

T.C
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

GAMA İŞİNİ VE X-İŞİNİ SPEKTROSKOPİYLE SULARDA RADYOİZOTOP
TAYİN ETMENİN BASİT METOTLARI

Sevinç İNCEFİDAN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Sefa ERTÜRK

Kasım 2005

ÖZET

GAMA IŞINI VE X-IŞINI SPEKTROSKOPIYLA SULARDA RADYOİZOTOP TAYİN ETMENİN BASİT METOTLARI

İNCEFİDAN, Sevinç

Niğde Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sefa ERTÜRK

Kasım 2005, 168 Sayfa

Bu çalışmanın amacı, farklı ülkelerden alınan su örnekleri içerisinde bulunan radyoaktif elementlerin tespiti ve bu elementler hakkında bilgi elde edinmektir.

Radyoaktif elementlerin belirlenmesinde çeşitli termal sular, içme suyu, maden suları ve topraktan alınan örnekler kullanılmış ve farklı metotlar uygulanmıştır.

Aynı zamanda deneylerde kullanılan aletler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Sulardaki radyoizotopların tespitinde gama ışını ve x-ışını spektroskopilerinden esas metotlar olarak bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radyoizotop, Gama Işını Spektroskopisi, X-Işını Spektroskopisi

SUMMARY

A SIMPLE METHODS FOR IDENTIFICATION OF RADIOISOTOPES WITH GAMA-RAY AND X-RAY SPECTROSCOPY

INCEFIDAN, Sevinc

Nigde University
The Institute of Science and Engineering
Department of Physics

Supervisor: Doç. Dr. Sefa ERTURK

November 2005, 168 Pages

The aim of this work is to determine the radioactive elements in environmental water samples taken from different countries and to get information about these elements.

The samples from various thermal water, drinking water, mineral water and soil are used to determine the radioactive elements and different methods are applied.

Also detailed information is given about the instruments used in the experiments. In the determination process of possible radioisotopes in waters, gama-ray and X-ray spectroscopies are mentioned as the basic methods.

Keywords: Radioisotopes, Gama-Ray Spectroscopy, X-Ray Spectroscopy

TEŞEKKÜR

Bu tezin oluşum aŐamasında değerli bilgileri ile beni yÖnlendiren, hiğbir konuda yardımını esirgemeyen ve her an desteğini hissettiğim danıŐmanım Doç. Dr. Sefa ERTÖRK baŐta olmak üzere ęalıŐmalarım sırasında bana ęalıŐma kolaylığı sağlayan bölüm baŐkanımız Prof. Dr. Refik KAYALI'ya teŐekkÖrlerimi sunarım.

Ayrıca her tÖrlÖ destek ve Özveriyle beni bugÖnlere kadar getiren sevgili aileme ve bana destek olan bÖtÖn arkadaŐlarıma teŐekkÖr ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
SUMMARY.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
BÖLÜM I GİRİŞ.....	1
BÖLÜM II RADYASYONUN ÖZELLİKLERİ VE BİYOLOJİK ETKİLERİ.....	3
2.1 Doğal Radyasyon.....	3
2.2 Yapay Radyasyon.....	3
2.3 Radyasyonun Doğrudan Etkisi.....	5
2.4 Radyasyonun Dolaylı Etkisi.....	5
2.5 Alfa Radyasyonu.....	5
2.6 Beta Radyasyonu.....	5
2.7 Gama Radyasyonu.....	6
2.8 X-Işınları.....	6
2.9 Nötron Radyasyonu.....	6
2.10 LET (Lineer Enerji Transferi).....	6
2.11 RBE (Relatif Biyolojik Etki).....	7
2.12 Biyolojik Etki ve DNA.....	7

2.13 Radyobiolojinin Temel Kanunu.....	7
2.13.1 Hücre Duyarlılığı.....	8
2.13.2 Doku ve Organların Radyasyon Duyarlılığı.....	8
2.13.3 Radyasyon Kazalarının Biyolojik Etkileri.....	9
2.13.4 Radyasyonun Akut Etkileri.....	9
2.13.5 Eşik Dozsuz Etkiler (Stokastik Etkiler).....	9
2.13.6 Biyolojik Doz Tayini.....	10
2.13.7 Biyolojik Doz Tayininde Radyasyon Sitogenetiği.....	10
2.13.8 Radyoekoloji.....	11
2.13.9 Biyokinetik Araştırmalar.....	11
2.13.10 Ekotoksikolojik Çalışmalar.....	12
BÖLÜM III TERMAL SULAR.....	13
3.1 Jeotermal Çalışmaları.....	13
3.2 Türkiye'deki Kaynak Durumu.....	14
3.3 Şifalı Suların (Kaplıca ve İçmeler) Faydalı Oldukları Hastalıklar ve Kaplıcalardan Faydalanma Şekli.....	16
3.3.1 Hastalıklar.....	17
3.3.2 Şifalı Sular.....	18
3.4 Dünya Teknolojisindeki Son Durum.....	24
3.5 Türkiye'de, Afyon Bölgesinde Ömer-Gecek Termal Sularındaki Akışkan Mineral Dengesi ve Kimyasal Jeotermometresi.....	25
3.6 Tunus Termomineral Kaynakları İçindeki Doğal Radyoaktif Çekirdekleri....	29
3.7 Ürdün Doğal Sularındaki Farklı Tiplerdeki Radonun Ölçülmesi.....	33
3.8 Şam'da Bulunan Akufer Kireçtaşı Sistemlerindeki Büyük Karst Kaynaklarında Yapılan Çevresel İzotop Çalışması: Figeş ve Barada Kaynakları.	35
3.9 İsviçre'deki Jeotermal Enerjinin Yükselmesi İçin Uzun Dönemli Yeni Bir Taslak Programı.....	37

3.10 Emet Bölgesindeki Termal Sulardaki Hidrojeokimyasal ve Hidrojeoloji Araştırmaları (Kütahya).....	37
3.11 Anadolu’da Jeotermometri Uygulamaları ve Termal Suların Hidrojeokimyasal Taslağı (Türkiye).....	43
3.12 Taupo Gölünde Aktif Hidrotermal Deliklerin Bulunması(Yeni Zelanda).....	51
3.13 Sıkıştırılmış Tektonik Bölgelerdeki Jeotermal Sistemlerin Oluşumu İle İlgili Yapılan Başlangıç Çalışması: Türkiye’de Biga Bölgesindeki Derman Jeotermal Alanından Bir Örnek.....	51
3.14 Macaristan’daki Mineral Şişe Suları İçindeki ve Jeotermallerdeki ²²⁶ Ra.....	52
3.15 Etna Dağı Bölgesindeki Yer Altı Sularında Bulunan Radonun Ölçülmesi....	53
3.16 Velenje’deki (Slovenya) Uçan-Kül Tortusundan Kaynaklanan Radyoaktif Yüzey Suyu Kirliliği.....	56
3.17 Pamukkale’deki Traverterlerin ve Jeotermal Suların Korunması(Türkiye)...	57
3.18 Adapazarı-Kuzuluk Termal Sularındaki Radyoaktivite Değişiklikleri ve Deprem Kimyası.....	60
3.19 Phlegraean Arazilerindeki Termal Suların Jeokimyasal Denetimi.....	64
3.20 Yer Altı Su Kaynakları (Maden Suları)	65
3.20.1 Maden Sularının En Önemlileri.....	66
3.20.2 Yer Altı Sularının Beslenmesinde Etkili Olan Faktörler.....	67
3.20.2.1 Taban Suyu.....	67
3.20.3 Kaynaklar.....	67
3.20.3.1 Soğuk Su Kaynakları.....	68
3.20.3.2 Sıcak Su Kaynakları.....	69
BÖLÜM IV DENİZLER VE NEHİRLER.....	70
4.1 Amazon Kayalıklarındaki Tortu-Su Arasındaki Etkileşimde Radyonükleid Bulmak.....	70
4.2 İrlanda Denizinde Technetium-99 Birikimi.....	71
4.3 Arap Denizinde Sahilden Uzak Yerlerde ve Sahilde Bulunan Metan.....	71

BÖLÜM V VOLKANİK VE SİSMİK HAREKETLER.....	72
5.1 Volkanik ve Sismik Hareketler Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen-Kuvaterner Volkanitlerine İlişkin Yeni jeokimyasal, Radyometrik ve İzotopik Verilerin Yorumu.....	72
5.2 Japonya'nın Merkezindeki Norikura Volkanik Alanındaki Yüzeysel Suların Kimyası: Olası İstatistiksel Değişiklik.....	73
5.3 Volkanik Duman Püskürten Küçük Deliklerin Sabit İzotop Jeokimyası: Volkanik Gözetimin Kavranması.....	74
5.4 Helyum İzotopu Değişimi: Tektonik, Volkanizm ve Sismik Aktivite İle İlişkisi.....	76
5.5 Kuzey São Paulo, Brezilya'da Sismik Aktiviteli Bir Bölgede Yapılan Jeotermal Araştırmalar.....	79
5.6 İtalya'daki Vulkano Adasındaki Jeotermal Kaynak Sularının Bileşiminde Deprem Nedeni İle Oluşan Değişimler.....	80
BÖLÜM VI KULLANILAN YÖNTEMLER.....	81
6.1 Endüstrideki Radyasyon Gelişmesi ve Radyoizotop Ölçümü Uygulaması Hakkında Bazı Yorumlar.....	81
6.2 Nötronu Harekete Geçiren Rhenium Telindeki Rhenium-186 ve Rhenium-188 Dağıtımını Modelleme ve Bir Su Bitkisi Üzerindeki Beta Dosimetresi Dağıtımının Etkisi.....	84
6.3 Sıvı Sintilasyon Tekniği İle Sudety Dağlarının Yüksek Yerlerindeki Doğal Su Örnekleri İçindeki ^{222}Rn 'nin Kararlılığı.....	85
6.4 PERALS Spektrometresi İle α -Sıvı Sintilasyon Spektrometresi Tarafından Suyun İçindeki Radon Konsantrasyonunun Ölçülmesi.....	87
6.5 Detektör Bileşenleri İçin Radon Oluşum Oranları ve Yüksek Duyarlı Radon Monitörü.....	88
6.6 Oda Sıcaklığında 30 eV'dan Daha Az Enerjili VUV Fotonlarının Yol Açtığı GSO Altında Ce'nin Bozunumu.....	89
6.7 Gama Işını Spektrometresi İle Situ İçindeki Uranyum Konsantrasyonunun Ölçülmesi: Bir Değerlendirme.....	90
6.8 Çevresel Örnekler İçindeki ^{129}I 'nin Gama-X Spektrometresi İle Ölçülmesi...	90

6.9 Elektrostatik Hızlandırıcı İle Radyoizotop Bulunuşu.....	91
6.10 Örneklerdeki Radyoizotopun Üretimi İçin TeO ₂ 'nin Termal Özellikleri.....	92
6.11 RMC'de SLOWPOKE-2 İçin Bir Nötron Radyografisine Dayanan Ölçümler.....	100
6.12 Radyoizotop Üretimi İçin Katı Hedefin Termal Performansının Araştırılması.....	102
6.13 Basit Laboratuvarlar İçin Çok Düşük Seviyeli Gama Işını Analiz Sistemi.....	103
6.14 Düşük Seviyeli Ge Spektrometresi İle Kozmik Işın Etkileşimi Çalışması.....	105
6.15 Yarı Ömür İle Radyoizotopun Spektrumunun Ölçümü İçin Kullanılan Alet..	106
6.16 Bir Beta Detektörü Gibi Fotoçoğaltıcı.....	106
6.17 X-Işını Floresansı Kullanılarak $58 \leq Z \leq 68$ Arasındaki Toplam Atomik İncelme, Toplam Atomik Fotoelektrik Kesitinin ve Toplam Atomik Dağılım Kesitinin Hızlı Ölçümü.....	106
6.18 Radyoizotoplarca Uyarılmış X-Işını Floresansı Kullanılarak Element Analizi	109
6.19 X-Işını Floresan Spektrometresi İle Kaya Fosfatlarının Analizi.....	110
6.20 Endüksiyonla Birleştirilmiş Plazma Bölgesi Kütle Spektrometresi; Plutonyum İzotopları İçin Bir Başka Alet ve Çevresel Matrislerdeki Plutonyum İzotop Oranlarının Belirlenmesi.....	112
6.21 Endüstriyel Radyografi.....	113
6.22 Radyoizotoplar ve X-Işını Cihazları.....	114
6.23 Kapalı Alan ve Açık Alan Radyografisi.....	115
6.24 Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Analizi.....	116
6.25 Enstrümental Nötron Aktivasyon Analizi ve Gama Spektrometresi.....	117
6.26 Sintilasyon Sayıcıları.....	117
6.27 Kullanılan Başlıca Fluorlar.....	118
6.27.1 Alfa Fluorları.....	118

6.27.2 Beta Fluorları.....	118
6.27.3 Gama Fluorları.....	118
6.27.4 Fotokatod.....	118
6.27.5 Fotoçoğaltıcılar.....	119
6.28 Gama Spektrometre Sistemi.....	119
6.28.1 Kullanım Amaçları.....	119
6.28.2 Teknik Özellikleri.....	120
6.28.3 Uygulamaları.....	122
6.28.4 Hesaplamalar.....	122
BÖLÜM VII ANALİZ VE SONUÇLAR.....	125
KAYNAKLAR.....	162

TABLULAR DİZİNİ

<u>Tablo No</u>	<u>Tablo Üst Yazısı</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1	Ömer-Gecek Jeotermal Kuyuları İle İlgili Veriler.....	27
Tablo 3.2	Ömer-Gecek'teki Suların Kimyasal Analizi.....	28
Tablo 3.3	Tunus'taki Termomineral Suların Fiziko-Kimyasal Yapıları.....	30
Tablo 3.4	Tunus'ta 12 Termomineral Suyundaki Doğal Radyoaktif Nükleidlerler..	31
Tablo 3.5	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ve $^{226}\text{Ra}/^{234}\text{U}$ Oranları.....	31
Tablo 3.6	Farklı Su Örnekleri İçin Radon Konsantrasyon Seviyelerinin Sonuçları.	34
Tablo 3.7	Yeraltı Sularından Toplanan Örneklerin Genel Karakteristikleri.....	36
Tablo 3.8	Emet'teki Termal Sularda Bulunan Radyoizotopların Kimyasal Analizleri.....	39
Tablo 3.9	a) Süngertaşı Örneği İçin İstatistiksel Özet b) Kıltaşı Örneği İçin İstatistiksel Özet.....	40
Tablo 3.10	Seçilmiş Bazı Su Örnekleri İçin Saptanmış Değişken Elementler (Mg/Kg).....	40
Tablo 3.11	Termal Sulardaki Bazı İyonik Oranlar.....	40
Tablo 3.12	Termal Sularda Kesin Olarak Kanıtlanmış Değerler.....	41
Tablo 3.13	Çalışılan Bölgedeki Sıcak Su Örneklerinin Jeotermometri Sonuçları.....	41
Tablo 3.14	Dışarı Çıkan Termal Suların Mineral Doyum İndeksi Değerleri.....	41
Tablo 3.15	İç Anadolu ve Kuzey Anadolu'daki Termal Suların Kimyasal Yapısı.....	45
Tablo 3.16	Doğu ve Batı Anadolu'daki Termal Suların Kimyasal Yapısı.....	47
Tablo 3.17	Türkiye'deki Termal Sular İçin Jeotermometri Sonuçları.....	49
Tablo 3.18	Buda Bölgesindeki Termal Sularda Farklı Metotlar Kullanılarak Elde Edilen ^{222}Rn (kBqm^{-3}) ve ^{226}Ra (kBqm^{-3}) Aktiviteleri.....	52
Tablo 3.19	Etna Suları: Analitik Sonuçlar.Örnekler Jeolojik Havzalara Göre Bölünmüştür.....	54
Tablo 3.20	Etna Yer Altı Sularındaki ^{222}Rn 'nin İstatistiksel Analizi.....	56

Tablo 3.21	Pamukkale'deki Termal Kaynakların Kimyasal Analizleri.....	58
Tablo 3.22	Kuzulukta Ağustos 1999'daki Depremden Önce ve Sonra Termal Sularda α ve β Aktivite Yoğunlukları.....	61
Tablo 3.23	Depremden Önce ve Sonra Termal Sulardaki Elementlerin Yoğunluklarındaki Değişimler.....	61
Tablo 3.24	Atomik Emme Spektrometresi (Atomic Absorption Spectrometer-ASS) İle Yapılan Uygulamada Termal Sulardaki Elementlerin Yoğunluklarının Gösterimi.....	62
Tablo 3.25	İyon Chromatography ve Titration Deneylelerinin Sonuçları.....	62
Tablo 5.1	Su Örneklerinin Kimyasal Yapısı.....	74
Tablo 5.2	H ₂ O-CO ₂ Sistemlerinin Oksijen İzotopik Kompozisyonuna Göre $\delta^{18}\text{O}$ Değerlerinin Hesaplanması.....	75
Tablo 5.3	Fumarolik Gazların Asıl Parçalarının Konsantrasyonları.....	75
Tablo 5.4	Türkiye Jeotermal Sularındaki He-İzotop Veri Listesi.....	77
Tablo 5.5	NAFZ Boyunca Yapılan He Araştırması Sonuçları.....	78
Tablo 5.6	Türkiye'nin Değişik Bölgelerinde Ölçülen He ³ /Entalpi Değerleri.....	78
Tablo 6.1	1967'den Bu Yana ¹⁹² Ir α -Radyografi Kaynaklarının İncelenmesindeki Değişiklikler.....	82
Tablo 6.2	1968'den Bu Yana ⁵⁷ Co Mössbauer Kaynaklarının İncelenmesindeki Değişiklikler.....	82
Tablo 6.3	1975'den Bu Yana ¹⁰⁹ Cd ve ⁵⁵ Fe EDXRF Kaynaklarının İncelenmesindeki Değişiklikler.....	83
Tablo 6.4	Domestik ve Endüstriyel Kullanımlar İçin ²⁴¹ Am Kaynaklarının 1975'ten Sonraki Değişimleri.....	83
Tablo 6.5	Radyoaktif Rhenium'un Özellikleri ^a	85
Tablo 6.6	Klodzka Vadisindeki Mineral Su Kaynağı Kuyuların Derinlikleri.....	86
Tablo 6.7	Klodzka Vadisindeki Mineral Termal Suları İçindeki ²²² Rn Aktivitesi... ..	87
Tablo 6.8	ELEGANT V Materyalleri İçin Çıkan Gaz.....	89
Tablo 6.9	Silindirik Kapların Özellikleri.....	90
Tablo 6.10	Detektörün Özellikleri.....	91
Tablo 6.11	Ayarlanabilir Standart Kaynakların Özellikleri.....	91

Tablo 6.12	Rochester Üniversitesi İçin ^{14}C Sonuçları.....	92
Tablo 6.13	Çok Boyutlu Gama Işını Spektrometresi Kullanılarak 26 Adet Meteorit Örneğinden Elde Edilen ^{26}Al Yoğunlukları.....	104
Tablo 6.14	Ge Spektrometresi İle Nötron Akış Ölçümleri İçin Reaksiyonlar.....	105
Tablo 6.15	$58 \leq Z \leq 68$ Değerleri İçin $\sigma_t(i)$, $\sigma_{tp}(i)$, $\sigma_{K\alpha}(i)$ ve $\sigma_{ts}(i)$ Değerleri.....	109
Tablo 6.16	Taş Örnekleri Sonuçları.....	110
Tablo 6.17	Maden Cevheri Örneklerinin Sonuçları.....	110
Tablo 6.18	Aerosol Örneklerin Sonuçları.....	110
Tablo 6.19	Kaya Fosfat Örneklerinin Element Konsantrasyonu.....	111
Tablo 6.20	Fosfat Kayalarındaki Element Konsantrasyonları Dağılımı ve Ortalama Değerleri.....	112
Tablo 6.21	Pu Sf Icp-MS İçin Elde Edilen Veriler.....	112

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil No</u>	<u>Şekil Alt Yazısı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1	Afyon Jeotermal Bölgesi Haritası.....	26
	Ömer-Gecek Termal Sularındaki 10K/(10K+Na) ve 10Mg/(10Mg+Ca)	
Şekil 3.2	Gösterimi.....	28
Şekil 3.3	Kuzeydoğu Tunus'daki 12 Termo Mineral Kaynağın Gösterimi.....	29
Şekil 3.4	²³⁴ / ²³⁸ U Aktivitesi Oranı Gösterimi.....	32
Şekil 3.5	²³⁴ U ve ²³⁸ U Aktiviteleri Arasındaki İlişki.....	32
Şekil 3.6	Emet Bölgesindeki Numune Yerleşim Yerlerine Göre Jeolojik Harita...	38
Şekil 3.7	(a)Na+K,Mg,Ca ve (b)Cl,SO ₄ ,HCO ₃ Diyağramları.....	42
Şekil 3.8	Ca,HCO ₃ , ve SO ₄ Yoğunlukları Diyağramı.....	42
Şekil 3.9	Türkiye'deki Jeotermal Bölgelerin Tektonik ve Volkanik Özelliklerine Göre Dağılımı.....	43
Şekil 3.10	Etna Dağı Bölgesinde Örnek Toplanan Bölgeler.....	53
Şekil 3.11	Pamukkale Tarvertenlerinin Yerleşim Haritası.....	57
Şekil 3.12	Pamukkale Tarvertenlerinin Sistemik Diyağramı.....	58
Şekil 3.13	Pamukkale Tarvertenlerindeki Azalan Eğimin Gösterimi.....	59
Şekil 3.14	Kuzuluk Jeotermal Bölgesinin Yerleşimi.....	60
Şekil 3.15	NAA, AAS Ve IC Metotları İle Temmuz 1999 ve Eylül 1999'da Ölçülen Farklı Elementlerin Yoğunlukları (BE,17 Ağustos 1999) Depreminden Önce) (AE,17 Ağustos 1999 Depreminden Sonra).....	63
Şekil 6.1	Nötron Aktivasyon Sisteminin Şematik Gösterimi.....	84
Şekil 6.2	PERALS Spektrometresi Dedektörünün Kesiti ve Sıvı Sintilasyon Örneğinin Çalışma Prensibi.....	88

Şekil 6.3	Gelişmiş Radon Dedektörünün Şematik Gösterimi.....	89
Şekil 6.4	COSTIS'in Basitleştirilmiş Gösterimi.....	93
Şekil 6.5	Sonlu Hacim Şekli.....	100
Şekil 6.6	Kingston, Ontario, Canada'nın Royal Military College'da SLOWPOKE-2 Araştırma Reaktörü.....	101
Şekil 6.7	Nötron Işın Tüpünün Prototipi.....	101
Şekil 6.8	Hedef Dizaynı ve Soğutulmuş Konfigurasyon.....	102
Şekil 6.9	Radyografinin Konumlandırılması.....	113
Şekil 6.10	Radyografi Filmi.....	114
Şekil 6.11	Bir Kapalı Kaynak Tipi	114
Şekil 6.12	El İle Taşınabilir (Portatif) ve Hareket Ettirilebilir (Mobil) Radyografi Cihazları.....	115
Şekil 6.13	Bir Fabrikada Kapalı Alan Radyografisi.....	115
Şekil 6.14	Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi (EDXRF).....	116
Şekil 6.15	Gama Spektrometrisi Şematik Gösterimi.....	124

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat Derece
$h\nu$	Fotonun Enerjisi
J	Joule
pH	Potentia Hidrogenii (Hidrojen İyonları Konsantrasyonu)
T	Sıcaklık
λ	Bozunum Sabiti
$\sigma_{K\alpha}$	X-Işını Fotoiyonizasyon Kesiti
σ_t	Toplam Atomik İncelme Kesiti
σ_{tp}	Toplam Atomik Fotoelektrik Kesiti
σ_{ts}	Toplam Atomik Dağılım Kesiti

Kısaltmalar

AAS	Atomic Absorption Spectroscopy (Atomik Emme Spektroskopisi)
ARS	Akut Radyasyon Sendromları
Bq	Becquerel
C.B	Charge-Balance
cm	Santimetre
COSTIS	Compact Solid Target Irradiation System
CTP	Cam Elyafı Takviyeli Plastik Boru
ÇNAEM	Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi
DNC Sayacı)	Delayed Neutron Counting (Geciktirici Nötron Aktivasyon
EC	Electric Conductivities
EDXRF	Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi

FA	Faktör Analizi
FISH	Fluorescence in Situ Hybridization
FWHM	Full Width of The Peak at Half-Maximum
G	Drainaje (dranj)
Gd ₂ SiO ₅	Gadolinyum oxyorthosilicate
Ge	Germanyum
Ge(Li)	Lityum Katkılandırılmış Germanyum
h	Hour (saat)
HPGe	Hyper Purity Dedector (yüksek safsızlığa sahip Ge dedektörü)
HTSD	The Heat and Solute Transport Program
IC	Ion Chromatography
INAA	Enstrümantal Nötron Aktivasyon Analizi
KeV	Kilo elektron volt
kg	Kilogram
LET	Lineer Enerji Transferi
m	Metre
MeV	Milyon elektron volt
mg	Miligram
M _i	Maturity Index
ml	Mililitre
MTA	Maden Tetkik ve Arama
NAA	Neutron Activation Analysis (Nötron Aktivasyon Analizi)
NAFZ	North Anatolian Fault Zone (Kuzey Anadolu Fay Hattı)
PCA	Esas Bileşen Analizi
PERALS	Photon Electron Rejecting Alpha-Liquid Scintillation
PM	Photomultiplier (Fotoçoğaltıcı)
ppb-ppm	Parts Per Billion-Parts Per Million
PS	Plastic Scintillator
RBE	Relatif Biyolojik Etki
RMC	Royal Military College of Canada
S	Spring
SGS	İsviçre Jeotermal Derneği
SI	Spring Intermonsoon (İlkbahar Musonları)
Si(Li)	Lityum Katkılandırılmış Silisyum

SLOWPOKE-2	Safe Low Power Ckritical Experiment
SW	Hidrojeolojik Yerler (Spring-Well)
SWM	Southwest Monsoon (Güneybatı Musonları)
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TDS	Total Dissolved Solids
U.K	United Kingdom
U.S.A	United States of America
W	Well
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
μ S	MikroSievert

BÖLÜM I

1.1 GİRİŞ

İnsanın yaşadığı fiziki çevre ile sıkı sıkıya bir ilişkisi vardır. Sadece insan değil, her canlı organizma varlığını, bu fiziksel çevredeki dengeyle sürdürebilmektedir. İnsan ve dolayısıyla canlı organizmalar fiziksel çevreden sağladıkları enerji ile varolabilmektedirler. Tüm canlılar sağladıkları enerji ile çalışan motorlara benzetilebilir.

