me/l)				Katyonlar (me/l)				S.A.R	Bakiye Na_2CO_3	S.S.S.	ESP*	B ppm
				Cl^-	CO_3^{-2}	HCO_3^-	SO_4^{-2}	toplam	$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	K^+	Na^+					
1	Bahar	6.85	8700	39.46	iz	29.96	17.02	86.44	7.10	4.01	75.13	86.24	25.86	C4S4	43.23	24.50
	Yaz	7.00	7800	39.92	iz	19.25	16.02	75.19	6.50	21.74	52.30	80.54	12.75	C4S4	29.34	25.60
2	Bahar	7.90	8500	39.18	iz	24.00	15.89	85.47	2.74	2.55	81.26	86.55	27.66	C4S4	51.20	8.30
	Yaz	6.82	7500	36.93	iz	18.50	19.50	74.93	4.80	22.71	50.76	78.27	13.70	C4S4	32.00	19.10
3	Bahar	8.24	3300	15.38	iz	5.20	5.60	34.18	7.06	1.28	30.03	38.37	6.14	C4S2	18.24	8.08
	Yaz	7.99	7500	36.98	iz	7.88	29.95	74.81	5.29	3.90	65.98	75.17	2.59	C4S4	36.94	8.45
4	Bahar	7.33	8000	30.75	iz	30.80	14.53	80.08	5.58	2.81	71.86	85.25	iz	C4S4	39.98	18.29
	Yaz	7.40	7000	28.45	iz	23.65	16.32	68.42	14.10	19.01	40.06	73.17	9.55	C4S4	17.35	17.32
5	Bahar	8.54	850	1.95	iz	4.10	1.95	8.00	6.75	0.26	1.50	8.51	iz	C3S1	iz	2.96
	Yaz	8.60	900	1.42	iz	5.44	2.15	9.01	6.81	0.33	2.06	9.20	iz	C3S1	0.39	3.01
6	Bahar	7.25	1600	4.70	iz	3.05	10.05	16.80	7.81	0.45	8.06	16.32	iz	C3S1	4.54	1.40
	Yaz	7.80	1900	6.90	iz	2.70	10.13	19.73	8.44	0.21	10.84	19.49	iz	C3S1	6.12	2.05
8	Bahar	7.89	8000	40.70	iz	29.55	9.78	80.03	7.20	1.50	72.25	80.95	22.35	C4S4	35.44	27.10
	Yaz	7.95	8900	46.85	iz	30.01	12.94	89.80	7.96	1.95	79.99	89.90	22.05	C4S4	36.66	28.10
9	Bahar	7.70	1900	0.94	iz	2.20	16.77	19.91	7.92	0.49	10.88	19.28	iz	C3S1	6.37	3.50
	Yaz	7.75	1900	7.02	iz	2.36	10.56	19.94	7.60	0.41	11.92	19.93	iz	C4S4	7.20	4.15
10	Bahar	7.73	8000	39.22	iz	17.80	13.92	80.04	3.50	2.30	76.02	81.82	23.40	C4S4	46.80	8.29
	Yaz	7.40	7500	52.41	iz	9.75	14.05	76.21	5.00	25.71	44.90	75.61	52.41	C4S4	iz	9.75
11	Bahar	7.35	6900	44.20	iz	10.01	15.06	69.27	7.25	16.70	45.11	69.06	2.76	C4S4	25.20	8.65
	Yaz	7.49	7500	44.91	iz	11.75	16.76	73.42	6.90	21.74	49.33	77.97	4.85	C4S4	27.49	9.55
12	Bahar	8.23	1650	5.47	2.80	3.80	4.05	16.12	7.74	0.38	9.83	17.95	iz	C3S1	5.04	9.50
	Yaz	7.85	5500	35.89	iz	6.95	13.00	55.84	10.06	2.01	45.41	57.47	iz	C4S4	22.24	9.70

Çizelge 6.12.'in Devamı.

Örnek No	Dönem	pH	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	Anyonlar (me/l)				Kasyonlar (me/l)				S.A.R	Bakiye Na_2CO_3	S.S.S.	ESP*	B ppm	
				Cl^-	CO_3^{-2}	HCO_3^-	SO_4^{-2}	Toplam	$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	K^+	Na^+						Toplam
13	Bahar	7.60	1500	6.88	iz	1.99	6.88	15.75	5.22	0.34	10.53	16.08	6.52	iz	C3S1	7.71	7.85
	Yaz	7.65	1600	7.25	iz	1.95	7.49	16.69	5.95	0.31	10.60	16.86	6.15	iz	C3S1	7.24	7.90
14	Bahar	8.64	1600	6.46	3.60	3.00	1.94	14.99	5.10	0.51	10.51	16.12	7.83	0.50	C3S1	9.33	4.20
	Yaz	8.61	2000	10.25	iz	2.86	7.80	20.91	6.60	0.47	13.92	20.99	7.66	iz	C3S2	9.12	5.16
15	Bahar	6.95	1850	9.30	iz	2.56	6.99	18.85	7.96	0.55	10.16	18.67	5.09	iz	C3S1	5.88	4.95
	Yaz	7.11	2100	11.40	iz	2.79	7.81	22.00	8.30	0.50	13.12	21.92	6.44	iz	C3S2	7.61	6.50
16	Bahar	6.63	1600	9.01	iz	2.85	4.78	16.64	6.65	0.30	10.04	16.99	5.51	iz	C3S1	6.42	8.05
	Yaz	6.75	2050	12.25	iz	3.53	5.20	20.98	7.39	0.56	12.94	20.89	6.73	iz	C3S1	7.98	12.02
17	Bahar	6.75	2000	12.05	iz	2.50	5.56	20.11	11.40	0.22	9.02	20.64	3.78	iz	C3S1	4.13	11.05
	Yaz	6.85	2100	12.40	iz	2.75	6.61	21.76	10.51	0.34	10.97	21.82	4.79	iz	C3S1	5.48	6.85
18	Bahar	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR**															
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR**															
19	Bahar	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR**															
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR**															
20	Bahar	7.40	850	0.45	iz	1.06	7.53	9.04	6.01	0.20	2.79	9.00	1.61	iz	C3S1	1.10	7.25
	Yaz	7.65	1050	1.51	iz	1.46	7.90	10.87	7.12	0.31	3.58	11.01	1.90	iz	C3S1	1.51	7.65
21	Bahar	8.21	1250	5.85	iz	4.40	1.89	12.14	4.20	2.14	6.13	12.47	4.23	iz	C3S1	4.74	13.50
	Yaz	8.15	1450	6.45	iz	5.60	2.88	14.93	4.15	1.61	9.32	15.08	6.47	1.45	C3S1	7.65	14.02
22	Bahar	7.98	3000	24.31	iz	3.50	3.12	30.93	6.93	0.30	23.73	30.96	12.74	iz	C4S2	14.92	9.77
	Yaz	8.09	3000	23.04	iz	3.75	3.85	30.64	7.51	0.51	22.97	30.99	11.85	iz	C4S2	13.96	10.21
23	Bahar	6.08	1750	6.88	iz	6.81	3.87	17.56	9.72	0.47	7.20	17.40	3.27	iz	C3S1	3.44	3.55
	Yaz	6.15	1750	5.20	iz	7.77	4.86	17.83	9.49	0.50	7.93	17.92	3.64	iz	C3S1	3.95	3.87

Çizelge 6.12.'in Devamı

Örnek No	Dönem	pH	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	Anyonlar (me/l)				Katyonlar (me/l)				S.A.R	Bakiye Na_2CO_3	S.S.S.	ESP*	B ppm	
				Cl^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Toplam	$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	K^+	Na^+						Toplam
24	Bahar	8.74	1200	6.97	4.00	2.00	1.83	10.80	5.90	0.38	8.49	14.77	4.94	iz	C3S1	5.69	3.00
	Yaz	8.80	1400	7.25	iz	4.98	2.70	14.93	5.45	0.41	9.16	15.01	5.55	iz	C3S1	6.48	3.29
25	Bahar	5.99	2400	7.28	iz	2.60	1.54	27.82	11.00	0.46	15.20	26.66	6.48	iz	C4S1	7.66	3.32
	Yaz	6.05	2100	18.10	iz	0.98	2.52	21.60	9.46	0.35	12.16	21.96	5.59	iz	C3S1	6.53	3.45
26	Bahar	6.52	1800	7.76	iz	8.25	2.00	18.01	5.15	3.05	10.25	18.45	6.39	3.10	C3S1	7.55	9.17
	Yaz	6.10	2050	11.25	iz	6.98	2.78	21.01	7.96	0.45	12.81	21.22	6.42	iz	C3S1	7.59	12.20
27	Bahar	6.92	2200	7.46	iz	12.60	1.39	21.45	10.00	0.51	11.61	22.12	5.19	2.60	C3S1	6.02	5.42
	Yaz	6.95	2000	6.21	iz	11.67	2.46	20.34	9.55	0.61	10.83	20.99	4.95	2.12	C3S1	5.70	5.50

* Su örneğinin kullanıldığı topraktaki ESP'nin artış miktarı

** Kuyuların kapalı olması ve mevsimsel nedenlerden dolayı örnek alınmamıştır

Çizelge 6.12'ye göre bahar döneminde alınan su örneklerinin pH sınırları minimum 5.99 ile maksimum 8.74 arasında değişmekteyken yaz döneminde alınan su örneklerinin pH sınırları 6.05 ile 8.80 arasında değişmektedir (Şekil 6.27). Bu değerler 2007 yılında alınan su örneklerinin pH değerleri ile karşılaştırıldığında suların genellikle bazik karakterli olduğu görülmektedir.

Bahar dönemi alınan suların elektriksel geçirgenlik (EC) değerleri $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak, minimum 850 maksimum 8700 arasında bulunmuştur. Yaz döneminde ise 900 ile 8900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında olduğu belirlenmiştir. Genel olarak 2008 yılında alınan su örneklerinde de sıcak suların, kuyu sularının, Hıdırbeyli baraj suyunun ve kanaletlere verilen sulama sularının elektriki geçirgenlik (EC) yani suyun içinde bulunan çözülmüş tuz içeriği değerleri çok yüksek olduğu görülmektedir. Tüm su örneklerinin EC'leri yüksek olup mevsimsel etkiye bağlı olarak değerler arasında farklılıklar olduğu ve genellikle yaz aylarında EC değerleri artarken bahar döneminde azaldığı gözlenmiştir (Şekil 6.28.). Sıcak suların EC değerleri daha yüksek olmakla birlikte sıcak suların etkisi (girişim, yüzey akışı vb.) ile diğer su kaynaklarının da EC'lerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Buda jeotermal kaynakların diğer tabansuyu ve yüzeyüstü sulara olan etkilerinin ne denli yüksek olduğunun bir göstergesidir. 2007 ve 2008 yıllarında alınan tüm su örneklerinin EC değerleri Çizelge 6.11'de sulama suları için verilen sınıflandırma sistemine göre incelendiğinde suların III., IV. ve V. Sınıf sular kapsamında yer aldığı görülmektedir.

Alangüllü Yan Havzasından bahar dönemi alınan su örneklerinin, Cl^- anyonu miktarları 0.45 – 44.20 me/lt, yaz döneminde alınan su örneklerinde ise Cl^- anyonu miktarları 1.42 – 52.41 me/lt arasında bulunmuştur. Tüm dönemlerde alınan su örneklerinin Cl^- konsantrasyonu incelendiğinde sulama suları sınıflandırma sistemine göre tüm jeotermal sular IV. ve V. sınıf sular içerisinde yer almaktadır. Ayrıca, yaz aylarında su örneklerinin Cl^- miktarının artış gösterdiği bahar aylarında ise değerlerin düştüğü görülmüştür (Şekil 6.29.). Bu değişimin yağışlı dönemde yağmur sularının yeraltı sularına karışması ile Cl^- konsantrasyonunun seyrelmesinden, yaz aylarında ise buharlaşmanın etkisiyle konsantrasyonun artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bazı örneklerde (2, 3, 4, 22 ve 23 nolu sularda) ise yağışlı dönemlerde Cl^- artışının görülmesinin nedeni olarakta yaz aylarında sıcaklığın etkisi ile yüzeyde biriken tuz

birikimlerinin yağışla birlikte yeraltına süzülerek Cl^- konsantrasyonunu arttırması söylenebilir.

CO_3^{2-} anyonuna bahar döneminde 19 numaralı örnekte rastlanırken (1.30 me/lt), yaz döneminde CO_3^{2-} anyonu 12, 14 ve 24 numaralı örneklerde (sırasıyla 2.80, 3.60, 4.00 me/lt) saptanmıştır. Bahar döneminde HCO_3^- anyonu 1.06 – 30.80 me/lt değerleri arasındadır. Yaz dönemi HCO_3^- anyonu değerleri ise 0.98 – 30.01 me/lt olarak bulunmuştur. SO_4^{2-} anyonu içerikleri de bahar ve yaz dönemlerinde sırasıyla 2.12 – 75.65 me/lt ve 1.54 – 36.45 me/lt arasında saptanmıştır. Tüm dönemlerde alınan su örneklerinin SO_4^{2-} konsantrasyonu incelendiğinde sulama suları sınıflandırma sistemine göre tüm jeotermal sular IV. ve V. sınıf sular içerisinde bulunmaktadır. Belirtilen bu anyonların toplam miktarları da bahar döneminde 8.96 me/lt ile 93.40 me/lt, yaz döneminde 10.98 me/lt ile 99.74 me/lt arasında belirlenmiştir.

İncelenen bahar dönemi su örneklerinin $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ miktarları 2.74 me/lt ile 11.40 me/lt arasında, K^+ içerikleri 0.20 – 16.70 me/lt sınırları içerisinde, Na^+ değerleri ise 1.50 me/lt ile 84.26 me/lt değerleri arasında bulunmuştur (Şekil 6.30.). Bu katyonların toplam miktarları ise 8.51 – 89.55 me/lt olarak belirlenmiştir. Yaz dönemi alınan su örneklerinin $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ miktarları ise 4.15 me/lt ile 14.10 me/lt arasında, K^+ içerikleri 0.21 – 25.71 me/lt sınırları içerisinde, Na^+ değerleri ise 2.06 me/lt ile 79.99 me/lt değerleri arasında bulunmuştur. Bu katyonların toplam miktarları ise 9.20 – 89.90 me/lt olarak belirlenmiştir.

2007 ve 2008 yıllarında alınan tüm su örneklerinin genellikle Na içerikleri yüksek bulunmuştur. Sulama suyundaki sodyum konsantrasyonu miktar olarak düşük olsa bile, diğer katyonların toplamından oransal olarak fazla ise önemli ölçüde alkalilik zararı meydana getirebilir. Özellikle topraklarda değişebilir Na^+ katyonunun yüzde 15 ve daha yüksek olduğu zaman, topraklar “Tuzlu-Alkali veya Tuzsuz-Alkali” duruma gelirler ki bu topraklarda bitkiler, değişebilir sodyumdan büyük ölçüde zarar görürler. Bu durum araştırma alanında özellikle jeotermal kaynakların çevresindeki topraklarda oldukça açık bir şekilde görülmektedir. Bu alanlarda sadece yoğun tuz içeriğine dayanıklı olan doğal halofit bitkiler yaşam bulabilir.

Bahar döneminde alınan 1, 2, 3, 8, 10, 11, 14, 26 ve 27 numaralı örneklerde bakiye sodyum karbonat belirlenirken diğer örneklerde saptanamamıştır. Sodyum Adsorbsiyon oranları (SAR) ise 0.82 – 71.99 değerleri arasında değişmiştir. 1, 2, 4, 8, 10 ve 11 numaralı suların C4S4 (çok yüksek tuzlu - çok yüksek sodyumlu) sınıfına girdiği belirlenmiştir. 3 ve 22 numaralı sular C4S2 (çok yüksek tuzlu – orta sodyumlu) sınıfına, 25 numaralı suyun ise C4S1 (çok yüksek tuzlu – az sodyumlu) sınıfına dahil olduğu saptanmıştır. Geri kalan sularda kalite sınıfı C3S1 (yüksek tuzlu-az sodyumlu) olarak bulunmuştur. Yaz döneminde ise 1, 2, 3, 4, 8, 10, 11, 21 ve 27 numaralı su örneklerinde bakiye sodyum karbonat belirlenirken diğer örneklerde saptanamamıştır. Sodyum Adsorbsiyon oranları (SAR) ise 1.12 – 40.57 değerleri arasında değişmiştir (Şekil 6.31.). 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11 ve 12 numaralı suların C4S4 (çok yüksek tuzlu-çok yüksek sodyumlu) sınıfına girdiği belirlenmiştir. 22 numaralı su C4S2 (çok yüksek tuzlu – orta sodyumlu) sınıfına, 14 ve 15 numaralı suların ise C3S2 (yüksek tuzlu – orta sodyumlu) sınıfına dahil olduğu saptanmıştır. Geri kalan sularda kalite sınıfı C3S1 (yüksek tuzlu-az sodyumlu) olarak bulunmuştur (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954).

Toprağın su ile denge halinde iken adsorbe edebileceği değişebilir sodyumun yüzdesi (ESP) değeri bahar döneminde iz ile 51.20 arasında değişmekteyken yaz döneminde 0.39 ile 36.94 arasında değişmektedir. 2 yıl boyunca alınan tüm örneklerin, toprağın su ile denge halinde iken adsorbe edebileceği değişebilir sodyumun yüzdesi (ESP) değeri iz ile 43.08 arasında değişmektedir. Sulama sularının SAR değerine bağlı olarak toprakta meydana gelebilecek alkali (sodyum) zararının ölçüsü, toprağın değişebilir sodyum yüzdesi (ESP)' nin 15 değeridir. ESP değeri 15'in üzerinde olan sularla sulanan topraklarda değişebilir sodyumdan ileri gelen alkali zararının belirgin özelliklerini gösteren “Tuzlu-Alkali veya Tuzsuz Alkali” topraklar olarak kabul edilmektedir alanında (U.S Salinity Lab. Staff., 1954). 15'in altındaki ESP değerlerinde de çok duyarlı kültür bitkileri sodyum zararına uğrayarak toksite ve büyüme geriliği belirtileri gösterebilmektedir. Bazı kültür bitkilerinin değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) sınırları ile dayanıklılık ilişkisi Çizelge 6.13'de verilmiştir (Allison, 1964).

Çizelge 6.13. Bazı kültür bitkilerinin değişebilir sodyum yüzdesine (ESP) olan oransal dayanmaları

Büyümeye Etkili Değişebilir Na ⁺ sınıfı	Değişebilir Sodyum %'si Sınırları (ESP)	Bitki Türleri	Tarla Koşullarında Bitkinin Tepkisi ve Toprak Özellikleri
Çok duyarlı	2-10	Taş çekirdekli, sert kabuklular, turunçgiller	Düşük değişebilir sodyum %'sinde bile tipik sodyum toksitesi belirtileri
Duyarlı	10-20	Baklagil bitkileri	Düşük ve orta ESP değerlerinde elverişli toprak stürüktür koşullarına rağmen büyümenin engellenmesi
Orta derecede dayanıklı	20-40	Yonca, Yulaf, çayır yumağı, pirinç vb.	Elverişsiz beslenme koşulları ve kötü toprak stürüktür oluşumu nedenlerine bağlı olarak büyümenin engellenmesi
Dayanıklı	40-60	Buğday, pamuk, arpa, şeker pancarı vb.	Kötü toprak stürüktür oluşumu nedeniyle büyümenin engellenmesi
Çok dayanıklı	60 ve daha büyük	Agropyron cristatum, Rodos otu, bazı halofit çayır bitkileri.	Kötü toprak stürüktürü nedeniyle büyümenin engellenmesi

Bahar ve yaz dönemlerinde alınan suların bor içerikleri sırasıyla 1.40 – 27.10 ppm ile 2.05 - 28.10 arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 6.32.). Araştırma alanından alınan ve büyük bir çoğunluğu tarımsal sulamada kullanılan su örneklerinin analiz sonuçlarına bakıldığında tüm örnekleme dönemlerinde alınan su örneklerinin 1.01–40.30 ppm arasındaki oldukça yüksek ve toksik etkiye sahip değerlerde bor içeriğine sahip olduğu gözlenmiştir. Tüm dönemlerde alınan sulama sularının B konsantrasyonu incelendiğinde, Çizelge 6.11.'de izlenmekte olan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ile Çizelge 6.14.'te Scofield tarafından verilmiş olan sınıflandırma sistemine göre suların genellikle IV. ve V. sınıf sular içerisinde yer aldıkları görülmektedir. Jeotermal suların bor içeriklerinin ise çok yüksek olması dikkat çekicidir. Farklı derinliklerden ve yüksek sıcaklıkla yüzeye çıkan bu sıcak suların, çıkarken çevrelerindeki mineralleri (apatit, turmalin, kalsit, dolomit vb.) çözmesiyle birlikte içeriklerindeki tuz (bor, sodyum vb.) miktarları da artar. Bu da sıcak sular ile çıktıkları bölgedeki kayaların arasında bir ilişki olduğunu gösterir. Ayrıca alınan tüm su örneklerindeki bor konsantrasyonları karşılaştırıldığında özellikle yaz döneminde buharlaşmanın etkisiyle konsantrasyonun arttığı izlenmektedir. Yağışın fazla olduğu bahar döneminde ise

yağmur sularının su kaynaklarına karışarak bor konsantrasyonlarının düşmesine neden olduğu düşünülmektedir.

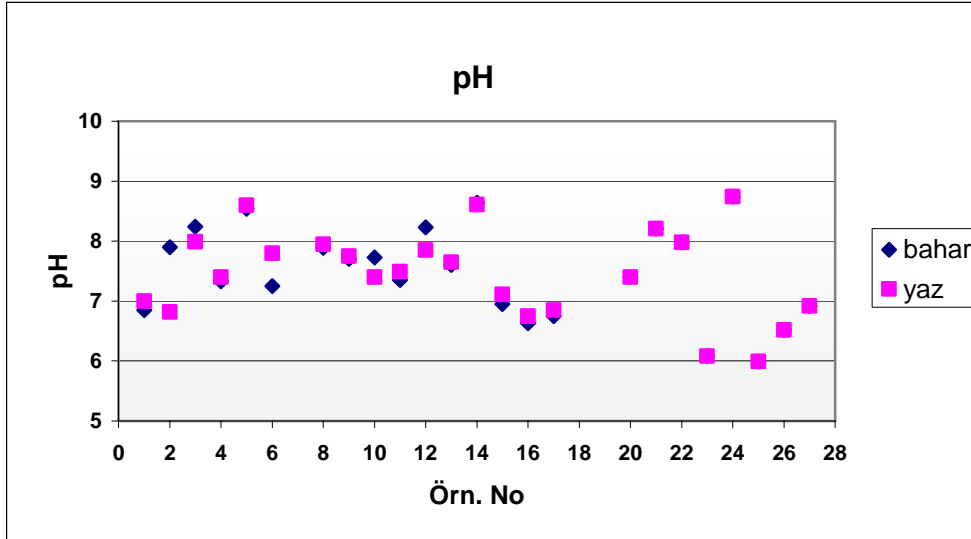
Çizelge 6.14. Scofield'e göre sulama sularının bor sınıfları
(Thorne-Peterson, 1954)

Sulama Suyu Bor Sınıfı	Duyarlı Bitkiler ¹	Yarı Dayanıklı Bitkiler ²	Dayanıklı Bitkiler ³
Çok İyi	<0.33 ppm	<0.67 ppm	<1.00 ppm
İyi	0.33-0.67 ppm	0.67-1.33 ppm	1.00-2.00 ppm
Kullanılabilir	0.67-1.00 ppm	1.33-2.00 ppm	2.00-3.00 ppm
Kullanılması sakıncalı	1.00-1.25 ppm	2.00-2.50 ppm	3.00-3.75 ppm
Kullanılamaz	>1.25 ppm	> 2.50 ppm	>3.75 ppm

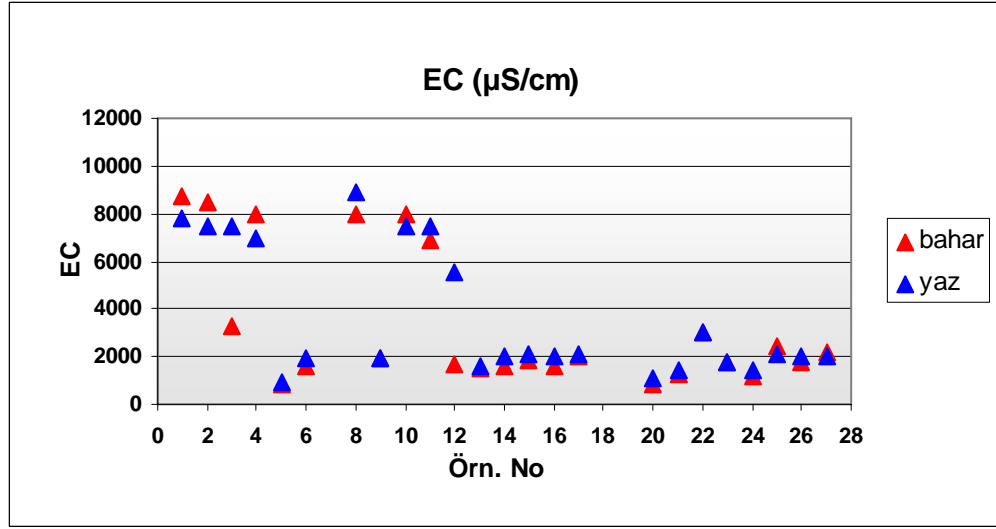
¹ : Örnek ; Ceviz, Limon, İncir, Elma, Üzüm ve Fasulye

² : Örnek : Arpa, Buğday, Mısır, Yulaf, Zeytin ve Pamuk

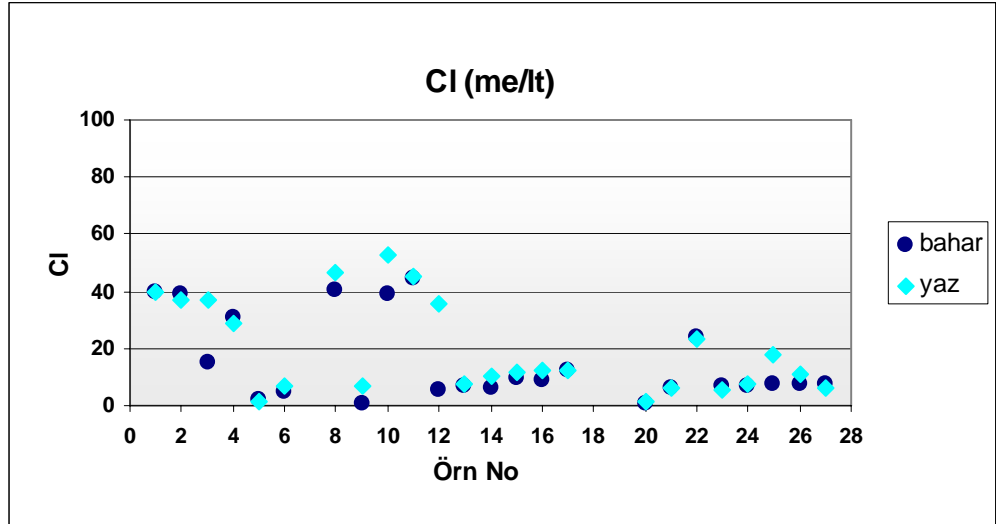
³ : Örnek : Şeker Pancarı, Yonca, Bakla, Soğan, Marul ve Havuç



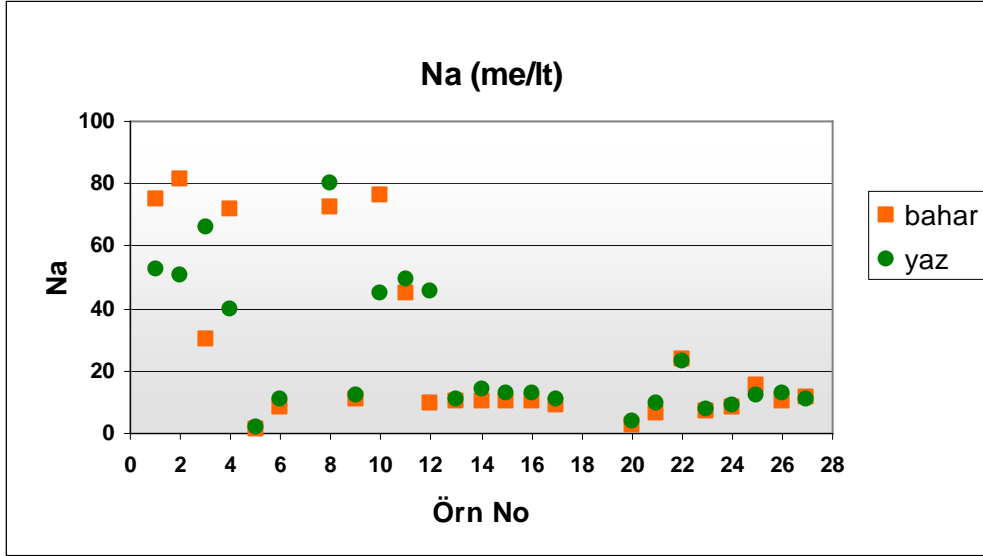
Şekil 6.27. 2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin pH değerleri



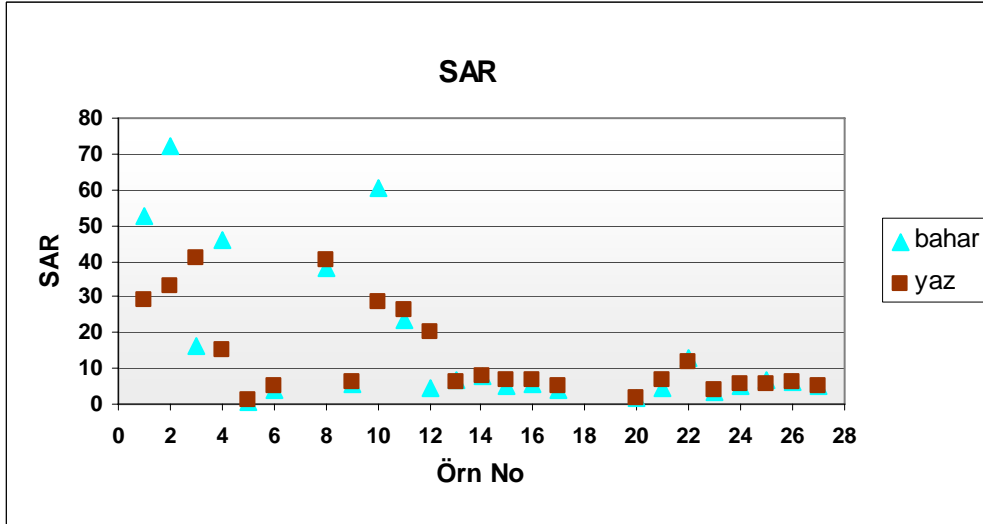
Şekil 6.28. 2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin EC değerleri



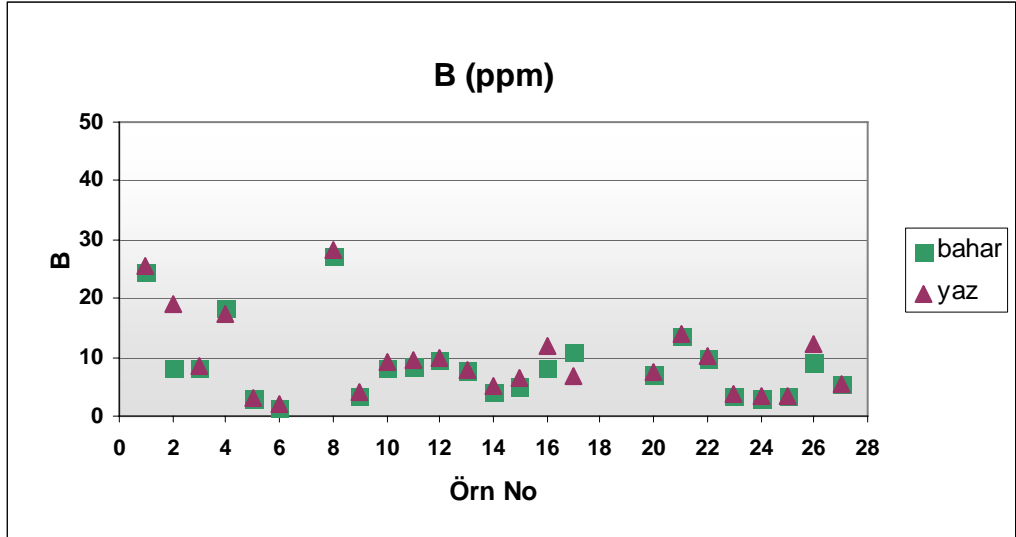
Şekil 6.29. 2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin Cl⁻ değerleri



Şekil 6.30. 2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin Na değerleri



Şekil 6.31. 2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin SAR değerleri



Şekil 6.32. 2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin B içerikleri

6.2.2. Su Örneklerinin Ağır Metal ve İz Element Konsantrasyonlarına İlişkin Sonuçlar

Suların ve toprakların kirlenmesi tarımsal faaliyetler ve bitkisel üretim üzerine hem kalite hemde verim açısından etkili olmakta, hatta bazı durumlarda bitkisel ve hayvansal ürünlerin kullanım ve tüketimini zararlı sonuçları nedeniyle imkansız hale getirmektedir. Bu nedenle tarımsal amaçlı kullanılan sulama sularında farklı ülkelere ağır metal sınır değerleri belirlenmiştir (Çizelge 6.15.)(Elmacı, 1995).

Çizelge 6.15. Tarım alanları için sulama sularında farklı ülkelere kabul edilen bazı ağır metal sınır değerleri (ppm)

Ülkeler	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
FAO	0,010	0,05	0,1	0,20	0,20	5,0	2,0
ABD	0,005	0,20	5,0	0,20	0,50	5,0	5,0
İngiltere	0,020	-	2,0	0,50	0,15	2,0	1,0
Hollanda	0,010	0,20	1,0	0,20	0,20	5,0	2,0
Avustralya	0,010	-	1,0	0,20	0,20	5,0	2,0
Japonya	0,005	-	-	0,02	-	0,1	0,5

Alangüllü Yan Havzasından, 2007 yılında Bahar ve Yaz ayları ile 2008 yılında Bahar ve Yaz ayları olmak üzere dört dönem alınan su örneklerinde, bazı iz elementler ve ağır metallerin tayini yapılmıştır. Bulunan analiz sonuçları, Çizelge 6.16.'da verilen Kıtaçi su kaynakları sınıflandırma sistemi kalite kriterleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.16. Kıtaçi su kaynakları sınıflarına göre kalite kriterleri
(Anonim, 2004)

SU KALİTE PARAMETRELERİ	SU KALİTE SINIFLARI			
	I	II	III	IV
İnorganik Kirlenme Parametreleri (ppm)				
Kadmiyum (Cd)	0.003	0.005	0.01	>0.01
Kurşun (Pb)	0.010	0.020	0.05	>0.05
Bakır (Cu)	0.020	0.050	0.20	>0.20
Krom (toplam) (Cr)	0.020	0.050	0.20	>0.20
Kobalt (Co)	0.010	0.020	0.20	>0.20
Nikel (Ni)	0.020	0.050	0.20	>0.20
Çinko (Zn)	0.200	0.500	2.00	>2.00
Demir (Fe)	0.300	1.000	5.00	>5.00
Mangan (Mn)	0.100	0.500	3.00	>3.00
Bor (B)	1.000	1.000	1.00	>1.00

6.2.2.1. 2007 Yılında Alınan Su Örneklerinin Ağır Metal ve İz Element Sonuçları

Alangüllü Yan Havzasındaki sıcak su kaynaklarının çevresel etkilerini belirlemek amacıyla, sıcak su kaynaklarından, derelerden, kuyulardan, Hıdırbeyli barajından ve bu baraj suyunun dağıtıldığı kanaletlerden periyodik olarak örnekler alınmıştır. Bu sularda yapılan analizlerin sonucunda, suların ağır metal içermesi ve uzun süreli yada kısa süreli kullanımı ile birlikte bitkilerde ortaya çıkabilecek olan olası etkileri değerlendirilmiştir.

Kukul (2007) tarafından bildirilen sulama suyunda kimi elementlerin izin verilebilir sınır değerleri Çizelge 6.17'de verilmiştir.

Çizelge 6.17. Sulama suyunda kimi elementlerin izin verilebilir sınırları ve etkileri (ppm)

Element	Uzun süreli sulama	Kısa süreli sulama	Özellikler
Kadmiyum (Cd)	0.01	0.05	Fasulye, pancar ve şalgama 0.1 mg/lt düzeyinde bile zararlı olur. Bilgilerimiz kısıtlı olduğundan, güvenilir sınırlar konmuştur.
Krom (Cr)	0.1	1.0	Bilgi yetersizliğinden dolayı güvenilir sınırlar konmuştur.
Kobalt (Co)	0.05	5.0	Domateste zararın 0.1 mg/lt düzeyinde başladığı bilinmektedir. Nötr ve alkali topraklarda etkisini yitirmeye başlar.
Bakır (Cu)	0.2	5.0	Birçok bitkiye besin çözeltilisinde 0.1-1 mg/lt iken zarar vermiştir.
Demir (Fe)	5.0	20.0	Havalanan topraklarda zararlı değilse de, toprağın asitleşmesine ve fosfor ve molibden kayıplarına ortam hazırlar.
Kurşun (Pb)	5.0	10.0	Yüksek derişimleri, bitki hücresi gelişimini engeller.
Nikel (Ni)	0.2	2.0	Nötr ve alkali topraklarda toksik etkisi azalmakla birlikte, 0.5-1.0 mg/lt düzeyleri arasında zarar vermeye başlar.
Çinko (Zn)	2.0	10.0	Bitkilere zararlı derişimleri değişken olup, pH 6.0'nın üzerine çıktığında, ince bünyeli topraklarda organik topraklarda zararı azalır.

2007 yılında bahar ve yaz dönemlerinde alınan su örneklerinin ağır metal ve iz element analiz sonuçları Çizelge 6.18.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.18. 2007 yılı alınan su örneklerinin ağır metal ve iz element analiz sonuçları

Örnek No	Dönem	Fe ppm	Zn ppm	Cu ppm	Mn ppm	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Pb ppm	Cd ppm
1	Bahar	0.57	0.020	0.070	0.070	0.010	iz	0.002	0.070	0.003
	Yaz	0.02	0.030	0.040	0.010	0.100	iz	0.002	0.060	0.005
2	Bahar	0.40	0.010	0.120	0.090	0.010	iz	0.003	0.010	0.005
	Yaz	0.25	0.030	0.040	0.150	0.090	iz	0.001	0.040	0.004
3	Bahar	3.25	0.015	0.120	0.080	0.010	iz	0.010	0.080	0.006
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR								
4	Bahar	2.49	0.016	0.160	0.010	0.010	iz	0.002	0.070	0.005
	Yaz	1.56	0.066	0.072	0.075	0.001	0.046	0.065	0.007	0.029
5	Bahar	2.34	iz	0.070	0.010	0.005	iz	0.003	0.090	0.012
	Yaz	0.67	0.090	0.008	0.003	0.004	0.015	0.006	0.005	0.073
6	Bahar	2.57	iz	0.070	0.250	0.005	iz	0.003	0.060	0.002
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR								
8	Bahar	2.77	0.040	0.320	3.850	0.020	0.230	0.290	0.050	0.004
	Yaz	0.15	0.010	0.030	0.030	0.090	iz	0.004	0.020	0.003
9	Bahar	2.13	0.015	0.070	0.030	0.005	iz	0.030	0.080	0.004
	Yaz	2.22	0.025	0.042	0.021	0.003	0.010	0.028	0.053	0.020
10	Bahar	16.39	0.040	0.270	0.300	0.020	0.010	0.150	0.110	0.004
	Yaz	0.05	0.040	0.06	0.040	0.080	0.006	0.019	0.070	0.005
11	Bahar	0.89	0.038	0.022	0.020	0.028	0.042	0.070	0.005	0.025
	Yaz	0.79	0.040	0.019	0.018	0.033	0.039	0.069	0.005	0.028
12	Bahar	5.99	0.014	0.100	0.070	0.010	iz	0.020	0.050	0.002
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR								
13	Bahar	2.55	0.010	0.090	0.020	0.005	iz	0.009	0.040	0.002
	Yaz	2.77	0.012	0.085	0.021	0.005	iz	0.010	0.046	0.003
14	Bahar	2.43	0.010	0.090	0.030	0.005	iz	0.008	0.010	0.002
	Yaz	0.22	0.030	0.06	0.027	0.040	iz	0.008	0.080	0.006
15	Bahar	2.07	0.372	0.110	0.180	0.007	iz	0.005	0.070	0.004
	Yaz	1.89	0.033	0.100	0.152	0.006	iz	0.005	0.060	0.004
16	Bahar	9.87	0.057	0.090	0.060	0.007	iz	0.020	0.030	0.003
	Yaz	8.87	0.048	0.079	0.052	0.007	iz	0.017	0.035	0.004
17	Bahar	2.21	0.062	0.160	0.030	0.007	iz	0.020	0.110	0.005
	Yaz	1.78	0.060	0.152	0.026	0.007	iz	0.020	0.102	0.004
18	Bahar	2.29	0.019	0.070	0.040	0.009	iz	0.040	0.040	0.001
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR								

Çizelge 6.18.'in devamı.

Örnek No	Dönem	Fe ppm	Zn ppm	Cu ppm	Mn ppm	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Pb ppm	Cd ppm
19	Bahar	2.52	0.010	0.120	0.020	0.010	iz	0.020	0.100	0.004
	Yaz	0.11	0.030	0.010	0.010	0.100	iz	0.001	0.040	0.006
20	Bahar	0.51	0.010	0.030	0.010	0.005	iz	0.001	0.010	0.001
	Yaz	0.49	0.090	0.027	0.010	0.004	iz	0.001	0.008	0.003
21	Bahar	0.05	0.030	0.040	0.030	0.050	iz	0.009	0.050	0.006
	Yaz	0.04	0.020	0.040	0.020	0.030	iz	0.005	0.030	0.005
22	Bahar	0.07	0.050	0.050	0.060	0.080	iz	0.010	0.017	0.006
	Yaz	0.06	0.050	0.030	0.030	0.050	iz	0.005	0.010	0.004
23	Bahar	0.03	0.030	0.050	0.040	0.090	iz	0.005	0.080	0.005
	Yaz	0.03	0.020	0.040	0.040	0.070	iz	0.004	0.070	0.004
24	Bahar	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR								
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR								
25	Bahar	0.04	0.025	0.028	0.030	0.070	0.002	0.015	0.030	0.005
	Yaz	0.04	0.030	0.030	0.030	0.080	0.002	0.011	0.030	0.006
26	Bahar	0.03	0.030	0.039	0.070	0.055	iz	0.022	0.070	0.006
	Yaz	0.03	0.030	0.040	0.070	0.060	iz	0.016	0.070	0.005
27	Bahar	2.02	0.040	0.035	0.021	0.074	0.022	0.025	0.019	0.018
	Yaz	2.40	0.030	0.040	0.122	0.080	0.006	0.013	0.040	0.006

Buna göre bahar dönemi alınan su örneklerinin Fe içerikleri minimum 0.03 ppm maksimum 16.39 ppm arasında değişmiştir. Kıta içi su kaynaklarının su sınıflamasında Fe için I. sınıf sularda 0.3 ppm, II. sınıf sularda 1 ppm, III. sınıf sularda 5 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 5 ppm olarak bildirilmiştir (Türk Çevre Mevzuatı, 1988). Bu değerlere göre, 10, 12 ve 16 no'lu sular (bazı sıcak sular, dere ve kuyu suları) IV. sınıf sular olarak saptanmıştır. 21, 22, 23, 25, 26 No'lu sular (sulama kanalı ve kuyulardan alınan sular) I. sınıf sular, 1, 2, 11 ve 20 nolu sular (bazı sıcak sular ve çeşme suyu) II. sınıf sular kapsamına girmektedir. Geri kalan tüm suların III. sınıf sulara dahil olduğu belirlenmiştir. Yaz dönemi alınan sularda ise Fe içerikleri minimum 0.02 ppm maksimum 8.87 ppm arasında değişmiştir. Kıta içi su kaynakları su sınıflamasında Fe için verilmiş olan sınır değerler dikkate alındığında 16 no'lu su örneği IV. sınıf, 4. 9. 13. 17 ve 27 no'lu örnekler III. sınıf, 5, 11 ve 20 no'lu sular II. sınıf sular kapsamına girmektedir. Diğer su örnekleri ise I. sınıf sular kapsamında yer almaktadır.

Çizelge 6.18.'de belirtilen bahar dönemi alınan su örneklerinin Zn değerleri ise iz ile 0.372 ppm arasında bulunmuştur. Kıta içi su kaynaklarının su sınıflamasında Zn için I. sınıf sularda 0.2 ppm, II. sınıf sularda 0.5 ppm, III. sınıf sularda 2 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 2 ppm olarak belirtilmiştir. Bu değerlere göre 15 no'lu örnek dışında diğer tüm örnekler I. sınıf sulara dahildir. 15 no'lu su örneği II. sınıf sular kapsamına girmektedir. Yaz dönemi alınan suların Zn değerleri ise 0.010 ile 0.09 ppm arasında bulunmuştur ve tüm su örnekleri I. sınıf sular kapsamında bulunmaktadır.

Alangüllü Yan Havzasından bahar dönemi alınan su örneklerinde Cu içerikleri 0.022 – 0.320 ppm, yaz döneminde alınanlarda ise 0.008 – 0.152 ppm arasında değişmiştir. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre Cu için I. sınıf sularda 0.02 ppm, II. sınıf sularda 0.05 ppm, III. sınıf sularda 0.2 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 0.2 ppm olarak belirtilmiştir. Bahar döneminde yalnızca 11 no'lu örnek I. sınıf sular kapsamına girmektedir. Yaz döneminde ise 4, 10, 13, 14, 15 ve 16 no'lu örnekler III. sınıf sular, diğer su örnekleri ise I. ve II. sınıf sular kapsamında yer almaktadır. Tüm sonuçlar incelendiğinde özellikle sıcak suların bakır kapsamının yüksek olduğu ve genellikle IV. sınıf sular kapsamına girdikleri görülmektedir.

Bahar dönemi su örneklerinin Mn ve Cr sonuçları incelendiğinde sırasıyla 0.010–23.850 ppm ve 0.005-0.090 ppm olarak bulunmuştur. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre Mn için I. sınıf sularda 0.01 ppm, II. sınıf sularda 0.05 ppm, III. sınıf sularda 3 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 3 ppm olarak belirtilmiştir. Bu değerler dikkate alındığında, 8 no'lu sıcak su kaynağının en yüksek Mn içeriği ile IV. sınıf sulara dahil olduğu belirlenmiştir. 4, 5 ve 20 no'lu sular I. sınıf sulara diğerlerinin ise II. ve III. sınıf sular içerisinde yer aldığı belirlenmiştir. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre Cr için ise I. sınıf sularda 0.02 ppm, II. sınıf sularda 0.05 ppm, III. sınıf sularda 0.2 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 0.2 ppm olarak belirtilmiştir. 11 ve 21 nolu örnekler II. sınıf sular içerisinde, 22. 23. 25. 26 ve 27 no'lu sular ise III. sınıf sulara dahildir. Diğer tüm suların ise I. sınıf sular içerisinde yer aldığı saptanmıştır. Yaz döneminde alınan su örneklerinde ise Mn ve Cr sonuçları incelendiğinde sırasıyla 0.003-0.152 ppm ve 0.001-0.100 ppm olarak bulunmuştur. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre 2, 4, 15, 16 ve 26 no'lu örnekler III. sınıf sular kapsamına girmektedir. Diğer

su örneklerinin ise II. sınıf sular kapsamına girdiği belirlenmiştir. Cr için ise Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterleri dikkate alındığında 1, 2, 8, 10, 19, 23, 25, 26 ve 27 numaralı örneklerin III. sınıf sular kapsamında olduğu saptanmıştır. 11, 14 ve 22 no'lu sular II. sınıf. diğer suların ise I. sınıf sular kapsamında yer almaktadır. Tüm su örneklerinin Cr değerleri incelendiğinde, Çizelge 6.15. ve 6.16.'da verilmiş olan değerlere göre 1 ve 19 no'lu su örneklerinin sulama amaçlı kullanımı yada kullanılan sulara karışmasının beraberinde ciddi problemlere yol açabileceği düşünülmektedir.

Bahar döneminde sulardaki Co konsantrasyonu genellikle iz miktarda çıkmakla birlikte 8, 10, 11, 25 ve 27 numaralı su örneklerinde 0.002 ile 0.230 ppm arasında belirlenmiştir. Yaz döneminde de sulardaki Co konsantrasyonu genellikle iz miktarda çıkmakla birlikte 4, 5, 9, 10, 11, 25 ve 27 numaralı su örneklerinde 0.002 ile 0.046 ppm arasında belirlenmiştir. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre Co için I. sınıf sularda 0.01 ppm, II. sınıf sularda 0.02 ppm, III. sınıf sularda 0.2 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 0.2 ppm olarak belirtilmiştir. Buna göre bahar döneminde, 27 no'lu su örneği II. sınıf sulara, 11 no'lu su örneği III. sınıf sulara, 8 no'lu su örneğinin ise IV. sınıf sular kapsamında yer aldığı belirlenmiştir. Yaz döneminde ise yalnızca 11 no'lu örneğin III. sınıf sular kapsamına girdiği görülmektedir. Bölge topraklarının genellikle nötr ve alkali karakterli olmasının, sulama sularındaki 0.1 ppm ve üzerindeki kobalt içeriğinin tarım üzerine olabilecek olumsuz etkilerini azaltacağı düşünülmektedir.

Suların Ni içerikleri ise bahar döneminde 0.001 ile 0.290 ppm, yaz döneminde ise 0.001 ile 0.069 ppm değerleri arasında bulunmuştur. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre Ni için I. sınıf sularda 0.02 ppm, II. sınıf sularda 0.05 ppm, III. sınıf sularda 0.2 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 0.2 ppm olarak belirtilmiştir. Bu değerlere göre, bahar döneminde 8 no'lu sıcak su örneğinin Ni içeriği yüksektir ve IV. sınıf sulara dahil olduğu saptanmıştır. 10 ve 11 numaralı örnekler ise III. sınıf sular olarak belirlenmiştir. Diğer tüm su örnekleri I. sınıf sulara içerisinde yer almaktadırlar. Yaz döneminde alınan su örneklerinden ise 4 ve 11 numaralı örnekler III. sınıf sular, diğer örnekler ise I. sınıf sular kapsamındadır.

Bahar döneminde alınan su örneklerinin Pb ve Cd miktarları ise sırasıyla 0.005–0.110 ppm ve 0.001-0.025 ppm arasında saptanmıştır. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre Pb için I. sınıf sularda 0.01 ppm, II. sınıf sularda 0.02 ppm, III. sınıf sularda 0.05 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 0.05 ppm olarak belirtilmiştir. Genellikle sıcak suların IV. sınıf sulara dahil olduğu belirlenmiştir. 2, 11, 14 ve 20 no'lu örnekler dışındaki tüm örneklerin III. ve IV. sınıf sulara dahil olduğu görülmektedir. Kıta içi su kaynakları kalite kriterlerine göre Cd için ise I. sınıf sularda 0.003 ppm, II. sınıf sularda 0.005 ppm, III. sınıf sularda 0.01 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 0.01 ppm olarak belirtilmiştir. Bu değerlere göre. 11 ve 27 no'lu örnekler IV. sınıf sular içerisinde yer almaktadır. 3, 21, 22 ve 26 no'lu örnekler III. sınıf sulara diğerleri ise II. ve I. sınıf sular içerisinde bulunmaktadır. Yaz döneminde alınan su örneklerinin Pb ve Cd miktarları incelendiğinde ise sırasıyla 0.005 – 0.102 ppm ve 0.003-0.073 ppm arasında saptanmıştır. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre 1, 9, 10, 14, 15, 17, 23 ve 26 no'lu su örneklerinin IV. sınıf Pb'lu sulara dahil olduğu görülmektedir. 2, 13, 16, 21, 25 ve 27 no'lu örnekler III. sınıf sular, diğer su örnekleri ise I. sınıf sular kapsamında yer almaktadır. Cd için ise kıta içi su kaynakları kalite kriter değerleri dikkate alındığında 4, 5, 9 ve 11 no'lu örnekler IV. sınıf sular, 14, 19, 25 ve 27 no'lu örnekler III. sınıf sular, diğer su örnekleri ise I. ve II. sınıf sular içerisinde yer almaktadır. Çizelge 6.17.'de bildirilen sulama sularında bazı elementlerin izin verilebilir sınırları değerleri dikkate alındığında özellikle 4, 5 ve 11 no'lu su örneklerinin sulama suyu amaçlı kullanımının sakıncalı olduğu görülmektedir.

6.2.2.2. 2008 Yılında Alınan Su Örneklerinin Ağır Metal ve İz Element Sonuçları

2008 yılında bahar ve yaz dönemlerinde alınan su örneklerinin ağır metal ve iz element analiz sonuçları Çizelge 6.19.'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.19. 2008 yılı Mayıs dönemi alınan su örneklerinin ağır metal ve iz element analiz sonuçları

Örnek No	Dönem	Fe ppm	Zn ppm	Cu ppm	Mn ppm	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Pb ppm	Cd ppm
1	Bahar	0.350	0.030	0.050	0.040	0.080	iz	0.003	0.010	0.003
	Yaz	1.050	0.030	0.060	0.050	0.020	0.002	0.040	0.006	0.009
2	Bahar	0.340	0.050	0.013	0.090	0.001	0.044	0.100	0.006	0.047
	Yaz	0.940	0.060	0.016	0.150	0.001	0.023	0.032	0.009	0.050
3	Bahar	0.670	0.059	0.010	0.024	0.002	0.024	0.046	0.010	0.056
	Yaz	3.450	0.016	0.128	0.092	0.019	0.016	0.023	0.078	0.008
4	Bahar	1.180	0.059	0.081	0.024	iz	0.044	0.092	0.006	0.039
	Yaz	2.058	0.045	0.068	0.080	0.001	0.024	0.043	0.006	0.018
5	Bahar	0.144	0.087	0.006	0.002	0.002	0.010	0.006	0.003	0.063
	Yaz	2.062	0.011	0.061	0.016	0.007	0.011	0.005	0.106	0.004
6	Bahar	1.850	0.010	0.063	0.169	0.005	iz	0.002	0.057	0.002
	Yaz	2.689	0.013	0.074	0.286	0.007	0.016	0.005	0.056	0.004
8	Bahar	0.293	0.044	0.011	0.017	0.001	0.048	0.091	0.004	0.042
	Yaz	2.623	0.032	0.363	2.336	0.020	0.200	0.310	0.045	0.005
9	Bahar	0.229	0.050	0.007	0.003	0.002	0.016	0.011	0.005	0.063
	Yaz	1.788	0.020	0.066	0.027	0.006	iz	0.041	0.089	0.005
10	Bahar	0.411	0.033	0.016	0.027	iz	0.056	0.124	0.002	0.040
	Yaz	0.622	0.040	0.016	0.098	0.001	0.035	0.053	0.007	0.040
11	Bahar	0.782	0.030	0.012	0.022	0.024	0.031	0.055	0.005	0.011
	Yaz	0.849	0.035	0.020	0.016	0.030	0.040	0.064	0.006	0.020
12	Bahar	0.134	0.092	0.024	0.004	iz	0.019	0.020	0.006	0.060
	Yaz	4.200	0.015	0.122	0.068	0.022	0.010	0.019	0.064	0.003
13	Bahar	2.121	0.008	0.092	0.030	0.003	iz	0.008	0.032	0.002
	Yaz	2.820	0.016	0.125	0.028	0.005	iz	0.012	0.052	0.003
14	Bahar	0.438	0.051	0.010	0.007	0.004	0.020	0.025	0.009	0.061
	Yaz	1.120	0.250	0.098	0.380	0.052	iz	0.010	0.086	0.003
15	Bahar	1.778	0.031	0.096	0.153	0.006	iz	0.004	0.066	0.003
	Yaz	1.874	0.450	0.124	0.191	0.007	iz	0.006	0.079	0.004
16	Bahar	8.650	0.049	0.078	0.056	0.006	iz	0.016	0.022	0.003
	Yaz	9.926	0.061	0.100	0.088	0.009	iz	0.018	0.037	0.005
17	Bahar	2.056	0.056	0.155	0.022	0.006	iz	0.022	0.102	0.005
	Yaz	2.130	0.060	0.158	0.037	0.008	iz	0.025	0.133	0.007
18	Bahar	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR								
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR								

Çizelge 6.19.'un devamı

Örnek No	Dönem	Fe ppm	Zn ppm	Cu ppm	Mn ppm	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Pb ppm	Cd ppm
19	Bahar	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR								
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR								
20	Bahar	0.426	0.011	0.024	0.009	0.004	iz	iz	0.008	0.002
	Yaz	0.480	0.013	0.028	0.012	0.006	iz	0.001	0.009	0.001
21	Bahar	0.030	0.020	0.050	0.020	0.040	iz	0.005	0.030	0.005
	Yaz	0.045	0.031	0.047	0.025	0.028	iz	0.006	0.031	0.004
22	Bahar	0.054	0.049	0.023	0.019	0.040	iz	0.002	0.008	0.002
	Yaz	0.058	0.052	0.035	0.033	0.058	iz	0.006	0.013	0.005
23	Bahar	0.027	0.013	0.038	0.041	0.055	iz	0.002	0.066	0.002
	Yaz	0.032	0.065	0.038	0.045	0.080	iz	0.005	0.077	0.005
24	Bahar	0.146	0.027	0.007	0.004	iz	0.004	0.010	0.004	0.062
	Yaz	0.160	0.030	0.009	0.008	0.002	0.005	0.009	0.006	0.065
25	Bahar	0.034	0.020	0.027	0.019	0.076	0.002	0.010	0.033	0.005
	Yaz	0.051	0.031	0.037	0.033	0.079	0.003	0.013	0.036	0.008
26	Bahar	0.020	0.030	0.050	0.050	0.050	iz	0.023	0.006	0.006
	Yaz	0.044	0.037	0.039	0.075	0.072	0.010	0.015	0.069	0.007
27	Bahar	0.316	0.049	0.006	0.038	0.003	0.037	0.039	0.011	0.006
	Yaz	2.755	0.034	0.041	0.019	0.085	0.006	0.015	0.052	0.007

Çizelge 6.19'da görüldüğü gibi bahar dönemi alınan su örneklerinin Fe içerikleri minimum 0.020 ppm maksimum 8.650 ppm arasında, yaz dönemi alınan su örneklerinde ise minimum 0.032 ppm maksimum 9.926 ppm arasında değiştiği saptanmıştır. Kıta içi su kaynaklarının su sınıflamasında Fe için I. sınıf sularda 0.3 ppm, II. sınıf sularda 1 ppm, III. sınıf sularda 5 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 5 ppm olarak belirtilmiştir. Bu sınır değerlerine göre bahar döneminde alınan 5, 8, 9, 12, 21, 22, 23, 24, 25 ve 26 no'lu örneklerin I. sınıf sular kapsamına, 1, 2, 3, 10, 11, 14, 20, 27 no'lu örneklerin ise II. sınıf sular kapsamına, geri kalan su örneklerinin ise III. ve IV. sınıf sular içerisine girdiği görülmektedir. Yaz döneminde alınan su örnekleri değerlendirildiğinde ise 16 no'lu su örneğinin IV. sınıf, 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 17 ve 27 no'lu örneklerin III. sınıf, 2, 10, 11 ve 20 no'lu suların II. sınıf, diğerlerinin ise I. sınıf sular kapsamında yer aldığı belirlenmiştir.