Canlılar fiziksel çevreden doğrudan veya dolaylı yolla enerji sağlarlar. İnsanın gereksinimi olan fiziksel çevrenin enerji kaynakları güneş, hava, su ve topraktan oluşmaktadır. Bu dört temel unsur birbirinin tamamlayıcısıdır. Örneğin güneş ışınlarını toprak emip yansıtmasa havada ısınma veya soğuma olmayacaktır. Toprak ve havada devamlı sirküle eden su güneş ışınlarını etkilemezse havada da ısı dağılımı gibi bir düzen kurulmayacaktır.

Fiziksel çevrenin bu dört unsurundan suyun insan yaşamında ayrı ve önemli bir yeri vardır. Suyun insan sağlığını da olumlu yönde etkilediği, ilaçla tedavi esasları ortaya konmadan asırlarca önce anlaşılmıştır.

Nükleer parçacıklar bir gazın içinden geçerken gazı iyonlaştırır. Nötronlar ise çeşitli (n, γ) reaksiyonları meydana getirirler veya protonlar fırlatırlar. Meydana gelen γ radyasyonları veya fırlatılan bu protonlar gazı iyonlaştırır.

İyonizasyon sıvılarda ve katılarda da meydana gelir. Canlı hücrelerin iyonizasyonu biyolojik tehlike oluşturur. İyonlaştırıcı radyasyonlar zararlı biyolojik etkiler meydana getirir. Radyasyonlar hücreler ve dokular için daima zararlıdır.

Bu tez çalışmasında öncelikle nükleer özelliklerden bahsedilmiştir. Radyasyonun çevreye verdiği zararların ne olduğu ve bunların nasıl analiz edildiği ele alınmış olup, özellikle kaplıca, içme suları, maden suları, denizler ve nehirler içerisindeki radyoaktivitenin nasıl saptandığı anlatılmıştır. Bunların saptanmasında değişik metotlar kullanılmış, bu metotlarla ilgili özellikler ve birçok aletin kullanımı hakkında bilgi verilmiştir.

1.2 Önceki Çalışmalar

Bu çalışmada çevremizdeki su örneklerinde bulunan radyoaktif elementler ve bu elementlerin analizi ile ilgili yapılmış bazı araştırmalar da mevcuttur.

Bu çalışmalarda kaplıcalar, maden suları, içme suları, denizler ve nehirler içerisindeki radyoaktif elementler saptanmıştır.

Çoğunluğu Türkiye’de olmak üzere dünyanın çeşitli yerlerindeki su örnekleri içerisindeki radyoaktivite ölçülmüş ve bunlar rapor edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlara bu tezde yer verilmiştir.

BÖLÜM II

RADYASYONUN ÖZELLİKLERİ VE BİYOLOJİK ETKİLERİ

Radyasyonlar, enerji üretiminden askeri amaçlı kullanımlara, endüstriden tıpta teşhis ve tedaviye, tarımsal araştırmalardan bilimsel çalışmalara kadar hemen her alanda kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak da doğal ve yapay radyasyonların etkisi altında bulunmaktayız.

2.1 Doğal Radyasyon

İnsanların katkısı olmaksızın oluşan radyasyonlardır. Dış ve iç kaynaklı olabilirler. Dış kaynaklı olanlar kozmik radyasyon ve yeryüzündeki kayalar ve toprakların yapısında bulunan radyoaktif elementlerin yaydığı radyasyonlardır. İç kaynaklı olan ise canlıların vücudunda doğal olarak bulunan Potasyum-40, Karbon-14, Radyum-226 gibi radyoaktif izotopların yaydığı radyasyondur. Bütün canlıların etkisi altında olduğu bu radyasyona çevre radyasyonu (back-ground radyasyonu) adı verilmektedir. Nerede yaşadığımızı, toprağın bileşimine, içinde yaşadığımız binaların yapı malzemelerine, mevsimlere, yüksekliklere ve bir dereceye kadar da hava koşullarına bağlı olarak bu radyasyon seviyeleri değişebilmektedir.

2.2 Yapay Radyasyon

İnsanın yaptığı bazı çalışmalar sonucu çevreye ilave olan radyoaktif maddeler nedeniyle yapay radyasyon oluşur. Son yüzyılda silah testleri ve nükleer güç tesisleri gibi aktivitelerle doğal radyasyon düzeylerinde artışlar olmuştur. Radyasyonun barışçıl amaçlı kullanımı ise bugün hayatımızın hemen her alanında işimizi kolaylaştırmaktadır.

Doğal kaynaklı çevre radyasyonu herkesi etkilediği halde, yapay radyasyonlar farklı zamanlarda ve mekanlarda bu çalışmalarla uğraşanları etkiler (meslekleri gereği veya teşhis ve tedavi amaçlı, vb). Yapay radyasyonlar günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır.

Endüstride; çok geniş bir şekilde radyoaktif maddeler ve dolayısıyla radyasyon ışınlarından yararlanılmaktadır: Havaalanlarında bavulların X-ışınları ile kontrol edilmesi, boru hatlarında ve diğer bir çok yapıda döküm hataları ve çatlak gibi hataların tahrip edilmeden kontrol edilmesinde, kağıt ürünlerin, plastik tabakaların ve metal yapıların kalınlıklarındaki düzensizliklerin kontrolünde ve büyük tanklarda sıvı seviyelerinin tespitinde olduğu gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.

Tarımda; hava koşulları ve tarım zararlılarına karşı orijinal türlere göre daha dayanıklı türlerin geliştirilmesi, bazı böcek türlerinin ışınlanma yolu ile çoğalmasının önüne geçilmesi gibi bir çok amaçla radyasyondan yararlanılmaktadır. Böylece kimyasal tarım ilaçlarının çevreyi kirletici etkisinden kaçınmak da mümkün olmaktadır.

Tıpta; gerek hastalıkların tanınmasında gerekse tedavisinde radyasyon ışınları ve radyoaktif maddelerin kullanımı çok yaygındır: Kemiklerde kırık ve çatlakların araştırılmasında, diş kemiklerinin gizli anormalliklerinin izlenmesinde X-ışını kullanılmaktadır. Bazı radyoaktif maddeler vücuda verilerek çeşitli dokular kolayca incelenebilmekte veya vücut içinde belli bölgede tutulup o bölgeyi ışınlayarak tedavi yapılabilmektedir. Yine kanser tedavisinde, cerrahi ve ilaç tedavilerine ilave olarak yüksek dozlarda ışınlama yapabilen radyasyon kaynakları kullanılarak radyoterapi yapılmakta ve kanserli hücreler öldürülmektedir.

Sterilizasyon ve gıda korunmasında; diğer steril etme yöntemlerinde yapısı bozulan birçok madde örneğin, cerrahi malzemeler ve eldivenler, yüksek dozda radyasyonlar ile steril edilmektedir. Besin ışınlanmalarında ise besine zarar vermeden trışin, salmonella gibi hastalık yapan bakterilerin yok edilmesi mümkün olmaktadır. Radyasyonların bu yaygın kullanımı sonucunda insanlarla etkileşimleri ve sonuçları da çok önem kazanmaktadır.

2.3 Radyasyonun Doğrudan Etkisi

Bir canlıda radyasyon etkisi, DNA molekülü veya bir enzim molekülü gibi özel bir biyolojik yapıyı doğrudan etkilemesi ile başlar. Radyasyon enerjisini doğrudan biyolojik bir moleküle transfer etmektedir.

2.4 Radyasyonun Dolaylı Etkisi

Radyasyon, enerjisini içinden geçtiği ortamın moleküllerine transfer etmişse radyasyonun dolaylı etkisi söz konusu olur. Canlı maddelerin %70-90'ı su olduğu için en çok su moleküllerinin etkilenmesi ve bunun sonucunda vücut için oldukça zehirli olan hidroksil radikalleri ve hidrojen radikallerinin oluşması beklenir. Bunların birbirleriyle ve biyolojik moleküllerle etkileşmeleri sonucunda yine çok zehirli hidrojen peroksit (H_2O_2) molekülleri oluşabilir. İyonlaştırıcı radyasyonların biyolojik sistemlerde oluşturduğu etkiler radyasyonun cinsine göre farklılık göstermektedir. İnsanların en çok karşılaşabilecekleri radyasyon tipleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.5 Alfa Radyasyonu

Ağır pozitif yüklü iki proton ve iki nötrondan oluşmuş paketler halindedirler. Uranyum, plutonyum, radyum, radon gibi ağır elementlerin atomlarından yayınlanırlar. Havada birkaç cm'den uzağa gidemeyen alfa radyasyonunu bir kağıt parçası veya derinin en dışındaki ölü tabaka bile durdurabilir. Ancak alfa yayınlayan radyoaktif madde vücut içine alınırsa bütün enerjisini çok küçük bir alanda etrafındaki hücrelere boşaltır ve bu nedenle oldukça tahripkar olabilir.

2.6 Beta Radyasyonu

Alfa parçacıklarından çok daha küçük olan elektron veya pozitronlardan oluşmuşlardır ve biraz daha derine gidebilirler. Bir metal tabakası, pencere camı ve sıradan giysilerle

durdurulabilirler. Derinin sadece üst tabakasına girip yanıklara yol açabileceği gibi vücut içine girdiğinde iç dokuları da ışınlayabilirler.

2.7 Gama Radyasyonu

Elektromanyetik dalga enerjisidir. Havada ulaşabileceği mesafeler oldukça uzundur. Bir madde içine girdiğinde ortam molekülleri ile etkileşip enerjisini kaybetmeye başlar. Kurşun ve beton gibi yoğun maddeler bu ışınlar karşı korunmada kullanılır.

2.8 X-ışınları

Bir başına radyoaktif olmayan, sadece X-ışını tüplerinden yapay olarak elde edilen gamalara benzer özelliklere sahip ışınlardır.

2.9 Nötron Radyasyonu

Nükleer güç elde edilirken oluşurlar, kendileri iyonlaştırıcı değildir. Ancak başka bir atomun çekirdeğine çarparak onu aktif hale getirebilirler ve gama ışınları yayınlanmasına neden olabilirler. Durdurmak için kalın beton, su veya parafin kullanılmaktadır.

Bütün bu radyasyonların biyolojik sistemlerdeki etkileri iki temel değere bağlı olmaktadır.

2.10 LET (Lineer Enerji Transferi)

Bir radyasyonun birim yol boyunca meydana getirdiği iyonizasyon ve ortama transfer ettiği enerji miktarıdır. X ve gama ışınları düşük, alfa ışınları, nötronlar yüksek LET'li radyasyonlardır. LET değeri arttıkça radyasyonların canlı üzerindeki etkisi de artmaktadır.

2.11 RBE (Relatif Biyolojik Etki)

Farklı tip radyasyonların aynı etkiyi oluşturmaları için gerekli dozlarının kıyaslanmasıdır. Buna göre RBE, 250 keV'lik X- ışını dozunun, herhangi bir radyasyon çeşidi tarafından aynı biyolojik etkiyi oluşturmaları için gerekli olan dozuna oranıdır. Buna bağlı olarak, alfa ışınları ve nötronların RBE değerleri X-ışını ve gama ışınlarından daha yüksektir.

Bir radyasyonun RBE ve LET değeri paralel bir artış gösterirler. Ancak çok yüksek LET değerlerinde bu paralellik bozulur ve RBE değeri azalmaya başlar. Bunun nedeni ise hücrelerin belli dozlardan sonra ölmesi ve aşırı transfer edilen radyasyon enerjisinin daha fazla bir etki gösterememesidir.

2.12 Biyolojik Etki ve DNA

Canlı organizmaların temel yapısı hücrelerdir ve hücre çekirdeğinin içinde genetik bilgileri barındıran DNA, hücrenin bölünmesinden ve protein sentezinden sorumludur. DNA molekülü birbiri çevresinde spiral dönen iki iplikten oluşmuştur. Bu yapıyı bir merdivene benzetirsek, merdivenin kenarlarını fosfat ve şeker gruplarının oluşturduğu bir iskelet ve basamaklarını da birbirlerine hidrojen bağları ile bağlanmış bazlar oluşturur. Işınlanmış hücrelerde esas hedefin DNA olduğu kanıtlanmıştır. Özellikle hücre bölünmesi sırasında hücre radyasyona karşı en duyarlı evrededir. Bunda mitoz bölünme ile çoğalma sırasında DNA'nın iki katına çıkması ve radyasyonlar için daha fazla ışınlanacak bölge oluşturmalarının da payı olduğu kabul edilmektedir. Radyasyon etkisi ile DNA'da tek kolda, çift kolda kırıklar ve baz hasarları oluşabilir.

2.13 Radyobiyolojinin Temel Kanunu

İyonlaştırıcı Radyasyonların çeşitli amaçlarla kullanılması ile büyük dozlarda ve tekrarlı olarak ışınlanan kişilerde radyasyonun zararlı etkileri görülmeye başlamıştır. 1906 yılında Bergonie ve Tribondeau “ Radyobiyolojinin Temel Kanunu” olarak isimlendirilen ve radyasyonun biyolojik etkilerine dayanan bir hipotez geliştirdiler.

Buna göre ışınlanan canlılarda gözlenen biyolojik etkiler, ışınlanan hücrelerin bölünme kapasiteleri ile doğru orantılı, farklılaşma dereceleri ile ters orantılıdır. (TAEK, Radyasyon ve Radyasyondan Korunmak, 1999)

2.13.1 Hücre Duyarlılığı

Bu kanuna göre radyasyona karşı duyarlılığı, en hassastan en dirençliye doğru bir sıralama yapılacak olursa: Hızlı bölünen, farklılaşmamış en duyarlı hücreler; eritroblastlar (eritrosit ana hücreleri), bağırsak kript hücreleri, sperm ana hücreleri ve epidermis bazal hücreleridir. Hücreler farklılaştıkça hızlı bölünme devam etmesine rağmen hassasiyetleri de azalmaktadır. Miyelositler ve sperm oluşturan hücreler bu gruba girmektedir. Düzensiz bölünen ve dokularda destek sağlayan bağ dokusu hücrelerinin hassasiyetleri aradadır. Normalde bölünmeyen ancak ihtiyaç halinde bölünme kapasitesine sahip olan karaciğer, pankreas hücrelerinde az olmakla beraber hala bir duyarlılık mevcuttur. Radyasyona karşı en dirençli hücreler ise bölünmeyen ve ileri derecelerde farklılaşmış olan kas, sinir hücreleri, olgun eritrositlerdir.

Bu sınıflamaya uymayan tek hücre grubu, dolaşan kana geçtikten sonra bölünmeyen ve son derece farklılaşmış olmasına rağmen radyasyona karşı duyarlı olan lenfositlerdir.

2.13.2 Doku ve Organların Radyasyon Duyarlılığı

Radyasyona karşı duyarlılık yasasına göre karaciğer, böbrek, kas, beyin, kemik, kıkırdak ve bağ dokuları ergin canlıda farklılaşmış ve bölünmediği için dirençli doku ve organları oluşturmuşlardır. Buna karşılık, kemik iliği, ovaryum ve testislerin (dişi ve erkek üreme organlarının) bölünen hücreleri, mide-bağırsak ve derideki epitel hücreleri ise radyasyona karşı duyarlıdır.

2.13.3 Radyasyon Kazalarının Biyolojik Etkileri

Bir radyasyon kaynağından çevreye iyonlaştırıcı radyasyonların veya radyoaktif maddelerin kontrolsüz bir şekilde yayılmasına radyasyon kazası denilmektedir. İnsanlar iyonlaştırıcı radyasyonlar ile dıştan doğrudan ışınlanarak veya radyoaktif maddelerin solunum, sindirim gibi yollarla alınması ile içten ışınlanarak etkilenebilirler.

2.13.4 Radyasyonun Akut Etkileri

Radyasyon kazalarında yüksek dozlara ani ve şiddetli olarak maruz kalma sonucunda ARS (Akut Radyasyon Sendromları) denilen hastalık belirtileri ortaya çıkmaktadır. Radyasyon hasarının şiddeti maruz kalınan doz düzeyi, dozun verilmiş hızı, ışınlanan dokuların radyasyona karşı duyarlılığı, ışınlanan vücut bölgesine göre değişmektedir. Radyasyon ile ışınlanmalarda öncelikle erken (prodromal) klinik belirtiler denilen iştahsızlık, bulantı, kusma, ishal, mide krampları, aşırı tükürük salgılanması, sıvı ve kilo kaybı gibi sindirim sistemi ile ilgili problemler ile bunların yanı sıra çabuk yorulma, bitkinlik, baş ağrısı ve yüksek tansiyon gibi sinir sistemi ile ilgili belirtiler, deride yanıklar gözlenebilir. Bu erken belirtiler geçerken kişinin aldığı doza göre, esas etkilenen doku ve organlara ait belirtiler ortaya çıkmaya başlar.

2.13.5 Eşik Dozsuz Etkiler (Stokastik Etkiler)

Radyasyonun yüksek dozlarda hücre ölümleri ve dolayısıyla doku ve organlarda neden olduğu fonksiyon bozuklukları oldukça iyi bilinmektedir. Buna karşılık insanlar düşük dozlara, aralıklı olarak maruz kaldığında etkileri gözle görülemeyen genetik, ömür kısaltıcı ve kanseri teşvik edici sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu etkilerin ortaya çıkması bazı kanser türleri için yılları bulabilmektedir. İşte radyasyonun bu etkisine, ortaya çıkması için herhangi bir doz barajı gerektirmediği için Eşik Dozsuz Etkiler denmektedir. Radyasyonun neden olduğu genetik etkiler, canlının tüm özelliklerinin şifrelendiği DNA ve proteinden oluşan kromozomlar incelenerek belirlenmeye çalışılmaktadır.

2.13.6 Biyolojik Doz Tayini

Radyasyon ışınlarının etkilerini doğru olarak hesaplamak, nükleer konularda çalışanların yanı sıra halkın çevre sağlığına da hizmet etmektedir. Radyasyon ile kaza ışınlanmalarında, uygun tıbbi tedaviye karar verip gecikmeden başlayabilmek ve kanserlerin tedavisinde tümörlerin radyasyona duyarlılıklarının ortaya konmasında dozun güvenilir yöntemlerle saptanması büyük önem taşımaktadır.

Biyolojik doz tayinleri için hücresel seviyede hemogram, kemik iliği incelenmesi, spermogram, kromozom analizleri, serum analizleri, idrarda aminoasit, ESR spektroskopisi, nötron aktivasyonu gibi birçok değerlendirme kriteri bulunmaktadır. Ancak bir sistemin biyolojik dozimetri amacıyla kullanılabilmesi için birkaç özelliği bir arada bulundurması gerekmektedir.

2.13.7 Biyolojik Doz Tayininde Radyasyon Sitogenetiği

İnsanın dolaşan kan lenfositlerinde kromozom aberasyonlarının analizi esasına dayanan biyolojik doz tayini yöntemi; Radyasyona karşı lenfositlerin çok duyarlı olması, örnek alma ve tekrarlanabilme kolaylığı, in vitro doz-cevap eğrisi elde edilebilmesi gibi avantajları nedeniyle radyasyon kazalarında doz tayini için kullanılmaktadır. Bu yöntemde steril kültür şartları altında bölünmeye teşvik edilmiş lenfositlerin kromozomları özel boyalarla boyanarak ışık mikroskopunda sayılmaktadır. Yayılmış metafaz evresindeki kromozomlarda disentrik, halka asentrikler gibi anormallikler kaydedilir. Bu anormallikler, ışınlanma sonucu oluşan DNA hasarlarının yanlış tamir edilmesi veya tamir edilmeden kalması yoluyla oluşmaktadır.

Radyasyonlar, translokasyonlar dediğimiz ve normal boyama yöntemleri ile ışık mikroskopunda gözlenemeyen kromozomlar arası parça değişimlerine de neden olabilirler. Son yıllarda geliştirilen ve DNA'ya özel boyalarla farklı kromozom çiftlerinin boyanması ve floresan mikroskopunda kromozom yeniden düzenlenmelerinin analizi esasına dayanan FISH (Fluorescence in situ hybridization)

yöntemi ile de boyanmış kromozomlarda geçmiş yıllara ait ışınlanmaların neden olduğu hataları saptamak mümkün olmaktadır.

Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi Radyobiyoloji Bölümünde yer alan Biyolojik Dozimetri laboratuvarında 1988 yılından beri gerek halkın ve gerekse nükleer alanlarda çalışanların biyolojik doz tayinleri yapılmaktadır. Bu kapsamda olmak üzere gama ışınları ve x-ışını doz-cevap eğrileri, elde edilmiş, nükleer alanlarda çalışan pek çok kişinin kromozom analizleri yapılmıştır. Radyasyon kazası geçiren kişilerin düzenli aralıklarla kromozom analizleri yapılmakta ayrıca seçilen yüksek dozlu gruplarda FISH tekniği ile de analizler sürdürülmektedir.

2.13.8 Radyoekoloji

Çevrede doğal olarak bulunan veya insanların çeşitli faaliyetleri sonucu çevreye giren radyoaktif maddelerin çevre elemanları ile etkileşimlerinin ve davranışlarının araştırılması radyoekolojinin çalışma sahasına girmektedir.

2.13.9 Biyokinetik Araştırmalar

Bu kapsamda buldukları ortama göre vücutlarında daha fazla radyoizotop biriktirme özelliğine sahip olan biyoindikatör organizmalar kullanılarak, bunların çeşitli radyoaktif maddelere tepkileri, ne oranda vücutlarında biriktirdikleri, organlardaki dağılımları ve atılım hızları gibi faktörler incelenmektedir. Biyoindikatör olarak seçilecek organizmaların radyoaktiviteyi konsantre etme özelliğinin olması, kolayca bulunabilmeleri, sabit yaşamaları, laboratuvar şartlarına uyum sağlayabilmeleri, geniş coğrafi dağılım göstermeleri gibi şartları sağlaması gerekmektedir. Örnek olarak karada, kara yosunu ve likenleri, denizde ise yosun ve midyeyi verebiliriz.

2.13.10 Ekotoksikolojik Çalışmalar

Toksik ve radyotoksik olarak çevreyi etkileme potansiyelinde olan kirleticilerin canlılar üzerindeki etkileri, konsantrasyonları ve düzeylerinin araştırılması ve toksisite değerlerinin belirlenmesini içermektedir.

Bunların dışında sedimentlerde (deniz, göl, nehir gibi ortamlarda dip birikintilerinde) radyoizotopların hareketi, depolanması, kinetiği ve yıllara göre birikimlerinin saptanması (tarihleme) çalışmaları, suda ve biyotada (suda yaşayan organizmalarda) doğal ve yapay radyoizotop birikim değerlerin konsantrasyon faktörlerinin hesaplanması ve bunlardan toplumun aldığı dozlara geçişler; radyasyon kazaları ve sonrasında çevre için etkilenme derecelerinin değerlendirilmesi, kriz yönetimleri, radyoekolojik ve dozimetrik etkileri araştırma, verilerin toplanması, halkın bilgilendirilmesi gibi çalışmalar radyoekolojinin araştırma konuları arasında yer almaktadır.