Çizelge 6.19.'da belirtilen bahar ve yaz dönemi alınan suların Zn değerleri ise sırasıyla 0.008 ile 0.092 ppm ve 0.011 ile 0.45 ppm arasında bulunmuştur. Kıta içi su kaynaklarının su sınıflamasında Zn için I. sınıf sularda 0.2 ppm, II. sınıf sularda 0.5 ppm, III. sınıf sularda 2 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 2 ppm olarak belirtilmiştir. Bu değerlere göre, bahar döneminde alınan tüm su örnekleri I sınıf sular kapsamında yer almaktayken, yaz döneminde alınan su örneklerinden 14 ve 15 no'lu örnekler II. sınıf. diğer su örnekleri ise I. sınıf sular kapsamında bulunmaktadır.

Alangüllü Yan Havzasından alınan bahar dönemi su örneklerinin Cu içerikleri ise 0.006 – 0.155 ppm arasında değişmiştir. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre Cu için I. sınıf sularda 0.02 ppm, II. sınıf sularda 0.05 ppm, III. sınıf sularda 0.2 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 0.2 ppm olarak belirtilmiştir. Örneklerin çoğunun I. sınıf sulara dahil olduğu, yalnızca 4, 6, 13, 15, 16, 17 No'lu örneklerin III. sınıf sular içerisinde yer aldığı görülmektedir. Yaz döneminde alınan su örnekleri incelendiğinde ise Cu içeriklerinin 0.009 – 0.363 ppm arasında değiştiği saptanmıştır. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre 8 no'lu su örneği IV. sınıf, 1, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 13, 14, 15, 16 no'lu sular III. sınıf, diğer su örnekleri ise I. ve II. sınıf sular içerisinde yer almaktadır. Tüm örnekleme dikkate alındığında jeotermal suların Cu içeriklerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Bahar dönemi Mn ve Cr sonuçları incelendiğinde sırasıyla 0.002-0.169 ppm ve iz-0.08 ppm arasında bulunmuştur. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre Mn için I. sınıf sularda 0.01 ppm, II. sınıf sularda 0.05 ppm, III. sınıf sularda 3 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 3 ppm olarak belirtilmiştir. Bu değerlere göre, 2, 6, 15 ve 16 no'lu örnekler III. sınıf sular kapsamına girmektedir. Diğer su örneklerinin ise I. ve II. sınıf sular kapsamına girdiği belirlenmiştir. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre Cr için ise I. sınıf sularda 0.02 ppm, II. sınıf sularda 0.05 ppm, III. sınıf sularda 0.2 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 0.2 ppm olarak belirtilmiştir. 1, 2, 8, 10, 19, 23, 25, 26 ve 27 numaralı örneklerin III. sınıf sular kapsamında olduğu saptanmıştır. 1, 23 ve 25 no'lu sular III. sınıf, 11, 21, 22 no'lu sular ise II. sınıf sular içerisinde yer almaktadır. Diğer suların ise I. sınıf sular kapsamında yer aldığı belirlenmiştir. Yaz dönemi alınan su örneklerinin Mn ve Cr sonuçları incelendiğinde ise sırasıyla 0.008-2.336 ppm ve 0.001-0.085 ppm

olarak bulunmuştur. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 16 ve 26 no'lu örnekler III. sınıf sular kapsamına girmektedir. Diğer su örneklerinin ise I. ve II sınıf sular kapsamına girdiği belirlenmiştir. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre Cr için verilmiş değerler ışığında ise 14, 23, 25, 26 ve 27 no'lu örnekler III. sınıf sular içerisinde yer almaktadır. Diğer su örneklerin I. sınıf sular içinde bulunduğu saptanmıştır.

Bahar ve yaz dönemi alınan sulardaki Co konsantrasyonu sırasıyla 0.002-0.560 ppm ile 0.002 ile 0.200 ppm arasında belirlenmiştir. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre Co için I. sınıf sularda 0.01 ppm, II. sınıf sularda 0.02 ppm, III. sınıf sularda 0.2 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 0.2 ppm olarak belirtilmiştir. Bahar dönemi alınan 2, 3, 4, 8, 10, 11 ve 27 no'lu örnekler III. sınıf sular kapsamına girmektedir. Diğer su örnekleri ise I. sınıf sular içerisinde yer almaktadır. Yaz dönemi alınan 2, 4, 8, 10 ve 11 no'lu örneklerinin ise III. sınıf, diğer örneklerin ise I. sınıf sular içerisinde olduğu saptanmıştır.

Çizelge 6.19'da verilmiş olan bahar dönemi içerisinde yer alan suların Ni içerikleri ise 0.002 ile 0.124 ppm değerleri arasında bulunmuştur. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre Ni için I. sınıf sularda 0.02 ppm, II. sınıf sularda 0.05 ppm, III. sınıf sularda 0.2 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 0.2 ppm olarak belirtilmiştir. 4 ve 11 numaralı örnekler III. sınıf sular, diğer örnekler ise I. sınıf sular kapsamındadır. 4. 8. 10. 11 no'lu örnekler III. sınıf sular içerisinde yer almaktadır. Diğer su örnekleri ise I. ve II. sınıf sular olarak saptanmıştır. Yaz dönemi içerisinde yer alan suların Ni içerikleri ise 0.001 ile 0.310 ppm değerleri arasında bulunmuştur. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre 8, 10 ve 11 no'lu örnekler III. sınıf sular içerisinde bulunmaktadır. Ni içeriği yüksek olan suların özellikle sıcak sular olması dikkat çekicidir.

Bahar dönemi alınan su örneklerinin Pb ve Cd miktarları ise sırasıyla 0.002–0.102 ppm ve 0.002 -0.063 ppm arasında saptanmıştır. Kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre Pb için I. sınıf sularda 0.01 ppm, II. sınıf sularda 0.02 ppm, III. sınıf sularda 0.05 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 0.05 ppm olarak belirtilmiştir. Bu kriter değerlere göre, 6, 13, 15, 16, 21, 23 ve 25 no'lu örneklerin III. sınıf sulara dahil olduğu, 17 no'lu örneği ise IV. sınıf sular içerisinde yer aldığı görülmektedir. Diğer su örnekleri ise I. sınıf sular kapsamında

bulunmaktadır. Kıta içi su kaynakları kalite kriterlerine göre Cd için ise I. sınıf sularda 0.003 ppm, II. sınıf sularda 0.005 ppm, III. sınıf sularda 0.01 ppm ve IV. sınıf sularda ise > 0.01 ppm olarak belirtilmiştir. Bu değerlere göre 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 14 ve 24 no'lu örnekler IV. sınıf sular içerisinde yer almaktadır. 1, 3 ve 27 no'lu örnekler III. sınıf sular, diğer su örnekleri ise II. ve I. sınıf sular olarak belirlenmiştir. Yaz dönemi alınan örneklerin Pb ve Cd miktarları incelendiğinde ise sırasıyla 0.006 – 0.133 ppm ve 0.001 -0.065 ppm arasında bulunmuştur. Pb için kıta içi su kaynaklarının kalite kriterleri dikkate alındığında 3, 5, 6, 12, 14, 23, 26 ve 27 no'lu örneklerin IV. sınıf sulara dahil olduğu görülmektedir. Diğer su örnekleri ise I. sınıf sular kapsamında yer alır. Cd içerikleri değerlendirildiğinde ise 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 14, 26 ve 27 no'lu örnekler IV. sınıf sular içerisinde yer almaktadır.

6.2.3. Su Örneklerinin ²²⁶Ra Konsantrasyonlarına İlişkin Sonuçlar

Alangüllü Yan Havzasındaki sıcak su kaynaklarının çevresel etkilerini belirlemek amacıyla sıcak su kaynaklarından, derelerden, kuyulardan, Hıdırbeyli barajından ve bu baraj suyunun dağıtıldığı kanaletlerden periyodik olarak alınan örneklerde ²²⁶Ra aktivitesine bakılmıştır.

TSE tarafından doğal sularda alfa aktivitesi için belirlenmiş olan üst sınır değer 5-6 pCi/l'dir. İçme sularında ²²⁶Ra aktivite konsantrasyonu için maksimum değer, Avustralya, Fransa, Japonya ve Hollanda tarafından 10 pCi/l olarak kabul edilmiştir. Environmental Protection Agency (EPA) içme sularında, ²²⁶Ra konsantrasyonu için izin verilebilir üst sınırı 0.19 Bq/l (5 pCi/l) ve ²²²Rn konsantrasyonu için ise 7.4- 22.2 Bq/l (200-600 pCi/l) değerini belirlemiştir (ITS, 2003). Ulusal ve uluslararası çalışmalarda bulunan ²²⁶Ra değerleri Çizelge 6.20.'de izlenmektedir.

Çizelge 6.20. Ulusal ve uluslararası çalışmalarda bulunan ²²⁶Ra değerleri

Referanslar	Ra (pCi/l)
Kumru, 1994	1-19
Bakaç ve Kumru,2000	1-28
Kim vd., 1999	0.10-0.61
Carreiro and Sequeira, 1988	0-43
Cassels, 1990	7-14

6.2.3.1. 2007 Yılında Alınan Su Örneklerinin ²²⁶Ra Konsantrasyonlarına İlişkin Sonuçlar

2007 yılı bahar ve yaz dönemlerinde alınan su örneklerinin ²²⁶Ra konsantrasyonlarına ilişkin analiz sonuçları Çizelge 6.21.'de gösterilmiştir.

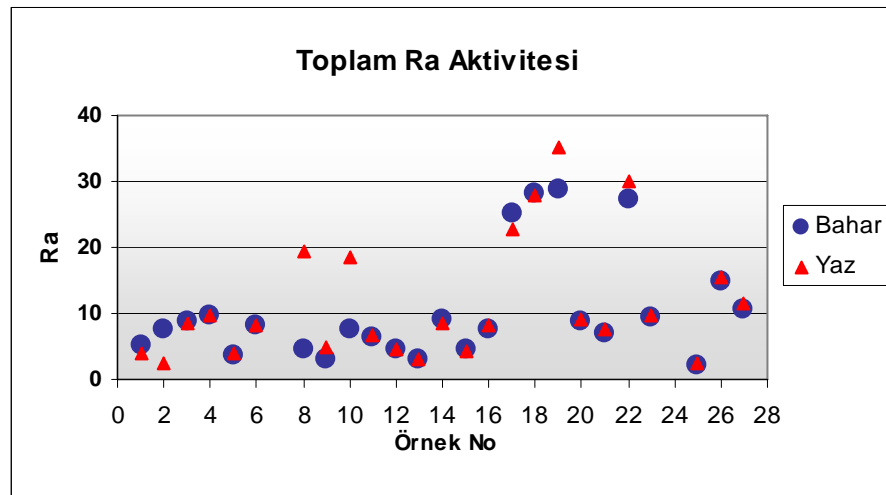
Çizelge 6.21. 2007 yılı arazi çalışmalarında alınan su örneklerinin ²²⁶Ra sonuçları

Örnek No	Dönem	²²⁶ Ra (Bq/l)	²²⁶ Ra (pCi/l)
1	Bahar	0.19	5.13
	Yaz	0.15	4.02
2	Bahar	0.28	7.56
	Yaz	0.09	2.30
3	Bahar	0.32	8.64
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR	
4	Bahar	0.36	9.72
	Yaz	0.36	9.75
5	Bahar	0.13	3.51
	Yaz	0.16	4.07
6	Bahar	0.30	8.10
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR	
8	Bahar	0.17	4.59
	Yaz	0.72	19.54
9	Bahar	0.11	2.97
	Yaz	0.18	4.95
10	Bahar	0.28	7.56
	Yaz	0.68	18.39
11	Bahar	0.23	6.32
	Yaz	0.24	6.55
12	Bahar	0.17	4.59
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR	
13	Bahar	0.11	2.97
	Yaz	0.11	3.01
14	Bahar	0.34	9.18
	Yaz	0.32	8.55
15	Bahar	0.17	4.59
	Yaz	0.15	4.10
16	Bahar	0.28	7.56
	Yaz	0.31	8.29
17	Bahar	0.93	25.11
	Yaz	0.84	22.75
18	Bahar	1.04	28.08
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR	
19	Bahar	1.07	28.89
	Yaz	1.30	35.06
20	Bahar	0.32	8.64
	Yaz	0.34	9.12
21	Bahar	0.26	7.04
	Yaz	0.28	7.47

Çizelge 6.21.'nin devamı

Örnek No	Dönem	²²⁶ Ra (Bq/lit)	²²⁶ Ra (pCi/lit)
22	Bahar	1.01	27.37
	Yaz	1.11	29.89
23	Bahar	0.35	9.48
	Yaz	0.36	9.77
24	Bahar	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR	
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR	
25	Bahar	0.08	20.50
	Yaz	0.09	2.30
26	Bahar	0.56	14.96
	Yaz	0.57	15.52
27	Bahar	0.39	10.57
	Yaz	0.43	11.49

Çizelge 6.21'de görüldüğü gibi bahar ve yaz dönemi alınan suların ²²⁶Ra konsantrasyonu sırasıyla 2.97- 28.89 pCi/lit ve 2.30-35.06 pCi/lit arasında değişmektedir. EPA tarafından verilmiş olan doğal sularda ²²⁶Ra toplam aktivitesi için izin verilebilir üst sınır değer olan 0.19 Bq/lit (5 pCi/lit) göz önüne alındığında özellikle sıcak suların ²²⁶Ra konsantrasyonunun çok yüksek olduğu saptanmıştır. Bahar döneminde alınan 4, 8, 10, 11,14, 16,17,19, 20, 21, 22, 23, 26, 27 no'lu su örneklerinin EPA tarafından verilmiş olan değerlerin üstünde olduğu belirlenmiştir. Yaz dönemi alınan sulardan ise özellikle 4, 8, 11, 14, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 26 ve 27 no'lu örneklerin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bahar ve Yaz dönemlerinde alınan suların ²²⁶Ra konsantrasyonları karşılaştırılacak olursa yaz döneminde alınan örneklerin daha yüksek ²²⁶Ra konsantrasyonu içerdiği görülmektedir (Şekil 6.33.). Bu dönemsel farkların da iklimsel etkilerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.33. 2007 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin ²²⁶Ra içerikleri

6.2.3.2. 2008 Yılında Alınan Su Örneklerinin ²²⁶Ra Konsantrasyonlarına İlişkin Sonuçlar

2008 Yılı bahar ve yaz dönemlerinde alınan su örneklerinin ²²⁶Ra konsantrasyonu ilişkin sonuçlar Çizelge 6.22.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.22. 2008 yılı arazi çalışmalarında alınan su örneklerinin ²²⁶Ra sonuçları

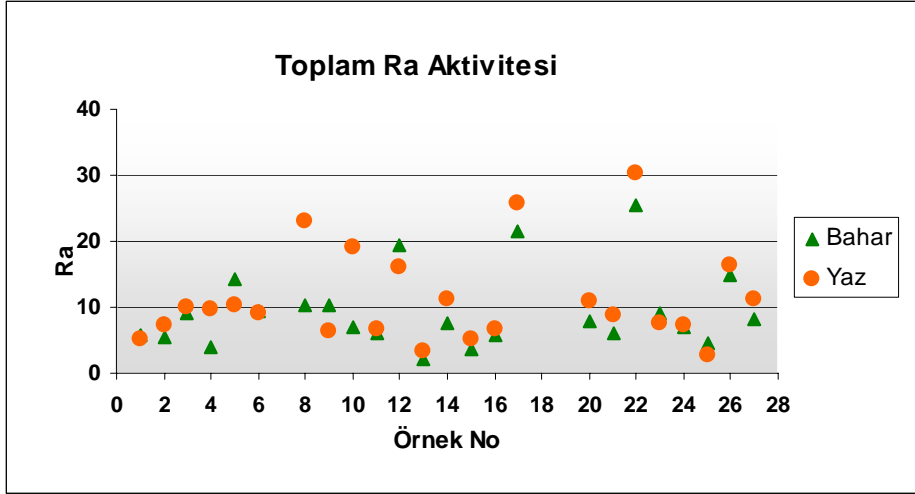
Örnek No	Dönem	²²⁶ Ra (Bq/lit)	²²⁶ Ra (pCi/lit)
1	Bahar	0.18	5.86
	Yaz	0.19	5.05
2	Bahar	0.13	5.45
	Yaz	0.28	7.32
3	Bahar	0.34	9.20
	Yaz	0.37	9.96
4	Bahar	0.15	4.02
	Yaz	0.36	9.76
5	Bahar	0.53	14.37
	Yaz	0.39	10.45
6	Bahar	0.34	9.28
	Yaz	0.34	9.16
8	Bahar	0.38	10.34
	Yaz	0.85	23.06
9	Bahar	0.38	10.34
	Yaz	0.23	6.28
10	Bahar	0.26	6.90
	Yaz	0.70	19.03
11	Bahar	0.23	6.20
	Yaz	0.25	6.70
12	Bahar	0.72	19.54
	Yaz	0.59	15.95
13	Bahar	0.09	2.20
	Yaz	0.12	3.26
14	Bahar	0.28	7.47
	Yaz	0.42	11.26
15	Bahar	0.13	3.55
	Yaz	0.19	5.22
16	Bahar	0.22	5.88
	Yaz	0.25	6.80
17	Bahar	0.79	21.50
	Yaz	0.96	25.90

Çizelge 6.22.'nin devamı.

Örnek No	Dönem	²²⁶ Ra (Bq/l)	²²⁶ Ra (pCi/l)
18	Bahar	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR	
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR	
19	Bahar	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR	
	Yaz	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR	
20	Bahar	0.29	7.88
	Yaz	0.39	10.81
21	Bahar	0.23	6.15
	Yaz	0.32	8.75
22	Bahar	0.94	25.60
	Yaz	1.12	30.22
23	Bahar	0.33	9.06
	Yaz	0.28	7.56
24	Bahar	0.26	6.90
	Yaz	0.27	7.25
25	Bahar	0.09	4.55
	Yaz	0.10	2.78
26	Bahar	0.56	14.96
	Yaz	0.60	16.26
27	Bahar	0.30	8.05
	Yaz	0.42	11.35

Çizelge 6.22.' den de izlendiği gibi bahar dönemi alınan suların ²²⁶Ra konsantrasyonu 2.20- 25.60 pCi/l, yaz dönemi alınan su örneklerinin ise 2.78 - 30.22 pCi/l arasında değişmektedir. EPA tarafından verilmiş olan doğal sularda ²²⁶Ra toplam aktivitesi için müsaade edilebilir 5 pCi/l kriter değeri göz önüne alındığında bahar döneminde alınan 1, 2, 4, 15 ve 25 no'lu örnekler dışındaki tüm su örneklerinin sınır değerinin üzerinde olduğu saptanmıştır (Şekil 6.34.).

Yaz döneminde alınan su örneklerinden ise yalnız 13 ve 25 no'lu örneklerin bu değerin altında olduğu diğer tüm örneklerin sınır değerin çok üzerinde olduğu belirlenmiştir. Özellikle sıcaklığın arttığı ve buharlaşmanın yoğun olduğu yaz döneminde ²²⁶Ra konsantrasyonlarının yüksek olması dikkat çekicidir.



Şekil 6.34. 2008 yılı bahar ve yaz dönemi alınan su örneklerinin ²²⁶Ra içerikleri

2007 ve 2008 yıllarında belirlenen su özellikleri ile toprakların fiziksel özellikleri, ağır metal ve radyonüklit kapsamaları arasında yapılan korelasyon hesaplamalarının sonuçları Çizelge 6.23.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.23. Su ve toprak örneklerinin analiz sonuçları arasındaki %1 düzeyinde önemli bulunan korelasyonlar

2007		2008	
Değişkenler Toprak Su	Korelasyon Katsayısı	Değişkenler Toprak Su	Korelasyon Katsayısı
Tuz (%)-EC	0.611b	Tuz (%)-EC	0.843b
Tuz (%)-EC	0.578y	Tuz (%)-EC	0.835y
Tuz-Cl ⁻	0.655b	Tuz-Cl ⁻	0.839b
Tuz-Cl ⁻	-	Tuz-Cl ⁻	0.819y
Tuz-SO ₄ ⁻²	0.715b	Tuz-SO ₄ ⁻²	0.704b
Tuz-SO ₄ ⁻²	-	Tuz-SO ₄ ⁻²	0.873y
Bor-EC	0.635b	Bor-EC	0.719b
Bor-EC	-	Bor-EC	0.685y

b : Bahar dönemi alınan su örnekleri

y : Yaz dönemi alınan su örnekleri

En önemli toprak özelliklerinden biri olan topraktaki toplam tuz (%) değeri ile bahar ve yaz dönemleri alınan su örneklerinin EC değerleri arasında çıkan korelasyon bize toprakların tuzlulaşmasının suların içindeki tuz içeriğine bağlı olduğunu göstermektedir. 2007 ve 2008 yıllarında alınan toprak örneklerinin total

tuz (%) konsantrasyonları ile toprakların alındığı yerlerden alınan su örneklerinin Cl^- ve SO_4^{2-} içerikleri arasında pozitif korelasyon değerleri bulunmuştur. Toprak tuzluluğu miktarının yanında tuzluluğu meydana getiren anyonun klor elementinden mi yoksa sülfat kaynaklı mı olduğu önemlidir. Klor tuzluluğu, sülfat tuzluluğuna oranla daha zararlıdır (Çolakoğlu, 2007).

Topraktaki bor ve su örneklerindeki EC değerleri arasında da pozitif korelasyon değerleri saptanmıştır. Bunun nedeni olarak, toprakta bulunan fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, sodyum, mangan, demir, bakır, bor, klor ve diğer elementlerin toprak çözeltisi içindeki miktarı, topraktaki toplam tuz miktarını vereceği söylenebilir. Ayrıca çalışma alanında bulunan jeotermal su kaynaklarının içermiş olduğu yüksek bor ve tuz içeriğinin toprakların tuzlulaşmasına olan etkiside görülmektedir.

6.3. Sediment Örneklerinin Analiz Sonuçları

Alangüllü Yan Havzasından, 2007 ve 2008 yıllarında jeotermal su çıkışı olan yerlerden ve dere yataklarından alınan sediment örneklerinde kimyasal analizler, bazı iz elementler ve ağır metallerin tayini ile sedimentlerin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K içerikleri belirlenmiştir (Şekil 6.35. ve 6.36).



Şekil 6.35. MTA tarafından açılan ve sonrasında çevreye zararlı etkileri nedeniyle kapatılan kuyu çevresindeki birikim alanları (Orijinal, Mayıs 2007)



Şekil 6.36. Jeotermal kaynakların etkisi altındaki dere yatakları (Orijinal, Temmuz 2007)

6.3.1. Sediment Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

Çalışma alanından, 2007 ve 2008 yılı alınan toplam 20 sediment örneğinde yapılan kimyasal analizlerin sonuçları Çizelge 6.24 ve 6.25’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.24. 2007 yılında alınan sediment örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Örnek No	pH	%Tuz	%OM
1	8.12	0.35	1.14
3	8.10	0.30	1.55
5	8.52	0.18	1.05
6	7.77	0.52	2.84
7	9.67	1.90	3.52
8	8.22	0.15	2.75
10	7.89	0.62	1.91
12	10.30	1.60	0.62
19	9.51	2.10	1.66
40	9.67	1.90	3.52

Çizelge 6.25. 2008 yılında alınan sediment örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Örnek No	pH	%Tuz	%OM
1	7.78	0.23	2.02
3	8.50	0.15	0.36
5	8.93	0.16	1.76
6	8.02	0.35	2.05
7	9.67	1.90	3.55
8	8.22	0.15	2.75
10	7.92	0.62	1.91
12	10.18	1.45	0.65
19	9.44	2.03	1.01
40	9.25	1.61	2.95

Çizelge 6.24. ve 6.25.'in incelenmesinden de anlaşılacağı gibi pH değerleri 2007 yılı için 7.77 ile 10.30, 2008 yılı için ise 7.78 ile 10.18 değerleri arasında değişim göstermektedir. Sediment örneklerinin alkali ve aşırı alkali olduğu özellikte olduğu görülmektedir.

Yüzde toplam tuz sonuçlarına göre örneklerin büyük çoğunluğunda kuvvetli tuz etkisi mevcuttur. 2007 yılı için 0.15 ile 2.10, 2008 yılı için ise 0.15 ile 2.03 değerleri arasında değişim göstermektedir. Sedimentlerde tespit edilen bu yüksek tuz konsantrasyonunun nedeni olarak sıcak suların içerisindeki yüksek tuz konsantrasyonlarının sedimentte birikime neden olabileceği düşünülmektedir.

Sediment örneklerinin organik madde kapsamı ise, 2007 yılında alınan sediment örneklerinde %0.62 ile %3.52 arasında, 2008 yılında alınanlarda ise %0.36 ile %3.55 arasında değişim göstermiştir.

6.3.2. Sediment Örneklerin Ağır Metal ve İz Element Analiz Sonuçları

Alangüllü yan havzasından, 2007 ve 2008 yıllarında alınan toplam 20 sediment örneğinde ağır metal ve iz element analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları Çizelge 6.26. ve 6.27.'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.26. 2007 yılında alınan sediment örneklerinin ağır metal ve iz element analiz sonuçları

Örnek No	B (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cr (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Co (ppm)
1	2.70	2.84	0.69	76.43	16.00	2.40	0.05	1.70	1.28	6.39
3	1.75	18.96	0.37	142.35	30.34	24.34	0.20	49.23	3.79	6.85
5	0.98	23.03	2.75	165.33	36.95	15.06	0.45	79.40	6.95	19.05
6	1.58	25.84	0.38	210.34	47.86	21.26	0.33	27.12	6.21	11.52
7	2.88	0.13	iz	1.36	0.60	0.05	iz	0.09	0.06	21.32
8	2.49	11.04	0.30	515.88	24.59	22.62	0.18	57.44	3.51	12.75
10	2.04	9.64	0.34	187.52	30.10	33.27	0.15	66.17	5.65	9.28
12	2.17	8.40	0.33	169.06	26.58	32.06	0.15	58.01	5.18	8.30
19	2.88	5.40	0.33	106.69	19.55	14.25	0.11	12.84	2.63	6.35
40	2.88	7.14	0.25	131.60	15.63	16.07	0.11	46.09	2.21	9.81

Çizelge 6.27. 2008 yılında alınan sediment örneklerinin ağır metal ve iz element analiz sonuçları

Örnek No	B (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cr (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Co (ppm)
1	3.95	10.26	0.67	56.55	20.12	3.46	0.09	35.78	2.65	5.58
3	2.05	13.36	2.04	170.15	42.38	11.80	0.40	92.56	3.38	10.68
5	1.11	25.41	2.30	172.13	48.63	17.45	0.51	99.00	7.75	17.83
6	1.74	22.10	1.80	242.14	45.11	17.33	0.56	31.20	7.01	10.04
7	2.52	0.10	iz	1.21	1.06	0.06	0.01	0.15	0.05	29.50
8	2.09	13.03	2.05	146.40	41.00	6.71	0.56	37.09	3.00	6.69
10	2.52	19.33	2.29	170.38	49.75	21.80	0.44	157.06	9.50	16.90
12	2.22	9.20	0.38	145.25	25.45	30.17	0.39	73.30	4.40	4.12
19	2.80	6.15	0.41	120.11	20.35	16.89	0.34	31.75	2.21	5.96
40	2.71	6.40	0.28	130.46	14.78	16.85	0.26	35.36	2.05	7.24

Sediment örneklerinin ağır metal ve iz element değerlendirilmesinde topraklar için verilen sınır değerler temel alınmıştır. 2007 ve 2008 yıllarında alınan sediment örneklerinin B içerikleri sırasıyla 0.98-2.88 ppm ve 1.11-3.95 ppm değerleri arasında bulunmuştur. Sauchelli (1969), topraklardaki bor kapsamını 2-2.5 ppm'in arasındaki toprakların kritik, 2.5-4.9 ppm arası yüksek ve 5 ppm'in üzerindeki bor içeriklerini ise toksik seviye olarak bildirmiştir. Kumlu, tınlı, killi topraklarda bor sınıflamasına göre ise bor düzeyi, <0.3 ppm çok düşük, 0.4-0.8 ppm düşük, 0.9-1.5 ppm optimum, 1.6-3.0 ppm yüksek, >3.0 ppm çok yüksek olarak belirtilmiştir (Uygan, 2004). Bu değerlere göre araştırma bölgesinden alınan sediment örneklerinin hemen hemen tümü bitki yaşamı için kritik-toksik sınır değerleri arasında yer almaktadır.

Alangüllü yan havzasından alınan sediment örneklerinin Cu içerikleri ise 2007 yılında 0.13-25.84 ppm, 2008 yılında 0.10-25.41 değerleri arasında bulunmuştur. Mengel ve Kirkby (2004) topraklardaki toplam Cu miktarının 5-50 mg/kg arasında değiştiğini, Kacar (2009) ise toprakta Cu'nun 100 mg/kg'a kadar bulunabileceğini bildirmektedirler. Sedimentlerdeki Cu element içerikleri 100 mg/kg değeri dikkate alınarak incelendiğinde herhangi bir Cu elementi kirliliğinin olmadığı saptanmıştır.

Sediment örneklerinin Fe içerikleri ise 2007 yılında iz-2.75 ppm ile 2008 yılında iz-2.30 ppm değerleri arasında bulunmuştur. Scheffer ve Schachtschabel (1989) toprakta toplam Fe için % 0.50-5.00 kriter aralığını bildirmektedir. Bu değer dikkate alındığında sedimentlerde Fe kirliliğinin olmadığı görülmektedir.

2007 yılında alınan sediment örneklerinin Mn ve Zn içerikleri sırasıyla 1.36-515.88 ppm ve 0.60-47.86 ppm arasındadır. 2008 yılında alınan sediment örneklerinin Mn ve Zn içerikleri ise sırasıyla 1.21-242.14 ppm ve 1.06-49.75 ppm olarak bulunmuştur. Mn için Scheffer ve Schachtschabel (1989)'in bildirdiği 20-800 mg/kg kritik aralık değeri dikkate alınarak sonuçlar değerlendirildiğinde sedimentlerin Mn içeriklerinin yüksek olmadığı belirlenmiştir. Lepp (1987) topraklarda toplam Zn'un 10-300 mg/kg arasında olabileceğine, Alloway (1990) ise ana kayaya bağlı olarak 40 ile 120 mg/kg arasında bulunabileceğine işaret etmektedirler. Bu bağlamda araştırma alanından alınan sediment örneklerinin Zn konsantrasyonları normal sınırlar içerisinde bulunmaktadır.

Sedimentlerin Cr ve Cd içerikleri incelendiğinde ise 2007 yılında 0.05-33.27 ppm değerleri arasında Cr konsantrasyonu, iz-0.45 ppm arasında ise Cd konsantrasyonu saptanmıştır. 2008 yılında ise 0.06-30.17 ppm Cr ve 0.01-0.56 ppm Cd bulunduğu görülmektedir. Pendias and Pendias (1984) topraklarda 75-100 mg/kg Cr konsantrasyonunu, Kloke (1980) ise 100 mg/kg'ı kritik değer olarak bildirmektedir. Kloke (1980) Cd toksisite sınır değeri olarak ise toprak örneklerinde 3 mg/kg değerini belirlemiştir. Tüm bu değerler dikkate alınarak sonuçlar incelendiğinde sediment içindeki Cr ve Cd konsantrasyonlarının sınır değerler içerisinde bulunduğu görülmektedir.

Topraklardaki Ni içeriği üst sınır değerini Schachtschabel ve Blume (1984) ve Kloke (1982) 50 mg/kg, Bergmann (1993) ise 40-50 mg/kg olarak bildirmişlerdir. Alınan sediment örneklerinin Ni içerikleri 2007 yılında 0.09-177.06 ppm arasında değişmektedir. 2008 yılında ise 0.15-157.06 ppm Ni tespit edilmiştir. Özellikle jeotermal kaynak noktalarında veya bunların hemen yakınlardaki alanlardan alınan sediment örneklerinde normal sınır değer olan 50 ppm'in üzerinde Ni elementi değerlerine rastlanılmıştır.

Sedimentlerin Pb içerikleri 2007 yılında 0.06-6.95 ppm, 2008 yılında ise 0.05-9.50 ppm değerleri arasında bulunmuştur. Sedimentlerde belirlenen Pb içerikleri, Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde (Anonim, 2001) belirtilen 50-300 mg/kg, Brune ve Ellinghouse (1981) ve Hoffman vd. (1981)'nin rapor ettikleri (100 mg/kg) kriter değerlerinin çok altında bulunmaktadır.

Co içerikleri açısından sedimentleri incelediğimizde ise 2007 ve 2008 yılında sırasıyla 6.35-21.32 ppm ve 4.12-29.50 ppm değerleri belirlenmiştir. Saatçı ve ark. (1988) tarafından yer kabuğunun ortalama Co içeriğinin 11.0-25.5 mg/kg olduğunu bildirilmiştir. Bu değer dikkate alınarak incelendiğinde 2008 yılında alınan 7 nolu sediment örneğinin sınır değer üzerinde olduğu belirlenmiştir.

6.3.3. Sediment Örneklerinin Radyoaktivite Analiz Sonuçları

Alangüllü yan havzasından, 2007 ve 2008 yıllarında alınan toplam 20 sediment örneğinde ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K analizleri yapılmıştır. Sonuçları Çizelge 6.28. ve 6.29.'da gösterilmektedir.

Çizelge 6.28. 2007 yılında alınan sediment örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K miktarları

Örnek No	^{232}Th (Bq/Kg)	^{226}Ra (Bq/Kg)	^{40}K (Bq/Kg)
1	115.98±9	140.62±7	239.93±11
3	29.71±8	14.24±4	716.48±45
5	35.85±8	60.42±6	521.05±32
6	42.88±8	14.19±3	765.67±44
7	15.85±8	7.07±4	463.33±45
8	15.36±8	273.04±11	184.27±7
10	44.57±8	43.17±6	557.26±35
12	29.71±8	45.84±7	745.71±40
19	45.24±8	10.38±2	789.11±45
40	14.86±8	6.97±4	452.33±45

Çizelge 6.29. 2008 yılında alınan sediment örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K miktarları

Örnek No	^{232}Th (Bq/Kg)	^{226}Ra (Bq/Kg)	^{40}K (Bq/Kg)
1	43.22±19	73.89±8	ND
3	33.93±8	37.38±6	565.86±37
5	48.45±8	75.13±7	536.00±30
6	45.75±8	22.41±3	656.12±34.
7	19.83±8	10.03±4	456.21±45
8	58.08±8	109.79±8	629.93±28
10	65.33±8	57.76±6	745.51±35
12	36.95±8	50.75±7	796.62±42
19	48.94±8	11.77±2	791.19±43
40	21.75±8	8.19±4	520.30±40

UNSCEAR (2000) raporunda topraklar için verilmiş olan ^{238}U için 35 (16-110) Bq/kg, ^{226}Ra için 35 (17-60) Bq/kg, ^{232}Th için 30 (11-64) Bq/kg ve ^{40}K için 400 (140-850) Bq/kg aktivite konsantrasyon değerleri ile sediment örneklerinde belirlenmiş olan ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K değerleri karşılaştırılmıştır.

2007 yılında alınan 5, 8, 10 ve 12 numaralı sediment örneklerinin ^{226}Ra içeriklerinin ortalama değerinin çok üzerinde olduğu görülmektedir. 2008 yılında

ise 1, 3, 5, 8, 10 ve 12 numaralı sedimentlerin ^{226}Ra içerikleri ortalama değerlerin üzerindedir.

Örneklerin ^{232}Th değerleri ise genellikle yüksek olmakla birlikte, 2007 yılında alınan 5, 6, 10 ve 19 nolu örnekler ile 2008 yılında alınan 1, 5, 6, 8, 10, 12 ve 19 no'lu örneklerin ortalama değerlerin çok üzerinde olduğu görülmektedir.

2007 yılında alınan sedimentlerin ^{40}K içerikleri incelendiğinde, 1 ve 8 numaralı örneklerin dışındaki tüm örneklerin ^{40}K içerikleri ortalamanın üzerindedir. 2008 yılında ise tüm örneklerin ^{40}K içerikleri ortalamanın üzerinde bulunmuştur. Genellikle jeotermal suların çıktığı yerlerden alınan sediment örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K içeriklerinin yüksek çıkması dikkat çekicidir. Bazı dere yatakları sedimentlerinde görülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K sonuçlarının yüksek olması ise, jeotermal su kaynaklarının dere sularına karışması sonucunda ^{226}Ra 'nın sedimentlerde biriktiğini düşündürmektedir. Ayrıca, tarım alanlarına uygulanan gübrelerin suya karışabileceği ve sedimentlerde birikim yapması sonucunda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K içeriklerini yükseltebileceği de tahmin edilmektedir.

2007 ve 2008 yıllarında alınan sediment örneklerinin kimyasal analiz, ağır metal ile radyoaktivite ölçümleri ile belirlenmiş olan değerler arasında yapılan korelasyon hesaplamalarında, 2007 yılında alınan sedimentlerin pH ve toplam tuz içerikleri arasında 0.931, 2008 yılında ise 0.938 korelasyon değerleri saptanmıştır. Sedimentlerin yüksek pH değerleri, sedimentlerin alındığı yerdeki su kaynaklarının yüksek tuz içeriğinden ileri gelmektedir. Ayrıca toplam tuz (%) içerikleri ile bor miktarları arasında da 2007 yılında 0.821, 2008 yılında da 0.795 korelasyon değerleri bulunmuştur. Bu değerler de kaynak sularının içerdiği bor ve diğer tuzların sedimentte birikim yaptığını göstermektedir.

6.4. Bitki Örneklerinin Analiz Sonuçları

Alangüllü Yan Havzasından 2 yıl boyunca toplam 78 bitki örneği alınmıştır. Bu örneklerde bazı ağır metal ve iz element tayinleri (Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Cd, Ni, Pb, Co), bor analizi yapılmış ve radyoaktivite içerikleri (^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K) saptanmıştır.

6.4.1. Bitki Örneklerinin Ağır Metal, İz Element ve Bor Analiz Sonuçları

Bitkilerin kritik ağır metal içerikleri ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır. Farklı araştırmacılar tarafından yapılmış olan bu çalışmalar sonucunda ağır metallerin ve bazı iz elementlerin bitkilerdeki kritik konsantrasyon değerleri belirlenmiş ve Çizelge 6.30.'da verilmiştir (Kacar ve İnal, 2008; Mengel ve Kirkby, 2004; Bergmann, 1993; Jones vd., 1991; Alloway, 1990; Scheffer and Schachtschabel, 1989; Kabata-Pendias ve Pendias, 1984). 2007 ve 2008 yıllarında yapılan arazi çalışmalarında alınan toplam 78 bitki örneğinde ağır metal, iz element ve bor içerikleri saptanmış ve Çizelge 6.30.'da verilen kritik konsantrasyon değerleri dikkate alınarak bitki örneklerinin analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.30. Bazı iz elementlerin ve ağır metallerin bitkilerdeki kritik konsantrasyonları

Bitki	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cr (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Co (ppm)	B (ppm)
Buğday	>100	>100	>25	>70	>0.6	>0.05	>5	>6	>0.3	>10
Mısır	>250	>300	>20	>60	>0.6	>0.05	>5	>6	>0.3	>25
Domates	>300	>250	>50	>250	>0.6	>0.05	>5	>6	>0.3	>75
Kabak	>200	>250	>25	>200	>0.6	>0.05	>5	>6	>0.3	>75
Patlıcan	>300	>250	>60	>250	>0.6	>0.05	>5	>6	>0.3	>75
Hıyar	>30	305-500	>20	>100	>0.6	>0.05	>5	>6	>0.3	61-200
Biber	>300	>250	>25	>200	>0.6	>0.05	>5	>6	>0.3	>75
Fasulye	>300	>300	>30	>200	>0.6	>0.05	>5	>6	>0.3	>75
Yonca	>250	>100	>30	>70	>0.6	>0.05	>5	>6	>0.3	>80
İncir	>300	>300	>50	>200	>4.5	>0.10	>5	>6	>0.3	>300
Zeytin	>300	>300	>50	>200	>4.5	>0.10	>5	>6	>0.3	>75
Asma	>175	>300	>50	>100	>4.5	>0.10	>5	>6	>0.3	>70

6.4.1.1. 2007 Yılında Alınan Bitki Örneklerinin Ağır Metal ve İz Element Analiz Sonuçları

Alangüllü yan havzasından 2007 yılında toprak örneklerinin alındığı tarım arazilerinde yetişen tek yıllık ve çok yıllık bitkilerden 44 bitki örnekleme yapılmıştır. Bu örneklerde, iz elementler, bor ve ağır metal içerikleri saptanmıştır (Çizelge 6.31.).

Çizelge 6.31. 2007 yılı arazi çalışmalarda alınan bitki örneklerinin ağır metal, iz element ve bor analiz sonuçları

Örnek No	Bitki	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Cd	Ni	Pb	Co	B
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
7	Zeytin(Yaprak)-1	139.00	23.30	3.70	25.20	0.36	iz	2.04	0.16	0.07	20.05
7	Zeytin(Yaprak)-2	169.00	31.1	5.20	43.52	0.42	0.06	2.84	0.30	0.06	42.82
8	Buğday	113.00	13.9	3.70	23.80	0.26	iz	0.38	0.09	0.04	11.23
8	Zeytin(Yaprak)	183.00	31.7	5.10	53.54	0.45	0.08	4.11	0.50	0.12	52.58
10	Zeytin(Yaprak)-1	106.00	30.3	8.60	26.80	0.14	iz	1.60	0.14	0.10	62.73
10	Buğday	135.00	21.8	3.70	22.90	0.12	iz	0.24	0.50	0.05	60.44
10	Zeytin(Yaprak)-2	166.00	25.8	7.00	129.76	0.61	0.45	2.32	0.35	0.10	42.12
13	Zeytin(Yaprak)	183.00	25.5	7.00	24.90	0.34	iz	1.06	0.14	0.10	53.64
18	Domates(Yaprak)	272.00	39.9	15.60	22.20	0.29	iz	0.97	0.12	0.23	33.69
19	Buğday	212.00	20.1	4.90	32.00	0.43	0.01	0.36	0.06	0.03	102.69
19	Zeytin(Yaprak)	144.00	17.8	2.80	28.30	0.68	0.01	0.98	0.20	0.05	340.10
22	Kabak(Meyve)	2.00	0.3	2.30	0.19	0.42	0.16	5.56	0.20	0.42	36.16
24	Patlıcan(Meyve)	94.00	20.7	11.10	82.46	0.11	0.11	1.43	0.15	0.19	62.64
25	Mısır(Yaprak)	130.00	16.7	8.60	56.24	2.14	0.09	2.74	0.05	0.10	92.76
25	Mısır(Koçan)	24.00	5.1	2.70	52.08	0.23	0.02	0.55	0.05	0.03	45.01
26	Mısır(Yaprak)	234.00	67.3	12.30	170.22	2.32	0.14	3.26	0.20	0.22	59.05
27	Mısır(Yaprak)	185.00	33.9	5.20	95.44	1.17	0.04	1.93	0.30	0.14	51.14
29	Zeytin(Yaprak)	181.00	40.1	6.60	20.40	0.23	iz	1.67	0.19	0.11	64.65
30	Yonca	118.00	35.9	13.10	49.20	0.15	0.02	4.55	0.01	0.15	51.69
31	İncir(Yaprak)	215.00	87.0	5.30	22.60	0.31	0.03	0.63	0.14	0.16	308.45
31	Domates(Yaprak)	339.00	74.7	42.30	27.40	0.30	0.38	0.89	0.15	0.22	170.65
31	Hıyar(Yaprak)	357.00	78.3	10.50	32.40	0.22	0.03	1.65	0.13	0.08	200.20
32	İncir(Yaprak)	168.00	86.9	6.20	30.30	0.60	0.04	3.50	0.60	0.42	306.20

Çizelge 6.31.'in devamı.

Örnek No	Bitki	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Cd	Ni	Pb	Co	B
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
33	Hıyar(Yaprak)	309.00	92.7	8.90	36.60	0.29	0.22	0.75	0.27	0.15	94.25
34	Yonca	130.00	30.6	13.80	40.70	0.18	iz	3.83	0.08	0.17	72.45
35	Yonca	157.00	40.1	7.30	39.50	0.22	0.02	3.75	0.13	0.85	90.20
36	İncir(Yaprak)	172.00	88.8	5.10	20.40	1.68	0.10	2.89	0.20	0.14	277.70
36	Zeytin(Yaprak)	152.00	22.4	4.70	19.70	0.30	0.01	1.08	0.40	0.09	22.01
37	Mısır(Yaprak)	647.00	61.2	12.40	39.10	1.05	0.01	1.32	0.19	0.24	58.23
38	Buğday	164.00	47.7	4.00	28.50	0.28	0.01	0.56	0.09	0.05	22.70
41	İncir(Yaprak)	740.00	67.9	4.50	46.43	0.64	0.11	4.45	0.45	0.27	96.47
41	İncir(Meyve)	76.00	11.4	9.80	125.93	0.50	0.11	2.68	0.20	0.09	45.16
41	Nar(Yaprak)	364.00	44.4	8.20	74.77	0.72	0.10	3.38	0.35	0.21	55.44
41	Nar(Meyve)	32.30	7.4	10.00	62.41	0.26	0.06	1.47	0.05	0.07	38.30
42	Yonca	219.00	34.3	9.40	58.06	0.98	0.11	5.52	0.35	0.53	137.10
43	Mısır(Yaprak)	95.00	19.6	5.40	76.61	1.70	0.14	1.87	3.05	0.07	72.90
43	Mısır(Koçan)	25.00	7.3	3.00	45.18	0.18	0.07	0.60	0.05	0.02	57.76
44	Mısır(Yaprak)	296.00	63.3	13.10	134.12	1.81	0.19	3.31	0.30	0.26	61.10
44	Domates(Meyve)	181.00	24.7	15.30	91.34	0.27	0.11	1.67	0.15	0.15	45.41
44	Patlıcan(Meyve)	116.00	26.5	8.00	99.90	0.14	0.16	1.40	0.40	0.15	75.77
44	Üzüm(Meyve)	76.00	8.9	7.90	19.55	0.22	0.09	0.87	0.05	0.03	38.15
45	Biber(Yaprak)	470.00	56.4	9.40	81.30	1.41	0.01	3.80	0.70	0.66	45.21
45	Biber(Meyve)	81.00	16.1	10.70	47.79	0.26	0.21	1.46	0.05	0.30	35.64
45	Zeytin(Yaprak)	184.00	23.9	4.40	34.72	0.46	0.08	2.69	0.05	0.14	83.82
47	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR										

Toplam Fe içerikleri, zeytin yaprak örneklerinde en düşük 106.00 mg/kg ve en yüksek 184.00 mg/kg olarak bulunmuştur. İncir ağaçlarından alınan yaprak örneklerinde ise toplam Fe konsantrasyonu en düşük 168 mg/kg ve en yüksek 740 mg/kg olarak belirlenmiştir. Tek yıllık bitki yaprak örneklerinde ise toplam Fe konsantrasyonu en düşük 43 nolu mısır yaprak örneğinde (95.00 mg/kg) ile en yüksek 37 nolu mısır yaprak örneğinde (647 mg/kg) bulunmuştur. Genel olarak incelendiğinde bitki örneklerinin toplam Fe içeriklerinin kritik konsantrasyon değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Reuter ve Robinson (1986)'e göre normal şartlar altında kültür bitkilerinin kuru maddesinde Fe elementi 100 ile 300 mg/kg aralığında bulunmalıdır. Bulgularımız genelde bu araştırmacıların bildirdikleri ölçüt veriler ile uyumlu görülmektedir. Ancak inceleme alanının bazı yerlerinde bulunan incir plantasyonlarının ve tek yıllık bitkilerin Fe içeriklerinin bildirilen 300 mg/kg kriter değerinden yüksek olduğu belirlenmiştir.

İnceleme sahasında yoğun olarak bulunan zeytin ağaçlarından yapılan örneklemelerde toplam Mn içeriği 17.80–40.10 mg/kg aralığında değişim göstermiştir. İncir yapraklarında ise Mn içeriğinin değişimi 67.90 ile 88.80 mg/kg değerleri arasında belirlenmiştir. Tek yıllık bitki örneklemede ise en düşük ve en yüksek Mn içeriği sırasıyla, 13.90 mg/kg ile 8 nolu buğday bitkisinde ve 92.70 mg/kg ile 33 nolu hıyar yaprak örneğinde ölçülmüştür. Tüm bu değerler incelendiğinde, bulunan tüm sonuçların Çizelge 6.30'da bitkiler için verilmiş olan kritik Mn konsantrasyonu değerlerinin içerisinde yer aldığı belirlenmiştir.

Çalışma alanında mevcut olan zeytinlerden alınan örneklerde Cu içeriğinin 4.40–8.60 mg/kg, incir yapraklarında 4.50 ile 6.20 mg/kg ve diğer tek yıllık bitkilerin ise 3.70 ile 42.30 mg/kg aralığında değiştiği belirlenmiştir. Çok yıllık ve tek yıllık bitkiler için kritik Cu konsantrasyonu değerleri farklı olmakla birlikte, bitkilerin Cu içeriklerinin genellikle 16–20 mg/kg arasında bulunduğu rapor edilmektedir (Mengel ve Kirkby, 2004; Anonim, 1982). Bu ve Çizelge 6.30'da verilmiş olan kritik Cu konsantrasyonu değerleri ile sonuçlar karşılaştırıldığında bitki örneklerinin Cu konsantrasyonlarının verilen sınırlar içerisinde yer aldığı gözlenmektedir.

Bitkilerin Zn elementi içerikleri incelendiğinde, zeytin ağaçlarından alınan örneklerde en düşük ve en yüksek Zn içerikleri sırasıyla 19.70 ve 129.76 mg/kg, incir ağaçlarında 20.40 ve 46.43 mg/kg, tek yıllık bitkilerde 22.00 ile 134.12 mg/kg aralığında olduğu belirlenmiştir. Almanya Tarımsal Araştırma Kurumları Birliği (Anonim, 1982) ile Mengel ve Kirkby (2004) bitkilerin Zn içeriklerinin 100–200 mg/kg arasında değiştiğini bildirmektedirler. Bulgularımız bildirilen bu değerler ile uyumlu bulunmaktadır. Özellikle tek yıllık bitkilerin Zn içeriklerinin nispeten daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Örneğin 44 numaralı Mısır bitkisinde Zn konsantrasyonu Çizelge 6.30.'da verilmiş olan kritik konsantrasyon değerinin üzerinde bulunmuştur.

Çalışma alanındaki zeytin ağaçlarından alınan yaprak örneklerinin Cr içeriği 0.14 ile 0.68 mg/kg arasında ölçülmüştür. İncirde değişim 0.31 ile 1.68 mg/kg ve tek yıllıklarda genel olarak 0.12 ile 2.32 mg/kg arasında saptanmıştır. Lepp (1981) Cr içeriği bakımından tüm ağaçlar için 0.20 ile 0.60 mg/kg aralığını bildirmektedir. Özbek ve ark (1995) ise bitkilerde 100 mg/kg'a kadar Cr elementi bulunabileceğini rapor etmektedirler. Almanya Tarımsal Araştırma Kurumları Birliği verilerine göre bitkilerdeki Cr konsantrasyonları 1-2 mg/kg arasında değişmektedir (Anonim, 1982). Literatürlerde genel olarak çok geniş aralıklarda bitki Cr içeriklerine işaret edilmektedir. Yüksek Cr elementi değerlerine tek yıllık bitkilerden özellikle mısır bitkilerinde (2.32, 2.14 ve 1.88 mg/kg) rastlanılmıştır. Mısır bitkisinin Cr konsantrasyonu Çizelge 6.30.'da verilmiş olan kritik konsantrasyon değerinin üzerinde bulunmuştur. Diğer bitkilerin Cr içerikleri ise verilen kritik değerler arasında saptanmıştır.

Zeytin yapraklarında ölçülen Cd konsantrasyonları en az iz miktarda ve en fazla ise 0.45 mg/kg' dır. İncirde Cd elementinin değişimi 0.03-0.11 mg/kg arasında saptanmıştır. Tek yıllık bitkilerde ise Cd içerikleri iz ile 0.38 mg/kg arasında bulunmuştur. Anonim (1982) bitkilerde 5-10 mg/kg Cd elementi bulunduğunu rapor etmektedir. Haktanır (1987) bitkiler için Cd kritik değerini 0.05 mg/kg olarak bildirmektedir. Araştırma alanı bitki örneklerinin Cd içerikleri incelendiğinde genellikle Cd içerikleri düşük bulunmakla beraber bazı örneklerin Cd elementi içerikleri Çizelge 6.30.'da verilmiş olan kritik konsantrasyon değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Yüksek Cd elementi değerlerine 10 nolu Zeytin-2 örneğinde (0.45 mg/kg), incirde 44 nolu örnekte (0.11 mg/kg) ve tek

yıllık bitkilerden ise genellikle mısır, domates ve hıyar bitkilerinin yaprak örneklerinde (0.14, 0.38, ve 0.22 mg/kg) rastlanılmıştır.