ÇNAEM Radyobiyoloji Bölümünde yukarıda sayılan konularda radyoekoloji çalışmaları sürdürülmektedir. Hem kara hem de deniz ortamındaki çevre örneklerinde radyoaktivite düzeylerini ortaya koymak için kapsamlı monitoring çalışmaları yapılmakta, biyoindikatör olan ve olmayan bir çok organizmada (balıklar, deniz salyangozu, midye, yosun vs.) bazı önemli radyoizotopların biyokinetikleri araştırılmaktadır. Radyoaktif olan maddeler yanı sıra çevrede eser element, ağır metaller (çinko, demir, alüminyum, kobalt, krom, kurşun, kadmiyum, nikel ve mangan gibi) ve deterjan kirleticilerin, kimyasal analizleri ve organizmalardaki toksik etkileri, bunların fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreleri (Suda iletkenlik, tuzluluk, sıcaklık, oksijen, çözülmüş oksijen, biyolojik oksijen ihtiyacı, pH, renk, bulanıklık, askıda katı madde, flor, klor, iyot, ozon, nitrit, nitrat, sülfat, amonyak, fosfat tayinleri ve klorofil a, b, c tayinleri ile) saptanmaktadır. (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Radyasyon ve Radyasyondan Korunmak, 1999)

BÖLÜM III

TERMAL SULAR

3.1 Jeotermal Çalışmaları

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları atmosferik sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineraller ve çeşitli tuzlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlar olarak tanımlanabilir. Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanılan, yerin derinliklerindeki "Sıcak kuru kayalar" da jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir.

Suyu ısıtmak ve buharlaştırmak için fosil yakıt kullanılarak çevreyi kirletecek herhangi bir işlem yapılmadığından, jeotermal enerji çevre dostu bir enerji türüdür. Ancak jeotermal akışkanın korozyona ve kireçlenmeye sebep olabileceği, içerdiği bor yüzünden tarımsal sulamaya uygun olmadığı, yapısındaki karbondioksit ve hidrojen sülfür gibi gazların açığa çıktığı bilindiğinden, jeotermal enerji uygulamalarında bazı teknolojik önlemlerin alınması gerekmektedir. Hem rezervuar parametrelerinin korunması hem de jeotermal suyun ve gazların çevreye zarar vermesinin önlenmesi için, tüm dünyada yasalarla zorunlu hale getirilmiş olan reenjeksiyon (akışkanı yer altına geri verme) uygulanmalıdır. Bu durumda jeotermal enerji çevreyi kirletmediği gibi petrol, doğalgaz ve kömür yerine kullanıldığı için döviz tasarrufu da sağlar.

Jeotermal enerji, jeotermal suyun sıcaklığına bağı olarak elektrik üretimi, ısıtma, sağık amaçlı-termalizm, soğıtma, endüstrisinde proses enerjisi, kimyasal madde eldesi vb. alanlarda tek başına veya entegre olarak kullanılmaktadır.

Türkiye jeotermal zenginlik açısından dünyanın 7. ülkesidir. Ülkemizde yüzey sıcaklığı 40°C'nin üzerinde olan 140 adet saha vardır ve bu sahaların 136 tanesi merkezi ısıtması, sera ısıtması, endüstriyel işlemler ısı kullanımı ve kaplıca kullanımı için uygundur. Diğer dört jeotermal saha ise teknik ve ekonomik olarak elektrik üretimi için uygun olarak tespit edilmiştir. Bu sahalarda elektrik üretimine entegre olarak merkezi ısıtma vb. jeotermal uygulamalar da gerçekleştirilebilir. Muhtemel jeotermal potansiyelin bütünüyle değerlendirilmesinin petrol eşdeğeri 9 milyar\$/yıl'dır.

Jeotermal potansiyel açısından zengin olan ülkemizde, her geçen gün artan enerji talebinin sağlanması ve ülke enerji açığının büyümesi riskinin önlenmesi için, bu potansiyeli değerlendirecek ulusal politikaların belirlenmesinde herkese sorumluluk düşmektedir.

3.2 Türkiye'deki Kaynak Durumu

Türkiyede toplam 1000 dolayında sıcak ve mineralli su kaynağı ve jeotermal akışkan kuyu noktası vardır. Bilinen jeotermal alanların %95'i ısıtmaya uygundur, sıcaklığı 40°C'nin üzerinde olan 140 jeotermal alan çoğunlukla Batı, Kuzey-Batı ve Orta Anadoluda toplanmıştır.

Türkiye'deki 140 jeotermal sahanın muhtemel rezervuar sıcaklığı, rezervuarın muhtemel büyüklüğü, bu sahaların yerleşim bölgeleri kullanım bölgelerine uzaklığı ve kullanım bölgelerinin büyüklüğü kriterlerine göre yapılan çalışma sonucunda, jeotermal merkezi ısıtmaya potansiyel aday olduğu saptanan temel 42 yerleşim bölgesi vardır. (Bunların jeotermal merkezi ısıtmaya uygunluğuna, teknik ve ekonomik fizibilitelerin sonuçlarına göre karar verilmelidir.)

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü ve Türkiye Jeotermal Derneğı tarafından yapılan çalışmalara göre, Türkiye'nin muhtemel jeotermal toplam ısıl kapasitesi 31500

MWe ve bununda eşdeğeri beşmilyon konuttur. Şu an için potansiyel aday olabilecek bir milyon konut söz konusudur. Hedef bir milyon konut ısıtması ile 7500 MWe kurulu güç karşılığı yılda 2.5 milyon ton fuel-oil tasarrufu sağlanabilir. Bunun dışında sanayide kullanım ve kaplıca amaçlı kullanımın sağlayacağı ekonomik değer de söz konusudur.

Türkiye dünyada kurulu jeotermal elektrik santralleri içinde 20.4 MWe kapasite ile 14. sırada yer almaktadır. Ancak bu santral 12 MWe kapasite ile çalıştırılmaktadır. Halen Türkiye'de 50 bin konut eşdeğeri jeotermal ısıtma, 200 bin m² sera ısıtması gerçekleştirilmektedir.

Türkiye'de merkezi olarak jeotermal enerji ile ısıtılan yerler: Gönen (3000 konut, 1987), Simav (2500 konut, 1991), Kırşehir (1800 konut, 1994), Kızılcahamam (1500 konut, 1995), Balçova (6000 konut, 1996), Afyon (4000 konut, 1996), Kozaklı (700 konut, 1996). Sıralanan bu sistemlere yeni konut eklenmesi sürmektedir. Afyon ve Kozaklı dışında yukarıda sayılan jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinin tümünde reenjeksiyon uygulanmaktadır. Bu sistemlerin çoğunda yatırımın yaklaşık %35'i kullanıcı tarafından katılım payı ve depozite adı altında karşılanmıştır.

Jeotermal ısıtmada 40-45°C'lik sular kullanılmaktadır. Akışkanın sıcaklığı 40°C'nin altına düştüğünde kaplıca suyu olarak kullanılabilir. Jeotermal akışkanın böyle entegre kullanımı, teknik ve ekonomik avantaj sağlamaktadır.

Yurdumuzda elektrik santralleri kurulabilecek yerler, ısıtmada kullanılacak sahalara oranla azdır. Denizli-Sarayköy'de kurulu bulunan Türkiye'nin ilk ve şimdilik tek jeotermal santrali 20.4 MWe gücündedir. Rezervuar sıcaklığı 200-212°C arasında değişen 9 kuyudan beslenmektedir. Kuyu başında 187°C'da elde edilen 15 bar basınçlı jeotermal akışkana yaklaşık %12 ağırlık oranında kuru buhar 120 ton/saat debiyle türbin-jeneratörü beslemektedir. Sarayköy santralinde buhardan ayrıştırılan karbondioksit gazı atmosfere atılmayıp, santrale entegre olan fabrikada yılda 40 bin ton sıvı karbondioksit ve kuru buz haline dönüştürülmekte, ve Türkiye'nin karbondioksit ihtiyacının %50'sini karşılamaktadır.

Aydın-Germencik'teki jeotermal akışkanın rezervuar sıcaklığının 200-230 °C olduğu ve jeotermal alanın 100 MWe gücünde bir santrali besleyebilecek kapasitede olduğu

bilinmektedir. Aydın-Salavatlı ve Çanakkale-Tuzla'da elektrik santralında kullanılmaya uygun, sırasıyla 171°C ve 173°C sıcaklıkta jeotermal rezervuarlar mevcuttur.

Son uygulamalarda sıcak suyun uzun mesafelere taşınmasında, cam elyafı takfiyeli plastik (CTP) borular kullanılmakta olup herhangi bir paslanma, çürüme, kireçlenme sorunu ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca, ülkemizde imal edilen bu borulara üretim sırasında ısı izolasyonu yapılabildiğinden, su sıcaklığı 1 km'de ancak 0.2-1°C düşmektedir.

Paslanmaz çelik veya titanyumdan yapılmış plaka tipi ısı eşanjörleri hem yüksek verimli, hem de plakaları söküp kolayca temizlenebildiğinden jeotermal akışkanlar için çok uygundur. (Helvacı, 1984)

3.3 Şifalı Suların (Kaplıca ve İçmeler) Faydalı Oldukları Hastalıklar ve Kaplıcalardan Faydalanma Şekli

Kaplıca Mevsimi: Bölgenin iklim şartları dikkate alınarak tespit edilir. Genelde memleketimizde yerleşmiş kaplıca ve içmelerin mevsimi 15 Mayıs - 15 Eylül arasındır.

Kaplıcalarda Tedavi Süresi (Kür): Gerekli faydayı sağlamak için 3 haftalık bir tedavi süresi ve en az 21 banyo tavsiye edilir.

Banyo Zamanı ve Süreler: Banyoya girmeden önce; küçük ve büyük abdest yapmak, banyoda hareketsiz durmak gerekir. Banyodan çıktıktan sonra da; kurulanılmaz, havlu veya bornoza sarılır, ılık odada 1 saat kadar yatılır. Bu süre içinde, vücud terler. sonra giyilir ve 1 saat kadar daha aynı odada kalılır.

Birinci Banyo; Kahvaltıdan önce aç karnına veya kahvaltıdan 1 saat sonra,

İkinci Banyo; Akşam yemeğinden 2 saat önce alınması halinde azami derece fayda sağlanır.

Banyoda kalma süresi: İlk gün 10 dakika; sonrakilerde ise, hastanın bünyesine ve hastalığa göre, 12-20 dakika arasındadır.

İçme Kürü: Kronik hastalıklarda tavsiye edilir. Süresi 3-6 hafta olmalıdır. Birinci gün; aç karnına bir defada 6 su bardağı (1.5 litre); ondan sonraki günler; sabah, öğle ve akşam yemeklerinden yarım saat önce ikişer su bardağı içilir.

3.3.1 Hastalıklar

Böbrek ve idrar yolları hastalıkları: Kronik ve ödemsiz böbrek iltihabları, mesane iltihabı, idrar taşlarıyla ilgili hastalıklarda karbonatlı, hidrokarbonatlı sulardan faydalanılır. Bu suların prostata iyi geldiği tespit edilmiştir.

Deri Hastalıkları: Bütün deri hastalıklarında; tuzlu, kükürtlü ve çamurlu sulardan faydalanılır.

Hormonel hastalıklar: Bu hastalıklara, radyoaktif sular iyi gelir.

Göz Hastalıkları: Kükürtlü ve iyodlu sulardan faydalanılır.

Kadın hastalıkları: Bu konuda doktor tavsiyesi olmadan kaplıca tedavisi uygulanması doğru olmaz. Ateşli kadın hastalıklarında ve hamile kadınlarda kaplıca tedavisi son derece dikkatli ve mutlaka hekim gözetiminde yapılmasında fayda vardır. Bunların dışında aybaşı bozuklukları, kronik rahim hastalıklarında; kükürtlü, çamurlu ve radyoaktif sularından faydalanılır.

Kalb ve kan dolaşımı hastalıkları: İleri derecede kalb, kan dolaşımı ve damar sertliğinde kaplıca tedavisi uygulanmaz. Diğerleri için tuzlu, iyodlu ve radyoaktif sularından faydalanılır.

Mide ve bağırsak hastalıkları: Ağır mide nezlesi, mide tümörü, sifilitik gastrit ve pilor daralmalarında kaplıcalardan faydalanılmaz. Kronik gastrit, kronik bağırsak nezlesi,

bağırsak gazları, hazımsızlık ve kronik kabızlıklarda ise; hidrokarbonatlı, sülfatlı sulardan faydalanılır.

Romatizmal hastalıklar: Akut ve ateşli romatizmada, kaplıca tedavisi uygulanmaz. Kronik romatizmada ise; tuzlu, karbonatlı, sülfatlı, kükürtlü, radio-aktiviteli ve çamurlu sulardan faydalanılır.

Safra kesesi ve Karaciğer hastalıkları: Safra kesesi, karaciğer, pankreas hastalıklarında; karbonatlı, hidrokarbonatlı ve sülfatlı sulardan faydalanılır. İleri safhadaki Siroz'da kullanılmaz.

Sinir sistemi hastalıkları: Siyatik, lumbago, nevralji, nevrasteni, psikasteni ve nevroz gibi sinir hastalıklarında; tuzlu, çamurlu ve radio-aktiviteli sulardan faydalanılır.

Solunum yolu hastalıkları: Astım, bronşit gibi solunum yolu hastalıklarında; tuzlu, iyodlu ve kükürtlü sulardan faydalanılır. İleri derecedeki verem, damar sertliği ve kalb hastalıklarında kullanılmaz.

Şeker hastalığı: Sodyum bikarbonatlı sulardan faydalanılır. (Sağlam, Vedat, 1996)

3.3.2 Şifalı Sular

Adana Haruniye Kaplıcaları

Bikarbonat, kalsiyum, sülfür, magnezyum ve karbondioksit ihtiva eden sulardır. Romatizma, mide-bağırsak, karaciğer, metabolizma bozuklukları ve kadın hastalıklarına iyi gelmektedir.

Afyon Ömer ve Gazlıgöl Kaplıcaları

Alkalik, tuzlu, bikarbonat, florür ve karbondioksit ihtiva eden sulardır. Çocuk hastalıklarına, romatizma, böbrek ve deri hastalıklarına iyi gelmektedir.

Afyon Sandıklı Hudai Kaplıcaları

Kükürt, karbondioksit, bikarbonat ve alkalik maddeler ihtiva eden sulardır. Mide-bağırsak, böbrek, romatizma, kadın ve deri hastalıkları, solunum yolları rahatsızlıkları için iyi gelmektedir.

Ankara Haymana Kaplıcaları

Bikarbonatlı, kalsiyumlu, sodyumlu, magnezyumlu, karbondioksitli sulardır. Mide, böbrek, solunum yolları, kan dolaşımı ve beslenme bozukluğu rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Ankara Ayaş Kaplıcaları

Kalsiyumlu, klorürlü, sodyumlu ve karbondioksitli sulardır. Romatizma, solunum yolları, kan dolaşımı, mide ve beslenme bozukluğu hastalıklarına iyi gelmektedir.

Ankara Kızılcahamam Kaplıcaları

Karbondioksit, klorür, bikarbonat, arsenik ve sodyum ihtiva eden sulardır. Romatizma, mide, solunum yolları, deri, çocuk hastalıkları ve kan dolaşımı rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Antalya Demre İçmeleri

Klorür, magnezyum, hidrojen, sodyum ve sülfür ihtiva eden sulardır. Özellikle mide ve bağırsak rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Bitlis Ilıcaköy Kaplıcası

Sodyum, hidrojen, flüorür, sülfat ve klorür ihtiva eden bir sudur. Romatizma, kadın ve deri hastalıklarına iyi gelmektedir.

Bingöl Kös Kaplıcası

Sodyum, kalsiyum, arsenik, bromür, karbondioksit ve bikarbonat ihtiva eden bir sudur. Romatizma, mide-bağırsak, dolaşım, şişmanlık ve gut hastalıklarına iyi gelmektedir.

Bolu Kaplıcaları

Karbondioksitli, acı bikarbonatlı, radyoaktif, hipertermal sulardır. Böbrek, mide ve kan dolaşımı rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Burdur İnsuyu İçmeleri

Bikarbonat, kalsiyum ve bromür ihtiva eden sulardır. Şeker, mide, bağırsak ve metabolizma bozukluklarına iyi gelmektedir. “İnsuyu Mağarası” adıyla bilinmektedir.

Bursa Kaplıcaları

Bursa'daki kaplıcalar çekirge semtine serpilmiş vaziyettedir. İrili ufaklı birçok kaplıca vardır. Genellikle romatizma, siyatik, cilt hastalıkları, böbrek, idrar yolları hastalıklarına iyi gelen sulardır.

Balıkesir Gönen Kaplıcaları

Sülfat, flüorür, bikarbonat, sodyum, klorür ve magnezyum ihtiva eden sulardır. Romatizma, böbrek, mide, metabolizma bozuklukları ve kadın hastalıklarına iyi gelmektedir.

Bursa İnegöl Oylat Kaplıcaları

Radyoaktif elementler ihtiva eden sulardır. Daha ziyade romatizma hastalıklarına iyi gelmektedir.

Çorum Beke Kaplıcaları

Bikarbonatlı ve sodyumlu sulardır. Böbrek, mide, bağırsak ve beslenme bozukluğu hastalıklarına iyi gelmektedir.

Çankırı-Kurşunlu Çavundur Kaplıcaları

Sülfatlı, alkalik ve bikarbonatlı sulardır. Romatizma, kadın hastalıkları, solunum yolları ve kan dolaşımı rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Diyarbakır Çermik Kaplıcaları

Klorür, sodyum, bikarbonat, bromür, hidrojen ve sülfür ihtiva eden sulardır. Romatizma, kadın ve deri hastalıkları, solunum yolları rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Denizli Pamukkale Kaplıcaları

Kalsiyum, sülfat, bikarbonat ve karbondioksit ihtiva eden sulardır. Romatizma, kan dolaşımı bozuklukları, böbrek, mide ve solunum yolları rahatsızlıkları için iyi gelmektedir.

Germencik Alangülü Kaplıcaları

Klorür, sodyum ve bikarbonatlı sulardır. Romatizma, mide-bağırsak, böbrek, kan dolaşımı, çocuk ve kadın hastalıklarına iyi gelmektedir.

Elbistan Cela İçmeleri

Bikarbonat, kalsiyum, karbondioksit, bromür ve demir ihtiva eden sulardır. Mide-bağırsak ve metabolizma bozukluklarına iyi gelmektedir.

Erzurum Pasinler Kaplıcaları

Klorür, sodyum, bromür, bikarbonat ve karbondioksit ihtiva eden sulardır. Romatizma, mide-bağırsak, böbrek, kadın ve çocuk hastalıklarına iyi gelmektedir. Pasinler ilçesinde üç adet kaplıca ve ılıca vardır. 1. Pasinler Kaplıcası 2. Akdağ Ilıcası 3. Köprü köy Deli çermik Kaplıcası.

Erzincan Eksisu Kaplıcaları

Magnezyum, sodyum, karbondioksit, klorür ve bikarbonat ihtiva eden sulardır.

Romatizma, solunum yolları, mide, böbrek kan dolaşımı, metabolizma ve kadın hastalıkları için iyi gelmektedir

Ezine Kestanbolu Kaplıcaları

Sodyum, demir, klorür ve radyoaktif elementler ihtiva eden sulardır. Romatizma, mide, böbrek, kan dolaşımı ve metabolizma rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Elazığ Kolan Kaplıcası

Kalsiyum, bikarbonat, fosfat, sodyum, bromür, magnezyum, arsenik ve karbondioksit ihtiva eden bir sudur. Romatizma, mide-bağırsak, dolaşım ve solunum yolları rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Fatsa Sarmaşık Kaplıcaları

Kalsiyum, sülfat, sodyum, bromür ve florür ihtiva eden sulardır. Mide-bağırsak, romatizma, sindirim sistemi ve metabolizma bozukluklarına iyi gelmektedir.

Gemlik Armutlu Kaplıcaları

Sülfat, kalsiyum, klorür, sodyum ve bikarbonat ihtiva eden sulardır. Romatizma, böbrek, mide, metabolizma ve kadın hastalıklarına iyi gelmektedir.

Havza Kaplıcaları

Sodyum, bikarbonat ihtiva eden oligometalik sulardır. Romatizma, kadın hastalıkları ve hazım bozukluklarına iyi gelmektedir.

Kırşehir Kaplıcaları

Mahmutlu Kaplıcası, Bulamaçlı Kaplıcası, Terme Kaplıcası. Klorür, bikarbonat, kalsiyum, sodyum, arsenik, karbondioksit ve radyoaktif maddeler ihtiva eden sulardır. Kadın hastalıklarına, romatizmaya, mide ve solunum rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Konya Ilgın Kaplıcaları

Kalsiyum, sodyum, karbondioksit ve bikarbonat ihtiva eden sulardır. Dolaşım sistemi kadın hastalıkları, solunum yolları ve sindirim sistemi rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Kayseri Bayramhacı Kaplıcaları

Klorür, sodyum, kalsiyum, karbondioksit ve bikarbonat ihtiva eden sulardır. Kadın hastalıkları, romatizma, mide, solunum yolları ve kan dolaşım sistemi rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Muğla Köyceğiz Sultaniye Kaplıcaları

Tuzlu, hidrojen, bromür, sülfür, florür ve radyoaktif maddeler ihtiva eden sulardır. Romatizma, metabolizma bozuklukları, deri ve kadın hastalıkları için iyi gelmektedir.

Nevşehir Kozaklı Kaplıcaları

Klorür, sülfat, sodyum, bikarbonat ve kalsiyum ihtiva eden sulardır. Romatizma, böbrek, mide, bağırsak, kadın hastalıkları ve metabolizma bozukluklarına iyi gelmektedir.

Niğde Çiftehan Kaplıcaları

Tuz, flüorür ve toprak alkali ihtiva eden sulardır. Romatizma, böbrek, mide bağırsak rahatsızlıklarına iyi gelir.

Reyhanlı Hamamaş Kaplıcaları

Sülfat, sodyum, klorür, bikarbonat, kalsiyum, bromür, hidrojen, sülfür ve florür ihtiva eden sulardır. Karaciğer, mide-bağırsak, romatizma ve metabolizma rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Rize Andon Kaplıcaları

Sodyum, sülfat, bikarbonat, kalsiyum, mağnezyum, karbondioksit ve demir ihtiva eden sulardır. Romatizma ve böbrek hastalıklarına iyi gelmektedir.

Siirt Billurus Kaplıcaları

Klor, sülfat ve kükürt ihtiva eden toprak karevli sulardır. Romatizma, deri hastalıkları, böbrek, mide-bağırsak ve solunum yolları rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.

Yozgat Sarıkaya Kaplıcaları

Toprak alkali, bikarbonat, demir ve radyoaktif elementler ihtiva eden sulardır. Romatizma, mide, bağırsak, kan dolaşımı ve kadın hastalıklarına iyi gelmektedir.

Turgutlu Urganlı Kaplıcaları

Karbondioksit, bikarbonat, florür ve alkalik sulardır. Mide-bağırsak, kan dolaşımı, romatizma ve deri hastalıklarına iyi gelmektedir.

Muğla Köyceğiz Sultaniye Kaplıcaları

Tuzlu, hidrojen, bromür, sülfür, florür ve radyoaktif maddeler ihtiva eden sulardır. Romatizma, metabolizma bozuklukları, deri ve kadın hastalıkları için iyi gelmektedir.

Tunceli Bağın Kaplıcası

Kalsiyum, arsenik, bikarbonat ve karbondioksit ihtiva eden bir sudur. Romatizma, mide, solunum yolları, deri ve çocuk hastalıklarına iyi gelmektedir.

Yalova Kaplıcaları

Sülfat, sodyum, florür, kalsiyum ve bikarbonat ihtiva eden sulardır. Romatizma, mide-bağırsak ve böbrek hastalıklarına iyi gelmektedir. (Sağlam, Vedat, 1996)

3.4 Dünya Teknolojisindeki Son Durum

Jeotermal enerjinin ısıtma sistemlerinde ve elektrik santrallerinde kullanımı dünyada son yıllarda hızla artmıştır. İlk jeotermal elektrik santrali İtalya-Larderello'da 1904 yılında işletmeye açılmıştır. Türkiye'de ilk uygulama 1964 yılında Gönende bir otelin ısıtılması ile başlatılmıştır. 1996 yılı itibarıyla Türkiyede mevcut 20.4 MWe jeotermal elektrik santralına karşın, dünyada toplam 8600 MWe gücünde jeotermal santral kurulu gücü vardır. Örneğin, A.B.D 2900 MWe, Filipinler 1444 MWe, Meksika 753 MWe, İtalya 626 MWe, Japonya 529 MWe jeotermal santral kurulu gücüne sahiptir.

Dünyada jeotermal enerjinin elektrik santralleri dışında kullanımı, 1996 yılı itibarıyla toplam 11300 MWe güce ulaşmıştır. A.B.D'de 1874 MWe, İzlanda'da 1443 MWe, Fransa'da 599 MWe, İtalya'da 307 MWe ve Türkiye'de 635 MWe düzeydedir.

Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde, dünyada uygulanmakta olan bazı ileri teknolojiler Türkiye'de uygulanmamaktadır. Örneğin; jeotermal elektrik santrallerinde yüksek-orta-alçak basınç kademeli buhar türbinleri kullanılmakta, kuyubaşı seperatörlerinde kuru buhardan ayrılan sıcak su, daha düşük basınçlı ortamlarda yeniden buharlaştırılarak türbinin düşük basınçlı kademeleri beslenmektedir.

Çift buharlaştırmalı sistem (double flash) olarak bilinen bu yöntemle jeotermal enerjinin elektrik enerjisine dönüşüm verimi artırılmaktadır.

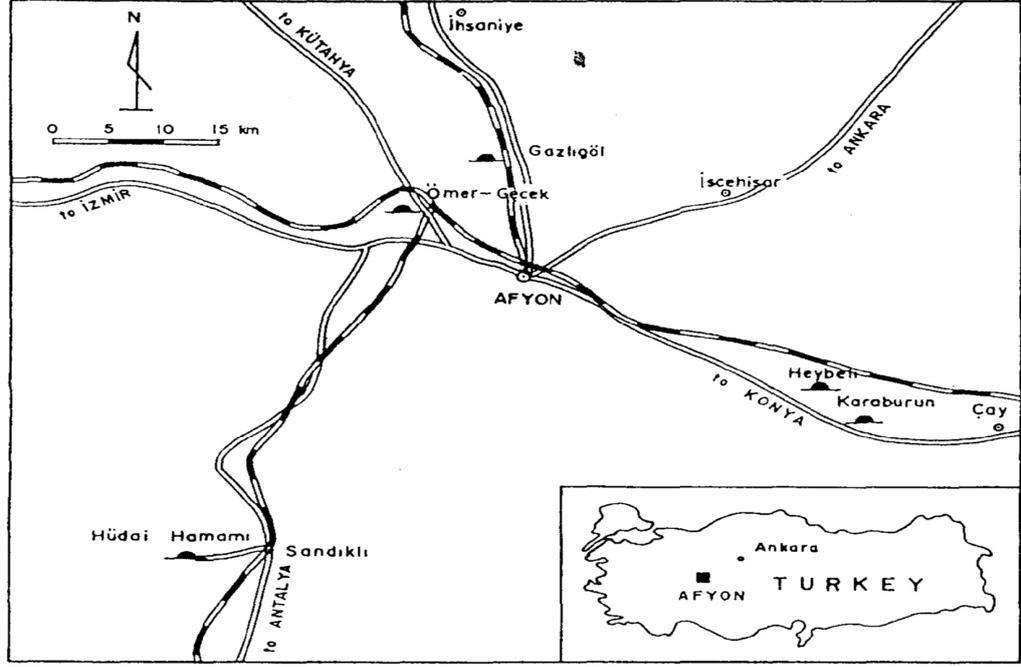
İkili çevrim (binary cycle) elektrik santralleri kullanılmasıyla, 80°C-170°C sıcaklıktaki jeotermal akışkandan da elektrik enerjisi üretilmektedir. Buharı ozon tabakasına zarar vermeyen, zehirli olmayan ve düşük sıcaklıklarda kolayca buharlaşabilen hidrokarbonların (örneğin Klea 134a) kullanıldığı bu tür santraller özellikle A.B.D'de oldukça yaygın olup, santral güçleri 0.3-30 MWe arasında değişmektedir.

Jeotermal enerji, çevre dostu ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması nedeniyle tüm dünyada giderek artan bir önem kazanmaktadır. Bu enerji kaynağı; elektrik üretimi, konut ve sera ısıtmacılığı ile endüstride kullanımının yanı sıra, turistik olarak da yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak kullanımdan sonra dönen jeotermal suyun ortamdaki

ne şekilde uzaklaştırılacağı önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bu suyun değerlendirilmesine ilişkin çeşitli yöntemler mevcut olup, bunlar yüzey boşalımı, suyun arıtılması ve reenjeksiyon olarak sıralanabilir. Jeotermal alanlarda kullanımdan dönen jeotermal suyun yüzey sularına verilmesi sıklıkla kullanılan bir yöntem olmakla birlikte, yüzey sularının kimyasını değiştirerek, kirliliğe neden olmaktadır. Bu yüzden dünyada bir çok jeotermal alanda kullanımdan dönen suyun yüzeye verilmesi, çevre kirliliğine yol açması nedeniyle yasaklanmış durumdadır. Bu durum göz önüne alındığında, kullanımdan dönen jeotermal suyun hem ekonomik yönden, hem de çevresel nedenlerle yeraltına verilmesi en uygun seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, kullanımdan dönen suların reenjeksiyonu jeotermal alanının geliştirilmesi açısından da büyük önem taşımaktadır. Başlangıçta reenjeksiyon, kullanımdan dönen sudan kurtulmak için kullanılan bir yöntem iken, günümüzde rezervuar basıncının korunması yönünden de önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. (Helvacı, 1984)

3.5 Türkiye’de, Afyon Bölgesinde Ömer-Gecek Termal Sularındaki Akışkan Mineral Dengesi ve Kimyasal Jeotermometresi

Ülkemizde yer alan önemli jeotermal alanlardan biri olan Afyon Ömer-Gecek jeotermal alanında jeotermal enerji yoğun olarak kullanılmaktadır. Ömer-Gecek jeotermal sularındaki sıcaklık değişimi 32 °C ile 92 °C arasındadır. Bu sular genellikle Na-Cl-HCO₃ ile zenginleştirilmiş olup derin yerlerindeki suların sıcaklığı 75 °C-155 °C arasındadır. Tablo 3.1’de Ömer-Gecek jeotermal kuyuları ile ilgili veriler detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3.1 Afyon Jeotermal Bölgesi Haritası

Ömer-Gecek bölgesinde yaklaşık olarak 125°C sıcaklıkta olan sulara entalpi-klor karışım modeli uygulanırken kaynatma, derin termal suların soğutulması derin termal sulara soğuk su karıştırılması gibi işlemlerle kimyasal bileşim ve ısı değişimleri ölçülmüştür. Tablo 3.2’de Ömer-Gecek’deki termal sulardan alınan 13 adet numune için yapılan analizlerin sonuçları gösterilmiştir. Ömer-Gecek termal sularının denge durumu Na-K-Mg üçgen diyagramı ile ölçülmüştür. Na-K-Mg diyagramı, K-Mg-Ca diyagramı, $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ ’ dan oluşan diyagramlar sistemi ve son olarak mineraloji değişimi bölgedeki düşük ısılu kuyu suları ve kaynak sularının yüzeysel veya calsid, calcedony ve kaolin ile dengelenmiş karışımlar olarak sınıflandırılabilceğini göstermektedir. Ayrıca Ömer-Gecek’deki suların mineral dengesi CO_2 konsantrasyonu kontrolünde olduğu gözlenmiştir.

Afyon bölgesindeki sular Türkiye’nin en geniş jeotermal bölgesini oluşturmaktadır. Buradaki sular kaplıca, ısıtma sistemleri ve seracılıkta kullanılabilir. Sıcak su kaynakları ve kuyulardan toplam 12 termal ve 1 soğuk su örneği alınmıştır. Örnekler 500 ml’lik polietilen kaplara konulmuştur. Bunlardan birine katyon analizi için 5 ml konsantre HCl eklenmiş bir tanesi de anyon analizi için ayrılmıştır. 50 ml’lik özel bir örnek 1/1 oranında saf suda çözülmüş silika konsantrasyonu 110 ppb.’in altına

indirilmiştir. Na ve K konsantrasyonu alev fotometresi ile saptanmıştır. Ca, Mg, Cl için alkalın analizi ve titrasyon metodu kullanılmıştır. SO₄ konsantrasyonu için iyon kromatografisi kullanılmıştır. Atomik emilim spektrofotometresi ile Fe, Al, SiO₂ ölçülmüştür. Mineralojik analiz ve kimyasal analizler MTA laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Ömer-Gecek bölgesindeki sular Na-Cl-HCO₃ bakımından zengindir. Cl'nin yüksek olması suyun sirkülasyonunun derin olduğunu ve rezervuarda uzun süre kaldığını gösterir. Özellikle şehir ısıtmacılığı ve turistik amaçlı olarak jeotermal suların yararlanılan bu bölgede, kullanımdan dönen jeotermal su Akarçay nehrine boşaltılmakta ve bu durum yüzey sularında kalite değişikliğine neden olmaktadır. Akarçay Havzası'nda yapılan çalışmada, kullanımdan dönen jeotermal suyun Akarçay Havzasındaki yüzey sularında meydana getirdiği kirletici etkiye dikkat çekmişlerdir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre, özellikle Br⁻, F⁻ ve As iyonlarının, termal suların atıklarının Akarçay'a katılım noktasına kadar çok büyük değerler almadığı, termal atık katkısından sonra ise, akım yolu boyunca yüksek konsantrasyonda bulunduğu saptanmıştır. Akarçay'ın bu atıkları doğrudan Eber Gölü'ne taşınması ve Eber Gölü'nün çıkışının kapalı olması nedeniyle, uzun dönemde Eber Gölü'nde bu iyonların konsantrasyonunun yükselmesinin söz konusu olabileceği belirtilmiştir.

Tablo 3.1 Ömer-Gecek Jeotermal Kuyuları İle İlgili Veriler

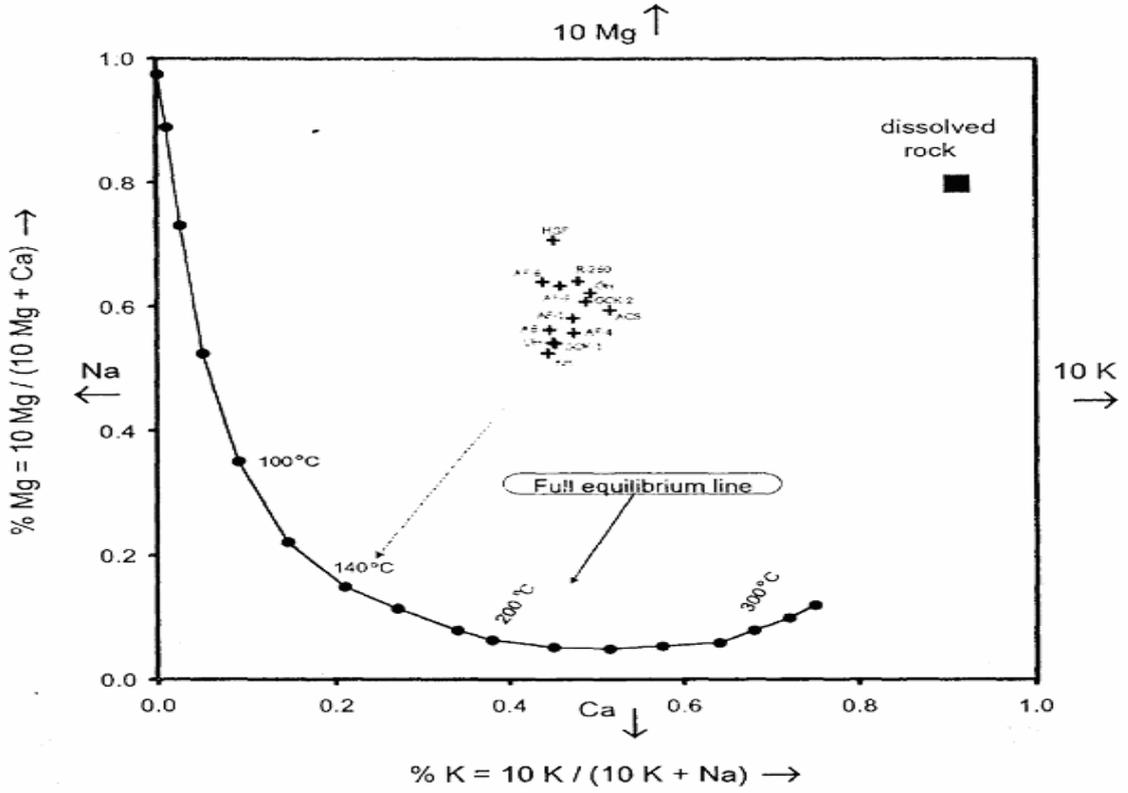
Kuyu No	Kuyu (m)	Derinliği	Üretim Seviyesi (m)	Rezervuar Taşları	Kuyu Sıcaklığı (° C)	Akıntı (l/s)	Yıl
1	902		640	quartz-mica schist	97,4	20	1974
2	165		158	marble schist	95	18	1971
3	250		185	mica-calc schist	97	50-60	1975
4	125,7		60	limestone-marble schist	95	6	1982
5	270,4		125	marble schist	79	4	1982
6	211,4		137	quartzite-mica schist	92	6	1982
7	210		152	marble-schist cong.	93	05.Haz	1984
8	250		165	marble-mica schist	60	05.Eki	1984
9	320		165	basalt-sandstone cong.	51	62	1990
10	318,4		280	marble schist	96	73	1990
11	250			basalt-sandstone cong.	54	15	1990
12	56,8		40	marble schist	96	>150	1996
13	185		120	marble schist	98	150	1996
14	58,7		53	marble schist	86	not prod.	1996

Tablo 3.2 Ömer-Gecek'teki Suların Kimyasal Analizi

Örnek No	T	pH	K	Na	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄	Cl	Fe _T	Al	SiO ₂	Li	TDS	C.B %
1(w)	88	6,7	144	1600	214,6	30	1628	494	1754	1	<0,02	142	1,5	6018	0,16
2(w)	92	6,7	158,7	1750	78,8	9,96	1294	537	1862	0,4	<0,03	198	1,6	5900	0,17
3(w)	62	6,95	101,7	1300	205	36,5	1397	450	1261	0,19	<0,04	54	1,9	4816	3,79
4(w)	47,5	6,25	54	635	157	27,3	1007	207	544	1,4	<0,05	173	1,1	2807	4,57
5(w)	87	7,1	156,8	1700	105,8	18,9	1350	514	1842	0,2	<0,06	170	1,6	5869	0,15
6(w)	51	6,4	64,1	780	135,8	32,9	1025	237	812	<0,1	<0,07	161	0,9	3253	0,66
7(s)	49,5	6,8	117,3	1200	234	38,5	1111	855	1177	1,34	<0,08	94	1,8	4837	0,54
8(s)	42	6,3	108	1301	163	19,3	1153	525	1505	<0,1	<0,09	86	1,4	4869	2,3
9(s)	41	6,7	147	1541	157,6	24,5	1206	508	1784	<0,2	<0,10	90	1,6	5467	0,15
10(w)	67,5	7,7	120	1460	146	17,4	1135	504	1723	<0,3	<0,11	102	1,5	5217	1,57
11(s)	62,5	6,8	118,1	1460	167,6	21,6	1202	498	1723	0,2	<0,12	84	1,5	5284	1,24
12(s)	32	6,5	120	1494	190,6	21,2	1312	513	1772	<0,1	<0,13	120	1,6	5553	1,76
13(s)	14	6,95	1,4	13,1	110	16,2	281	45,1	29,1	0,28	1,5	27	<0,1	525	7,51

C.B:charge-balance of the water

TDS:total dissolved solids



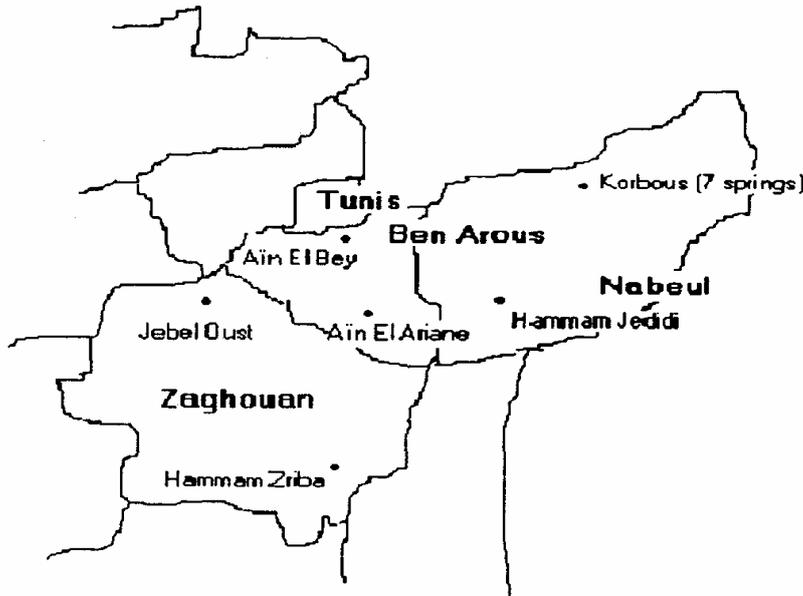
Şekil 3.2 Ömer-Gecek Termal Sularındaki 10K/(10K+Na) ve 10Mg/(10Mg+Ca) Gösterimi

MTA tarafından 2000 yılında Afyon Ömer-Gecek sahasında üretim amaçlı kullanılmayan AF-1, R-260, AF-3, AF-4 ve AF-22 numaralı kuyularda reenjeksiyon testleri yapılmıştır.

Bu testler sonucunda AF-4 ile AF-22 numaralı kuyuların yüksek su alma kapasitesine sahip olduğu ve reenjeksiyon kuyusu olarak kullanılabilceği belirtilmiştir. Bu çalışma kapsamında, HSTD (The Heat and Solute Transport Program) model programı kullanılarak, Ömer-Gecek jeotermal alanında farklı derinlikteki kuyularla reenjeksiyon yapılması sonucunda termal akiferdeki basınç ve sıcaklık koşullarında ne tür değişikliklerin meydana geleceği ve kullanımdan dönen jeotermal suyun hangi derinliğe verilmesinin daha uygun olacağı belirlenmiştir. Afyon Ömer-Gecek alanında Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfileri temeli oluşturmaktadır. (Halim Mutlu,1997)

3.6 Tunus Termomineral Kaynakları İçindeki Doğal Radyoaktif Çekirdekleri

Bazı Tunus termomineral kaynakları (11 sıcak mineral kaynağı ve 1 soğuk kaynak) için ilk olarak radyokimyasal ayırma yöntemi kullanılır. Elde edilen sonuçlar ^{238}U aktivite yoğunluğunun 1.5 ve 43 mBq/l arasında değiştiğini göstermektedir. ^{234}U ve ^{226}Ra 'nın ölçülen aktiviteleri sırasıyla, 1.1'den yaklaşık 82.2 mBq/l'ya ve 34'den 3900 mBq'ya kadar değişim göstermektedir. $^{226}\text{Ra}/^{234}\text{U}$ aktivite oranı yüksektir ve bu oran 9.0-691.0 arasındadır.



Şekil 3.3 Kuzeydoğu Tunus'daki 12 Termo Mineral Kaynağın Gösterimi

U, Th ve Ra aktiviteleri dünyanın diğer yerlerinde olduğu gibi yayınlanmaktadır. Sadece Aïn Oktor soğuk mineral suyundaki aktivite çok düşüktür ve bu sulardaki sağlık tehlikesinin düşük olmasını ummalıyız.

Uranyum ve Toryum izotoplarının analizinde kimyasal araştırmadan sonra, iyonizasyon odalarında spektrometre kullanılırdı. İyi bir sonuç elde etmek için 27 saat örnekler spektra edilirdi. Bu kimyasal yöntem Fransa'daki OPRI laboratuvarında kullanılırdı. U izotopunun ayrılmasında α spektrometresi kullanılmıştır. Sonuçta ele alınan kaynak içerisinde %60-%90 Uranyum elde edildi. Th izotopunun ayrışması ile %60-%70 arasında Th elde edildi. Radyum-226'nın ayrışması yönteminde fotomultiplier sayacı kullanıldı.

Ele alınan bütün örnekler için ^{226}Ra , Th ve U izotoplarının elde edilen aktivasyon yoğunlukları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.3 Tunus'taki Termomineral Suların Fiziko-Kimyasal Yapıları

Kaynaklar	Aïn										Hammam Jedidi	Jebel Oust	Hammam Zriba
	El Bey	Aïn Ariane	Aïn Oktor	Aïn Sbia	Aïn Echfa	Aïn Arraka	Aïn Fakroun	Aïn Atrous	Aïn Kalaasrira	Aïn Hammam			
pH	6,49	6,38	7,24	6,75	6,76	6,92	6,61	6,95	6,43	6,6	6,92	6,86	
Kuru Artık (mg/l)	16,3	16,98	1548	12,212	11,8	11,1	12,1	12,86	12,1	19,448	18,76	4340	
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	43	46	19	50	59,5	45	37	58,6	44	60	54	44	
Akış Artışı (l/s)	2	2,5	0,3	0,7	22	0,5	1	39	1,4	15	Mar.15	Ağu.60	
Ca^{2+} (mg/l)	1236	1900	153	1087,5	811,6	912,5	1027,5	966	1030,5	1734	1568	912,5	
Mg^{2+} (mg/l)	166	198	54,4	194,5	169,5	179,5	193,5	197	188	144	198	144,5	
Na^+ (mg/l)	4028	4232	312	2821,5	3686,5	2568	2834	2891,5	2773	5770	4810	1019,5	
K^+ (mg/l)	82	124	5,4	51	113,5	51	50	51	47,5	116	120	22	
HCO_3^- (mg/l)	610	597,8	329	536,8	512,4	524,6	561,2	512,4	536,8	439,2	549	280,6	
SO_4^{2-} (mg/l)	792	950	221	2115,5	2109	1840	1938	2025,5	1371,5	1240	1868	2159	
Cl^- (mg/l)	8704	9376	577	5777	6083	5170	5927	5585,5	5973,1	11,112	8890	1982	
NO_3^- (mg/l)	16	n.d	1,85	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	19,08	16,92	n.d	
F ⁻ (mg/l)	2,5	2,5	0,35	3,2	2,8	2,8	1,15	3,4	2,3	3	3	2,4	

Aynı örnekler için $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ve $^{226}\text{Ra}/^{234}\text{U}$ oranları ele alındığında ise aşağıdaki tablo elde edilmiştir.

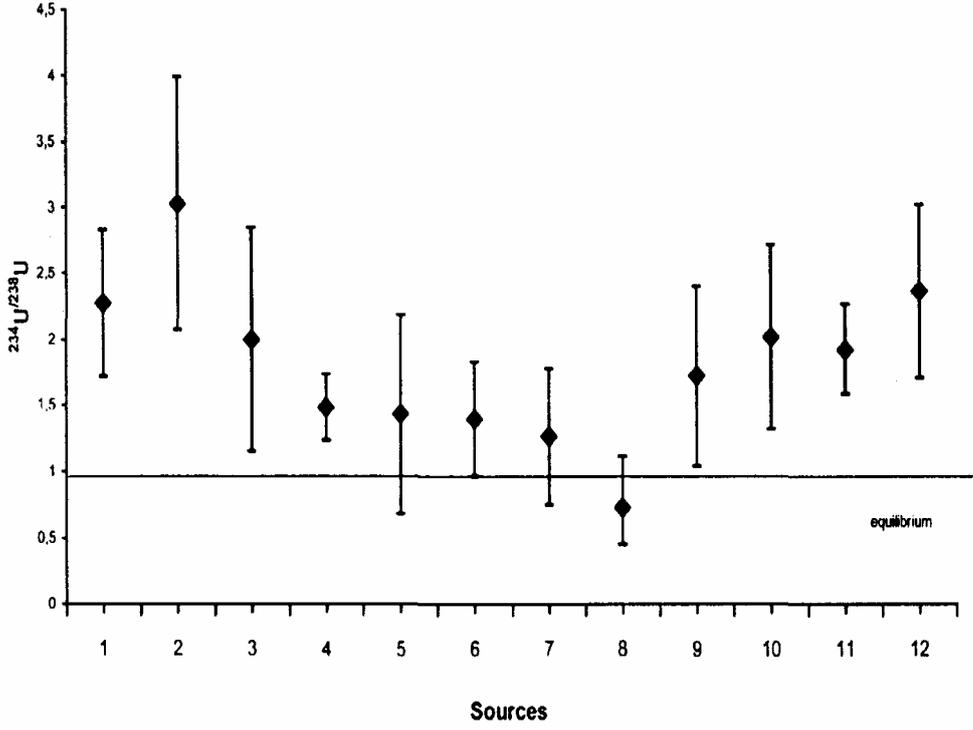
Tablo 3.4 Tunus'ta 12 Termomineral Suyundaki Doğal Radyoaktif Nükleidler

Kaynaklar	²³⁸ U	²³⁴ U	²³⁵ U	²³² Th	²³⁰ Th	²²⁸ Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K
Aïn El Bey	5,1±1,02	11,6±1,74	<1,5	<4,5	3,8±1,63	8,1±1,86	550±26	2800
Aïn El Ariane	3,4±0,92	10,3±1,75	<,0	<4,6	4,8±1,76	2,1±0,31	110±3	3900
Aïn Oktor	1,9±0,63	3,8±1,03	<2,5	<2,9	4,5±1,39	2,3±0,87	34±1	<2400
Aïn Sbia	21,0±2,52	31,1±3,73	<2,5	<4,3	6,0±1,56	2,9±0,37	600±26	<2600
Aïn Echfa	1,6±0,65	2,3±0,78	<1,4	<4,0	10,8±2,05	20,0±3,0	760±33	3200
Aïn Arraka	3,8±0,87	5,3±1,11	<1,9	<3,2	6,7±1,34	21,4±2,57	480±24	<2500
Aïn Fakroun	3,4±1,05	4,3±1,12	<1,3	<2,7	6,6±1,38	12,1±1,81	600±28	<2400
Aïn El Atrous	1,5±0,58	1,1±0,39	<1,6	<3,7	7,1±1,42	7,8±1,48	760±33	<2600
Aïn Kalaasrira	2,5±0,80	4,3±1,03	<1,9	<3,0	4,1±1,18	13,1±1,96	440±22	<2500
Hammam Jedidi	8,4±2,43	17,0±3,23	<3,7	<3,4	8,0±1,84	10,2±1,94	1100±66	3500
Jebel Oust	42,7±7,26	82,2±4,93	<4,0	<3,4	7,6±1,52	29,6±3,55	3900±21	3800
Hammam Zriba	8,9±2,05	21,0±3,36	<1,8	<3,1	5,2±1,45	<3,7	270±26	<2400

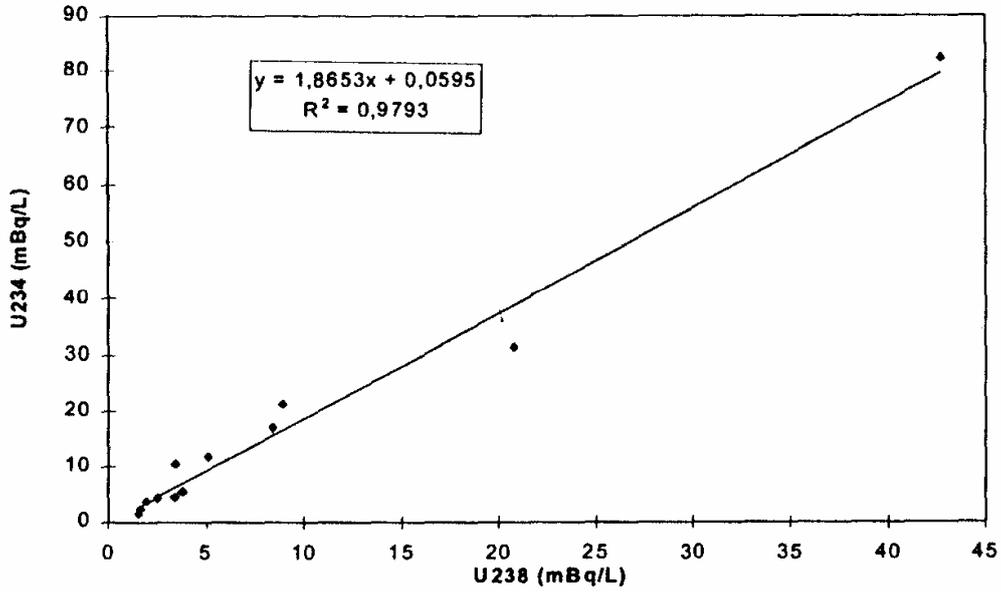
Tunus'taki suların içindeki ²³⁸U aktivitesi 42.7 mBq/l'dan 1.5 mBq/l'ya kadar değişmektedir.