Zeytin yapraklarında ölçülen en düşük Ni içeriği 0.98 mg/kg, en yüksek Ni içeriği ise 4.11 mg/kg olarak analiz edilmiştir. İncir yapraklarında Ni miktarı 0.63 ile 4.80 mg/kg arasında belirlenmiştir. Tek yıllık bitkilerde ise Ni içeriği en düşük 0.24 mg/kg ile buğday örneğinde ve en yüksek 5.52 mg/kg ile yonca olarak analiz edilmiştir. Scheffer ve Schachtschabel (1989)'e göre bitkilerde 0.10-3.00 mg/kg Ni normal kabul edilmektedir. Alloway (1990) normal Ni değerini 0.02-5.00 mg/kg, Kabata Pendias-Pendias (1984) ise 0.10-5.00 mg/kg aralıklarında bildirmektedirler. Hutchinson (1974) havuç, soğan ve marul için normal Ni elementi değerlerini 2.80 ile 6.20 mg/kg arasında vermektedirler. Almanya Tarımsal Araştırma Kurumları Birliği, otsu bitkilerdeki Ni element içeriğini 90 mg/kg, diğer bitkilerdeki Ni'i ise 20-30 mg/kg aralığında bildirmektedir (Anonim, 1982). Bitkilerde tolere edilebilir Ni konsantrasyonunun 20 ile 30 mg/kg arasında olduğunu Mengel (1991) bildirmektedir. Araştırma alanı içerisinde incelenen bitki örneklerinde tolere edilebilir sınırlara (20-30 mg/kg) ulaşan Ni elementi niceliğine rastlanmamıştır. Kriter değeri 5 mg/kg kabul ettiğimiz takdirde tek yıllık bitkilerden yonca örneğinde (5.52 mg/kg) bu değere rastlanılmıştır.

İnceleme alanının bitki örtüsü içerisinde ağırlıklı olarak bulunan zeytin ağaçlarının Pb içeriği ise 0.05 ile 0.50 mg/kg arasında saptanmıştır. İncir ağaçlarında ise en düşük Pb içeriği 0.14 mg/kg ve en yüksek 0.60 mg/kg bulunmuştur. Tek yıllık bitkilerde Pb içeriğindeki değişim ise 0.01 ile 3.05 mg/kg aralığında belirlenmiştir. Haktanır (1987) kirlenmenin olmadığı topraklarda yetişen bitkilerde normal olarak 10 mg/kg Pb bulunabilir diye bildirmektedir. Almanya Tarımsal Araştırma Kurumları Birliği (Anonim, 1982) de otsu bitkilerde Pb'nun 67 mg/kg, diğer bitkilerde de 10-20 mg/kg arasında bulunabileceğine işaret etmektedir. Kabata Pendias and Pendias (1984) bitkilerde doğal olarak 0.1-10 mg/kg arasında Pb bulunabileceğini bildirmiştir. Scheffer and Schachtschabel (1989)'a göre bitkilerdeki Pb elementi sınır değeri 6 mg/kg'dır. Literatürlerde genel olarak çok geniş aralıklarda bitki Pb değerlerine işaret edilmekle birlikte bu çalışma alanını temsil edecek nitelikte alınan farklı bitki türlerine ait yaprak örneklerinin Pb elementi içeriği bakımından sorunlu olmadığını söylemek mümkündür.

Zeytin bahçelerinden alınan yaprak örneklerinde belirlenen Co içerikleri ise en düşük 0.05 mg/kg ve en yüksek 0.14 mg/kg aralığında bulunmuştur. İncir bahçesinden alınan yaprakların Co içeriği 0.09 ve 0.42 mg/kg arasında saptanmıştır. Tek yıllık bitkilerin Co içerikleri de 0.03 mg/kg ile 0.85 mg/kg arasında değişmektedir. Mengel ve Kirkby (2004) baklagiller ve otlarda Co'nun sırasıyla 0.15-0.30 mg/kg ve 0.04-0.08 mg/kg bulunabileceğini rapor etmektedirler. Scheffer and Schachtschabel (1989) bitkilerdeki Co sınır değerini 0.02-0.5 mg/kg düzeyinde, Kabata Pendias and Pendias (1992) ise 10-20 mg/kg olarak bildirmişlerdir. Tek yıllık bitki yaprak örneklerinin Co içerikleri >0.3 mg/kg değeri dikkate alınarak incelendiğinde, yaprakların genellikle bu değer altında Co içerdiği yalnızca yonca örneklerinin Co içeriklerinin bu değer üzerinde olduğu görülmektedir.

Zeytin ağaçlarının en düşük ve en yüksek B içerikleri ise sırasıyla 20.05 mg/kg ve 340.10 mg/kg olarak saptanmıştır. İncir ağaçlarından yapılan örneklemelerde ise değişimin 96.47 ile 308.45 mg/kg olduğu belirlenmiştir. Tek yıllık bitkilerde yapılan örneklemelerde ise B elementi içeriğinin 11.23 ile 200.20 mg/kg aralığında bulunduğu saptanmıştır. Eryüce (1979) zeytinde 9 ile 150 mg/kg aralığında B değerinin yeterli olduğunu vurgulamıştır. Reuter ve ark. (1986) bitkilerde 260 ppm'in üzerinde bor elementi konsantrasyonunu toksik olarak değerlendirmiştir. Örneklerin genelinin B içerikleri Çizelge 6.30.'da verilmiş olan kritik konsantrasyon değerlerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanında, özellikle yaz aylarında yoğun olarak kullanılan, jeotermal kaynakların etkisi altındaki bor içeriği yüksek sulama suları nedeniyle topraklara bol miktarda bor elementi akışı olmaktadır. Sulamanın her yıl tekrarlanması ile sürekli olması sonucu topraklarda birikim gösteren bor elementi önce bitkilerde toksik etkilere neden olmakta sonraki yıllarda da toprakların çoraklaşıp tamamen tarım yapılamaz konuma gelmesine neden olmaktadır (Şekil 6.37. ve 6.38.)



Şekil 6.37. Fasulye yapraklarında bor toksisitesi nedeniyle oluşan kenar kıvrılmaları ve kurumalar (Orijinal, Temmuz, 2008)



Şekil 6.38. Jeotermal kaynağın hemen yanında bulunan ve yüksek bor toksitesi nedeniyle kurumaya başlamış incir ağaçları (Orijinal, Temmuz, 2008)

6.4.1.2. 2008 Yılında Alınan Bitki Örneklerinin Ağır Metal ve İz Element Analiz Sonuçları

2008 yılında da toprak örneklerinin alındığı tarım arazilerinde yetişen tek yıllık ve çok yıllık bitkilerden örneklemeler yapılmıştır. Bu örneklerde, iz elementler, bor ve ağır metal analizleri yapılmıştır (Çizelge 6.32.)

Çizelge 6.32. 2008 yılı arazi çalışmalarda alınan bitki örneklerinin ağır metal, iz element ve bor analiz sonuçları

Örnek No	Bitki	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cr (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Co (ppm)	B (ppm)
7	Buğday	45.40	30.30	3.90	12.75	0.20	iz	9.30	0.07	0.05	38.10
7	Zeytin(Yaprak)-1	101.20	14.20	4.60	26.45	0.50	0.01	1.30	0.40	0.07	57.70
7	Zeytin(Yaprak)-2	142.40	15.60	6.20	18.46	0.30	0.01	1.20	0.30	0.05	35.70
8	Zeytin(Yaprak)	118.70	25.20	5.21	19.75	0.52	0.08	5.60	0.58	0.15	65.98
10	Zeytin(Yaprak)	145.30	25.50	8.30	19.26	1.10	0.08	2.80	0.30	0.01	54.70
13	Biber(Yaprak)	65.10	10.40	5.20	15.45	0.09	0.05	5.80	0.07	0.20	41.40
13	Patlıcan (Yaprak)	77.40	16.80	5.30	19.89	0.10	0.05	0.90	0.40	0.20	51.00
13	Zeytin(Yaprak)	89.20	20.10	7.20	20.75	0.10	0.01	2.10	0.20	0.01	147.90
13	Fasulye (Yaprak)	55.30	15.20	10.80	27.90	0.50	0.01	4.60	0.10	0.33	40.41
18											
19	Zeytin(Yaprak)	80.45	12.71	1.88	12.50	0.72	0.02	1.65	0.33	0.07	358.92
22											
24											
25											
26	Mısır (Yaprak)	163.80	59.80	30.00	40.60	1.60	0.02	1.40	0.30	0.02	217.20
26	Mısır (Koçan)	48.50	17.60	4.60	31.00	1.90	0.01	1.50	0.40	0.01	53.80
27											
29	Mısır (Yaprak)	91.80	42.60	8.40	28.10	0.90	0.06	0.80	0.10	0.01	141.10
30	İncir (Yaprak)	94.20	95.50	3.90	17.60	0.30	0.01	3.10	0.10	0.02	106.10
30	Zeytin (Yaprak)-1	94.10	19.20	6.80	10.90	0.30	0.01	0.70	0.20	0.02	192.00
30	Zeytin (Yaprak)-2	141.10	24.90	5.90	66.50	0.60	0.01	1.50	0.20	0.01	149.20
30	Biber (Yaprak)	49.80	16.30	4.10	23.70	0.10	0.02	0.70	0.03	0.07	74.10

Çizelge 6.32.'nin devamı.

Örnek No	Bitki	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Cd	Ni	Pb	Co	B
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
30	Patlıcan (Yaprak)	40.60	14.80	9.00	18.40	0.10	0.04	0.30	0.40	0.21	60.80
30	Domates (Yaprak)	36.90	12.70	0.30	20.50	0.90	0.03	0.30	iz	0.01	29.90
30	Acur (Yaprak)	59.40	22.10	4.40	44.70	0.20	0.01	1.70	0.10	0.10	166.50
31	İncir(Yaprak)	112.34	35.88	9.25	19.90	0.41	0.04	1.03	0.18	0.15	340.60
32	İncir(Yaprak)	230.10	125.05	13.46	40.00	0.63	0.05	4.80	0.65	0.50	316.00
33	Zeytin(Yaprak)	56.50	23.40	4.70	9.00	0.10	0.02	0.90	0.10	0.01	62.70
33	Domates (Yaprak)	32.20	11.80	0.20	17.00	0.10	0.03	0.60	0.40	0.03	40.20
33	Patlıcan (Yaprak)	40.90	18.20	5.40	29.20	0.10	0.09	0.40	iz	0.02	67.00
34	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR										
35	Mısır(Yaprak)	113.10	35.40	5.00	26.50	1.80	0.02	1.30	0.30	0.01	174.90
36	İncir(Yaprak)	97.78	70.21	5.89	18.04	1.75	0.15	3.02	0.34	0.16	285.16
36	Domates (Yaprak)	122.20	12.80	0.60	16.40	0.20	0.09	0.60	0.40	0.30	25.20
36	Patlıcan (Yaprak)	35.90	56.30	4.90	30.50	0.10	0.20	0.90	0.03	0.03	68.70
37	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR										
38	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR										
41	Bakla (Yaprak)	132.8	31.80	14.80	42.30	0.20	0.01	3.60	0.30	0.30	32.10
41	Buğday (Yaprak)	53.00	24.50	11.60	38.40	0.20	0.01	0.50	0.20	0.01	32.10
42	Yonca(Yaprak)	183.00	17.80	9.50	30.10	0.40	0.01	2.70	0.50	0.40	69.10
43	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR										
44	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR										
45	Zeytin(Yaprak)	102.00	17.25	5.90	16.50	0.64	0.10	2.96	0.08	0.15	89.76
47	Mısır(Yaprak)	88.70	36.60	4.40	25.70	2.30	0.01	2.20	0.20	0.02	228.10

Çizelge 6.32.'den izlendiği gibi, zeytin yaprak örneklerinde toplam Fe konsantrasyonu en düşük 56.50 mg/kg ve en yüksek 142.40 mg/kg olarak bulunmuştur. İncir ağaçlarından alınan yaprak örneklerinde ise toplam Fe içeriği en düşük 94.20 mg/kg ve en yüksek 230.10 mg/kg olarak belirlenmiştir. Tek yıllık örneklerde ise toplam Fe konsantrasyonu en düşük domates yaprak örneklerinde 32.20 mg/kg ile en yüksek ise yonca örneklerinde 183.00 mg/kg bulunmuştur. Genel olarak incelendiğinde bitki örneklerinin toplam Fe içeriklerinin kritik konsantrasyon değerleri içerisinde olduğu görülmektedir. Reuter ve Robinson (1986)'e göre normal şartlar altında kültür bitkilerinin kuru maddesinde Fe elementi 100 ile 300 mg/kg aralığında bulunmalıdır. Bulgularımız genelde bu araştırmacıların bildirdikleri ölçüt veriler ile uyumlu görülmektedir.

İnceleme sahasında yoğun olarak bulunan zeytin ağaçlarından yapılan örneklerin Mn içeriği 12.71–24.90 mg/kg aralığında değişim göstermiştir. İncir yapraklarında ise Mn element içeriğinin değişimi 35.88 ile 125.05 mg/kg değerleri arasında belirlenmiştir. Tek yıllık bitki örneklemede ise en düşük ve en yüksek Mn element içeriği sırasıyla 10.40 mg/kg ve 59.80 mg/kg değerlerinde ölçülmüştür. Tüm bu değerler incelendiğinde, bulunan sonuçların Çizelge 6.31.'de bitkiler için verilmiş olan kritik Mn konsantrasyonu değerlerinin içerisinde yer aldığı belirlenmiştir.

Çalışma alanında mevcut olan zeytinlerden alınan örneklerde Cu içeriği 1.88–8.30 mg/kg, incir yapraklarında 3.90 ile 13.46 mg/kg ve diğer tek yıllık bitkilerin ise 0.20 ile 30.00 mg/kg aralığında değiştiği belirlenmiştir. Çok yıllık ve tek yıllık bitkiler için kritik Cu elementi konsantrasyonu değerleri farklı olmakla birlikte, bitkilerin Cu içeriklerinin genellikle 16–20 mg/kg arasında bulunduğu rapor edilmektedir (Mengel ve Kirkby, 2004; Anonim, 1982). Bu değerler ile Çizelge 6.31.'de verilmiş olan kritik Cu elementi konsantrasyonu değerleri sonuçlarla karşılaştırıldığında bitki örneklerinin Cu elementi konsantrasyonlarının verilen sınırlar içerisinde yer aldığı gözlenmektedir.

Bitkilerin toplam Zn elementi içerikleri incelendiğinde zeytin ağaçlarından alınan örneklerde en düşük ve en yüksek toplam Zn elementi sırasıyla 9.00 ve 66.50 mg/kg, incir ağaçlarında 17.60 ve 40.00 mg/kg, tek yıllık bitkilerde 12.75 ile 44.70 mg/kg aralığında olduğu belirlenmiştir. Almanya Tarımsal Araştırma

Kurumları Birliği (Anonim, 1982) ile Mengel ve Kirkby (2004) bitkilerin Zn elementi içeriklerinin 100–200 mg/kg arasında değiştiğini bildirmektedirler. Bulgularımız bildirilen bu değerler ile uyumlu bulunmaktadır.

Çalışma alanındaki zeytin ağaçlarından alınan yaprak örneklerinde Cr içeriği 0.10 ile 1.10 mg/kg arasında ölçülmüştür. İncirde değişim 0.30 ile 1.75 mg/kg ve tek yıllıklarda genel olarak 0.09 ile 2.30 mg/kg arasında saptanmıştır. Lepp (1981) Cr içeriği bakımından tüm ağaçlar için 0.20 ile 0.60 mg/kg aralığında bildirmektedir. Özbek ve ark (1995) ise bitkilerde 100 mg/kg'a kadar Cr elementi bulunabileceğini rapor etmektedirler. Almanya Tarımsal Araştırma Kurumları Birliği verilerine göre bitkilerdeki Cr elementi içeriği 1-2 mg/kg arasında değişmektedir (Anonim, 1982). Genel olarak çok geniş aralıklarda Cr kritik konsantrasyon değerlerine işaret edilmektedir. Yüksek Cr elementi değerlerine tek yıllık bitkilerden özellikle mısır bitkilerinde (1.60, 2.30 ve 1.80 mg/kg) rastlanılmıştır. Mısır bitkisinin Cr elementi konsantrasyonu Çizelge 6.31.'de verilmiş olan kritik konsantrasyon değerinin üzerinde bulunmuştur. Diğer bitkilerin Cr elementi içerikleri ise genellikle verilen kritik değerler arasında saptanmıştır.

Zeytin yapraklarında ölçülen kadmiyum (Cd) elementi konsantrasyonları en düşük iz miktarda ve en fazla ise 0.10 mg/kg' dır. İncirde Cd elementinin değişimi 0.01-0.15 mg/kg arasında saptanmıştır. Tek yıllık bitkilerde ise Cd içerikleri iz ile 0.20 mg/kg arasında bulunmuştur. Anonim (1982) bitkilerde 5-10 mg/kg Cd elementi bulunduğunu rapor etmektedir. Haktanır (1987) bitkiler için Cd kritik değerini 0.5 mg/kg olarak bildirmektedir. Araştırma alanı bitki örneklerinin Cd elementi analiz sonuçları dikkate alındığında genellikle Cd içerikleri düşük bulunmakla beraber bazı örneklerin Cd elementi içerikleri Çizelge 6.29'da verilmiş olan kritik konsantrasyon değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Yüksek Cd elementi değerlerine incirde 36 nolu örnekte (0.15 mg/kg) ve tek yıllık bitkilerden ise genellikle mısır, domates ve patlıcan bitkilerinde (0.06, 0.09 ve 0.20 mg/kg) rastlanılmıştır.

Zeytin yapraklarında ölçülen en düşük Ni içeriği 0.70 mg/kg, en yüksek Ni elementi içeriği ise 5.60 mg/kg olarak analiz edilmiştir. İncir yapraklarında Ni elementi miktarı 1.03 ile 4.80 mg/kg olarak belirlenmiştir. Tek yıllık bitkilerde ise

Ni element içeriği 0.30 mg/kg ile 9.30 mg/kg olarak analiz edilmiştir. Scheffer ve Schachtschabel (1989)'e göre bitkilerde 0.10-3.00 mg/kg Ni normal kabul edilmektedir. Alloway (1990) normal Ni değerini 0.02-5.00 mg/kg, Kabata Pendias-Pendias (1984) ise 0.10-5.00 mg/kg aralıklarında bildirmektedirler. Hutchinson (1974) havuç, soğan ve marul için normal Ni elementi değerlerini 2.80 ile 6.20 mg/kg arasında vermektedirler. Almanya Tarımsal Araştırma Kurumları Birliği, otsu bitkilerdeki Ni element içeriğini 90 mg/kg, diğer bitkilerdeki Ni'i ise 20-30 mg/kg aralığında bildirmektedir (Anonim, 1982). Bitkilerde tolere edilebilir Ni elementi konsantrasyonunun 20 ile 30 mg/kg arasında olduğunu Mengel (1991) bildirmektedir. Araştırma alanı içerisinde incelenen bitki örneklerinde tolere edilebilir sınırlara (20-30 mg/kg) ulaşan Ni elementi niceliğine rastlanmamıştır. Kriter değerleri 5 mg/kg kabul ettiğimiz taktirde bazı örnek alma noktalarında bu değerin üstünde Ni saptanmıştır. Yüksek Ni değerleri 8 nolu Zeytin rneğinde (5.60 mg/kg) ve tek yıllık bitkilerden ise 7 nolu buğday ve 13 nolu biber (9.30 ve 5.56 mg/kg) rneklerinde bulunmuştur.

İnceleme alanının bitki örtüsü içerisinde ağırlıklı olarak bulunan zeytin ağaçlarının Pb içeriği ise 0.08 ile 0.58 mg/kg arasında saptanmıştır. İncir ağaçlarında ise en düşük Pb elementi içeriği 0.10 mg/kg ve en yüksek 0.65 mg/kg bulunmuştur. Tek yıllık bitkilerde Pb element içeriğindeki değişim ise iz ile 0.50 mg/kg aralığında belirlenmiştir. Haktanır (1987) kirlenmenin olmadığı topraklarda yetişen bitkilerde normal olarak 10 mg/kg Pb elementi bulunabilir diye bildirmektedir. Almanya Tarımsal Araştırma Kurumları Birliği (Anonim, 1982) de otsu bitkilerde Pb'nun 67 mg/kg, diğer bitkilerde de 10-20 mg/kg arasında bulunabileceğine işaret etmektedir. Kabata Pendias and Pendias (1984) bitkilerde doğal olarak 0.1-10 mg/kg arasında Pb bulunabileceğini bildirmiştir. Scheffer and Schachtschabel (1989)'a göre bitkilerdeki Pb elementi sınır değerleri 6 mg/kg'dır. Literatürlerde genel olarak çok geniş aralıklarda bitki Pb değerlerine işaret edilmekle birlikte bu çalışma alanını temsil edecek nitelikte alınan farklı bitki türlerine ait yaprak rneklerinin Pb elementi içeriği bakımından sorunlu olmadığını söylemek mümkündür.

Zeytin bahçelerinden alınan yaprak örneklerinde belirlenen Co içerikleri ise en düşük 0.01 mg/kg ve en yüksek 0.15 mg/kg aralığında bulunmuştur. İncir bahçesinden alınan yaprakların Co içeriği 0.02 ve 0.50 mg/kg saptanmıştır. Tek

yıllık bitkilerin Co içerikleri de 0.01 mg/kg ile 0.40 mg/kg arasında değişmektedir. Mengel ve Kirkby (2004) baklagiller ve otlarda Co'nun sırasıyla 0.15-0.30 mg/kg ve 0.04-0.08 mg/kg bulunabileceğini rapor etmektedirler. Scheffer and Schachtschabel (1989) bitkilerdeki Co elementi sınır değerini 0.02-0.5 mg/kg düzeyinde, Kabata Pendias and Pendias (1992) ise 10-20 mg/kg olarak bildirmişlerdir. Çizelge 6.31.'de verilmiş Co için kritik konsantrasyon değeri olan 0.3 mg/kg dikkate alındığında, 32 nolu incir, 13 nolu fasulye ve 42 nolu yonca örneklerinin Co elementi içerikleri bildirilen bu değerden yüksek bulunmuştur.

Zeytin ağaçlarının en düşük ve en yüksek B içerikleri ise sırasıyla 35.70 mg/kg ve 358.92 mg/kg olarak saptanmıştır. İncir ağaçlarından yapılan örneklemelerde ise değişimin 106.10 ile 340.60 mg/kg olduğu belirlenmiştir. Tek yıllık bitkilerde yapılan örneklemelerde ise B içeriğinin 25.20 ile 228.10 mg/kg aralığında bulunduğu saptanmıştır. Eryüce (1979) zeytinde 9 ile 150 mg/kg aralığında B içeriğinin yeterli olduğunu vurgulamıştır. Reuter ve ark. (1986) bitkilerde 260 ppm'in üzerinde bor elementi konsantrasyonunu toksik olarak değerlendirmiştir. Bazı örneklerin B içerikleri Çizelge 6.31.'de verilmiş olan kritik konsantrasyon değerlerinin üzerinde bulunmuştur.

Çalışma alanından alınan tüm bitki örnekleri değerlendirildiğinde jeotermal kaynak çevresinde yetişen özellikle çok yıllık bitkilerin ağır metal ve bor içeriklerinin diğer örneklere göre çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bitkinin çeşidi, sürekli sulama, yer altı sularından girişim gibi nedenlerle jeotermal alanların direkt etkisi altında olmayan tarım alanlarında yetişen bazı bitki örneklerinde de çok yüksek konsantrasyonlara rastlanılmıştır. Özellikle bu bölge topraklarında yetişmekte olan bitkilerin çok ciddi bir bor toksisitesi ile karşı karşıya oldukları görülmektedir.

6.4.2. Bitki Örneklerinin ²³²Th, ²²⁶Ra ve ⁴⁰K İçerikleri

Bitkisel ve hayvansal gıdalardaki aktivite konsantrasyonları yetiştiği bölgeye göre değişkenlik gösterebilir (Çizelge 6.33.) Brezilya Minas Gerais Volkanik bölgesinde ve Hindistan Kerala mineral kumlarında yapraklı ve köklü sebzeler, tahıl, meyve ve süt ürünlerinde yüksek aktivite konsantrasyonları mevcuttur. Çin Guandong granitik bölgesinde de pirinç ve turp gibi bitkisel gıdalarda yüksek aktiviteler ölçülmüştür (UNSCEAR, 1988).

Çizelge 6.33. Tarımsal ürünlerdeki bazı doğal radyonüklitlerin yüksek aktivite konsantrasyonları

Gıda	Ülke	Radyonüklit	Aktivite Konsantrasyonu (Bq/kg)	
			Dağılım	Aritmetik Ort.
Tahıllar	Hindistan	²²⁶ Ra	>0.51	0.174
		²²⁸ Th	>5.59	0.536
Mısır	Brezilya	²²⁶ Ra	0.07-0.23	0.118
		²¹⁰ Pb	0.10-0.22	0.144
Pirinç	Çin	²²⁶ Ra	-	0.25
		²¹⁰ Pb	-	0.57
Yeşil Sebzeler	Hindistan	²²⁶ Ra	0.33-2.12	1.11
		²¹⁰ Pb	0.35-5.18	1.67
Havuç	Brezilya	²²⁶ Ra	0.33-0.49	0.41
		²¹⁰ Pb	0.22-0.32	0.26
Kökler	Hindistan	²²⁶ Ra	0.48-4.78	1.49
		²²⁸ Th	0.07-32.40	21.70
Meyveler	Hindistan	²²⁶ Ra	0.14-0.69	0.30
		²²⁸ Th	0.06-21.90	2.59
İnek Sütü	Brezilya	²²⁶ Ra	0.029-0.21	0.11
		²¹⁰ Pb	0.050-0.060	0.045

UNSCEAR (1993) tarafından, farklı ülkelerde belirlenen bitkisel besin maddelerinin radyoelement içerikleri, tahıl, lifli ve köklü bitkiler olarak sınıflandırılarak bildirilmiştir. (Çizelge 6.34., 6.35., 6.36.). Bu değerlerle, Çizelge 6.37 ve 6.38.'de verilen araştırma alanından aldığımız bitkilerin radyoaktivite içerikleri karşılaştırılmış ve değerlendirilmeleri yapılmıştır.

Çizelge 6.34. Tahıl bitkilerinin radyoaktivite içerikleri (UNSCEAR, 1993)

Bölge/Ülke	Radyonüklit Konsantrasyonları (Bq/kg)		
	²²⁶ Ra	²³⁸ U	²³² Th
Kuzey Amerika	0.07-0.10	0.003-0.023	9×10^{-4} -0.001
Çin	0.017	9.8×10^{-3}	-
Hindistan	-	0.074-0.067	-
Almanya	0.02-2.90	0.020-0.400	-
Polonya	0.08-0.11	4.7×10^{-3} -0.011	1.4×10^{-3} -0.017
Romanya	0.03-0.09	6.1×10^{-3} -0.085	-
İngiltere	7×10^{-4} -5.20	6.2×10^{-3} -0.035	-
Kaynak Değer	0.08	0.020	0.010

Çizelge 6.35. Lifli bitkilerin radyoaktivite içerikleri

Bölge/Ülke	Radyonüklid Konsantrasyonları (Bq/kg)		
	²²⁶ Ra	²³⁸ U	²³² Th
Kuzey Amerika	0.056	0.024	0.020
Çin	0.075	0.016	-
Hindistan	-	0.061-0.072	-
Almanya	0.006-1.15	0.006-2.20	-
Polonya	0.037-0.043	0.014-0.015	0.006-0.009
İtalya	0.027-0.044	-	-
İngiltere	2.2×10^{-3} -0.17	9.8×10^{-3} -0.40	0.80-0.38
Kaynak Değer	0.050	0.020	0.020

Çizelge 6.36. Köklü bitkiler ve meyvelerde bulunan radyoaktivite miktarları

Bölge/Ülke	Radyonüklit Konsantrasyonları (Bq/kg)		
	²²⁶ Ra	²³⁸ U	²³² Th
Kuzey Amerika	0.007-0.047	0.9×10^{-3} - 7.7×10^{-3}	0.2×10^{-3} - 1.1×10^{-3}
Çin	0.063	0.013	-
Hindistan	-	0.4×10^{-3} -0.077	-
Almanya	0.05-9.40	0.010-29	-
Polonya	0.011-0.215	0.9×10^{-3} -0.010	0.7×10^{-3} - 7.5×10^{-3}
Romanya	0.009-0.190	0.006-0.120	-
İngiltere	0.009-0.041	6×10^{-3}	-
İtalya	0.014-0.025	-	-
Kaynak Değer	0.003	0.003	0.5×10^{-3}

6.4.2.1. 2007 Yılında Alınan Bitki Örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K İçerikleri

2007 yılında toprak örneklerinin alındığı tarım arazilerinde yetişen tek yıllık ve çok yıllık bitkilerden 44 bitki örnekleme yapılmıştır. Bu örneklerin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K içerikleri saptanmıştır (Çizelge 6.37.).