Tablo 3.5 ²³⁴U/²³⁸U ve ²²⁶Ra/²³⁴U Oranları

No	Kaynaklar	²³⁴ U/ ²³⁸ U	²²⁶ Ra/ ²³⁴ U
1	Aïn El Bey	2,3±0,6	47,5±7,5
2	Aïn El Ariane	3,0±1,0	11,0±2,0
3	Aïn Oktor	2,0±0,9	9,0±1,14
4	Aïn Sbia	1,5±0,3	20,0±2,5
5	Aïn Echfa	1,5±0,8	330,5±43,0
6	Aïn Arraka	1,5±0,5	91,0±20,0
7	Aïn Fakroun	1,3±0,5	140,0±37,0
8	Aïn El Atrous	0,8±0,4	691,0±39,0
9	Aïn Kalaasrira	1,8±0,7	102,5±25,0
10	Hammam Jedidi	2,0±0,7	65,0±13,0
11	Jebel Oust	2,0±0,4	47,5±3,0
12	Hammam Zriba	2,5±0,7	13,0±2,5



Şekil 3.4 $^{234}/^{238}\text{U}$ Aktivitesi Oranı Gösterimi



Şekil 3.5 ^{234}U ve ^{238}U Aktiviteleri Arasındaki İlişki

Ra için aktivite 34 mBq/l ve 3900 mBq/l arasında değişmekte olup aktivite oranları 9.0 ve 691.0 mBq/l arasındadır. Bu çalışma Tunus'taki 12 termomineral kaynaktaki farklı radyokimyasalları ve analiz metotlarını göstermektedir.

Sonuçta Tunus doğal kaynak sularında U, Th ve Ra'da yada $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ oranında anormal bir değişiklik görülmemiştir. Bu sulara genelde düşük Uranyum radyoizotopu ve yüksek oranda ^{226}Ra aktivitesi üzerinde çalışılmıştır. WHO, Aın Oktor kaynak sularındaki etkili yıllık tüketim dozunu hesaplayarak şu şekilde tavsiye etmektedir. $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ için; 0.8-3.0, $^{226}\text{Ra}/^{234}\text{U}$ 11.0-691.0. (S. Labidi, 2002)

3.7 Ürdün Doğal Sularındaki Farklı Tiplerdeki Radonun Ölçülmesi

Ürdün doğal su kaynaklarındaki farklı tiplerde Radon (^{222}Rn) konsantrasyonunun elde edilmesi için CR-39 plastik detektör kullanılır. ^{222}Rn 'nin aktivite yoğunlukları aşağıdaki şekildedir.

Soğuk kaynak suyu: 3.3-10.7 Bq/l

Sıcak kaynak suyu: 3.2-5.5 Bq/l

Kuyu suyu: 3.1-5.7 Bq/l

İçme suyu: 2.5-4.7 Bq/l

Deniz suyu: 4.3-6.3 Bq/l

Doğal taşların birçoğunda ^{238}U parçacığı bulunmuştur. Granit içeren asidik mağmatik taşlar gibi genellikle daha çok radyoaktif element çökelti taşları ve bazalt gibi temel mağmatik taşlarda ^{238}U bulunmuştur.

Toprak ve taşlardaki radyo elementler, Radium ve Radon elementleri olup su içerisinde gözeneklerden geçerek sızarlar. Doğal kaynaklardaki ^{222}Rn aktivitesi ölçülmesi çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Bu yöntemler gama ışını spektrometresi, iyonizasyon odası ve sıvı sintilasyon sayacıdır. Bununla birlikte CR-39 plastik detektör yöntemi çok ekonomik ve güvenilir bir yöntemdir. Bu detektör ≥ 100 keV enerjili alfa parçacıklarına duyarlıdır ve kaydedilebilir. Bu çalışmada Ürdün'deki farklı bölgelerde yapılan çalışmalar örnek olarak verilmiş ve aşağıdaki tablo 3.6'da elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 3.6 Farklı Su Örnekleri İçin Radon Konsantrasyon Seviyelerinin Sonuçları

Örnek Kodu	Yer	Yer altı Suyu Havzası	Radon (Bq/l)	Yoğ Ortalama (Bq/l)	Radon Yoğ.	Sıcaklık(°C)
CSW1	Rahoob	Irbid	5,4			26
CSW2	Suker	Irbid	7,7			23
CSW3	Sheha	Irbid	4,9			22
CSW4	Abdeh	Irbid	3,6			21
CSW5	Altrab	Irbid	4,4			24
CSW6	Hobras	Irbid	4,4			22
CSW7	Gweelba	Irbid	3,9			23
CSW8	Hhemara	Madaba	3,3	5,4±0,8		21
HSW1	Al-hima	Irbid	3,3			40
HSW2	Al-shoneh	Irbid	3,5			42
HSW3	Ma'in-shalal	Madaba	3,2			45
HSW4	Ma'in-magara	Madaba	3,7			44
HSW5	Ma'in-pool	Madaba	4,1			48
HSW6	Zarah 1	Dead Sea Area	3,5			30
HSW7	Zarah 2	Dead Sea Area	5,5	3,8±0,5		31
WW1	Arab Valley	Irbid	4,7			30
WW2	Arab Valley	Irbid	4,8			32
WW3	Arab Valley	Irbid	5,7			28
WW4	Arab Valley	Irbid	3,1			40
WW5	Arab Valley	Irbid	4	4,5±0,8		26
SW1	Arab Dam	Irbid	4,7			23
SW2	Dead Sea	Dead Sea	6,3			28
SW3	Aqaba Gulf	Aqaba	4,3	5,1±0,9		33
DTW1	Arab Valley	Irbid	4,7			25
	Yarmouk					
DTW2	Univ.	Irbid	2,5			20
DTW3	Zarga Ma'in	Madaba	2,9			22
DTW4	Sarah	Al-kerak	4,1			22
DTW5	Al-hasa	Tafilah	4,4	3,7±0,8		22

Havadaki Radon konsantrasyonu aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$C_a = C_0 t_0 \rho / \rho_0 t \quad (3.1)$$

C_0 = Radon aktivite konsantrasyonu

t_0 = Ayarlama zamanı

ρ_0 = Detektörün yüzey yoğunluğu

ρ = Ölçülmüş yüzey yoğunluğu

$t = \text{Zaman (örnek için) (2160 h)}$

Su içerisindeki Radon aktivite yoğunluğu aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$C_w = \lambda C_a h t / L \quad (3.2)$$

$C_w = \text{Radon aktivite yoğunluğu}$

$\lambda = \text{Bozunum sabiti}$

$t = \text{Zaman}$

$L = \text{Derinlik}$

Soğuk su kaynaklarında (CSW), yoğunluk 3.3'den 10.7 Bq/l arasında olup, ortalama $5.4 \pm 0.8 \text{ Bq/l}$ 'dir. Sonuç olarak; Ürdün'deki farklı doğal kaynak sularından örnekler ele alınarak soğuk kaynak sularındaki ortalama Radon seviyesi 5.4 Bq/l olarak tespit edilmiştir. Ürdün'deki en yüksek Radon seviyesi $4.5 \pm 0.9 \text{ Bq/l}$ olarak ölçülmüştür. (B. A. Al-Bataina, 1997)

3.8 Şam'da Bulunan Akufer Kireçtaşı Sistemlerindeki Büyük Karst Kaynaklarında Yapılan Çevresel İzotop Çalışması: Figeş ve Barada Kaynakları

Şam'da bulunan akufer kireçtaşı sistemlerindeki birçok kuyu ve karst kaynakları kimyasal ve çevresel izotop teknikleri ile incelenmiştir. Karst kaynak suları atmosferik suların direkt olarak süzülmesinden oluşmuştur. Figeş ana kaynağından çıkan su Barada kaynağından çıkan suya göre daha düşük sabit izotop konsantrasyonuna sahiptir. Sabit izotoplar Figeş ana kaynağının (1750 m) dolun bölgesinin, Figeş yan kaynağından (1500 m) ve Harouch (1300 m) kaynağından daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.7 Yeraltı Sularından Toplanan Örneklerin Genel Karakteristikleri

a No	Yer	Örnek No	Örnek Tipi	Yükseklik	Akuferin Tipi	Derinlik
1	Tichreen	1	well	710	Alluvial-Proluvial	15
2	Mazraa	1	well	710	Alluvial-Proluvial	80
3	Ghotta	1	well	640	Alluvial-Proluvial	80
4	Zibdeen	1	well	640	Alluvial-Proluvial	20
5	Ifrac	2	spring	1460	Cenomanian-Turonian complex	
6	Bidda	2	spring	1720	Cenomanian-Turonian complex	
7	Hourirah	2	spring	1500	Cenomanian-Turonian complex	
8	Boukeen	2	spring	1260	Cenomanian-Turonian complex	
9	Abou-Zad	2	spring	1600	Cenomanian-Turonian complex	
10	Sarada	2	spring	1380	Lower-Upper Jurassic coplex	
11	Rawada	2	well	1280	Lower-Upper Jurassic coplex	265
12	Zabadani (W1)	2	well	1115	Lower-Upper Jurassic coplex	70
13	Zabadani (W2)	1	well	1160	Lower-Upper Jurassic coplex	60
14	Der Mokaren	2	well	980	Cenomanian-Turonian complex	220
15	Al-Dawlah	1	well	1660	Cenomanian-Turonian complex	60
16	Ain Nsour	2	spring	2240	Cenomanian-Turonian complex	
17	Ain Aourk	2	spring	1280	Cenomanian-Turonian complex	
18	Ain Hour	1	spring	1450	Lower-Upper Jurassic coplex	
19	Figeh (MS)	20	spring	860	Cenomanian-Turonian complex	
20	Figeh (SS)	20	spring	860	Cenomanian-Turonian complex	
21	Figeh (P*45)	1	piezometer	860	Cenomanian-Turonian complex	20
22	Figeh (p*43)	1	piezometer	860	Cenomanian-Turonian complex	20
23	Figeh (P*14)	1	piezometer	860	Cenomanian-Turonian complex	20
24	Harouch	20	spring	860	Cenomanian-Turonian complex	
25	Barada (S)	20	spring	1100	Cenomanian-Turonian complex	
26	Barada ®	18	river	840	Lower-Upper Jurassic coplex	

(W2):well number, (MS):main spring, (P):piezometer, (S):spring, (R):river,

Barada kaynak suyu 1250 m yükselerek bir havzada dolmaktadır. Sabi izotop konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi, trityum içeriği ve hidrokimya Figeh ana ve yan kaynakları arasında özellikle sel dönemlerinde bir bağlantı olduğunu göstermektedir. Harouch ve Figeh kaynakları arasında bağlantı olmadığı ise izotop bileşimlerinden görülmektedir. Figeh ana kaynağındaki yer altı sularının yapılına süresi 50 yıldır. Bu bölgede araştırmalar için iki çeşit örnekleme yapılmıştır. İlkinde örnek alınmasına 29 Haziran 1989'da başlanılmış, ana kaynaktan 1990 Haziran sonuna kadar (sel döneminde) her ay bir örnek alınmıştır. İkincisinde ise yine Haziran 1989'da başlanmış ve havzadaki kaynaklar ve kuyulardan (yağmurlu ve kurak dönemlerde) iki defa örnek alınmıştır. Toplanan sular izotop ve kimyasal analizler için üç şişede toplanmıştır. Ürdün'de, Amman laboratuvarında yapılan analizlerde kullanılan izotoplar ^{18}O , ^2H ve Trityumdur. (Z. Kattan, 1997)

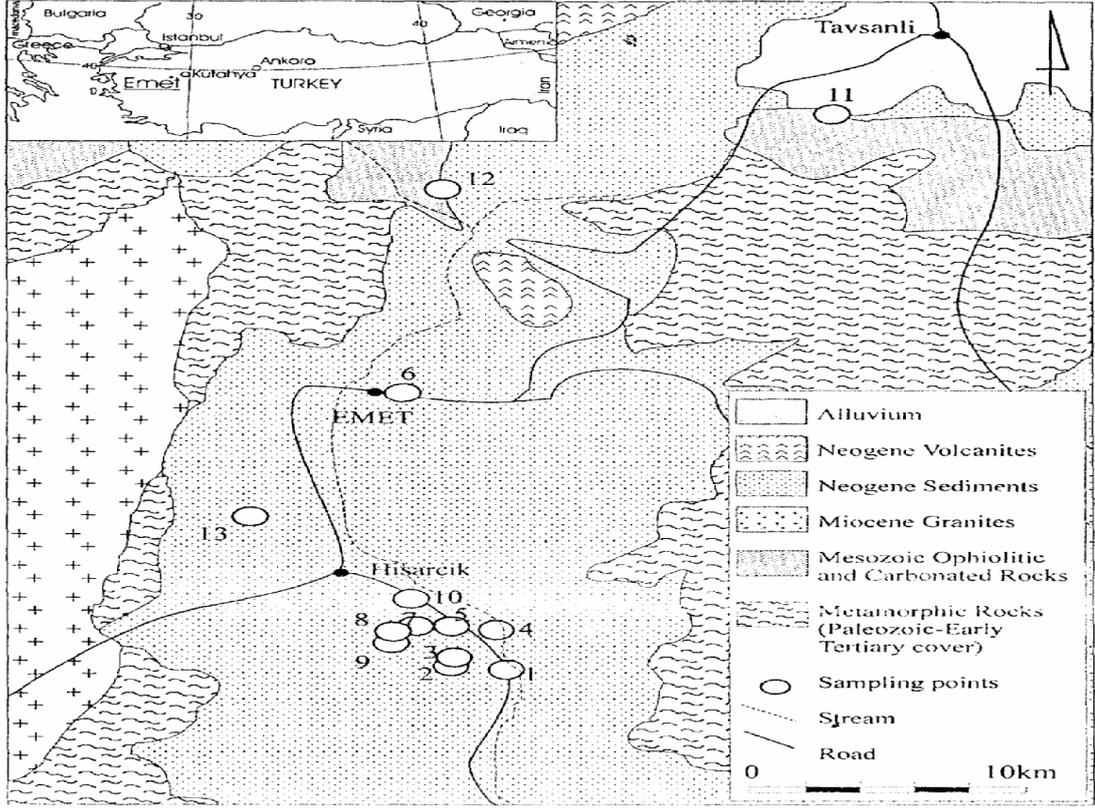
3.9 İsviçre'deki Jeotermal Enerjinin Yükselmesi İçin Uzun Dönemli Yeni Bir Taslak Programı

2001 yılında İsviçre Federal Ofisinin 'Swiss Energy' olarak adlandırdığı 10 yıllık bir program başlatıldı. Bu programın başlıca amacı daha çok enerjiyi korumak, yenilenebilir enerjinin katkısını artırmak ve CO₂ emilimini azaltmaktır. Bu yüzden İsviçre Jeotermal Derneği (SGS) ulusal seviyede jeotermal enerjinin uygulanmasını yükseltmek için harekete geçti. Bu yeni programın hedefi bu alanla ilgili bütün verileri birleştirip bir arada toplayarak gelecek için potansiyel oluşturmaktır. Programın temelinde 5 aktivite bulunmaktadır: bilgi, temel ve sürekli eğitim, pazarlama, kalite sigortası ve danışmanlık hizmetleri. İsviçre'de, farklı dillerin konuşulduğu 3 ayrı bölgede merkezler kurulmuştur. Bu merkezler İtalyanca, Fransızca ve Almanca konuşulan bölgelerdir. Yarı zamanlı (Part-time) çalışan 13 uzman görevlendirilmiştir.

2001'deki ilk başlangıcından bu yana, bu program hedefine ulaşmış, gereken finans desteğini sağlayanlara, çalışan uzmanlara teşekkür etmiştir. Programın 2001'deki yıllık bütçesi 250.000 İsviçre Frangı (170.00 Euro) idi. (François-D. Vuataz, 2003)

3.10 Emet Bölgesindeki Termal Sulardaki Hidrojeokimyasal ve Hidrojeoloji Araştırmaları (Kütahya)

Emet bölgesindeki termal sular genellikle metamorfik taşlara ev sahipliği yapmaktadır. Yüzeydeki sıcaklık 33 °C ve 54 °C arasındadır. Buradaki termal suların birçoğu Ca-Mg-SO₄-HCO₃ olmasına karşın birkaç tane Ca-Na-HCO₃, Na-Ca-SO₄ ve Ca-Mg-HCO₃ içeren sularda bulunmaktadır. Termal sulardaki kalsiyum miktarı 89-354 mg/kg dır.



ŞEKİL 3.6 Emet Bölgesindeki Numune Yerleşim Yerlerine Göre Jeolojik Harita

Tablo 3.8 Emet'teki Termal Sularda Bulunan Radyoizotopların Kimyasal Analizleri

No	Tarih	T	pH	pH (ölçülen)	EC ($\mu\text{S/cm}$)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	B	Li	Al	Si	Su Tipi
1	2000	43	7,11	6,34	1350	18,8	5	230,8	45	11	295,2	541,9	0,1	0,038	0,039	14,1	Ca- Mg- SO ₄ - HCO ₃
2	2000	54	7,1	6,39	1041	12,7	3,29	176,8	32	11	324,5	319,7	0,26	0,039	0,039	19,5	Ca- Mg- SO ₄ - HCO ₃
3	2000	43	7,1	6,47	1015	13,1	3,5	166,4	36	11	287,9	335	0,26	0,048	0,039	22,4	Ca- Mg- SO ₄ - HCO ₃
4	2000	38	6,9	6,27	1830	14,9	5,36	354	62	12	292,8	839,5	0,91	0,031	0,053	15,2	Ca- Mg- SO ₄ - HCO ₃
5	2000	13	7,25		1606	13,3	4,22	298,8	50	13	273,3	749,8	0,91	0,029	<0,025	20,9	Ca- Mg- SO ₄ - HCO ₃
6	2000	48	7	6,63	646	10,1	6,13	89,6	23	14	275,7	87,2	0,48	0,013	<0,025	19,5	Ca- Mg- SO ₄ - HCO ₃
7	2000	15	7,2		962	9,2	2	226,8	69	50	458,7	433,7	1,44	0,1		9,3	Ca- Mg- SO ₄ - HCO ₃
8	2000	46	6,47	6,3	1269	6,2	1	288	58	17	283,1	772,8	0,5	0,04		15,1	Ca- Mg- SO ₄ - HCO ₃
9	2000	49	6,45	6,24	1346	7	1	297,2	58	17	287,9	792,6	0,5	0,04		15,3	Ca- Mg- SO ₄ - HCO ₃
10	2000	15	7,09		1636	8,5	0,6	353,6	73	20	331,8	1019	1,75	0,1		15	Ca- Mg- SO ₄ - HCO ₃
11	1984	33	7,8	6,63	500	10	1,8	78	21	5,7	348	29	3		0,01	4,2	Ca- Na- HCO ₃
12	1984	39	6,7	6,09	1060	110	9,6	139	28	27	756	51	1,6	0,3	0,138	6	Ca- Na- HCO ₃
13	1984	43	7,1	6,58	2250	340	71	204	61	88	305	1309	5,2	0,2	0,081	14	Ca- SO ₄

Tablo 3.9 a)Süngertaşı Örneği İçin İstatistiksel Özet b)Kil Taşı Örneği İçin İstatistiksel Özet

Oxide %	(a)				(b)					
	Ortalama	S.D	Max.	Min.	Alan	Ortalama	S.D	Max.	Min.	Alan
SiO ₂	58,65	7,33	67,5	48,02	19,48	49,11	2,82	52,5	44,64	7,86
Al ₂ O ₃	15,17	1,62	17,76	13,15	4,61	16,03	6,43	21,03	11,35	9,68
TiO ₂	0,51	0,13	0,7	0,38	0,32	0,53	0,14	9,82	0,34	0,48
Fe ₂ O ₃	2,22	0,82	3,75	1,26	2,49	3,88	1,11	5,62	1,82	3,8
FeO	0,8	0,65	2,06	0,36	1,7	0,79	0,27	1,18	0,46	0,72
MgO	4,89	1,26	6,16	2,53	3,63	7,54	3,34	14,59	4,12	10,07
CaO	2,96	2,48	7,91	1,25	6,74	2,74	2,37	7,4	0,28	7,12
Na ₂ O	0,42	0,24	0,85	0,17	0,68	0,7	1,27	4,08	0,16	3,92
K ₂ O	8,27	0,7	9,66	7,38	2,28	4,28	1,85	6,01	0,09	5,92
MnO	0,05	0,03	0,1	0,03	0,07	0,08	0,04	0,15	0,03	0,12
P ₂ O ₅	0,11	0,04	0,16	0,07	0,09	0,19	0,13	0,47	0	3,57
H ₂ O	2,44	2,96	5,69	0	5,69	10,51	2,36	15,41	7,66	7,75
CO ₂	0,03	0,09	0,24	0	0,24	0,98	1,37	3,57	0	3,57
B ₂ O ₃	0,18	0,2	0,58	0	0,58	0,6	0,37	1,09	0,18	0,91
SO ₃	1,56	1,32	4,12	0,43	3,69	0,46	0,21	0,97	0,25	0,72

Tablo 3.10 Seçilmiş Bazı Su Örnekleri İçin Saptanmış Değişken Elementler (Mg/Kg)

No	Sb	Pb	Li	Zn	Cd	Fe	Ni	Cr	Mn	Sr	As
1	0,87	0,1	0,038	0,05	0,006	0,148	0,05	0,042	0,024	0,181	0,02
2	0,68	0,07	0,039	0,13	0,004	0,217	0,025	0,03	0,007	0,117	0,01
3	0,54	0,05	0,048	0,23	0,003	0,103	0,025	0,042	0,003	0,088	0,01
4	0,87	0,11	0,031	0,03	0,006	0,331	0,044	0,055	0,025	0,193	0,02
5	0,31	0,06	0,029	0,01	0,002	0,002	0,019	0,03	0,003	0,059	0,02
6	0,68	0,07	0,013	0,06	0,004	0,432	0,038	0,017	0,019	0,052	0,03

Tablo 3.11 Termal Sulardaki Bazı İyonik Oranlar

Örnekler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Na/Ca	0,07	0,06	0,07	0,04	0,04	0,1	0,04	0,02	0,02	0,02	0,11	0,69	1,45
Na/Mg	0,22	0,21	0,2	0,13	0,14	0,23	0,07	0,06	0,06	0,06	0,25	2,08	2,95
Na/K	6,38	6,55	6,35	4,72	5,35	2,8	7,8	10,52	11,87	24,03	9,42	19,44	8,12
Na/Cl	2,64	1,78	1,84	1,92	1,58	1,11	0,28	0,56	0,64	0,66	2,71	6,29	5,96
Ca/SO ₄	1,02	1,32	1,19	1,01	0,95	2,46	1,25	0,89	0,9	0,83	6,44	6,53	0,37
(Na+K)/(Cl)	3,05	2,05	2,13	2,32	1,87	1,51	0,32	0,62	0,69	0,68	2,99	6,61	6,7
(Na+K)/(Ca+Mg)	0,06	0,06	0,06	0,03	0,04	0,09	0,03	0,02	0,02	0,02	0,09	0,54	1,09
Cl+SO ₄)/(HCO ₃)	2,4	1,31	1,54	3,71	3,57	0,49	1,39	3,57	3,6	4,01	0,13	0,15	5,95
Ca/SO ₄	1,02	1,32	1,19	1,01	0,95	2,46	1,25	0,89	0,9	0,83	6,44	6,53	0,37

Tablo 3.12 Termal Sularda Kesin Olarak Kanıtlanmış Değerler

Örnek	1	2	3	4	5	6	8	9	11	12	13
MI	0,49	0,44	0,43	0,34	0,36	0,28	0,24	0,29	0,49	1,22	1,28

MI: Maturity Index

Tablo 3.13 Çalışılan Bölgedeki Sıcak Su Örneklerinin Jeotermometri Sonuçları

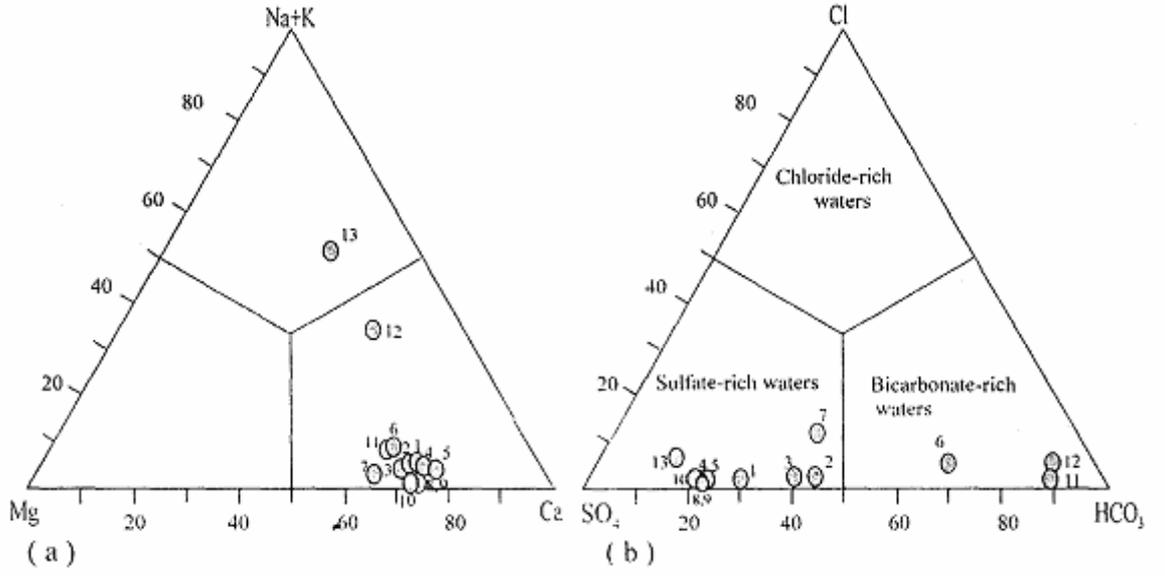
	1	2	3	4	6	8	9	11	12	13
SiO ₂ (quartz)	79	93	99	82	93	82	83	38	48	79
SiO ₂ (chalcedony, no steem loss)	51	65	70	53	64	53	55	10	20	51
SiO ₂ (quartz no steem loss)	67	82	87	70	81	70	71	24	34	67

Tablo 3.14 Dışarı Çıkan Termal Suların Mineral Doyum İndeksi Değerleri

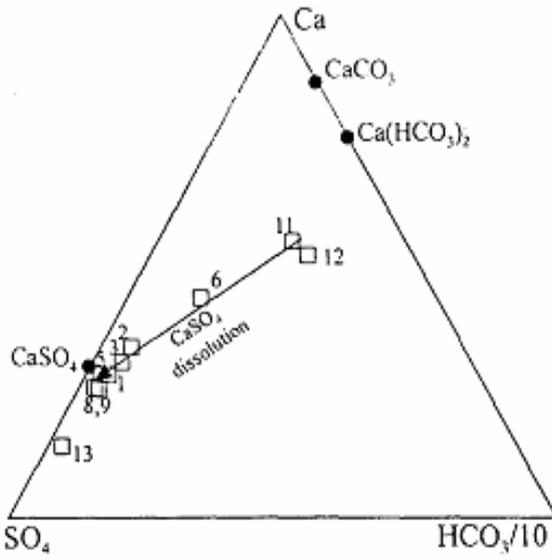
	1	2	3	4	6	8	9	11	12	13
Adularia	1,15	0,04	1,61	1,67	0,8			-0,7	1,08	1,8
Albite	0,17	-1	0,63	0,54	-0,5			-1,5	0,57	0,88
Analcime	0,69	-0,4	0,96	0,98	-0,1			0,61	1,41	1,53
Anhydrite	-0,76	-1,1	-1	-0,6	-1,7	-0,61	-0,52	-2,3	-1,93	-0,86
Aragonite	0,37	0,34	0,27	0,22	0,06			0,75	0,19	0,04
Calcite	0,5	0,43	0,39	0,35	0,18	-0,13	-0,06	0,88	0,32	0,14
Cahalcedony	0,24	0,18	0,44	0,34	0,32	0,24	0,2	-0,1	-0,07	0,18
Diopside	-2	-1,4	-1,8	-2,9	-2,2	-4,25	-4,07	-1,4	-4,88	-2,47
Dolomite	1,78	1,79	1,61	1,37	1,33	0,62	0,75	2,59	1,42	1,28
Gypsum	-0,61	-1	-0,9	-0,4	-1,5	-0,49	-0,42	-2,1	-1,75	-0,66
Laumontite	3,26	0,57	3,98	4,12	1,99			0,69	2,94	2,34
Microcline	2,76	1,49	3,22	3,33	2,36			1,05	2,73	3,42
Quartz	0,49	0,43	0,67	0,58	0,57	0,48	0,45	0,11	0,17	0,42
Zoisite	1,19	-0,8	1,62	1,82	-1			-1,5	0,97	-0,18

Emet bölgesindeki termal sular üç kategoride ele alınabilir. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi termal suların çoğu Ca-Mg-SO₄-HCO₃ tipidir. Ca-Mg-HCO₃ ve Na-Ca-SO₄ tipi sular ikinci ve üçüncü gruplardır. Şekil 3.7(a) Na+K, Mg, Ca dağılımlarını göstermektedir. Üçgen diyağramında görüldüğü gibi bu bölgedeki sularda Ca miktarı Mg ve Na+K miktarlarına göre daha baskındır. Şekil 3.7(b) Cl, SO₄, HCO₃, dağılımlarını göstermektedir. Buradaki üçgen diyağramından da anlaşılacağı gibi SO₄ miktarı Cl ve HCO₃’e göre daha baskındır. Şekil 3.8 ise 13 ayrı bölgeden alınan numuneler içindeki CaSO₄ çözünürlüğünü göstermektedir. Jeolojik ve hidrojeokimyasal araştırmalar, Emet jeotermal bölgesindeki termal sular için 2 rezervuar olduğunu göstermektedir.

(Ünsal Gemici, 2004)

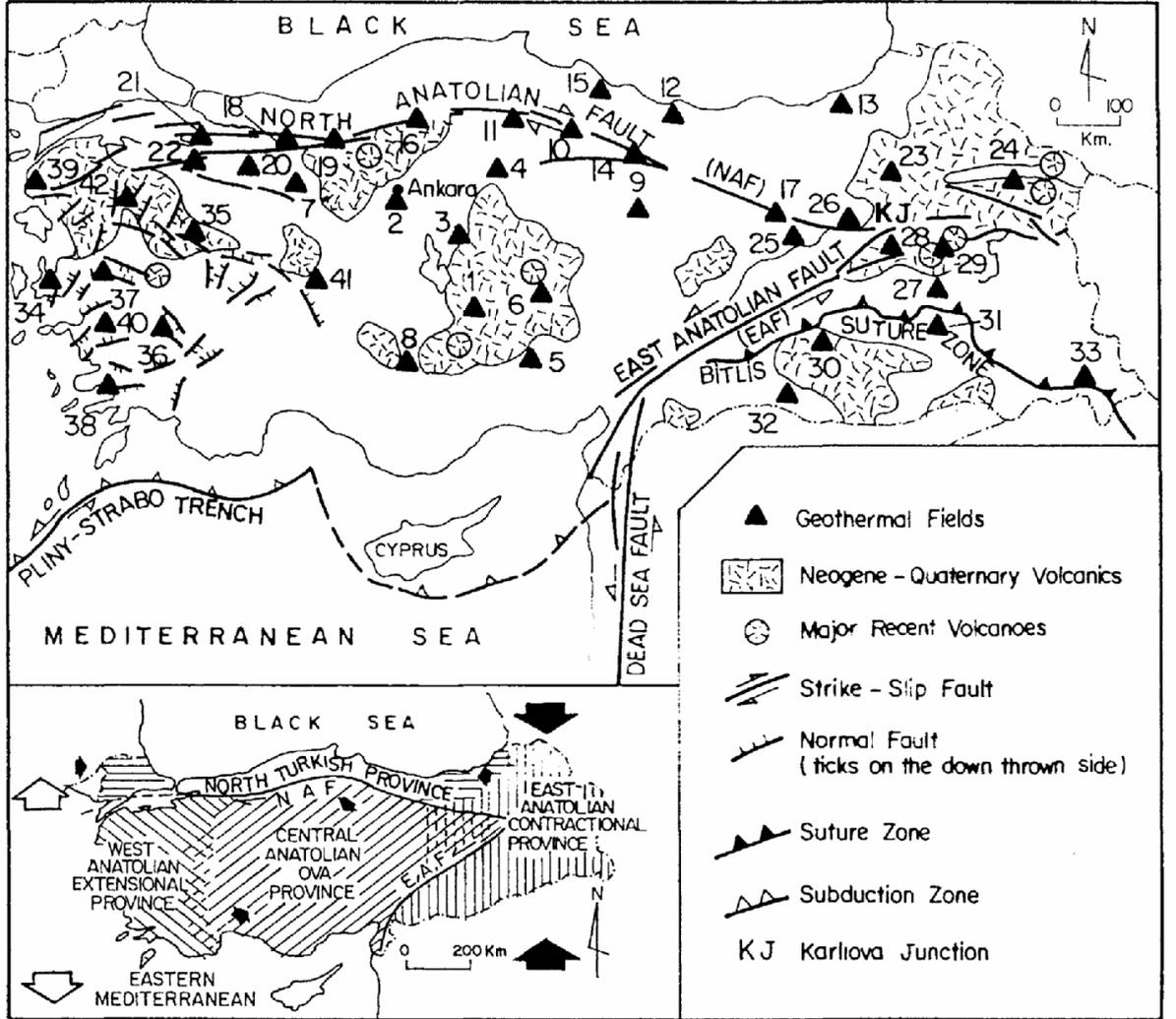


Şekil 3.7 (a)Na+K,Mg,Ca ve (b)Cl,SO₄, HCO₃ Diyağramları



Şekil 3.8 Ca,HCO₃ ve SO₄ Yoğunlukları Diyağramı

3.11 Anadolu'da Jeotermometri Uygulamaları ve Termal Suların Hidrojeokimyasal Taslağı (Türkiye)



Şekil 3.9 Türkiye'deki Jeotermal Bölgelerin Tektonik ve Volkanik Özelliklerine Göre Dağılımı

(1)Aksaray(2)Ankara(3)Kırşehir(4)Yozgat(5)Niğde(6)Nevşehir(7)Eskişehir(8)Konya(9) Sivas(10)Amasya(11)Çorum(12)Ordu(13)Rize(14)Tokat(15)Samsun(16)Çankırı(17)Erzincan(18)Sakarya(19)Bolu(20)Bilecik(21)Yalova(22)Bursa(23)Erzurum(24)Ağrı(25)Tunceli(26)Bingöl(27)Bitlis(28)Muş(29)Van(30)Diyarbakır(31)Siirt(32)Urfa(33)Hakkari(34)İzmir(35)Kütahya(36)Denizli(37)Manisa(38)Muğla(39)Çanakkale(40)Aydın(41)Afyon(42)Balıkesir

Türkiye’de 4 farklı tektonik bölgeden (Merkez(iç), Kuzey, Doğu, Batı Anadolu) 120 termal sudan alınan örneklerin kimyasal yapısı, kimyasal jeotermometre kullanılarak, her bölgeden geçen jeotermal enerji potansiyeli elde edilmiştir.

Derin su dolaşımının olduğu Batı ve İç Anadolu’nun bazı bölgelerinde ve Batı Anadolu’nun sahil bölgelerindeki Na-Cl tipi sular hariç diğer bütün bölgelerde Na-Ca-HCO₃ tipi sular baskındır. Kaynaklardaki suyun çıkış sıcaklığı 100 °C’den fazladır ve kuyunun içindeki sıcaklık 232 °C’dir. Jeotermometri uygulamaları rezervuar ısılarını, İç Anadolu’da yaklaşık 125 °C, Kuzey Anadolu’da 110 °C, Doğu Anadolu’da 136 °C, Batı Anadolu’da 251 °C olarak göstermektedir. Sonuçlar, Türkiye’deki yüksek jeotermal enerji potansiyelinin Batı Anadolu’daki tektonik genişlemeden kaynaklandığını göstermektedir. Kuzey Anadolu Fay Hattının güneyi boyunca Kuzey Anadolu bölgesinde düşük enerji potansiyelli jeotermal yerler bulunmaktadır. Bunlar muhtemelen magmatik bölgelerden kaynaklanan sıcak kaynaklara bağlı olmaktadır. Doğu Anadolu bölgesi ve İç Anadolu bölgesi orta düzeyli enerji potansiyeline sahiptirler. Türkiye’deki termal suların hemen hemen hepsi kalsiyum karbonattan meydana gelen taşlara doymuştur.

Tablo 3.15 İç Anadolu ve Kuzey Anadolu'daki Termal Suların Kimyasal Yapısı

Örnek No	Bölge	T °C	pH _{lab}	K	Na	Ca	Mg	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	Cl	SiO ₂	C.B	TDS	Su Tipi
İç Anadolu															
1(s)	İlisu	31	7,66	19	47	28	12,2	244	0	16	30	129	2,46	526	HCO ₃ -Na
2(s)	Zığa	48	7,17	16	1220	360	58	1305	0	43	1950	49	0,7	5029	Cl-Na
3(w)	Acıgöl-Sofular	65	8,61	184	550	20	158	958	18	198	872	170	2,75	3159	HCO ₃ -Na
Ankara															
4(w)	Kızılcahamam	73,8	6,9	60	760	48	9,7	1474	0	194	272	79	2,56	2905	HCO ₃ -Na
5(s)	Sey	42,5	6,4	24	240	111	27	830	0	143	20	32	4,64	1429	HCO ₃ -Na
6(s)	Ayaş	30	8,32	28	128	71	58	622	6	134	61	122	1,04	1231	HCO ₃ -Na
7(w)	Haymana	44	6,7	7	36	144	40	634	0	33	5,7	27	4,21	928	HCO ₃ -Na
8(w)	Melikşah	39	8,84	5,85	49	67,5	17,4	345	11	49	10,5	52	1,75	608	HCO ₃ -Ca
9(w)	Mürtet	28	8,8	2,2	36,5	40,8	10,9	206	6	32,9	26,9	10	4,59	372	HCO ₃ -Ca
Kırşehir															
10(w)	Savcılı-Büyükoba	34,5	9,63	1	106	4,4	0,2	61	12	45	78	51	3,53	359	Cl-Na
11(w)	Tenne	45	6,7	11	160	242	37	864	0	94	235	37	0,82	1681	HCO ₃ -Ca
12(s)	Çiçekdağı-Mahmutlu	70	6,5	40	1026	308	55,9	393	0	1234	1202	79	0,32	4338	SO ₄ -Na
13(s)	Karakurt	50	6,74	9	69	188	17	451	0	225	54	44	1,54	1057	HCO ₃ -Ca
Yozgat															
14(w)	Sorgun	75	7,84	16	480	120	0,48	24	0	327	730	75	1,95	1808	Cl-Na
15(w)	BoğazlıyanBahar	46	6,4	11	410	289	63	848	0	294	576	30	1,97	2522	HCO ₃ -Na
16(w)	Boğazlıyan-Uzunlu	30	7,37	10,8	99	128	35	586	0	78	101	37	0,78	1075	HCO ₃ -Ca
17(w)	Yerköy-Güvem	47	7,4	60	2100	821	61	55	0	428	4418	30	1,63	7982	Cl-Na
Niğde															
18(s)	Kemerhisar	12	6,82	39	1580	192	229	2112	0	395	1950	77	0,14	6606	HCO ₃ -Na
19(w)	Çiftehane	44,5	8,25	7,8	385	214	24	12	0	839	398	44	1,2	1927	SO ₄ -Na
Nevşehir															
20(w)	Kozaklı	93	6,83	21	440	208	22	427	0	486	632	87	4,61	2323	Cl-Na
Eskişehir															
21(s)	Eskişehir	40	8,59	2,9	18	73	28	329	6	24	16	26	1,98	523	HCO ₃ -Ca
22(w)	Sarıcakaya	55	6,4	16,8	320	40	170	1647	0	87,8	63,8	118	0,47	2468	HCO ₃ -Na
23(s)	Sivrihisar	35	7,45	2,9	44	55	18	281	0	48	38	20	3,63	507	HCO ₃ -Ca
Konya															
24(w)	İlgın	42	6,8	10	62	118	37	561	0	125	25	30	2,52	969	HCO ₃ -Ca
25(w)	Beyşehir	35	7,6	1,6	40	216	45	189	0	604	67	32	3,81	1195	SO ₄ -Ca
26(s)	Cihanbeyli	35	6,6	29	355	703	209	1087	0	1704	539	47	0,01	4673	SO ₄ -Ca
Sivas															
27(w)	Çermik	45	6,1	38	200	360	97	1903	0	50	193	24,6	2,77	2868	HCO ₃ -Ca
Kuzey Anadolu															
Amasya															
28(w)	Arkutbey	42,5	7,05	1	60	32	20	244	0	30	45	26	0,12	458	HCO ₃ -Na
29(s)	Terziköy	37	8,1	4,15	35	73	34	458	0	28,4	12,7	18,4	2,34	664	HCO ₃ -Ca
30(w)	Gözlek	40,5	9,07	3,6	86	16	6	224	12	32	14	20	0,08	414	HCO ₃ -Na
Çorum															
31(w)	Hamamlıçay	30	6,65	3,2	60	55	31	275	0	89	56	13	0,3	582	HCO ₃ -Na

32(w)	Figani	37	6,3	4,2	46	32,8	18	281	0	21	9,4	26	0,84	438	HCO ₃ -Na
Ordu															
33(w)	Fatsa-Sarmaşık Ilıca	50	7,7	1,6	200	9	1	122	0	303	57	44	3,44	738	SO ₄ -Na
Rize															
34(s)	Çamlıhemşin	33	8,62	0,8	57	7	1	12,2	18	92	13,4	49	2,73	250	SO ₄ -Na
35(s)	Andon İçmesi	14	6,45	36,8	788	311	87,5	2270	0	814	251	46	2,99	4594	HCO ₃ -Na
Tokat															
36(w)	Reşadiye	46,5	6,54	40	840	415	107	2386	0	175	837	54	0,54	4884	HCO ₃ -Na
37(w)	Artova-Sulusaray	53,5	8,78	32	880	108	12,1	647	18	747	617	96	1,44	3168	SO ₄ -Na
Samsun															
38(w)	Ladik	38	8,2	2,5	33	20	37	268	0	30	13	17	1,41	421	HCO ₃ -Na
39(w)	Havza	53	8,6	8,4	146	8,4	4,6	348	6	44	4,9	34	2,79	604	HCO ₃ -Na
Çankırı															
40(s)	Çerkeş-Dedil Köyü	26,5	6,91	71	718	333	55	2989	0	4,3	191	22,5	0,25	4405	HCO ₃ -Na
41(s)	Kurşunlu- Çavundur	30	7	248	2600	25,7	13,7	6521	0	113	769	29,5	3,62	10384	HCO ₃ -Na
42(s)	Şabanözü-Karakaş	24,5	9,72	1,94	55,2	4,9	93	427	104	35	17,3	14,4	6,1	804	HCO ₃ -Mg
43(s)	Eskipazar	20	6,9	96	700	212	130	3124	0	35	199	53	3,02	4566	HCO ₃ -Na
Erzincan															
44(s)	Erzincan	31	6,8	13	630	146	599	3560	0	54	844	176	0,61	6047	HCO ₃ -Na
Sakarya		82													
45(w)	Akyazı-Kuzuluk Kuzuluk mineral suyu	20,5	8,06	45	780	141	17	1891	10	46	411	135	0,42	3502	HCO ₃ -Na
46(s)		40	6,5	65	1625	98	36	3746	0	11	702	24	0,78	6329	HCO ₃ -Na
47(s)	Taraklı-Kil	18,5	6,6	5	35	127	27	555	0	23	11	32	1,65	815	HCO ₃ -Ca
48(s)	Taraklı-Acısü		7,6	12	600	352	396	1178	0	2716	127	17	1,85	5400	SO ₄ -Na
Bolu															
49(w)	Hamamçayırı	46	7,32	17,5	59	379	65,2	864	0	553	8,25	34	2,63	1980	HCO ₃ -Ca
50(s)	Bolu	45	7,3	16,8	49,3	364	61,5	854	0	619	34,5	20	3,79	2019	HCO ₃ -Ca
51(s)	Düzce-Derdin	32	8,65	46,5	2164	49,1	73,7	3583	75	1545	363	70	0,06	8020	HCO ₃ -Na
52(s)	Mudurnu	35	6,6	4,7	18,5	157	50	763	0	35	5,9	37	1,99	1071	HCO ₃ -Ca
Bilecik															
53(s)	Söğüt-Çaltı	38	6,43	28	323	54	55	1172	0	114	36	27	1,39	1831	HCO ₃ -Na
Yalova															
54(s)	Termal	66	7,6	4,6	248	163	1	45	0	831	93,2	44,5	3,89	1431	SO ₄ -Na
Bursa															
55(s)	Çekirge-Horhor	39	7,22	3,7	23,5	86	24,4	307	0	95,5	7,6	23	1,25	571	HCO ₃ -Ca
56(s)	İnegöl-Oylar	40	7,26	4,3	17,9	129	7	194	0	215	8	22	0,15	597	SO-Ca
57(s)	Armutlu	77	7,3	25	410	258	42	476	0	832	238	48	4,45	2329	SO ₄ -Na