Çizelge 6.37. 2007 yılında alınan bitki örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K içerikleri

Örnek No	Bitki	^{232}Th (Bq/Kg)	^{226}Ra (Bq/Kg)	^{40}K (Bq/Kg)
7	Zeytin(Yaprak)-1	0.32±0.08	0.12±0.05	6.82±0.45
7	Zeytin(Yaprak)-2	0.22±0.09	ND*	10.95 ± 0.65
8	Buğday	ND	ND	8.12 ± 0.45
8	Zeytin(Yaprak)-1	0.36±0.08	ND	10.85 ± 0.89
10	Zeytin(Yaprak)-2	1.36±0.60	0.66±0.25	5.26 ± 0.20
10	Buğday	0.26±0.06	ND	3.78 ± 0.15
10	Zeytin(Yaprak)	0.53±0.09	ND	5.87 ± 0.46
13	Zeytin(Yaprak)	0.29±0.08ND	ND	10.08 ± 0.49
18	Domates(Yaprak)	0.08±0.04	ND	5.68± 0.18
19	Buğday	ND	ND	5.65 ± 0.17
19	Zeytin(Yaprak)	1.47±0.63	ND	10.21 ± 0.46
22	Kabak(Meyve)	ND	ND	10.16 ± 0.66
24	Patlıcan(Meyve)	0.33±0.08	ND	14.62 ± 0.48
25	Mısır(Yaprak)	1.02±0.64	ND	30.66± 3.58
25	Mısır(Koçan)	ND	ND	11.61 ± 1.67
26	Mısır(Yaprak)	ND	ND	12.66 ± 0.8
27	Mısır(Yaprak)	0.21±0.08	ND	1.03± 0.51
29	Zeytin(Yaprak)	0.13±0.08	ND	9.57 ± 0.51
30	Yonca	ND	ND	13.8 ± 0.95
31	İncir(Yaprak)	ND	ND	8.36 ± 0.25
31	Domates(Yaprak)	ND	ND	7.91 ± 0.36
31	Hıyar(Yaprak)	ND	ND	7.55 ± 0.37
32	İncir(Yaprak)	ND	ND	11.23 ± 0.58
33	Hıyar(Yaprak)	0.27± 0.05	ND	5.45 ± 0.16
34	Yonca	0.33± 0.06	0.12±0.04	30.12 ± 1.21
35	Yonca	0.09±0.02	ND	24.15 ± 0.75
36	İncir(Yaprak)	0.22±0.04	0.12±0.05	12.40 ± 0.61
36	Zeytin(Yaprak)	ND	ND	10.21 ± 0.38

Çizelge 6.37.'nin devamı.

Örnek No	Bitki	²³² Th (Bq/Kg)	²²⁶ Ra (Bq/Kg)	⁴⁰ K (Bq/Kg)
37	Mısır(Yaprak)	ND	ND	10.84 ± 0.51
38	Buğday	ND	ND	4.65 ± 0.15
41	İncir(Yaprak)	0.09±0.06	ND	12.05± 0.51
41	İncir(Meyve)	0.13±0.07	ND	5,87 ± 0.46
41	Nar(Yaprak)	ND	ND	12.63 ± 0.55
41	Nar(Meyve)	ND	ND	15.57 ± 1.16
42	Yonca	ND	ND	8.91 ± 0.42
43	Mısır(Yaprak)	ND	0.57±23	ND
43	Mısır(Koçan)	ND	ND	9.48 ± 0.28
44	Mısır(Yaprak)	ND	ND	5.76 ± 1.13
44	Domates(Meyve)	0.07± 0.03	ND	4.24 ± 0.18
44	Patlıcan(Meyve)	ND	ND	33.28 ± 1.36
44	Üzüm(Meyve)	0.07±0.01	ND	4.11 ± 0.21
45	Biber(Yaprak)	ND	ND	2.53± 0.15
45	Biber(Meyve)	ND	ND	9.39 ± 0.44
45	Zeytin(Yaprak)	ND	0.40±0.24	5.24 ± 0.85
47	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR			

* ND:Non-detectable(Düşük Aktivite)

Çizelge 6.37.'te verilmiş olan sonuçlar incelendiğinde, Alangüllü yan havzasında yetiştirilen örneklerin çoğunun ⁴⁰K aktivitesi dışında, ²³²Th, ²²⁶Ra aktivite konsantrasyonları gama spektrometre sisteminin ölçülebileceği en düşük aktivite sınırında (MDA) kalmıştır. Ancak, özellikle termal kaynak çevresinden alınan bitki örneklerinin ²³²Th ve ²²⁶Ra içeriklerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni termal kaynak sularından toprağa geçen ve biriken radyonüklitlerin bir kısmının bitkiler tarafından alınmasıdır. Genelde bitkilerin radyoelement konsantrasyonları incelendiğinde temel besin elementi olan potasyum dışında oldukça düşük konsantrasyonlarda olduğu görülmektedir. Çünkü topraktan bitkilere geçen radyoelement transfer faktörü değeri oldukça düşüktür. Örneğin daneli bitkilerde bu değer, ortalama 10⁻⁴ olarak belirlenmiştir (Yaprak vd., 2004).

6.4.2.2. 2008 Yılında Alınan Bitki Örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K İçerikleri

2008 yılında toprak örneklerinin alındığı tarım arazilerinde yetişen tek yıllık ve çok yıllık bitkilerden 34 bitki örnekleme yapılabilmektedir. 2008 yılında oluşan olumsuz iklim şartları nedeniyle örnekleme sayısında azalma olduğu görülmektedir. Alınan tüm bitki örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K içerikleri saptanmıştır (Çizelge 6.38.).

Çizelge 6.38. 2008 yılında alınan bitki örneklerinin ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K içerikleri

Örnek No	Bitki	^{232}Th (Bq/Kg)	^{226}Ra (Bq/Kg)	^{40}K (Bq/Kg)
7	Zeytin(Yaprak)	ND	ND	8.95 ± 0.58
7	Zeytin(Yaprak)	ND	ND	7.92 ± 0.45
7	Buğday	ND	ND	6.92 ± 0.24
8	Zeytin(Yaprak)	0.45±0.09	ND	13.34 ± 0.89
10	Zeytin(Yaprak)	1.51±0.56	0.88±0.28	6.02 ± 0.22
13	Biber (Meyve)	ND	ND	7.85 ± 0.32
13	Patlıcan (Meyve)	1.28± 0.21	ND	25.20 ± 1.06
13	Zeytin(Yaprak)	ND	ND	3.36 ± 0.23
13	Fasulye (Yaprak)	ND	ND	1.62 ± 0.19
18	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR			
19	Zeytin(Yaprak)	1.50±0.66	ND	11.67 ± 0.48
22	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR			
24	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR			
25	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR			
26	Mısır(Yaprak)	1.54± 0.21	ND	2.48± 0.21
26	Mısır(Koçan)	ND	ND	10.55± 0.31
27	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR			
29	Mısır(Yaprak)	ND	0.57± 0.23	9.24± 0.26
30	İncir(Yaprak)	0.26±0.09	ND	12.05 ± 1.09
30	Zeytin (Yaprak)	ND	ND	3.37± 0.25
30	Zeytin(Yaprak)	2.07± 0.26	ND	8.06± 0.41
30	Biber(Yaprak)	ND	ND	3.55± 0.26
30	Patlıcan (Yaprak)	ND	ND	18.56± 1.06
30	Domates (Yaprak)	ND	ND	7.16 ± 0.46
30	Acur (Meyve)	0.35±0.08	ND	16.21 ± 0.45
31	İncir(Yaprak)	ND	ND	9.12 ± 0.33

Çizelge 6.38'in devamı.

Örnek No	Bitki	²³² Th (Bq/Kg)	²²⁶ Ra (Bq/Kg)	⁴⁰ K (Bq/Kg)
32	İncir(Yaprak)	ND	ND	10.88 ± 0.55
33	Zeytin(Yaprak)	ND	ND	3.11 ± 0.17
33	Domates (Yaprak)	ND	ND	5.88 ± 0.33
33	Patlıcan (Yaprak)	ND	ND	10.22 ± 0.36
34	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR			
35	Mısır(Yaprak)	ND	ND	6.21± 0.88
36	İncir(Yaprak)	0.25±0.08	0.20±0.09	10.54 ± 0.70
36	Domates (Yaprak)	ND	ND	3.78 ± 0.20
36	Patlıcan (Yaprak)	ND	ND	11.50 ± 0.98
37	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR			
38	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR			
41	Bakla (Yaprak)	ND	ND	5.80 ± 0.21
41	Buğday	ND	ND	6.33 ± 0.23
42	Yonca (Yaprak)	ND	0.60±0.23	5.76 ± 1.13
43	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR			
44	ÖRNEK ALINAMAMIŞTIR			
45	Zeytin(Yaprak)	0.50±0.19	0.40±0.21	5.24 ± 0.85
47	Mısır(Yaprak)	0.82± 0.21	ND	3.67± 0.20

* ND:Non-detectable(Düşük Aktivite)

Çizelge 6.38.'de verilmiş olan sonuçlar incelendiğinde, Alangüllü yan havzasında yetiştirilen bitki örneklerinde elde edilen radyoelement değerlerinin 2007 yılında belirlenen değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir. Özellikle tek yıllık bitkilerin çoğunda ⁴⁰K aktivitesi dışında, ²³²Th, ²²⁶Ra aktivite konsantrasyonları gama spektrometre sisteminin ölçülebileceği en düşük aktivite sınırında (MDA) kaldığı gözlenmektedir. Bununla beraber, her iki yılda da jeotermal kaynak çevresinde yetişen tek yıllık bitkilerde ⁴⁰K aktivitesi yanında ²³²Th ve ²²⁶Ra aktivitesinde ölçülebildiği ve bu değerlerin Çizelge 6.36.'da verilen dünya ortalamalarının üzerinde bulunması dikkat çekicidir (13 nolu örnek). Çok yıllık bitkiler dikkate alındığında ise gene termal kaynak çevresindeki bazı bitkilerde yüksek konsantrasyon değerleri göze çarpmaktadır (8, 10, 19 Nolu örnekler). Buna neden olarakta, toprak yapısındaki radyonüklit konsantrasyonlarının jeotermal suların etkisiyle bitki tarafından alınabilir forma dönüşmesi ve bu alınabilir formdaki radyonüklitlerin çok yıllık bitkilerin bünyesinde birikmesi olarak düşünülmektedir.

6.5. Jeotermal Alanlarda Radon Gazı Ölçümleri

Radyoaktif bir madde olan radon uranyum madenlerinde, toprak ve kayalarda doğal olarak bulunur. Bu nedenle incelenecek alandaki radyum konsantrasyonunu tayin etmek radon miktarının da belirlenmesini sağlar. Genellikle volkanik kayalar, tortul kayalardan daha yüksek miktarda radyoaktif madde içerdiğinden (UNSCEAR, 2000), volkanik kayalara içinden geçen suların radyum konsantrasyonu tortul kayalar içinden geçen sularinkinden daha yüksektir. Sularda bulunan radon gazının kaynağını sularda çözülmüş radyum tuzları oluşturur. Ancak bazı sularda, içerdikleri radyum tuzu konsantrasyonuna göre çok yüksek konsantrasyonlarda çözülmüş radon gazı bulunmaktadır. Bu gibi suların fazla radon içermeleri, kayalardan geçmeleri sırasında, çatlaklardan difüzleneradon gazının basınç altında suda kolayca çözünmesi, buna karşın radyum tuzlarının ancak temas halindeki sularda filtreleme yoluyla çözünmesi ile açıklanabilir (Yaprak, 2005).

Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi (ICRP), radona maruz kalma konusunu inceleyerek evde ve iş yerinde ^{222}Rn 'ye karşı korunma konusunda bir rapor yayınlamıştır. Bu rapora göre evler için radon konsantrasyonu 200-600 Bq/m³, iş yerlerinde ise 500-1500 Bq/m³ arasında belirtilmiş ve bu değerlerin üzerindeki değerlerin insan sağlığını tehdit ettiği ifade edilmiştir. Türkiye'de üst sınır Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde 400 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Bu değer aynı zamanda 10.8 pCi/l'te karşılık gelmektedir (TAEK, 2000).

Alangüllü yan havzasındaki 11 jeotermal alana Rn ölçümleri için Kodak LR 115 tip 2 katıhal iz kazıma dedektörleri özel plastik kapların içerisinde bir aylık sürelerle yerleştirilmiştir. Nisan 2009 ve Temmuz 2009 tarihleri arasında dört ay boyunca yerden 1.5-2 m yüksekliğe asılı olarak bırakılmış dedektörler bir ay sonunda yenileriyle değiştirilmişlerdir (Şekil 6.39., 6.40., 6.41., 6.42., 6.43.)



Şekil 6.39. Radon gazı ölçümleri için Kodak LR 115 tip 2 katıhal iz kazıma dedektörünün otel odası banyosuna yerleştirilmesi (Orijinal, Nisan 2009)



Şekil 6.40. Çamur ılıcası kaplıca banyosuna radon gazı ölçümleri için yerleştirilmiş Kodak LR 115 tip 2 katıhal iz kazıma dedektörü (Orijinal, Nisan 2009)



Şekil 6.41. Alangüllü termal tesisi erkek banyosuna radon gazı ölçümleri için yerleştirilmiş Kodak LR 115 tip 2 katıhal iz kazıma dedektörü (Orijinal, Mayıs 2009)



Şekil 6.42. Alangüllü termal tesisi kollektör bölümüne radon gazı ölçümleri için yerleştirilmiş Kodak LR 115 tip 2 katıhal iz kazıma dedektörü (Orijinal, Mayıs 2009)

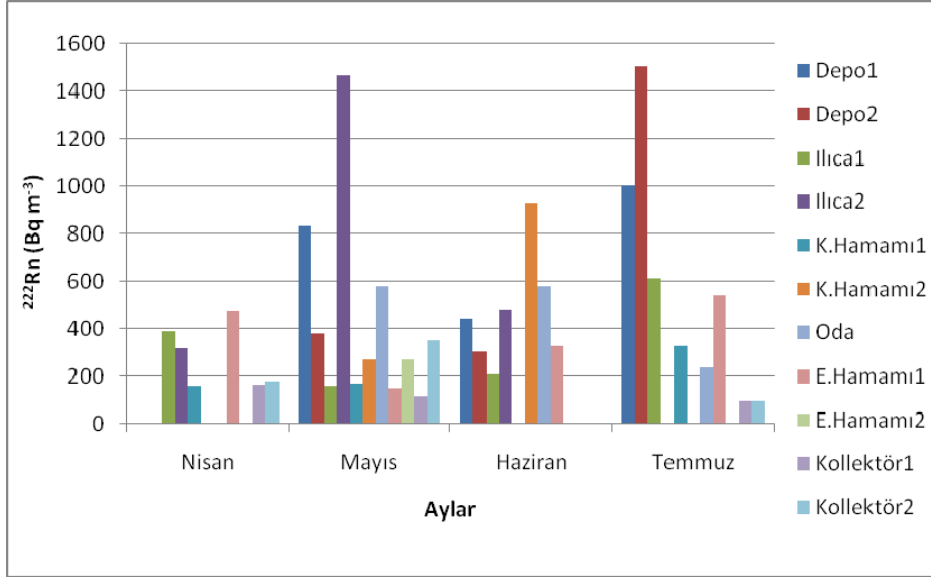


Şekil 6.43. Alangüllü termal tesisi depo bölümüne radon gazı ölçümleri için yerleştirilmiş Kodak LR 115 tip 2 katihal iz kazıma dedektörü (Orijinal, Mayıs 2009)

Araştırma alanındaki 11 farklı alana yerleştirilen dedektörlerde yapılan ^{222}Rn ölçümleri Çizelge 6.39.'da gösterilmektedir.

Çizelge 6.39. Alangüllü Yan Havzasındaki jeotermal alanlarda yapılmış olan ^{222}Rn ölçüm sonuçları (Bq/m^3)

Mekan Adı	Nisan-Mayıs	Mayıs-Haziran	Haziran-Temmuz	Temmuz-Ağustos
Depo 1	-	882	471	-
Depo 2	-	400	322	-
Ilıca 1	414	167	222	1306
Ilıca 2	338	1560	508	-
K. Hamam 1	169	180	-	700
K. Hamam 2	-	288	986	-
Oda 1	-	1230	1230	800
E. Hamam 1	507	160	350	-
E. Hamam 2	-	290	300	-
Kollektör 1	176	120	-	-
Kollektör 2	190	370	-	-



Şekil 6.44. Alangüllü termal tesislerindeki kapalı alanlarda radon ölçümleri (Bq/m³)

Çalışmada bazı aylarda dedektörlerde ortam koşullarından dolayı meydana gelen hasarlar nedeniyle radon konsantrasyonları belirlenememiştir (Şekil 6.44.). Çalışmada Ilıca2’de Mayıs ayında ve Depo2’de Temmuz ayında oldukça yüksek konsantrasyonlar belirlenmiştir. Özellikle Nisan ayında elde edilen konsantrasyonlar diğer aylardan oldukça düşüktür. ICRP kapalı ortamlarda havadaki radon konsantrasyonunun olması gereken en yüksek değeri 200 Bq/m³, NRPB ise 200-400 Bq/m³ aralığında açıklamışlardır.

Bu değerlerle çalışma sonuçları karşılaştırıldığında, bazı aylarda farklı mekânlarda konsantrasyonların oldukça yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Özellikle kaplıca ve termal kaynakların insanlar tarafından şifa amacıyla kullanıldığı düşünüldüğünde bu mekânlarda havada ve sulardaki radon konsantrasyonlarının sürekli olarak ölçülmesinde fayda olduğu açıktır. Bundan dolayı kapalı ortamların sürekli havalandırılması gerekmektedir.

6.6. Sera Denemesi Sonuçları

Araştırma sahasında yetiştirilen tarım ürünleri, açık termal kaynaklardan yada termal suların karıştığı derelerden sağlanan sularla sulanmaktadır. Çünkü yörede başka temiz su kaynağı bulunmamaktadır. Termal sularla sulanan toprak ve bitkilerde oluşan ağır metal ve radyonüklit kirliliğinin boyutlarını incelemek ve toprak bünyesinin bu tür kirlenmeye etkilerini araştırmak amacıyla bir sera denemesi düzenlenmiştir.

Henüz ağır metal ve radyonüklit kirliliği görülmeyen Küçük Menderes havzasından alınan kumlu tın, milli tın ve kil bünyeli 3 toprak üzerinde marul ve ısırgan yetiştirilerek gerçekleştirilen sera denemesinde bitkiler 4 ay süresince Alangüllü su kaynaklarından getirilen termal sularla sulanmıştır (Şekil 45., 46., 47.,48.)



6.45. Sera denemesi (Orijinal, Nisan 2008)



Şekil 6.46. Killi ve milli tın bünyeli topraklarda bitkilerin çimlenme aşamasındaki görüntüleri (Orijinal, Nisan 2008)



Şekil 6.47. Farklı bünyeli topraklarda yetişen marul bitkisi (Haziran, 2008)



Şekil 6.48. Farklı bünyeli topraklarda yetişen ısırgan bitkisi (Orijinal, Haziran 2008)

Hasattan sonra toprak ve bitkilerde ağır metal ve radyonüklid analizleri yapılarak sonuçlar kirlilik parametreleri ile karşılaştırılmış, bünye farklılığının kirlenmeye etkileri ise varyans analizleri ile araştırılmıştır.

Sera denemesinde kullanılan toprakların termal sularla sulanmadan önceki fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 6.40.'dan izlenmektedir. Görüldüğü gibi ağır metaller için Kabata-Pendias ve Pendias (1992), radyonüklitler için UNSCEAR (2000) tarafından verilen sınır sayılarına göre topraklarda herhangi bir kirlilik söz konusu değildir. Toprakların diğer özellikleri de (pH, tuz, kireç, organik madde) bitki yetiştirmeye son derece uygundur.

Çizelge 6.40. Deneme topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Örnek Adı		B1	B2	B3
pH		7.20	7.25	7.35
Tuz		0.042	0.043	0.110
CaCO ₃	%	4.14	0.51	6.36
O.M.	%	1.29	1.55	2.06
Kum	%	54.40	28.72	14.72
Mil	%	28.00	53.64	29.64
Kil	%	17.60	17.64	55.64
Bünye		Kumlu Tın	Milli Tın	Killi
Toplam Fe	(%)	0.30	0.35	0.31
Toplam Cu	(ppm)	17.90	32.25	24.52
Toplam Zn	(ppm)	48.62	87.75	79.87
Toplam Mn	(ppm)	330	378	315
Pb	(ppm)	7.37	6.62	13
Ni	(ppm)	78.50	37.25	69
Cr	(ppm)	45.25	37.01	73
Cd	(ppm)	0.35	0.41	0.31
Co	(ppm)	0.25	0.30	0.40
B	(ppm)	0.65	0.85	0.86
²²⁶ Ra	(Bq/Kg)	ND	ND	ND
²³² Th	(Bq/Kg)	11.26	14.40	18.67
⁴⁰ K	(Bq/Kg)	798.20	1036.42	703.29

4 ay süreyle termal sularla sulanarak yetiştirilen marul ve ısırgan bitkileri hasat edildikten sonra saksıdaki toprakların analiz sonuçları, 4 tekrarlı ortalaması olarak Çizelge 6.41.'da gösterilmiştir. Aynı çizelgede varyans analiz sonuçları da yer almaktadır.

Çizelge 6.41. Hasat sonrası saksıdaki toprakların analiz sonuçları

Bünye	pH			Total Tuz (%)			CaCO ₃ (%)			Fe (ppm)		
	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.
Kumlu Tın	7.64c	7.72b	7.68b	0.18b	0.17b	0.18c	4.16b	4.68b	4.42b	0.27b	0.29c	0.28b
Milli Tın	7.88b	7.90a	7.89a	0.23b	0.18b	0.20b	0.87c	0.86c	0.86c	0.46a	0.48a	0.47a
Killi	8.06a	7.99a	8.03a	0.42a	0.36a	0.38a	8.70a	7.93a	8.31a	0.49a	0.42b	0.45a
Ort	7.86a	7.87a		0.28a	0.24b	0.40a	4.58a	4.49a		0.40a	0.40a	
	Bitki LSD : 0.09 n.s.			Bitki LSD : 0.02 (%1)			Bitki LSD : 0.54 ns			Bitki LSD : 0.03 ns		
	Bünye LSD : 0.15 (%1)			Bünye LSD : 0.03 (%1)			Bünye LSD : 0.91 (%1)			Bünye LSD: 004 (%1)		
	BünyexBitki LSD : 0.16 (%5)			BünyexBitki LSD: 0.03(%5)			BünyexBitki LSD: 0.94 (%5)			BünyexBitki LSD:0.04 (%5)		
Bünye	Cu (ppm)			Mn(ppm)			Zn (ppm)			Cd(ppm)		
	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.
Kumlu Tın	19.95b	19.78a	19.86b	493.44b	502.19b	497.81b	75.07c	77.82b	76.44b	0.09b	0.10b	0.09b
Milli Tın	32.47b	25.77a	29.12a	588.44a	583.13a	585.78a	122.75a	123.44a	123.10a	0.10b	0.11b	0.10b
Killi	24.40ab	25.54a	24.97ab	427.81c	459.06c	443.44c	108.29b	123.32a	115.80a	0.16a	0.17a	0.17a
Ort	25.60a	23.70a		503.23a	514.79a		102.04b	108.19a		0.12a	0.13a	
	Bitki LSD : 5.17 ns			Bitki LSD : 24.73 ns			Bitki LSD : 6.00 (%5)			Bitki LSD : 0.01 ns		
	Bünye LSD : 6.34 (%5)			Bünye LSD: 41.47 (%1)			Bünye LSD : 10.07 (%1)			Bünye LSD : 0.02 (%1)		
	BünyexBitki LSD : 8.96 ns			BünyexBitki LSD: 42.83 (%5)			BünyexBitki LSD: 10.40 (%5)			BünyexBitki LSD: 0.02 (%5)		

Çizelge 6.41.'in devamı

Bünye	Co (ppm)			Ni (ppm)			Pb (ppm)			Cr (ppm)		
	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.
Kumlu Tın	10.71b	10.68c	10.69c	98.19a	84.03a	91.10a	8.88b	8.82b	8.85b	32.07b	33.66b	32.87b
Milli'Tın	14.75a	15.87a	15.31a	54.41b	60.72b	57.57b	8.07b	6.94c	7.50c	28.59b	29.76b	29.17b
Killi	11.10b	12.28b	11.69b	90.47a	98.00a	97.24a	14.69a	15.35a	15.02a	146.13a	136.16a	141.14a
Ort	12.19b	12.94a		81.02a	80.91a		10.54a	10.37a		68.93a	66.52a	
Bitki LSD : 0.56 (%1)			Bitki LSD : 9.93 ns			Bitki LSD : 0.41 (%5)			Bitki LSD : 6.81 ns			
Bünye LSD : 0.69 (%1)			Bünye LSD : 16.66 (%1)			Bünye LSD : 0.69 (%1)			Bünye LSD : 11.43 (%1)			
BünyexBitki LSD : 0.71 (%5)			BünyexBitki LSD: 17.21 (%5)			BünyexBitki LSD: 0.98 (%1)			BünyexBitki LSD: 11.80 (%5)			
Bünye	B (ppm)			²²⁶ Ra (Bq/kg)			²³² Th (Bq/kg)			⁴⁰ K (Bq/kg)		
	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.
Kumlu Tın	8.18b	10.83b	9.50b	34.47a	29.15a	31.81a	28.70b	35.38b	32.04b	480.31b	494.54b	487.43b
Milli'Tın	18.13a	18.03a	18.08a	6.59b	39.52a	23.05ab	35.84b	51.96a	43.90a	877.87a	817.01a	847.44a
Killi	7.53b	7.55c	7.54c	37.48a	31.22a	34.35b	51.64a	43.19ab	47.42a	492.17b	504.42b	498.29b
Ort	11.28a	12.13a		26.18a	33.29b		38.72b	43.51a		616.78a	605.32a	
Bitki LSD : 1.10 ns			Bitki LSD : 5.72 (%5)			Bitki LSD : 4.43 (%5)			Bitki LSD : 43.74 ns			
Bünye LSD : 1.85 (%1)			Bünye LSD : 9.58 (%1)			Bünye LSD : 7.44 (%1)			Bünye LSD : 73.36 (%1)			
BünyexBitki LSD : 1.91 (%5)			BünyexBitki LSD: 13.55 (%1)			BünyexBitki LSD: 10.54 (%1)			BünyexBitki LSD: 75.76 (%5)			

Çizelge 6.41.'den de anlaşıldığı gibi toprakların pH ve tuz kapsamlarında çok belirgin artışlar meydana gelmiştir. Kumlu toprakta 7.20 olan pH, termal suların etkisi ile 7.68'e, milli tın bünyede 7.25'ten 7.89'a, killi toprakta ise 7.35'ten 8.03'e yükselmiştir. Milli ve killi topraklardaki pH artışları arasında önemli bir fark bulunamamış, kumlu topraktaki pH artışı daha düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Artışlar sırasıyla 0.48, 0.64 ve 0.68 birimdir.

Termal sularla sulanan toprakların % total tuz kapsamlarında da son derece yüksek artışlar görülmektedir. Kumlu toprakta total tuz %0.042 iken termal suların etkisiyle %0.18'e, milli toprakta %0.20'ye, killi toprakta ise %0.11'den %0.38'e yükselmiştir. Bu sonuçlar topraktaki tuz miktarının suların etkisiyle ortalama 4 kat arttığını ortaya koymaktadır. En fazla tuz birikimi killi toprakta meydana gelmiş, kumlu ve tınlı topraklarda biriken tuz miktarları arasında önemli bir fark bulunamamıştır.

Bu düzeylerde pH ve tuz artışının 4 aylık bir periyod içerisinde ortaya çıkması, termal sularla sulanan topraklarda zamanla hızlı biçimde alkalileşme ve tuzlulaşma oluşacağına bir göstergesidir. Nitekim araştırma bölgesinde yer yer tuzlu ve alkali toprakların bulunduğu bu çalışma bulgularıyla ortaya konulmuştur.

İz elementlerden Fe, Cu, Mn ve Zn sonuçları incelendiğinde bu elementlerin miktarlarında da bazı önemli artışlar kaydedildiği anlaşılmaktadır. Ancak bu artışlar pH ve tuz artışlarına oranla daha düşük bulunmuştur. Zamanla bu elementlerin de toksik düzeye ulaşabileceği göz ardı edilmemelidir.

Ağır metaller içinde en yüksek artışlar toprakların nikel ve bor kapsamlarında görülmektedir. Nikel miktarı kumlu toprakta 78.5 ppm'den 91'e, milli toprakta 37'den 57'ye, killi toprakta ise 69 ppm'den 97'ye yükselmiştir. Artış miktarları sırasıyla 12.5, 20 ve 28 ppm'dir. Buradan da kaba bünyeden ince bünyeye doğru Ni birikiminin arttığı sonucuna varılmaktadır.

Termal sularla sulanan toprakların bor kapsamlarında olağanüstü artışlar gözlenmektedir. En yüksek artış 18.00 ppm'le milli tın bünyede ölçülmüştür. Bunu 9.50 ppm'le kumlu toprak ve 7.54 ppm'le killi toprak izlemiştir. Toprakta B birikimi, CaCO₃ kapsamlarıyla da ilişkilidir. En az CaCO₃ içeren milli tın bünyede B birikimi en yüksek, en çok CaCO₃ içeren killi bünyede ise birikim en

düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Bunun nedeni, toprakta Bor'un CaCO_3 ile suda çözünemez bileşikler oluşturmasıdır. Sauchelli (1969), toprakta 5 ppm B bulunmasını toksik seviye olarak kabul etmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, termal sularla 4 ay sulanan toprakların toksik bor düzeyini çok aştığı söylenebilir.

Diğer ağır metallerde de bir miktar birikim saptanmış fakat bu artışlar toprakta bulunmasına izin verilen miktarları aşmamıştır. Toprakların sürekli termal sularla sulanması halinde, bunların da toksik düzeye ulaşabileceği izlenimini vermektedir.

Radyonüklitlere ilişkin bulgular incelendiğinde ^{226}Ra ve ^{232}Th miktarlarının çok önemli düzeyde arttığı anlaşılmaktadır. Tanık toprakta ^{226}Ra ölçülemediği halde, termal suların etkisiyle kumlu toprakta ortalama 32, tınlı toprakta 23 ve killi toprakta 34 Bq/kg ^{226}Ra birikmiştir. UNSCEAR (2000) tarafından verilen ortalama değerin 35 Bq/kg olduğu göz önüne alınırsa bu sınırın kısa sürede aşılabacağı ve topraklarda ^{226}Ra kirliliğinin ortaya çıkacağı açıktır.

Durum ^{232}Th yönünden daha da tehlikelidir. Toprakta biriken ^{232}Th miktarları ortalama olarak sırasıyla 32, 44 ve 47 Bq/kg bulunmuştur. UNSCEAR (2000) tarafından ^{232}Th için 30 Bq/kg ortalama değeri bildirilmiştir. Bulgular, 4 ay süren sulama sonucunda toprakta biriken ^{232}Th miktarlarının UNSCEAR limitlerini aştığını ve ciddi boyutta bir radyoaktivite kirliliğine yol açtığını ortaya koymaktadır. ^{226}Ra ve ^{232}Th için en fazla birikim killi toprakta meydana gelmiştir.

Toprakların ^{40}K kapsamalarında önemli bir artış meydana gelmemiş fakat ölçülen ^{40}K değerleri, UNSCEAR (2000) tarafından verilen 400 Bq/kg limitinin üzerinde bulunmuştur.

Termal sularla sulanarak yetiştirilen marul ve ısırgan bitkilerinin ağır metal ve radyonüklit kapsamaları Çizelge 6.42.'de verilmiştir.

Çizelge 6.42. Hasat sonrası marul ve ısrırgan bitkilerinin iz element ve ağır metal analiz sonuçları

Bünye	Fe (ppm)			Cu (ppm)			Mn (ppm)			Zn (ppm)		
	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.
Perlit	57.69b	67.43c	62.56d	4.26b	5.11b	4.68b	34.24b	39.03c	36.62c	12.49d	21.47a	16.98c
Kumlu Tın	117.59a	80.05bc	98.82bc	5.99a	5.57b	5.78ab	33.25b	67.57ab	50.41b	17.53c	23.04a	20.29b
Milli Tın	134.66a	138.33a	136.50a	7.02a	6.82b	6.92a	50.17a	76.46a	63.31a	22.47b	21.81a	22.14b
Killi	138.94a	99.64b	119.29ab	6.92a	5.22b	6.07a	42.08ab	55.88b	48.98b	29.05a	24.10a	26.58a
Ort	112.22a	96.36b		6.05a	5.68a		39.93a	59.73b		20.39a	22.60b	
	Bitki LSD : 13.93 (%5)			Bitki LSD : 0.61 ns			Bitki LSD : 6.85 (%1)			Bitki LSD : 1.66(%5)		
	Bünye LSD : 26.80 (%1)			Bünye LSD : 1.18 (%1)			Bünye LSD : 9.69 (%1)			Bünye LSD : 3.19 (%1)		
	BünyexBitki LSD : 27.85 (%5)			BünyexBitki LSD: 1.22 (%5)			BünyexBitki LSD:13.70 (%1)			BünyexBitki LSD:4.51 (%1)		
Bünye	Cd (ppm)			Cr (ppm)			Ni (ppm)			Pb (ppm)		
	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.
Perlit	0.14b	0.12c	0.13c	0.50b	0.86c	0.68c	1.36c	1.37a	1.37b	0.37c	0.01d	0.19c
Kumlu Tın	0.19b	0.40b	0.29b	0.77a	0.99b	0.88b	1.56bc	1.61b	1.56ab	0.51b	0.29c	0.40b
Milli Tın	0.37a	0.48a	0.42a	0.79a	1.27a	1.03a	1.84b	1.72a	1.78a	0.42bc	0.24b	0.33b
Killi	0.37a	0.53a	0.45a	0.72a	1.27a	0.99a	2.30a	1.28b	1.79a	0.83a	0.63a	0.73a
Ort	0.27a	0.38b		0.69a	1.10b		1.76a	1.50b		0.53a	0.29b	
	Bitki LSD : 0.03 (%1)			Bitki LSD : 0.06 (%1)			Bitki LSD : 0.18 (%5)			Bitki LSD : 0.09 (%1)		
	Bünye LSD : 0.04 (%1)			Bünye LSD : 0.08(%1)			Bünye LSD : 0.25 (%5)			Bünye LSD : 0.12 (%1)		
	BünyexBitki LSD : 0.06 (%1)			BünyexBitki LSD : 0.11 (%1)			BünyexBitki LSD: 0.35(%5)			BünyexBitki LSD:0.13 (%1)		
Bünye	Co (ppm)			B (ppm)			²²⁶ Ra (Bq/kg)			⁴⁰ K(Bq/kg)		
	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.	Marul	Isırgan	Ort.
Perlit	0.39a	0.24b	0.32b	129.00a	235.57c	182.29	10.56b	14.34c	12.45c	71.75b	77.90b	74.82c
Kumlu Tın	0.33a	0.26b	0.29b	181.05a	628.85b	404.95b	16.66b	18.00c	17.33c	146.54b	139.58ab	143.06b
Milli Tın	0.30a	0.72a	0.51a	189.43a	1326.98a	758.20a	16.50b	42.58b	29.54b	280.14a	164.75a	222.44a
Killi	0.40a	0.76a	0.58a	138.47a	655.46b	396.96b	40.51a	53.91a	47.21a	279.47a	184.08a	231.77a
Ort	0.35a	0.49b		159.49a	711.71b		21.05a	32.21b		194.47a	141.58b	
	Bitki LSD : 0.06 (%1)			Bitki LSD : 63.94 (%1)			Bitki LSD : 4.86 (%1)			Bitki LSD : 37.45 (%1)		
	Bünye LSD : 009 (%1)			Bünye LSD: 90.42 (%1)			Bünye LSD : 6.88 (%1)			Bünye LSD : 52.97 (%1)		
	BünyexBitki LSD : 0.13 (%5)			BünyexBitki LSD: 127.88 (%1)			BünyexBitki LSD: 9.73 (%1)			BünyexBitki LSD: 74.91 (%1)		

Çizelgede verilen rakamların ve varyans analizi sonuçlarının incelenmesinden de anlaşıldığı gibi toprakta biriken ağır metal miktarları bitkiye yansımış durumdadır (Şekil 6.49., 6.50.). Ancak B dışındaki ağır metallerin bitkideki miktarları farklı kaynakların farklı bitkiler için verdikleri kritik konsantrasyon değerlerini aşmamıştır (WHO, 1996; Mengel ve Kirkby; Kacar ve İnal, 2008). Buna neden olarak termal sularla sulama süresinin kısa olması söylenebilir. Uzun süre termal sularla sulanan topraklardaki birikimin zaman içinde artarak bitkiye geçen ağır metal miktarlarını toksik seviyeye ulaştırması göz ardı edilemez bir olasılıktır.



Şekil 6.49. Termal sularla sulanan farklı bünyeli topraklarda yetişen ısırgan bitkisinin hasat öncesi görünümü (Orijinal, Haziran 2008)



Şekil 6.50. Termal sularla sulanan farklı bünyeli topraklarda yetişen marul bitkisinin hasat öncesi görünümü (Orijinal, Haziran 2008)

Bitkilerin bor kapsamları gerek marulda gerekse ısırganda oldukça yüksek bulunmuştur. Örneğin kireç kapsamı düşük olan milli tın bünyede yetişen marul için 189 ppm, ısırgan için 1327 ppm değerleri elde edilmiştir. B için kriter değer veren kaynaklar farklı bitkiler için ortalama 75 ppm sınırını kabul etmişlerdir (Bergman, 1992; Jones vd., 1991; Kacar ve İnal, 2008). Bu sınır değerlerine göre termal sularla sulanan bitkilerde B toksisitesi görülmesi kaçınılmazdır. Nitekim yapılan sera denemesinde hem marulda hemde ısırganda tuz ve bor zararı ortaya çıkmıştır (Şekil 51 ve 52).



Şekil 6.51. Termal sularla sulanan farklı bünyeli topraklarda yetişen marul bitkisinde tuz ve bor toksisitesi (Orijinal, Haziran 2008)



Şekil 6.52. Termal sularla sulanan farklı bünyeli topraklarda yetişen ısırgan bitkisinde tuz ve bor toksisitesi (Orijinal, Haziran 2008)

Bitkilerde saptanan bor miktarlarının ısırganda daha yüksek olması ve farkın %1 düzeyinde önemli bulunması, ısırganın B kirliliği yönünden indikatör bir bitki olarak kullanabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca topraktaki kireç yüzdesi arttıkça, bitkinin aldığı bor miktarı azalmaktadır.

Radyonüklitlere gelince, görüldüğü gibi ^{226}Ra değerleri marulda 10.56 ile 40.51, ısırganda ise 14.34 ile 53.91 Bq/kg arasında değişmektedir. UNSCEAR (1993) yeşil sebzelerde bulunmasına izin verilen ^{226}Ra miktarlarını 0.325-2.120 Bq/kg olarak belirlemiştir. Bu durumda topraktan bitkilere geçen ^{226}Ra miktarlarının oldukça yüksek olduğu yargısına varılmaktadır. Diğer yandan, kaba bünyeden ince bünyeye doğru gidildikçe bitkilerin aldığı ^{226}Ra miktarlarının artması dikkat çekicidir. Her iki bitki de killi topraktan olağanüstü yüksek miktarda ^{226}Ra almışlardır. Bunun nedeni daha önce değinildiği gibi termal sularla sulanan topraklarda en fazla birikimin killi bünyede oluşmasıdır.

Bitkideki ^{232}Th miktarları dedeksiyon limitinin altında bulunduğu için Çizelge 6.42.'de yer almamıştır. Topraklarda önemli miktarda ^{232}Th birikimi olmasına karşın bitki tarafından alınamaması bu elementin topraktaki hareketi ile ilgili olabilir.

Bitkilerdeki ^{40}K miktarları literatürlerde sebzeler için verilen ortalama değerlerin üzerine çıkmamıştır. Esasen bitkilerin ^{40}K kapsamaları topraktan aldıkları potasyum miktarlarına yani bitkinin potasyumla beslenmesine bağlıdır. Çünkü bitkide bulunan toplam potasyumun %0.0118'i ^{40}K formundadır.

Saksı denemesinde marul ve ısırgan bitkileri hasat edildikten sonra saksıdaki toprakların analiz sonuçları ile bitkilerin ağır metal ve radyonüklit kapsamaları arasında yapılan korelasyon hesaplamalarının sonuçları da Çizelge 6.43.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.43. Toprak özellikleri ile bitkilerin ağır metal ve radyonüklit kapsamaları arasındaki %1 düzeyinde önemli bulunan korelasyonlar

marul		ısırgan	
Değişkinler		Değişkinler	
Bitki	Toprak	Bitki	Toprak
Ni-Kum	-0.823	Ni-Kum	-
Ni-Kil	0.801	Ni-Kil	0.680
²²⁶ Ra-kum	-0.822	²²⁶ Ra-kum	-0.914
²²⁶ Ra-kil	0.954	²²⁶ Ra-kil	0.713
²²⁶ Ra-OM	0.809	²²⁶ Ra-OM	0.691
⁴⁰ K-OM	0.780	⁴⁰ K-OM	0.479

Marul bitkisinin Ni içerikleri bünyeye göre değişmekte, toprağın kum içeriği ile bitki Ni içeriği arasında negatif bir korelasyon varken, toprağın kil içeriği ile pozitif korelasyon vermektedir. Isırgan da ise Ni miktarı ile toprakların kum içerikleri arasında bir korelasyon belirlenememiş, toprakların kil içerikleri ise pozitif korelasyon vermiştir. Bu sonuç, Ni elementinin kil fraksiyonunda bulunduğunu göstermektedir.

Her iki bitkide de bitkilerin ²²⁶Ra içerikleri ile kum içerikleri arasında negatif bir ilişki varken toprakların kil içerikleri ile pozitif bir korelasyon saptanmıştır. Buradan da, ²²⁶Ra'nın kum fraksiyonunda değil daha çok mil ve kil fraksiyonunda biriktiği yargısına varılmaktadır. Kum bünyeli toprakların daha az radyoaktivite içerdiği bilinmektedir (Ahmet and El-Arabi, 2005; Yaprak ve Aslani, 2010). Aynı şekilde toprak organik maddesi ile marul bitkisinin içerdiği ⁴⁰K ve ²²⁶Ra arasında da yüksek korelasyonlar bulunmuştur. Isırgan bitkisinde ise bu korelasyon değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ⁴⁰K ve ²²⁶Ra'nın organik madde de tutulduğunu ortaya koymaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarım potansiyeli oldukça yüksek bir bölge olan Alangüllü Yan havzası 4000 ha arazi varlığına sahiptir. Burada belirlenen 37 noktadan 2 yıl süreyle 74 toprak, 20 sediment, 94 su ve 78 yaprak örneği analiz edilerek elde edilen sonuçlar ve bulgulara dayalı öneriler aşağıda özetlenmiştir.

1. Toprak örneklerinin pH değerleri 6.84-10.23, % tuz kapsamı ise 0.4-1.45 arasında değişim göstermiştir. Termal kaynak çevresinden ve termal sularla sulanan arazilerden alınan örnekler, tuz ve pH yüksekliği nedeniyle tuzlu-alkali topraklar oluştuğunu ortaya koymuştur. Termal sularla sulamaya devam edilmesi halinde şu an temiz olan tarım arazilerinin de tuzlu alkali duruma geleceği sera denemesi sonuçlarıyla kanıtlanmıştır. Tuzlulaşma ve alkalileşme nedeniyle bölge topraklarının tarım dışı kalma tehlikesine karşı gerekli önlemler alınmalıdır.

Toprak örneklerinin Ni, B ve yer yer Cr kapsamı yüksek bulunmuştur. Özellikle B sonuçlarının olağanüstü yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Diğer ağır metallerin analiz sonuçları da bunların toprakta bulunmasına izin verilen değerlere yakın olduklarını göstermektedir. Zaman içinde tüm ağır metallerin toksik düzeye ulaşma olasılığı vardır. Nitekim sera denemesinde, termal sularla sulanan topraklarda ağır metal birikiminin önemli derecede arttığı ve bu artışların bitkiye yansıdığı belirlenmiştir.

Termal kaynak çevresinden ya da termal sularla sulanan toprakların ²²⁶Ra ve ²³²Th kapsamı, UNSCEAR (2000) tarafından verilen limitlerin 2-3 kat üzerinde bulunmuştur. Sera denemesi sonuçları da bu yargıyı desteklemekte ve bu elementlerin özellikle kil fraksiyonunda biriktiğini ortaya koymaktadır.

2. Su örneklerinin analiz sonuçları incelendiğinde bunların C₃ (tuzlu) ve C₄ (çok tuzlu) sınıflarına girdikleri görülmektedir. Sulama suyu kalitesi yönünden aşırı tuzlu olan bu suların tarımsal üretimde kullanılmaları mümkün değildir.

Bölgeden alınan suların B, Cl ve ESP değerleri oldukça yüksek bulunmuştur. Bor'a dayanıklı bitkiler için verilen üst limit 3.75 ppm'dir. Bunun üzerinde B içeren sular dayanıklı bitkiler için bile kullanılamaz. Yöredeki termal kaynaklar, bunların karıştığı dereler ve Hıdırbeyli sulama barajından alınan su

örnekleri verilen limitin 4 ile 20 katı B kapsamaktadır. B gibi bitki için toksik bir element olan klorun da su örneklerindeki miktarları yüksek bulunmuştur. Özellikle yaz aylarında yüksek ölçülen klor, baharda bir miktar azalmaktadır. ESP değerleri genellikle %15'in üzerinde olduğu için değişebilir sodyumdan ileri gelen alkalileşme ve çoraklaşma gibi zararların ortaya çıkması kaçınılmazdır.

Su örneklerinin ^{226}Ra kapsamaları 2.30-35.06 pci/lt arasında değişim göstermiştir. EPA doğal sularda toplam ^{226}Ra aktivitesinin üst sınırı olarak 5 pci/lt değerini kabul etmiştir. Bu durumda incelenen su örneklerinin çoğunda ^{226}Ra miktarı bu sınırın üzerinde bulunmuştur. Özellikle termal kaynakların ^{226}Ra kapsamaları izin verilen değeri 5-6 kat aşmaktadır. Bu durum insan sağlığı açısından da büyük önem taşır. Çünkü insanlar termal tesisteki bu sularda saatlerce yüzmekte, hatta şifa olsun diye içmektedirler. ^{226}Ra 'nın suyla temizlenmeyen organlara bulaşması örneğin burun deliklerinde yada göz kapaklarının altında birikmesi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. ^{226}Ra 'nın yarı ömrünün 1620 yıl olduğu düşünülürse tehlike daha iyi anlaşılabilir. Yaz aylarında sulardaki ^{226}Ra konsantrasyonunun yüksek, bahar aylarında ise biraz daha düşük bulunması yazın buharlaşmanın yüksek olmasıyla açıklanabilir.

3. Sediment örneklerinden elde edilen sonuçlar, doğal olarak toprak ve su örneklerine paralel bulunmuştur. Sediment örneklerinin tuzlu, alkali ve aşırı alkali oldukları B ve Ni kapsamalarının da yüksek olduğu belirlenmiştir.

Sedimentlerin ^{232}Th ve ^{226}Ra içeriklerinin topraklara oranla daha yüksek olduğu verilen çizelgelerden anlaşılmaktadır. Bu durum söz konusu radyonüklitlerin uzun yıllar toprakta birikmesinden kaynaklanmaktadır.

4. Bitki örneklerinde bor ve nikel dışındaki ağır metaller ve radyonüklit konsantrasyonları yönünden henüz bir sorun bulunmamaktadır. Ancak termal kaynakların çevresinden ve termal sularla sulanan arazilerden alınan bazı örneklerde ağır metal ve radyonüklit konsantrasyonları farklı araştırmacılar ve UNSCEAR (2000) tarafından verilen ortalama değerlerin üzerinde bulunmuştur. Bu sonuç, özellikle çok yıllık bitkiler için söz konusudur. Bu bulgular toprak ve sularda bulunan elementlerin bitkiye de yansıdığını ancak bitkilerin transfer faktörlerine bağlı olarak alım farklılıklarının meydana geldiğini göstermektedir.

Nitekim, sera denemesi bulguları da bu yargıyı destekler niteliktedir. Bitkilerdeki B ve Ni miktarlarının yüksekliği tarım ürünlerinin verim ve kalite özelliklerine olumsuz etki yapacağı kuşkusuzdur.

5. Sera denemesi sonuçları, termal sularla uzun süre sular topraklarda önemli miktarda ağır metal ve radyonüklit biriktiğini ortaya koymaktadır. Bu birikim bitkilere de yansımakta özellikle kalitede önemli kayıplara yol açmaktadır. Termal sular nedeniyle toprakta biriken ağır metal ve radyonüklit miktarları genellikle kaba bünyeden ince bünyeye doğru artmaktadır. En fazla birikimin kil bünyeli topraklarda gerçekleştiği saptanmıştır. Bu durum söz konusu elementlerin hepsinin katyon olmaları ile açıklanabilir.

6. Alangüllü termal tesislerindeki 11 kapalı mekanda aylar itibariyle saptanan radon gazı miktarları $120-1560 \text{ Bq/m}^3$ arasında değişim göstermiştir. ICRP, kapalı alanlarda bulunmasına izin verilen radon gazı konsantrasyonunun 200 Bq/m^3 , NRPB ise $200-400 \text{ Bq/m}^3$ olarak belirlemişlerdir. Bu limitlere göre çalışmamızda ölçülen ^{222}Rn miktarları oldukça yüksek durumdadır. Radon gazı solunum yoluyla akciğerlere alınan ve çok önemli sağlık sorunlarına (kanser türleri vb.) yol açan bir gazdır. Bu nedenle şifa aramak amacıyla gidenlerin bu yönden büyük bir risk altında oldukları söylenebilir.

7. Araştırma bulgularına dayalı olarak buraya kadar açıklanan genellemeler ışığında, bölgedeki ağır metal ve radyonüklit kirliliğini en aza indirmek için alınacak önlemler şöyle sıralanabilir;

a. Bölgede tarımsal sulama amacıyla kullanılan sular kalite yönünden son derece kötüdür. Bu nedenle bölgede temiz su kaynakları araştırılmalı, bulunmalı ve kullanılmalıdır.

b. Araştırma yöresinde bulunan derelere termal suların karışması önlenmeli ve bunun için gerekli çalışmalar hemen başlatılmalıdır.

c. Tarım topraklarının sulanması amacıyla yapılan Hıdırbeyli baraj suları çok yüksek miktarda Bor elementi içermektedir. Ayrıca diğer ağır metaller ve radyonüklit konsantrasyonları da çok yüksektir. Bu baraj sularının tarımsal amaçla kullanılması durdurulmalıdır.

- d. Termal suların gerek kullanma gerekse içme suyu olarak tüketilmesi önlenmelidir. Bu konunun uygulanabilmesi kuşkusuz bölgede yeni temiz su kaynaklarının bulunmasına bağlıdır.
- e. Termal tesis kapalı alanlarına havalandırma sistemleri mutlaka yerleştirilmeli insanların radon gazı solumalarına asla izin verilmemelidir.
- f. Termal suların çevreye verdikleri zarar konusunda bölge halkını bilinçlendirecek atılımlara başlanmalıdır. Bunun için basın yayın organları kullanılmalı ve bu konuda bilgili elemanlarla birlikte çalışılmalıdır.
- g. Bölgeden sık sık ve periyodik olarak toprak, su ve bitki örnekleri alınmalı ve bunların tuz, pH, ağır metal ile radyonüklit konsantrasyonlarının çevre sağlığı için tehlikeli boyutlara ulaşp ulaşmadığı kontrol edilmelidir. Bu kontrol; Tarım Örgütleri, Üniversiteler, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu veya güvenilir laboratuvarlar tarafından yapılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Adams, J.A.**, 1977. The Geological Origins of Radioactive Anomalies. Internatinal Symposium on Areas of High Natural Radioactivity. Edited by Academia Brasileira Cincias. Rio de Jeneiro. pp. 5-15.
- Ahmed, N. K.**, 2004. Natural Radyoactivity of Ground and Drinking Water in Some Areas of Upper Egypt. Turkish J. Eng. Env. Sci.. Tübitak. 28. 345-354.
- Ahmed, N.K., El-Arabi, A.M.** (2005). J Environ Radioactive, 84:51.
- Al-Bataina, B. A., Ismail, A. M., Kullab, M. K., Abumurad, K. M. and Mustafa, H.**,1997. Radon Measurements in Different Types of Natural Waters in Jorden. Radiation Measurements. Vol.28. Nos 1-6. pp.591-594.
- Alloway, B.**, 1990. Heavy Metals in Soils. Blackie and Sou Ltd.. Glasgow and London.
- Al-Naeem, A. A.**, 2008. Hydrochemical Process and Metal Composition of Ain Umm-Sabah Natural Spring in Al-Hassa Oasis Eastern Province. Saudi Arabia. Pakistan Journal of Biological Sciences. 11 (2): 244-249.
- Altınbaş, Ü., Kurucu, Y., Bolca, M.**, 2000. Seferihisar (İzmir) Yöresi Jeotermal Kaynakların Nicel İçerikleri ve Bunların Çevresel Etkileri Üzerine Bir Araştırma. - E.Ü.Z.F. Dergisi. Bornova-İzmir.
- Amaral, R.S., Vasconcelos, V. E., Borges, E., Silveira, S.V., Mazzilli, B.P.**, 2005. Intake of Uranium and Radium-226 due to Food Crops Consumption in the Phosphate Region of Pernambuco. Brazil. Journal of Environmental Radioactivity, Volume 82. Issue 3. 2005, Pages 383-393.
- Anke, M., Seeber, O., Müller, R., Schafer, U., Zerull, J.**, 2009. Uranium Transfer in the Food Chain from Soil to Plants, Animals and Man, Chemie der Erde, 69 S2. 75-90.
- Anonim**, 2002. Su Ürünleri Kanunu ve Su Ürünleri Yönetmeliği. Tarım ve Köy işleri Bakanlığı. Ankara. 78s.
- Anonim**, 2004. Water Pollution Protection Regulation (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği)