(s) Kaynak, (w) Kuyu

Tablo 3.16 Doğu ve Batı Anadolu'daki Termal Suların Kimyasal Yapısı

Örnek No	Bölge	T °C	pH _{ta}		K	Na	Ca	Mg	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	Cl	SiO ₂	C.B	TDS	Su Tipi
			b													
Doğu Anadolu																
Erzurum																
58(s)	Erzurum	38	6,6	40	1715	51	47	1892	0	0	1776	99	0,54	5641	HCO ₃ -Na	
59(w)	Pasinler	42	7,56	74	920	69,3	104	1391	0	5	1059	169	1,05	3799	HCO ₃ -Na	
Ağrı																
60(s)	Köprü	53	7	58	173	208	71	1141	0	144	151	n.a	1,41	1946	HCO ₃ -Ca	
Tunceli																
61(s)	Hozavit	48	6,6	18,8	1491	30	15,8	2233	0	785	542	99,6	0,11	5215	HCO ₃ -Na	
Bingöl																
62(s)	Kös	43,5	6,6	35,2	310	200	19,5	1177	0	227	103	36	1,79	2115	HCO ₃ -Na	
63(s)	Hacıyan	62	7,2	24,2	707	54	23	1251	0	375	257	74	0,53	2765	HCO ₃ -Na	
64(s)	Kolan	45	6,6	91,5	234	242	99	1366	0	85,5	171	33	6,09	2322	HCO ₃ -Ca	
Bitlis																
65(s)	Simek	40	7,9	9,8	78,5	7	9,7	146	0	55,8	44,4	15	0,1	366	HCO ₃ -Na	
66(s)	Çukur	40	7,5	14,7	489	80	79	1610	0	29	70	74	5,16	2446	HCO ₃ -Na	
Muş																
67(s)	Bazıkan	34	7,8	30,3	251	123	84	1391	0	25	51,3	86	0,04	2042	HCO ₃ -Na	
Van																
Nemrut																
68(s)	Dağ	60	6,9	11,6	330	38,4	12,2	909	0	17,6	42,4	36	3,22	1397	HCO ₃ -Na	
Muradiye-																
69(s)	Dergezin	37	6,6	15,2	134	69	53,5	763	0	70,6	16,8	40	1,37	1162	HCO ₃ -Na	
Erciş-Zilan-																
70(s)	Hasanaptal	65	6,4	88	850	150	12	1000	0	203	950	80	0,29	3377	HCO ₃ -Na	
Erciş-Zilan-																
71(s)	Ganisipi	78	6,4	68	750	160	8	875	0	540	750	90	4,17	3275	HCO ₃ -Na	
Diyarbakır																
72(w)	Çermik	51	7,6	22,8	205	36	13	512	0	17	107	62	2,46	977	HCO ₃ -Na	
Siirt																
73(s)	Billurus	33	6,73	14,8	153	300	72	400	0	624	198	26	5,28	1792	SO ₄ -Ca	
Hista																
74(s)	Çermiği	63	7,3	22	70	356	54	201	0	1013	93	110	2,21	1920	SO ₄ -Ca	
75(s)	Germiab	40	7,4	61,5	873	151	26,4	647	0	1674	115	20	0,53	3568	SO ₄ -Na	
Urfâ																
Yardımcı-																
76(s)	Karaali	29,5	6,5	3	40	50	18	195	0	115		12	0,72	444	HCO ₃ -Ca	
Hakkari																
77(s)	Killoğun	41	6,9	26	1057	167	71,7	2196	0	268	691	75	0,16	4552	HCO ₃ -Na	
Batı Anadolu																
İzmir																
78(w)	Agamemnun	100	8,7	29	380	11,8	6,9	567	6	174	192	145	0,31	1516	HCO ₃ -Na	
Seferihisar-																
79(w)	Cumalı	150	6,61	577	6300	760	190	256	0	528	11159	24	1,83	19817	Cl-Na	
Doğanbey																
80(w)	Tuzlası	100	n.a	680	7100	740	240	223	0	623	12500	90	1,8	22198	Cl-Na	
81(w)	Çeşme	56	7,4	388	10075	1551	609	153	0	2981	20431	47	5,37	36240	Cl-Na	
Aliağa-																
82(s)	Ilıcaburun	56	6,1	220	6350	741	720	830	0	1290	12000	45	0,13	22213	Cl-Na	
Bergama-																
83(w)	Dübek	60	8,7	3,6	360	16	1,2	370	18	446	35	100	0,9	1350	SO ₄ -Na	
Dikili-																
84(s)	Kaynarca	80	7,9	35	540	25	3	540	0	705	71	175	0,63	2100	SO ₄ -Na	
Dikili-																
85(s)	Kocaoba	70	8,65	11	310	118	6,1	150	18	790	43	80	1,39	1527	SO ₄ -Na	
86(w)	Balçova	110	7,9	16,8	16,6	81,4	72	507	0	102	39,7	n.a	1,83	837	HCO ₃ -Ca	
Kütahya																
Simav-																
87(w)	Eynal	75	9,61	39	480	2,8	<1	409	78	493	71	97	0,96	1675	SO ₄ -Na	
Simav-																
88(w)	Çitgöl	83	7	44	340	34	5,3	573	0	376	57	151	2,15	1585	HCO ₃ -Na	
Simav-Naşa																
89(w)	Gediz-	43,5	7,6	7	126	56	13	500	0	82	15	28	4,07	829	HCO ₃ -Na	
Abide																
90(s)	Resort	74	7,5	80	640	96	63	790	0	990	97	71	4,64	2836	SO ₄ -Na	

91(s)	Hisarcık-Karandere	38	6,72	3,9	11,2	365	53,5	342	0	828	9,5	24	0,22	1638	SO ₄ -Ca
92(s)	Emet-Yeşil Resort	42,5	7,44	0,7	11	84	24	275	0	115	12	28	4,11	550	HCO ₃ -Ca
93(w)	Yoncalı Denizli	41,5	7,12	2,4	20	120	41	400	0	160	9	32	0,76	785	HCO ₃ -Ca
94(w)	Kızıldere KD-6	201	9,42	145	1264	3,1	0,1	2126	258	705	98	430	1,74	5059	HCO ₃ -Na
95(w)	Kızıldere KD-1	200	9,57	135	1280	2,5	0,2	1860	318	770	117	325	0,99	4838	HCO ₃ -Na
96(w)	Tekehamam 1	78	6,3	64	530	210	53	1090	0	1070	90	190	3,84	3297	HCO ₃ -Na
97(s)	Pamukkale	59	7,7	22	130	530	110	1415	0	830	35	43	0,34	3118	HCO ₃ -Ca
98(s)	Kızıldere	100	8	112	1300	13	1,2	2196	0	812	111	236	3,51	4804	HCO ₃ -Na
99(s)	Sarayköy	57	6,7	86	580	290	42	1830	0	720	51	120	1,16	3725	HCO ₃ -Na
100(s)	Çardak-Beylerli Manisa	40	6,97	5	95	266	84	366	0	787	86	33	0,71	1722	SO ₄ -Ca
101(w)	Slihli-Kurşunlu	96	7,9	50	410	18	8,5	1251	5	70	74	138	7,49	2056	HCO ₃ -Na
102(s)	Salihli-Köprübaşı Muğla	51	7,2	108	1020	60	24	2471	0	397	127	150	0,26	4370	HCO ₃ -Na
103(s)	Köyceğiz Çanakkale	41	6,83	290	8840	962	888	317	0	2748	16400	30	1,17	30479	Cl-Na
104(w)	Kestanboylu	76	6	630	5100	800	54	317	0	170	9700	86	0,03	16868	Cl-Na
105(w)	Tuzla Aydın	171	7,4	1280	16640	2920	71	84	0	150	33600	94	2,38	54884	Cl-Na
106(w)	Germencik ÖB-1	203	7,23	81	1625	3,6	2,2	1263	0	45	1714	205	2,15	5008	Cl-Na
107(w)	Germencik ÖB-2	218	9,11	210	1801	<2	0,5	1598	96	51	1848	450	0,67	6132	Cl-Na
108(w)	Germencik ÖB-3	232	8,7	172	1770	1,6	<1	1342	204	72	1819	220	0,11	5678	Cl-Na
109(s)	Ömerbeyli Afyon	61	6,98	93	1243	48	4,4	2135	0	35	1059	230	5,14	4916	HCO ₃ -Na
110(w)	Ömer-Gecek AF-4	92	6,7	158	1750	78,8	10	1294	0	537	1862	198	0,02	5899	Cl-Na
111(w)	Ömer-Gecek R-260	87	7,1	157	1700	106	19	1350	0	514	1842	170	0,01	5869	Cl-Na
112(w)	Gazlıgöl	64	7,05	88	1088	40	15,6	2934	0	15,8	157	61	0,02	4416	HCO ₃ -Na
113(w)	Sandıklı	69	6,85	35	222	168	31,3	555	0	486	123	71	2,65	1692	HCO ₃ -Na
114(w)	Heybeli	56	6,4	58,7	500	347	68,8	1525	0	848	195	43	2,03	3589	HCO ₃ -Na
115(w)	Çay-Karaburun Balıkesir	38	6,2	31,3	240	194	41,6	1238	0	166	61	36	2,25	2009	HCO ₃ -Na
116(w)	Edremit-Güre	40	9,12	6,9	272	31	18	198	12	479	60	31	0,94	1109	SO ₄ -Na
117(s)	Manyas-Kızılköy	50	6,85	16,8	160	133	10	476	0	108	213	50	3,92	1167	HCO ₃ -Na
118(w)	Gönen	82	7,3	24	460	46	2,2	354	0	473	262	68	0,09	1697	SO ₄ -Na
119(w)	Susurluk	64	9	17	580	44	22	390	18	151	709	36	0,8	1976	Cl-Na
120(w)	Pamukçu	58	8,15	16	361	26	1	72	1	444	242	102	0,54	1279	SO ₄ -Na

Tablo 3.17 Türkiye'deki Termal Sular İçin Jeotermometri Sonuçları

Bölge	Örnek No	T °C	Na-K ^a	Na-K-Ca ^b	Na-K-Ca-Mg	K-Mg ^a Quartz ^d	Chalcedony ^e	Cristobalite ^e	Amorphous silica ^e	
	1	31	375	106	79	80	152	127	101	30
	2	48	110	78	n.a	58	101	71	50	–
	3	65	351	288	n.a	106	170	146	119	46
	4	73,8	214	184	112	114	125	96	74	6
	5	42,5	232	101	92	76	83	51	32	–
	6	30	304	110	n.a	71	149	123	98	27
	7	44	292	38	n.a	45	76	44	25	–
	8	39	247	49	n.a	50	104	74	53	–
	9	28	195	30	n.a	35	38	7	–	–
	10	34,5	95	58	n.a	60	103	73	52	–
	11	45	204	54	n.a	55	89	57	38	–
	12	70	167	113	94	80	125	96	74	6
	13	50	254	46	n.a	59	96	66	46	–
	14	75	158	92	78	120	122	93	71	–
	15	46	145	60	n.a	50	80	48	30	–
	16	30	239	61	n.a	55	89	57	38	–
	17	47	149	112	n.a	89	80	48	30	–
	18	12	1414	130	n.a	63	123	95	72	4
	19	44,5	131	55	n.a	109	96	66	46	–
	20	93	179	88	n.a	76	130	102	79	10
	21	40	273	22	n.a	32	74	42	24	–
	22	55	186	117	n.a	48	147	121	96	25
	23	35	201	34	n.a	36	64	31	14	–
	24	42	274	56	n.a	53	80	48	30	–
	25	35	168		n.a	17	83	51	32	–
	26	35	217	70	n.a	57	99	69	49	–
İç Anadolu	27	45	289	87	n.a	72	72	40	22	–
	28	42,5	121	20	n.a	16	74	42	24	–
	29	37	246	36	n.a	36	60	28	11	–
	30	40,5	171	69	n.a	51	64	31	14	–
	31	30	187	39	n.a	32	47	15	–	–
	32	37	225	53	n.a	43	74	42	24	–
	33	50	88	64	n.a	53	96	66	46	–
	34	33	113	38	n.a	39	101	71	50	–
	35	14	159	94	90	65	98	68	48	–
	36	46,5	179	102	88	72	106	76	55	–
	37	53,5	163	130	110	94	135	108	84	15
	38	38	211	45	n.a	26	57	25	9	–
	39	53	192	120	69	72	85	54	35	–
	40	26,5	231	129	96	95	68	36	19	–
	41	30	229	230	149	155	79	47	29	–
	42	24,5	161	69	n.a	14	51	19	3	–
	43	20	259	156	45	91	105	75	54	–
	44	31	131	84	n.a	31	172	149	121	48
	45	82	192	135	108	98	155	130	104	33
	46	20,5	168	158	70	98	71	39	21	–
	47	40	262	32	n.a	42	83	51	32	–
	48	18,5	130	62	n.a	33	57	25	9	–
	49	46	337	50	n.a	59	85	54	35	–
	50	45	354	48	n.a	59	64	31	14	–
	51	32	134	139	n.a	80	118	90	68	–
	52	35	320	22	n.a	35	89	57	38	–
	53	38	221	130	n.a	71	76	44	25	–
	54	66	126	42	n.a	76	97	66	46	–
	55	39	271	27	n.a	37	69	37	19	–
	56	40	314	22	n.a	53	67	35	18	–
Kuzey Anadolu	57	77	196	88	n.a	72	100	70	50	–
	58	38	138	139	n.a	82	137	110	86	16
	59	42	216	186	n.a	87	169	146	119	46
	60	53	352	114	77	86	*	*	*	*
	61	48	108	115	68	77	137	110	86	17
	62	43,5	243	103	n.a	90	88	56	37	–
	63	62	159	135	65	78	121	93	70	3

	64	45	371	133	66	94	84	52	33	-
	65	40	251	123	n.a	67	53	21	4	-
	66	40	152	99	n.a	53	121	93	70	3
	67	34	248	107	n.a	68	129	101	78	10
	68	60	161	104	84	69	88	56	37	-
	69	37	243	89	n.a	58	92	61	42	-
	70	65	235	166	136	123	125	97	74	6
	71	78	225	150	140	121	132	104	81	12
	72	51	241	126	76	84	112	83	62	-
	73	33	230	58	n.a	54	74	42	24	-
	74	63	344	59	n.a	66	143	116	92	22
	75	40	206	149	98	101	64	31	14	-
	76	29,5	210	35	n.a	36	44	13		-
Doğu Anadolu	77	41	141	112	70	67	122	93	71	3
	78	100	212	186	74	99	159	135	109	37
	79	150	225	210	99	139	71	39	21	-
	80	100	229	199	84	140	132	104	81	12
	81	56	166	164	59	108	99	69	49	-
	82	56	160	157	n.a	91	97	67	47	-
	83	60	98	84	n.a	68	137	110	87	17
	84	80	200	173	134	116	172	149	121	48
	85	70	161	75	n.a	75	125	97	74	6
	86	110	524	265	n.a	57	*	*	*	*
	87	75	216	207	171	136	136	109	85	15
	88	83	254	166	119	114	162	138	111	39
	89	43,5	189	67	n.a	57	77	45	27	-
	90	74	251	172	46	96	119	90	68	1
	91	38	356	2	n.a	31	71	39	21	-
	92	42,5	199		n.a	9	77	45	27	-
	93	41,5	247	11	n.a	25	83	51	32	-
	94	201	244	251	217	238	242	229	193	114
	95	200	237	247	239	217	217	201	168	91
	96	78	248	133	82	92	177	155	127	53
	97	59	278	57	n.a	58	95	64	45	-
	98	100	221	193	189	171	192	172	1425	67
	99	57	266	138	102	104	148	122	97	26
	100	40	186	28	n.a	31	84	52	33	-
	101	96	249	200	92	111	156	132	106	34
	102	51	237	208	90	118	161	137	111	39
	103	41	157	158	n.a	95	80	48	30	-
	104	76	250	224	178	164	129	101	78	10
	105	171	212	205	196	187	134	107	83	14
	106	203	182	200	162	148	182	161	132	58
	107	218	245	266	n.a	217	246	234	197	118
	108	232	230	255	251	192	187	166	137	63
	109	61	210	193	161	141	190	170	140	66
	110	92	224	206	155	145	180	158	130	56
	111	87	226	204	129	134	170	146	119	46
	112	64	216	197	94	119	112	82	61	-
	113	69	271	103	97	84	119	90	68	1
	114	56	245	115	91	87	95	64	45	-
	115	38	254	97	96	77	88	56	37	-
	116	40	142	88	82	53	81	49	31	-
	117	50	236	79	n.a	80	102	72	51	-
	118	82	185	133	n.a	109	117	88	66	-
	119	64	150	123	63	71	88	56	37	-
Batı Anadolu	120	58	175	128	n.a	109	138	112	88	18

a, Giggenbach (1988)

b, Fournier ve Truesdell (1973)

d, Fournier ve Potter (1982)

e, Fournier (1977)

n.a, not applicable (uygun değil)

-, sıfırdan daha az jeotermometri değeri

*, silica analizi yok

(Halim Mutlu, Nilgün Güleç)

3.12 Taupo Gölünde Aktif Hidrotermal Deliklerin Bulunması (Yeni Zelanda)

Yeni Zelanda'daki Taupo Gölünün Horomatangi jeotermal suları yakınlarında bulunan Taupo Volkanik bölgesinin alt-havasal jeotermal aktivitesine denk alt-gösel bir sistemdir. Suyu daldırılan Jago ile yapılan dalışlar sonucunda iki farklı hidrotermal delik bölgesi bulunmuştur. Bu delikler Te Hoata ve Te Pupu olarak adlandırılmıştır. Her iki delikte de gaz çıkışı ve Te Pupu'da 45 °C'ya kadar sıcak su çıkışı görülmüştür. Göl sularının seyreltilmiş örneklerinde SO₄, Cl, Na ve SiO₂ konsantrasyonları bulunmuştur. Gaz jeotermometreleri göl altında rezervuar sıcaklığı 300 °C' den fazla olan bir yüksek ısıli hidrojeotermal bölgenin varlığını göstermiştir. Te Pupu'da baca şeklinde yapılar görülmüştür. Bunların yüksekliği 30 cm'ye kadar olup S, Hg, As, Sb ve Tl ile mineralize olmuştur. Bacaların duvarlarında tek hücreli bir çeşit deniz canlısı (diatom) ve taşlaşmış ipliksi bakteriler görülmüştür. Bacaların yüzeye yakın yerlerinde yeni bir tür sünger olan Heterorotula bulunmuştur. (C.E.J de Ronde, 2002)

3.13 Sıkıştırılmış Tektonik Bölgelerdeki Jeotermal Sistemlerin Oluşumu İle İlgili Yapılan Başlangıç Çalışması: Türkiye'de Biga Bölgesindeki Derman Jeotermal Alanından Bir Örnek

Biga'da sıcaklığı 30 °C ile 100 °C arasında değişen birçok sıcak su kaynağı vardır. Bu çalışmaların sonuçları bölgenin bir tektonik sıkışma etkisi altında olduğunu göstermiştir. Bulunan çatlak ve kırıklar bölgenin Orta-Miyosenden (Middle-Miosen) bu yana önce N-S (North-South, Kuzey-Güney), sonra E-W (East-West, Doğu-Batı) sıkışmasından etkilendiğini gösterir.

Sıkışma hareketlerine bağlı olarak oluşan antitetik (zıt) ve sentetik faylar suyun derinlerde dolaşımı için yol oluşturmuştur. Bunlara ek olarak, tektonik hareketler, granit girişi ve volkanik aktiviteler jeotermal sistemde ısı kaynağı olarak rol oynamaktadır. Sonuç olarak; Biga jeotermal sistemlerinde tektonik hareketler ve volkanik aktiflikler önemli bir rol oynamaktadır. Bölgede Üst-Miyosenden (Upper-Miosen) daha genç volkanik aktivite bulunmaktadır. (Zeynel Demirel, 2002)

3.14 Macaristan'daki Mineral Şişe Suları İçindeki ve Jeotermallerdeki ^{226}Ra .

Macaristan'da farklı bölgelerde, farklı radyo analitik metotlar kullanılarak şişelenmiş mineral sularının ve termal suların içerisindeki Radon ve Radyum aktivitelerinin yoğunluğunun saptanması çalışılmıştır. Danube bölgesinin sağ tarafında bulunan Budapeşte'deki dünyaca ünlü kaplıcalar termal sular içermektedir. Bu kaplıçalarda yüksek oranda ^{226}Ra ve ^{222}Rn bulunmaktadır. Bu termal sular, sırasıyla 100 kBqm^{-3} ve 1 kBqm^{-3} , ^{222}Rn ve ^{226}Ra aktivite yoğunluğu içermektedir. Büyük Macaristan Ovasındaki jeotermal sularda birkaç kBqm^{-3} 'e kadar doymuş Radyum bulunmuştur. Ticari amaçlı kullanılan şişelenmiş mineral sularındaki doymuş ^{226}Ra 'ya radyokimyasal ayırma uygulanarak gama spektrometresi metodu uygulanmıştır. Apenta mineral sularındaki aktivite 2 kBqm^{-3} ü aşmaktadır. Apenta mineral suları Avrupa ve Kuzey Amerika'da olduğu gibi Macaristan'da da popüler bir markadır.

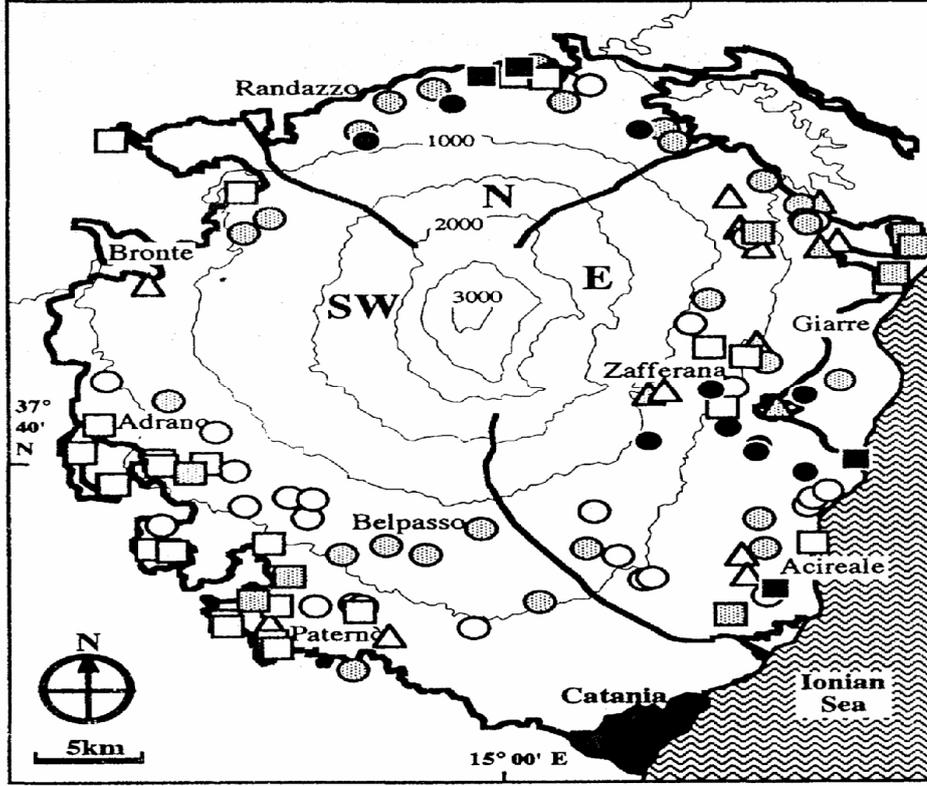
Bu çalışmalarda gama spektrometresi metodu ve Radon ayırma yöntemi kullanılmıştır. Gama spektrometresi genellikle çevresel doğal radyoaktivite çalışmalarında kullanılmaktadır. (E. Baradács, 2001)

Tablo 3.18 Buda Bölgesindeki Termal Sularda Farklı Metotlar Kullanılarak Elde Edilen ^{222}Rn (kBqm^{-3}) ve ^{226}Ra (kBqm^{-3}) Aktiviteleri.

Örneğin Yeri	^{222}Rn (SSNTD ile)	^{222}Rn (PYLON AB-5 ile)	^{226}Ra (SSNTD ile)	^{226}Ra (NP-402)
Gellért Hill's Spring Group				
Gellért Baths				
Old rezervoir	49±3	52,2±1,4	837±83	715
1.well	47±3	57,7±0,6	659±65	578
2.well	84±5	82,8±1,7	626±62	493
3.well	49±3	54±2,3	657±65	-
4.well	104±6	131,6±1,6	785±77	713
Medicinal thermal waters in the Rudas Drinking Hall				
Juventusz	135±9	154,7±2,2	646±64	522
Attila	289±17	363,2±3,9	834±81	500
Hungaria	393±23	338,7±2,4	699±69	532
Rac Baths				
Racz nagy spring	-	122,5±2,6	800±78	697
József Hill's Spring Group				
Lukács Baths				
Boltiv spring	18±1	18,8±0,2	73±8	99
Római spring	65±4	60,7±3,4	48±6	91
5.well	22±1	22,2±0,8	261±25	239
6.well	20±1	21,8±0,8	251±25	211
Drinking well	-	-	265±26	-

(E. Baradács, 2001)

3.15 Etna Dağı Bölgesindeki Yer Altı Sularında Bulunan Radonun Ölçülmesi



Şekil 3.10 Etna Dağı Bölgesinde Örnek Toplanan Bölgeler

Daire=Kuyu, Kare=Kaynak, Üçgen=Kanalizasyon, Beyaz Semboller=<10 Bq/l, Gri Semboller=10-20 Bq/l, Siyah Semboller=>20Bq/l

Etna dağının aktif volkanik bölgesinden toplanan 119 yeraltı suyu örneklerindeki Radon seviyeleri taşınabilir Lucas-tipi sintilasyon odası yardımı ile ölçülmüştür. Ölçülen aktivite değerleri 1.8'den 52.7 Bq/l arasında değişmektedir. Volkanın doğu bölgesinde yüksek oranda Radon ölçülmüştür. Bu bölge dağın en sismik bölgesidir, sismik olarak aktif olan ve mağmatik gazların bulunduğu güneybatı bölgesinde Radon seviyesi düşüktür. Bu muhtemelen Radon'u sudan çıkararak serbest gaz çıkışıdır. Etna ve diğer yerlerden toplanan örneklerin karşılaştırılması yer altı sularındaki ^{222}Rn aktivitesinin akufer kayalardaki elementlerin içeriği ve jeotermal sistemlerin ısısı ile ilişkili olduğunu göstermiştir.