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- Anonymous**, 1954. Diagnosis Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook. No: 60. USA.
- Anonymous**, 1999. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for uranium (update), Atlanta. GA: Research Triangle Institute. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service.
- Anonymous**, 2004. Water Quality Assessments.. A Guide to use of Biota. Sediments and Water in Environmental Monitoring- Second Edition. UNESCO <http://www.-who.int/docstore/19/03/2004>
- Asikainen. M.. Kahlos. H..** 1980. Natural Radioactivity of Drinking Water in Finland. Health Physics. 39. pp.77-83.
- Ataksor, B.**, 2002. Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Tayini ile Havza Yüzey Suları Kirliliğine İlişkin Yeni Bir İnceleme ve Reseptör Model ile Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Nükleer Bilimler Enstitüsü.Doktora Tezi.
- Aydın, G., Seferoğlu, S.**, 1999. Aydın Yöresinde Kullanılan Bazı Sulama Sularının Bor Konsantrasyonlarının Bitki Beslenmesi ve Toprak Kirliliği Açısından İncelenmesi. Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu. TOGTAG-1767. Tübitak.
- Baba, A., Özcan, H., Yılmaz, S., Kavdır, Y., Deniz, O., Yiğini, Y., Yılmaz, S., Baba, B.**, 2005. Tuzla (Çanakkale) Jeotermalinin Bölgedeki Akifere Toprağa ve Suya Etkilerinin Araştırılması. Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu. YDABAG-03Y010. Tübitak.
- Bakaç, M., Kumru, M. N.**, 1999. Gediz Havzası Topraklarındaki Doğal Radyoaktivite Seviyesi. Çev-Kor. Ekoloji Dergisi. Cilt.8. sayı 30. 18-21.
- Bakaç, M., Kumru, M. N.**, 1999. Menemen (İzmir) Ovası Su ve Topraklarında Radyoaktivite Araştırması ve Ağır Metal Kirliliği. XIII. Ulusal Kimya Kongresi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü. 31 Ağustos - 4 Eylül 1999. Samsun. pp.1105.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- Bakaç, M., Kumru, M. N.,** 2003. Orta Gediz Havzasından (Ege Bölgesi) Toplanan Su. Sediment ve Toprak Örneklerinin İçerdiği Doğal Radyasyon Miktarı. 8th National Nuclear Sciences and Technology Conference. 15-27 October 2003. Kayseri/TURKEY. pp.127.
- Benedict, M., Pigford, T. H., Levi, W. H.,** 1981. Nuclear Chemical Engineering. McGraw-Hill Book Company. New York. p. 222-288.
- Bergmann,** 1993. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Dritte Erweiterte Auflage. Gustav Fisher Verleag Jena. Stuttgart.
- Bingham, F. T.,** 1949. Soil Test for Phosphate. Calif. Agr.. 3:11-14.
- Blamey, F. P. C. Diana Mould and J. Chapman,** 1979. Critical boron concentrations in plant tissues of two sunflower cultivars. American Society of Agronomy Journal,71:243-247 USA.
- Brady, N. C., and Weil, R. R.,** 2008. The Nature and Properties of Soils (14th ed.). ISBN: 0-13-227938-X Pearson Education Limited USA.
- Bremner, J. M.,** 1965. Total Nitrogen, In. C.A. Black et al (ed). Methods of Soil Analysis. Part 2., Agronomy 9:1149-1178. Am. Soc .of Agron.. Inc. Madison.
- Brohi, A.R., Aydeniz, A., Karaman, M. R., Erşehin, S.,** 1994. Bitki Besleme. GOP Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Yayınları: 4. Kitaplar serisi:4. Tokat.
- Cambray, R. S. , Lewis, G. N. J., Playford, K. and Eakins, J. D.,** 1983. Radioactive Fall-out in Air and Rain: Results to the end of 1982. AERE R10859. HMSO.
- Canbazoğlu, C.,** 2004. Elazığ Yöresinde Doğal Radyoaktivite Tayini. Fırat Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. Doktora Tezi.
- Cline, W., Adamovitz, S., Clifford, B.,Kahn, B.,** 1983. Radium and Uranium Concentrations in Georgia Community Water Systems. Health Physics. 44 (1). 1-12.
- Cothorn, R. C., Lappenbusch, W. L., Michel, J.,** 1986. Drinking Water Contribution to Natural Background Radiation. Health Physics. 50(1).33-47.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- Çelebi, N., Aklan, H.**, 1997. Evaluation of Natural Radiation in the Kestanbol SPA Region. Radiation Protection Dosimetry. Vol.69. No.3. pp. 227-230. Nükleer Technology Publishing.
- Çelik, R.**, 1992. Şişe Maden Sularında Radyum Konsantrasyonu Tayini ve Tüketim Araştırması. Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. İzmir.
- Çevre ve Orman Bakanlığı**, Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. (<http://www.styd-cevreorman.gov.tr>). (Erişim tarihi: 17.03.2010)
- Çolakoğlu, H.**, 2007. Sert Çekirdekli Meyvelerde Dengeli Gübreleme. Toros Tarım Sanayi ve Ticaret A.Ş.
- Demir, R., Aydın, F.**, 2000. Foseptik Atıklar ile Sulanan Marullarda (*Lactuca Sativa L. Var. Longifolia Lam.*) Ağır Metal Miktarları Üzerinde Bir Çalışma, Çev-Kor, Ekoloji Dergisi. Cilt.9. sayı 36. 15-17.
- Duenas, C., Fernandez, M.C., Enriquez, C., Carretero, J. and Liger, E.**, 1998. Natural Radioactivity Levels in Andalusian SPAS. Water Research. Vol.32. No.8. pp. 2271 - 2278.
- El-Bassam, N. and Tğetjen, C.** 1977. Municipal Sludge as Organic Fertilizer with Special Reference to the Heavy Metals Constituents in Soil Organic Matter Studies. Vol. 2. IAEE. Vienna . 253 p.
- Elmacı, Ö. L.**, 1995. Güney Marmara Bölgesi Sanayi Domates Alanlarındaki Toprak, Sulama Suyu ve Domates (*Lycopersicum Esculentum*) Meyvelerinde Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. İzmir.
- Ercan, T.**, 1982, Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve volkanizması: Türkiye Jeol. Kur. 36. Bilimsel Teknik Kurultayı Panel Yay., 5-14, Ankara.
- FAO**, 1960. Radioactive Materials in Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- FAO**, 1967. Fisheries Technical Paper. No:158. Roma.
- Fiege, N., Grunwaldt, H.S.**, 1977. Einordnung von Abfallstoffen in Belastungsgrade im Erlass des Hessischen ministers für. Landsentwicklung. Umwelt. Landwirtschaft Forsch (4)-34179.
- Florou, H., Kehagia, K., Savidou, A. and Trabidou, G.**, 2006. The Radiological Evaluation of Uranium. Radium and Radon in Metallic and Thermo-Metallic Springs in Ikaria Island. The Eastern Aegean Sea. Greece. Radioactivity in the Environment. Volume 8. Pages 235-242.
- Gascoyne, M.**, 1982. Geochemistry of the Actinides and Their Daughters. In:M.Ivanovich and R.S. Harmon (ed.). Uranium Series Disequilibrium: Applications to Enviromental Problems. Oxford University Press. Oxford.
- Goldberg, S.**, 1997. Reactions of boron with soils. Plant and soil, 193(1-2):35-48.
- Goncharuk, E.J., Sgdorenka, G.J.**, 1986. Hygienic Regulation for Chemic Substance in Soils. Medicina. Moscow. 320 p.
- Gruber, V., Maringer, F.J. and Landstetter, C.**, 2009. Radon and other natural radionuclides in drinking water in Austria: Measurement and assessment. Applied Radiation and Isotopes. 67. 913–917.
- Hakerlerler, H., Anaç, D., Okur, B. ve Saatçi, N.**, 1994.. Gümüldür ve Balçova'daki Satsuma Mandarin Bahçelerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. E.Ü. Araştırma Fonu Proje No: 92-ZRF-47. Bornova-İzmir.
- Hashem, A.R.**, 1993. Heavy Metal Analysis of Water and Soils from Saudi Arabia. J. King Saud Univ.. Vol.5. Science (1). pp.39-46.
- Hodgson, J. F.**, 1960. Cobalt reactions with montmorillonite: Soil Sei. Soc. Amer. Proe.,v. 24, pp. 165-168.
- Horvath, A., Bohus, L.O., Urbani, F., Marx, G., Piroth, A., Greaves, E.D.**, 2000. Radon Concentrations in Hot Spring Waters in Northern Venezuela. Journal of Enviromental Radioactivity. 47. 127-133.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- Ilani, S., Minster, T., Kronfeld, J., Even, O.**, 2006. The Source of Anomalous Radioactivity in the Springs Bordering the Sea of Galilee. Israel. Journal of Environmental Radioactivity. 85. 137-146.
- Ilgar, R.**, 2005. Ekolojik Bakışla Jeotermal Kaynaklara Dualist Yaklaşım. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, C.4, S.13: 88-98.
- Isaac, A. R., Kerber, J. D.**, 1969. Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissue. Perkin Elmer Corp. Atomic Absorption Dept. Norwalk. Conn.
- ICRP**, 1993. Protection Against Radon at Home and at Work. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 65. Pergamon Pres. Oxford.
- ITS**, 2003. Institution of Turkish Standarts. Annual Progress Report.
- Jackson, M. L.**, 1958. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall of India. Pvt. Ltd.. New Delhi. p. 1-498.
- Jackson, M. L.**, 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall, of India Private Limited, New Delhi.
- Jacomino, V. F., Bellintani, S.A., Oliveira, J., Mazzilli, B.P., Fields, D.E., Sapma, M. H., Silva, B.**,1996. Estimates of Cancer Mortality due to Ingestion of Mineral Spring Waters from a Highly Natural Radioactive Region of Brazil. Journal of Environmental Radioactivity. Volume 33, issue 3, pages 319-329.
- Joksić, J. D., Radenković, M. B., Miljanić, Š. S.**, 2007. Natural Radioactivity of Some Spring and Bottled Mineral Waters from Several Central Balkan Sites. as a way of Their Characterization Journal of the Serbian Chemical Society. 72(6):621-628.
- Jones, Jr. J. B., Wolf, B., Mills, H. A.**, 1991, Plant analysis handbook micro-macro Publishing inc.
- Kabata Pendias, A., Pendias, A.**, 1979. Current Problems in Chemical Degradation of Soils. Paper Presented at the Conf. on Soil and Plant Analyses in Environment Protection. Falenty/Warsaw. October 29.7.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- Kabata-Pendias, A., Pendias, H.**, 1992. Trace Elements in Soils and Plants. 2 nd. Edition CRC Press. Boca Raton. Ann Arbor London.
- Kacar, B.**, 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III. A.Ü.Z.F Eğitim. Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları. No:3.
- Kacar, B., İnal, A.**, 2008. Bitki Analizleri. Nobel Yayın Dağıtım; Bitkibilim; Ankara.
- Kacar, B.**, 1984. Bitki Besleme. A.Ü. Ziraat Fak. Yayınları. 899. 2. Bas.. A.Ü. Basımevi, Ankara.
- Kahvecioğlu, Ö.**, Metallerin Çevresel Etkileri. İTU Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü. http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf (Erişim tarihi: 17 Mart 2010)
- Karaca, A.** Derslere Ait Dosya ve Notlar, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü (<http://www.agri.ankara.edu.tr/index.php?obj=Staff&no=1250>) (Erişim tarihi: 17 Mart 2010)
- Kayhan, F. E.**, 2006. Su Ürünlerinde Kadmiyumun Biyobirikimi ve Toksisitesi. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi 2006. E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences. 2006 Cilt / Volume 23. Sayı/Issue (1-2): 215–220.
- KHAYAT, J.R.**, 1988. Germencik-Kızılcapınar(Aydın) ve Çevresinin Hidrojeolojik İncelenmesi, Sıcak ve Soğuk Suların Jeokimyasal Yorumlanması. (Yüksek Lisans Tezi), D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (1988).
- Kılınç, R., Yokaş, İ.**, 1987. Toprak. Bitki ve Su Kaynaklarında Bulunan Radyasyon Miktarları ve Çevresel Önemi. E.Ü.Z.F. Dergisi.
- Kınacı, S., Topuzoğlu, S.**, 1982. Kapalı Yerlerde Radyasyona Maruz Kalma.. Çevre 82. Sempozyumu. 3-5 Haziran 1982. İzmir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- Kır, I., Tekin Özcan, S., Tuncay, Y.,** 2007. Kovada Gölü'nün Su ve Sedimentindeki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi. E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences 2007 Cilt/Volume 24. Sayı/Issue (1-2): 155–158.
- Kıtağışlı, K. and Yamane, I.,** 1974. Heavy Metal Pollution in Soils of Japan. Japon Science Society Press., Tokyo, 302 p.
- Kızılgöz, İ., Erdal, İ., Tutar, E.,** 2004. Kireçli topraklardaki toplam, değişebilir ve suda eriyebilir kalsiyumun antepfıstığı ağaçlarının (*Pistacia vera* L.) bor beslenmesine etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8(1): 11-15.
- Kick, H., Bürger, H., Jommer, K.,** 1980. Gesamtgehalte an Pb, Zn, Sn, As, Cd, Hg, Cu, Ni, Cr und Co in Landwirtschaftlich und Görtnerisch Genutzen Böden NordrheinWestfalen, Landwirtschaftliche Forschung, No:33(1):12-22.
- Kito, M. E., Parekh, P. P., Torres, M. A., Schneider, D.,** 2005. Radionuclide and Chemical Concentrations in Mineral Waters at Saratoga Springs. New York. Journal of Environmental Radioactivity. 80. 327-339.
- Kloke, A.,** 1979. Content of Arsenic. Cadmium. Chromium. Fluorine. Lead. Mercury and Nickel in Plants Grown on Contaminated Soil. Paper Presented at United Nations-ECE Symp. on Effect of Air-Borne. Pollution on Vegetation. Warsaw. August 20. 192 p.
- Kloke, A.,** 1982. Erläuterungen Zur Klärschlamm Verordnung and wirtsch. Forsch.. Soderhs. 39: 302-308.
- Korukçu, A., Büyükcangöz, H.,** 1996. Eysel ve Endüstriyel Atıksuların Sulamada Kullanım Olanakları. Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu “Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı”. Mersin.
- Kovancı, İ., Kılınc, R.,** 1977. Salihli-Köprübaşı Uranyum Sahasından Alınan Toprak. Su ve Bitki Örneklerinin Gross β Aktiviteleri. Bitki Dergisi. Cilt 4. sayı 4. s:443-450.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- Kukul, Y.S., Ünal Çalışkan, A. D., Anaç, S.,** 2007. Arıtılmış Atık Suların Tarımda Kullanılması ve İnsan Sağlığı Yönünden Riskler. Ege Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dergisi. 44 (3): 101-116.
- Kumru, M. N., Aydın, B., Bakaç, M.,** 2002. Gediz Nehri'nden Ege Denizi'ne Taşınan Doğal Radyoaktivitenin (Radyum) Belirlenmesi. Çev-Kor. Araştırma Makalesi. Ekoloji Dergisi. Cilt.10. Sayı 43. 22-25.
- Kumru, M. N., Aydın, B.,** 2002. Gediz Nehri'nden Ege Denizi'ne Taşınan Doğal Radyoaktivitenin (Radyum) Belirlenmesi. Çev-Kor. Araştırma Makalesi. Cilt:10. S.43. 22-25.
- Kumru, M. N.,** 1992. Determination of ^{226}Ra in Environmental Samples by the Collector Chamber Method. Appl. Radiat. Isot. 43. pp. 1031–1034.
- Kun, N., Özcan, Ö. ve Candan, O.,** 1986 Menderes Masifinde Dev Kuvars Kristalleri, “*Journal of The Faculty of Science*” Vol.8.
- Kurt, M. A., Güler, C., Alpaslan, M. ve Temel, A.,** 2008. Karaduvar (Mersin) Tarım Topraklarındaki Bazı Ağır Metallerin Kökeni ve Dağılımının Faktör Analizi ve CBS Yardımıyla Belirlenmesi: 61. Türkiye Jeoloji Kurultayı. 24-28 Mart 2008. Bildiri Özetleri Kitabı. Ankara. s. 17-18.
- Labidi, S., Dachraoui, M., Mahjoubi, H., Lemaitre, N., Ben Salah, R., Mtimet, S.,** 2002. Natural Radioactivity Nuclides in Some Tunisian Thermo-Mineral Springs. Journal of Enviromental Radioactivity. 62. 87-96.
- Lepp, N. M.,** 1981. Lepp In: N.W. Lepp, Editor, Effect of Heavy Metal Pollution on Plants Effects of Trace Metal Pollution on Plant Function Vol. 1, Applied Science Publishers, London (1981), pp. 352–367.
- Liden, K. and Holm, E.,** 1985. Measurement and Dosimetry of Radioactivity in the Environment. in the Dosimetry of Ionizing Radiation. Vol.1. K.R. Kase. B.E. Bjangard and F.H. Attix. eds.. Academic Pres. Orlando.
- Lindsay, W. L. and W.A. Norvell,** 1978. Development of a DTPA Micro nutrient Soil Test for Fe. Cu. Zn and Mn Soil Science Soc. Amer. Proc. 42. 421-428 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- Linsalata, P., Mores, R. S., Ford, H., Eisenbud, M., Penna Franca, E., De Castro, M. B., Lobao, N., Sacht, I., Carlos, M.,** 1989. An assessment of soil-to-plant concentration ratios for some natural analogues of the transuranic elements, *Health Phys.* 56 (1) (1989), pp. 33–46.
- Linzon, S.N.,** 1978. Phytotoxicology Excessive Levels for Contaminants in Soil and Vegetation. Report of Ministry of the Environment. Ontario. Canada.
- Luo, Y., Zhuo, W., Wei, M., Tokonami, S., Wang, W., Yamada, Y., Chen, J., Chen, M.,** 2005. International Congress Series. 1276. 311-312.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü,** Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası http://www.mta.gov.tr/v1.0/daire_baskanliklari/enerji/index.php?id=haritalar (Erişim tarihi: 17 Mart 2010).
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü,** Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Türkiye’de Jeotermal Enerji Çalışmaları. http://www.mta.gov.tr/v1.0/daire_baskanliklari/enerji/index.php?id=jeotermalpotansiyel (Erişim tarihi: 17 Mart 2010).
- Marovic, G., Sencar, J., Franic, Z. ve Lokobauer, N.,** 1996. Radium-226 in Thermal and Mineral Springs of Croatia and Associated Health Risks. *Journal of Environmental Radioactivity.* Vol.33. pp. 309-317.
- Marschner, H.,** 1997. Mineral Nutrition of Higher Plants. (2.nd ed.) Academic press. 24-28 Oval Road London NW1 7DX.
- Mass,** 1990. Crop salt tolerance. *Agricultural Salinity Assessment and Management ASCE.* New York. pp 262-304.
- Mengel, K., Kirkby, E.A.,** 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potas Institute. P.O. Box. CH-3048. Worblaufen-Bern Switzerland.
- Mengel, K., Kirkby, E.A.,** 2004. Principles of Plant Nutrition. Kluwer, The Netherlands.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- Million, J. B., Sartain, R. X. Gonzalez, Carrier, W. D.,** 1994. Radium-226 and calcium uptake by crops grown in mixtures of sand and clay tailings from phosphate mining, *J. Environ. Qual.* 23 (1994), pp. 671–676.
- Misdaq, M. A., Ouabi, H. and Merzouki, A.,** 2007. Analysis of Radon. Uranium 238 and Thorium 232 in Potable Waters: Dose to Adult Members of the Moroccan Urban Population. *Nuklear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. Volume 263. Issue 1.* pages 105-111.
- Mortavazi, S. M. J., Ghiassi-Nejad, M., Rezaiean, M.,** 2005. Cancer Risk due to Exposure to High Levels of Natural Radon in the Inhabitants of Ramsar. Iran. *International Congress Series.* 1276. 436-437.
- Mortvedt, J. J.,** 2000. Bioavaibility of Micronutrients. *Handbook of Soil Science.* Sumner. M. E. (Ed.). CRC Pres LLC. Boca Raton. FL. D71-D86.
- MTA,** 1981. Türkiye'nin Bazı Radyoaktif Cevherleşmeleri Üzerinde Mineralojik Çalışmalar. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni.* C. 24. 59-65. Ağustos
- Özbek, T.,** 1987. Sulama Kurutma. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi. Yayın No: 7. Ankara.
- Özmen, H., Külahcı, F., Çukurovalı, A., Doğru, M.,** 2004. Concentrations of Heavy Metal ve Radioactivity in Surface Water and Sediment of Hazar Lake (Elazığ. Turkey). *Chemosphere* 55. 401-408.
- Parker, C. R.,** 1972. *Water Analysis By Atomic Absorption Spectroscopy.* Varian Techtron Pty. ltd. Springvale-Australia.
- Persaud, D., Jaagumagi, R. and Hayton, A.,** 1992. Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. Log 92-2309-067. PIBS 1962. Queen's Printer for Ontario.
- Prasad, B., Bose, J. M.,** 2001. Evaluation of the Heavy Metal Pollution Index for Surface and Spring Water Near a Limestone Mining Area of the Lower Himalayas. *Enviromental Geology.* 41: 183-188.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- Reuter, D.J., Robinson, J.B.**, 1986. Plant analysis. An Interpretation Manual. Inkata press, Melbourne, Sydney.
- Saatçi, F., Hakerlerler, H., Tuncay, H., Okur, B.**, 1988. İzmir İli ve Civarındaki Bazı Önemli Endüstri Kuruluşlarının Tarım Arazileri ve Sulama Sularında Oluşturdukları Çevre Kirliliği Sorunu Üzerinde Bir Araştırma. E.Ü. Araştırma Fonu Proje No: 127. Bornova – İzmir.
- Saç, M. M., Kumru, M.N.**, 2003. İzmir İli İçme ve Kullanım Sularında ²²²Rn ve ²²⁶Ra Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi. 15-17 Ekim 2003. Kayseri.
- Sauchelli, V.**, 1969. Trace Elements in Agriculture. Van Nostrand. New York.
- Scheffer, F. Und Schachtschabel, P.**, 1989. Lehrbuch Der Bodenkunde. 12 Aufl.. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart. 442 P.
- Saner, B., Popovski, K.**, 2005. Environmental Advantages of Geothermal Energy. Post Conference Course. World Geothermal Congress. Antalya Turkey. April 2005.
- Schachtschabel, P., Blume, H.P.**, 1984. Hartge. K.H. und Schwertmann. U.. Lehrbuch der Bodenkunde. F. Enke Verlag. Stuttgart. 441 p.
- Scofield, C.S.**, 1935. The Sal. of Irrigation Waters. Smith Inst. Ann. Report, 275-287.
- Scott, M.R.**, 1982. The Chemistry of U and Th series Nuclides in Rivers. In: M. Ivanovich and R.S. Harmon (ed.). Uranium Series Disequilibrium: Applications to the Environmental Problems. Oxford Univ. Pres. Oxford. 181-201.
- Seçer, M., Bodur, A., Elmacı, Ö.L., Delibacak, S., Iqbal, N.**, 2002. “Trace element and heavy metals contents of fruits and vegetables in the surrounding of the Gediz River” Int. J. Water. Vol.2. Nos.2/3. 196-210. (2002).
- Slawin, W.**, 1955. Atomic Absorbption Spectroscopy Interscience Publishers. New York-London Sydney.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- Soil Survey Staff**, 1951. Soil survey manual. U.S. Dep. Agric. Handbk. No. 18. U.S. Government Printing Office. Washington. D.C. 503 pp.
- Song, G., Zhang. B., Wang, X., Gong, J., Chan, D., Bernett, J., Lee, S.C.**, 2005. Indoor Radon Levels in Selected Hot Spring Hotels in Guangdong. China. *Science of the Total Environment* 339.63-70.
- Szöke, E.**, 2005. Research on the Heavy Metal Pollution of Some Cave Waters of the Karsts of Aggtelek from 2000 until Now. *Acta Climatologica et Chorologia. Universitatis Szegediensis. Tom.38-39.* 135-142.
- Şimşek, Ş.**, 1981. Aydın (Germencik) Alanının Jeotermal Enerji Olanakları: Yeni ve Yenilenebilir Enerji Sempozyumu Yay., 5, Ankara.
- TAEK**, 2000. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, Resmi Gazete, 23999(37), 43s.
- Topçuoğlu, S., Karahan, G., Güngör, N., Kırbaşoğlu, Ç.**, 2003. Natural and Artificial Radioactivity in Emendere Thermal Spring Area in Western Anatolia. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 256, pp. 395–398.
- Thorne, D. W., Peterson, H. B.**, 1954. Irrigated soil, their fertility and management. Second edition. The Blackiston Company. Toronto.
- Tuncay, H.**, 1994. Su Kalitesi (I. Basım). Ege Üniv. Ziraat Fak. Yayınları. No: 512, İzmir.
- Türkdoğan, M. K., Kilicel, F., Kara, K., Tuncer, I., Uygan, I.**, 2002. Heavy Metal in Soil. Vegetables and Fruits in the Endemic upper Gastrointestinal Cancer Region of Turkey. *Environmental Toxicology and Pharmacology.* 13. 175-179.
- UNSCEAR Report**, 1988. Sources Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly. United Nations, New York.
- UNSCEAR**, 1993, Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
- UNSCEAR Report**, 2000. Sources Effects and Risks of Ionizing.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- U.S Salinity Lab. Staff** , 1954. Diagnosis Improvement of Saline and Alkali Soils Agriculture Handbook No:6. U.S. Govt. Print. Office Washington D.C.
- Uygan, D., Çetin, Ö.**, 2004. Bor'un Tarımsal ve Çevresel Etkileri: Seydisuyu Su Toplama Havzası. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü. Su Yönetimi Bölümü. Eskişehir II. Uluslararası Bor Sempozyumu. 23-25 Eylül 2004. Türkiye.
- Vesterbacka, P., Makelinen, I., Arvela, H.**, 2005. Natural Radioactivity in Drinking Water in Private Wells in Finland. Radiation Protection Dosimetry. Vol.113. No.2. pp.223-232.
- Vinson, D.S., Vengosh, A., Hirschfeld, D. and Dwyer, G. S.**, 2009. Relationships Between Radium and Radon Occurrence and Hydrochemistry in Fresh Groundwater from Fractured Crystalline Rocks. North Carolina (USA). Chemical Geology.
- Virk, H.S., Sharma, N., Bajwa, B.S.**, 1999. Enviromental Radioactivity: a case Study Himachal Pradesh. India. Journal of Environmental Radioactivity, 45, 119-127.
- Wanabongse, P., Tokonami, S., Bovornkitti, S.**, 2005. Current Studies on Radon Gas in Thailand. International Congress Series. 1276. 208-209.
- William Field, R., Steck, D.J., Smith, B.J., Brus, C.P., Fisher, E.L., Neuberger, J. S., Platz, C. E., Robinson, R. A., Woolson, R. F., Lynch, C.F.**, 2000. Residential Radon Gas Exposure and Lung Cancer. American Journal of Epidemiology. Vol.151, No.11. U.S.
- Wolf, B.**, 1971. The Determination of Boron in Soil Extracts. Plant Materials. Composts. Manures. Water and Nutrient Solutions. Soil Science and Plant Analysis. (2). 363-374.
- Yaprak, G.**, 1995. Radyoaktif Mineral İçeren Örneklerin Gama Spektroskopik Analizlerde Matris Etkisi ve Self Adsorpsiyon için Bir Düzeltme Yönteminin Geliştirilmesi. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, Bornova, İzmir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- Yaprak, G.**, 1999; 2008. Çevresel Radyoaktivite Ders Notları (I. ve II.).
- Yaprak, G., Gür, F., Camgöz, B., Candan, O., Köseoğlu, K.**, 2004. Küçük Menderes Bölgesinde Cs-137 Dağılımının İncelenmesi, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu 2000 NBE 006 Nolu Proje.
- Yaprak, G., Aslani, M. A. A.**, 2010. External dose-rates for natural gamma emitters in soils from an agricultural land in West Anatolia. *J. Radioanal Nucl. Chem.* (2010), 283:279–287.
- Yarar, Y., Günaydı, T., Kam, E.**, 2005. A Radon Survey in Some Regions of Turkey. *International Congress Series.* 1276. 385-386.
- Yavuz, M.**, 1999. Nif Çayı Kirlilik Parametrelerinin ve Doğal Radyoaktivitesinin İncelenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. Bornova. İzmir.
- Yenal, O.**, 1971. Turkish Mineral Water. No. 4. Central Anatolia Region (in Turkish). Istanbul University Faculty of Medicine, Hydroclimatology Division, İstanbul.
- Yener, G., Yaprak, G.**, 1988. Granit ve Granodiyat Kayaçlarda ve Erozyon Bölgelerindeki topraklarda Gama Spektroskopisi ile Uranyum ve Toryum Analizleri. E. Ü. Araştırma Fonu Projesi Raporu, No:004.
- Yüksel, V.**, 1971. Söke-Germencik Bölgesinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları: MTA Rap., 4677 (yayımlanmamış), Ankara.
- Zouridakis, N., Ochsenuhn, K.M. and Savidou, A.**, 2002. Determination of Uranium and Radon in Potable Water Samples. *Journal of Environmental Radioactivity.* Volume 61, Issue 2, pages 225-232.

ÖZGEÇMİŞ

BIHTER ÇOLAK ESETLİLİ

24. 03. 1978’ de Denizli’ de doğdu. İlköğrenimini Müftü Ahmet Hulusi ilkokulunda, ortaöğrenimini Atatürk Ortaokulunda ve lise öğrenimini Denizli Lisesi’ nde tamamladı. 1994 yılında girdiği Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü’ nden 1999 yılı bahar döneminde mezun olduktan sonra aynı yıl güz döneminde Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalında yüksek lisans çalışmalarına başladı ve 2003 yılında bu çalışmasını tamamlayarak aynı yıl Toprak Anabilim Dalında Doktora çalışmalarına başladı. 2004 yılında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü’ne Araştırma Görevlisi olarak atandı ve halen görevine devam etmektedir. Toprak Verimliliği ve Bitki Besleme ile Tarımda Kullanılan Nükleer Teknikler konularında çalışmaları vardır.