Etna'dan toplam 119 örnek alınmıştır. Isı; pH ve E_h hemen ölçülmüştür. Rn ölçümünde kullanılacak örnekler gaz kaybını engellemek için dikkatle alınmış ve ölçüm taşınabilir α -sintilasyon sayacı ile yapılmıştır.

Tablo 3.19 Etna Suları: Analitik Sonuçlar.Örnekler Jeolojik Havzalara Göre Bölünmüştür

Örnek	Tipi	T(°C)	pH	TDS(mg/l)	P CO ₂	Rn Bq/l
Eastern Basin						
A.Bongiardo	S	15,2	6,36	430	0,085	5,5
Bagnara	S	13,6	7,55	412	0,006	11,6
Bellia	G	11,1	7,66	149	0,001	3,5
Bosco	W	11,9	7,45	266	0,003	14,1
Bufardo	G	13,5	7,34	401	0,01	10,1
Casalosato	S	17,5	7,12	658	0,007	15
Acque S.Tecla	W	15	6,3	880	0,202	1,8
Di Marco	W	14,5	7,35	469	0,01	3,7
Di Mauro	W	17,6	7,53	764	0,006	14,7
Ellera	W	18	7,28	750	0,017	14
Etna Acque	W	18,1	7,11	1001	0,033	2,8
Felce Rossa	W	12,2	7,14	313	0,007	9,4
Fisichelli 3	W	18,1	7,16	830	0,03	5,8
Fiumefreddo 1	S	14,1	7,5	452	0,008	14
Fiumefreddo 2	S	14	7,28	417	0,012	11,8
Friera	W	14,3	7,57	460	0,006	10,9
Garraffo and Sicilio	G	13,2	6,9	338	0,019	17
Grasso	W	14	6,1	478	0,213	24,1
Guardia	W	15,5	6,11	678	0,311	37,9
Guardia 2	W	14,5	6,29	589	0,142	36,3
Guzzi	W	14,9	6,15	897	0,283	25,7
Ilice	W	9,5	5,95	252	0,192	28,1
La Gurna	S	13,4	7,25	271	0,005	4,5
Le Palme	W	13,2	7,2	487	0,015	11,1
Maugeri	W	13,4	7,55	364	0,006	15,2
Milo	S	15,4	7,63	280	0,002	4,8
Monacella	W	15	6,46	953	0,203	7,1
Noce	W	13,4	7,17	467	0,017	17,2
Pedera	W	14,3	7,54	324	0,005	4,7
Petrulli	W	20,3	6,23	1682	0,523	43
Piano d'Api	W	15,3	7,2	479	0,013	13,8
Piano dell'acqua	G	14,3	7,18	245	0,01	2
Piedimonte	G	12,7	7,86	311	0,002	12
Polana	S	14,5	7,19	359	0,007	16,8
Ponteferro	G	19,4	6,33	1542	0,391	11,6
Pozzillo	S	16,6	6,45	1521	0,204	40,9
Pozzo vena	W	12,9	7,88	440	0,003	1,9
Presa	G	12,3	8	163	0,001	5,3
Ragonese	S	13	7,99	439	0,002	18,9
Reitana	W	14,8	7,39	939	0,014	2,2
Rocca Campana	G	13,2	7,49	596	0,009	18,8
S.Francesco	W	14,8	6,32	853	0,181	2,1
S.Giacomo	G	11,9	6,54	607	0,132	10,1
S.Leonardello	W	15,7	6,93	947	0,052	31,7
S.Maria la Scala	S	16,5	6,72	723	0,065	6,7
S.Paola	W	15	6,31	915	0,267	14,8
S.Tecla	W	16	6,39	1125	0,197	8,6
S.Venera	S	22,5	7,23	7478	0,05	52,7
Sacro Cuore	W	16,4	7,35	668	0,016	7,4
SAICOP	W	18,4	7,31	631	0,014	10,1
Tavolone	G	16,4	7,42	767	0,016	5,8
Torrerossa	G	13,4	7,63	396	0,005	8,5
Turchio	G	17,4	7,04	906	0,041	3,2
Volpare	S	14,8	7,35	242	0,005	3,8
Vena	S	10,4	7,56	143	0,002	2,3
Southern-western basin						
Abbate	W	14,1	6,63	1177	0,185	8,9
A.Difesa	W	16,5	6,03	1457	1	16,7
A.Sorrentine	W	15	6,26	1162	0,401	4,5
Acqua Grassa	S	19,3	6,26	1930	0,811	6,7

Acquarossa	S	18,5	6,3	2070	0,77	9,3
Biviere	S	11,2	7,4	340	0,008	7,4
Cattalemme	S	15,3	7,49	1692	0,037	15,4
Cherubino	S	14	6,76	1070	0,125	8,4
Ciapparazzo	G	11,3	7,63	907	0,009	7,1
Ciappe Bianche	S	18,3	7,37	1460	0,038	6,5
Cimino	S	13,2	7,83	1254	0,01	6
Cimitero	S	17	7,34	1122	0,027	6
Currune	W	15,5	6,27	952	0,364	15,8
Di Gennaro	S	17,4	6,94	1922	0,123	6,3
Duca	G	12	7,29	1188	0,035	3,9
Favare	S	11,8	7,65	1169	0,015	6,1
Fontanamurata	S	14,3	7,55	451	0,007	6,4
Gentiluomo 1	S	17,1	7,63	1264	0,015	5,2
Gentiluomo 2	S	15,1	7,85	1288	0,01	8,2
Iuncio	S	18,9	6,02	2150	1,356	16,4
Lavenia	W	16,1	6,77	1227	0,146	9,3
Leotta	W	17,4	7,14	2269	0,081	13,9
Malastalla	S	16,6	7,46	1387	0,028	2,3
Manganelli	G	15,8	6,8	1559	0,182	2,2
Mura	S	15	7,65	1262	0,017	4
Musa	W	11	7,33	635	0,014	16,3
Parco Zoo	W	19,5	6,99	1300	0,061	10,7
Patellina	W	17,6	6,02	2898	2,069	7,3
Petraro	W	17,2	6,41	1514	0,389	8,3
Piano Elisi	W	19	6,4	1125	0,252	10
Picardo	W	16,1	6,75	1496	0,193	8,2
Poggio Monaco	W	8,9	7,6	952	0,008	13,9
Ponte Barca	S	17,1	7,78	1866	0,015	4,3
Pozzillo Bianc.	S	14,5	7,5	1632	0,036	5,5
Pulvirenti	W	15,2	8,04	685	0,002	5
Raffo	W	17,6	6,35	2328	0,79	9,9
Rocca Paterno	G	18,1	7,27	1515	0,045	8,1
Romito	S	15,4	6,57	1388	0,273	14,7
Roveto	S	11,2	7,76	946	0,009	3,1
S.Leonardo	W	16,4	6,35	1370	0,384	10,5
SAB	W	15,9	6	1510	1,091	11,7
Sanfilippo	W	15,6	6,6	1187	0,208	8,1
Scannacavoli	W	13,3	6,6	1201	0,211	8,1
Scuderi Bianc.	W	17,3	7,54	1723	0,027	7,2
Solicchiata	W	17,4	6,84	2022	0,191	8,4
Trefontane	S	17,8	7,26	1446	0,048	5,6
Northern basin						
17 salme	W	10,9	6,8	661	0,064	13,9
Acquafredda	S	12,2	7,3	760	0,019	22,2
Cambria	S	10,7	6,67	708	0,094	5,8
Di Martino	W	11,5	6,6	1102	0,196	15,2
Fisauri	W	10,2	6,62	449	0,065	35,1
Gabella	S	10,9	6,7	595	0,063	4,5
Grottanera	G	11,7	6,8	558	0,052	4
Moio	W	13,7	7,5	437	0,008	13,6
Picciolo	W	15,5	7,6	434	0,006	15,7
Piccolo	W	11,4	6,61	747	0,114	7,5
Randazzo FCE	W	11	7,4	420	0,007	10,2
Rovittello	W	14,1	7,57	349	0,005	19,3
Russotti	W	12,8	6,68	1230	0,181	8,7
S.Caterina 1	W	9,2	7	344	0,023	15,7
S.Caterina 2	W	8,7	7,02	606	0,02	23,8
S.Teodoro	S	13,9	7,33	817	0,018	27,8
Scuderi Bianc.	W	12	6,8	594	0,049	14,8
Zummo	W	16,6	7,4	703	0,014	22

S:spring(kaynak), G:drainage(dranaj), W:well(kuyu)

Tablo 3.20 Etna Yer Altı Sularındaki ^{222}Rn 'nin İstatistiksel Analizi

	Toplam	E	N	SW	G	W	S
N	119	55	18	46	17	63	39
Min	1,8	1,8	4	2,2	2	1,8	2,3
Max	52,7	52,7	35,1	16,7	18,8	43	52,7
Mean	11,8	13,4	15,5	8,4	7,8	13,5	10,9
Median	9,3	10,9	15	8,1	7,1	10,9	6,5
Std dev	9,2	11,6	8,4	3,9	5	9	10,3

E, N ve SW hidrojeolojik yerler, G:drainage(dranaj),
W:well(kuyu), S:spring(kaynak)

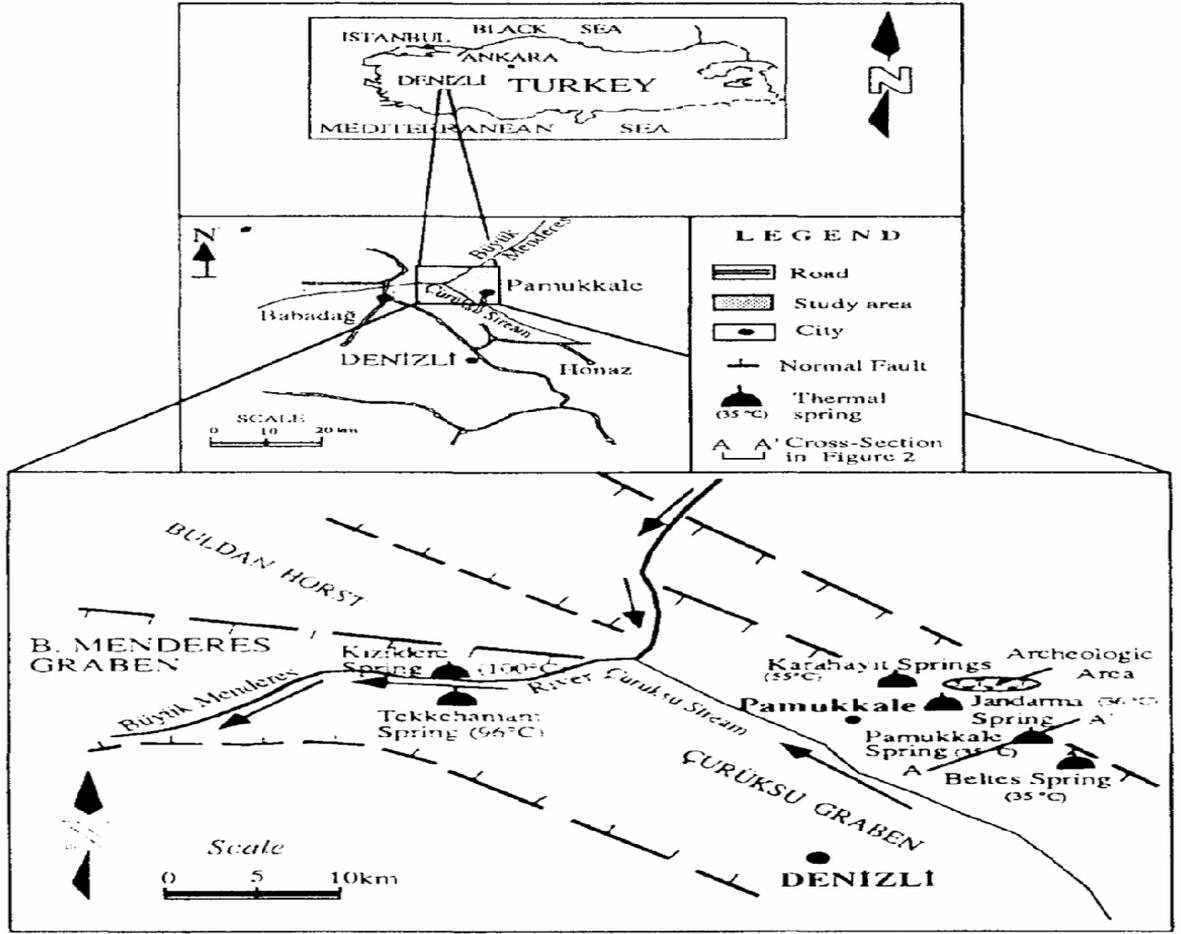
Etna sularının ^{222}Rn aktivitesi 1.8'den 52.7 Bq/l'e kadar değişmektedir. Kuyu sularında kaynak sularından daha çok Rn vardır. (Walter D'Alessandro, 2001)

3.16 Velenje'deki (Slovenya) Uçan-Kül Tortusundan Kaynaklanan Radyoaktif Yüzey Suyu Kirliliği

Kömürle çalışan Šoštanj termik santrali 1972'den bu yana çalışmaktadır ve her yıl buradan bir milyon ton kömür külü çıkmaktadır. U içerikli uçan küller kömür çamuru olarak 0.50 km²'lik bir alanda göl ve göletlerde tortu oluşturmaktadır. Bu küllü çamur göl suyunu doğrudan etkilemektedir. Uçan küllerden süzülen radyonükleidler göl, akarsu ve yağmur suyuna karışmaktadır. Göl suyunun yüksek alkanitesi, çözünürlüğü ve böylece radyonükleid konsantrasyonunu etkilemektedir.

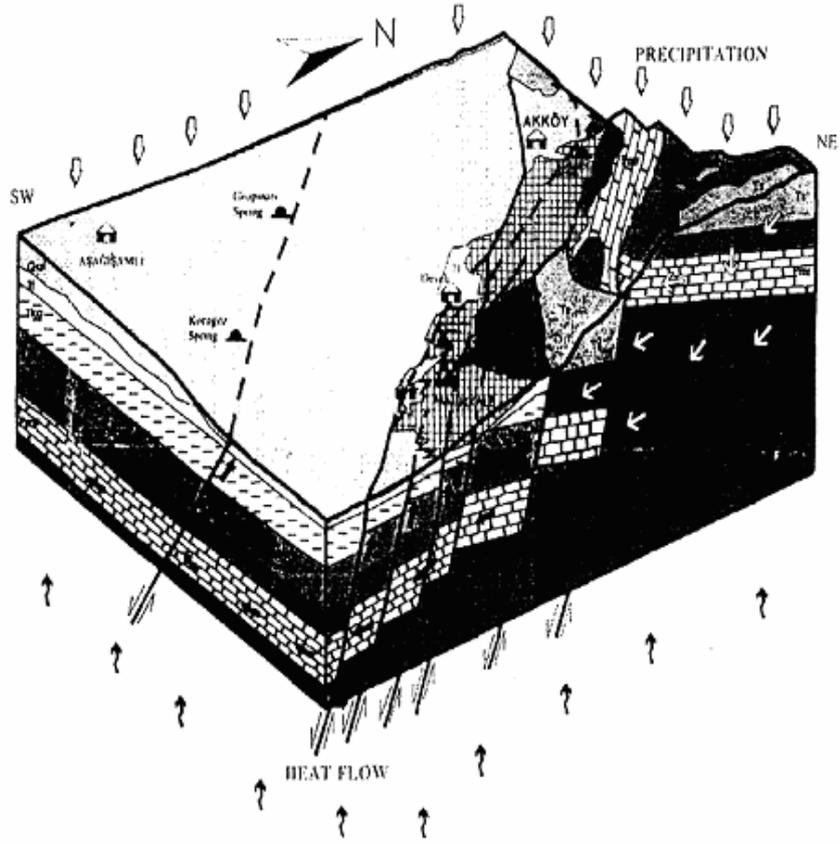
Paka nehri ve Velenje Gölünde su ve taban tortuları analiz edilmiştir. Örnek alınırken 30 m²'ye kadar inilmiştir. Alınan örnekler 5 L polietilen şişelerde saklanmıştır. Tortu örnekleri alındıktan sonra kurumaya (105 °C) bırakılmıştır. Uranyum tespiti için radyokimyasal nötron aktiflik analizi Radium için yayılma metodu uygulanmıştır. Tortulardaki radyonükleidler HPGe detektörü ile analiz edilmiştir. (Liljana Mljač, 1995)

3.17 Pamukkale'deki Travertenlerin ve Jeotermal Suların Korunması (Türkiye)



Şekil 3.11 Pamukkale Travertenlerinin Yerleşim Haritası

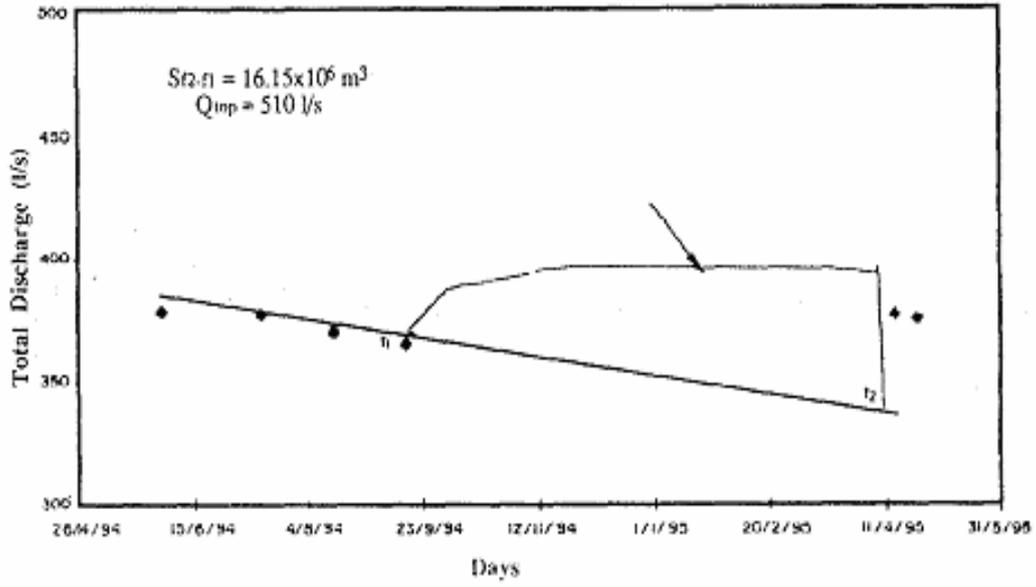
Turizm ve ticari amaç, bir dünya mirası olan ünlü beyaz Pamukkale travertenlerinin renginin değişmesine sebep olmakla birlikte fiziksel zarara neden olmaktadır. Kültürel hizmet (Ministry of Culture) ve UKAM tarafından 1993 yılında başlatılan bilimsel çalışma ile bu zarar hafifletilmiştir. Teraslardaki havuzlarda oluşan su yosunları suyun rengini değiştirmektedir. Teraslardaki bu su yosunları fabrikalardan gelen mikrop lu sızıntılar ile artmaktadır. Terasları korumak ve travertenleri çoğaltmak için su yosunlarının oluşumu engellenmelidir.



Şekil 3.12 Pamukkale Travertenlerinin Sistematik Diyağramı

Tablo3.21 Pamukkale'deki Termal Kaynakların Kimyasal Analizleri

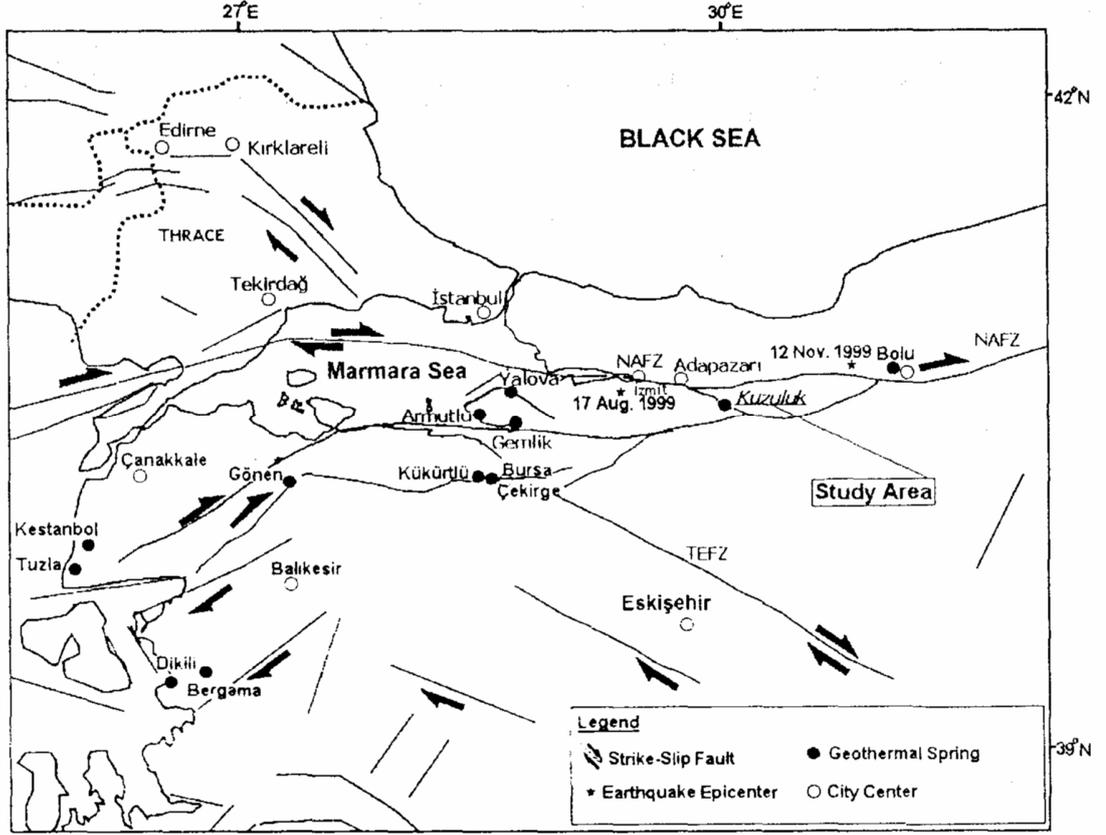
Yer	Tarih	T(°C)	EC(mS/cm)	pH	Kasyonlar(meq/l)				Anyonlar(meq/l)		
					Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄
Motel PM1	03.05.1995	35	2800	6,01	1,64	1,27	24,89	7,64	19,8	0,5	15,16
Jandarma PJ1	03.05.1995	35,5	2550	6,06	2,12	1,3	24,04	7,79	19,6	0,5	15,16
Beltes BP1	03.05.1995	35,5	2850	6,02	2,35	0,95	24,45	7,68	20,5	0,5	15,38
Çukurbağ ÇB	03.05.1995	55	4700	6,38	1,9	1,19	30,42	0,5	23,7	0,9	17,43
Karahayit Sp.	03.05.1995	55	3750	5,85	2,63	1,79	5,65	0,32	20,4	0,8	19,21



Şekil 3.13 Pamukkale Travertenlerindeki Azalan Eğimin Gösterimi

UKAM 1993'den bu yana beyaz travertenlerin korunması ve rehabilitasyonu için çalışmakta, bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik yapısı ile ilgili bir fikir ortaya çıkarmış olup dolun boşaltım ilişkisini de kurmuştur. Traverten oluşumunu artırmak ve bunları çevre kirliliğinden korumak için bir stratejik program geliştirmiştir. 4-7 metre uzunluğunda kanallar yapılmıştır ve bu kanallar su travertene ulaşmadan gaz çıkışı olmaması için beton kapaklar ile kaplanmıştır. Bu kapaklar sayesinde su güneş ışığından da korunmuştur. (S. Şimşek, 1998)

3.18 Adapazarı-Kuzuluk Termal Sularındaki Radyoaktivite Değişiklikleri ve Deprem Kimyası



Şekil 3.14 Kuzuluk Jeotermal Bölgesinin Yerleşimi

Kuzey Anadolu Fay Hattındaki (NAFZ) hareket 87 gün aralıklarla Gölcük-İzmit (17 Ağustos 1999) ve Düzce-Bolu (12 Kasım 1999) bölgelerinde yıkıcı depreme sebep olmuştur. Kuzuluk jeotermal bölgesi depremin merkezinde olup, fay hattı ile jeotermal bölge arasındaki mesafe en az 5 km'dir. Kuzuluk termallerinde sıcak su iki termal delikten çıkmaktadır. Deprem öncesi ve sonrası bu sudan alınan örnekler Nötron Aktivasyonu ve Atomik Emme Spektrometresi metotları ile analiz edilmiştir. Özellikle doymun Pb, Cr, Ni, Cu içindeki toplam α ve β aktiviteleri artış göstermekte ve doymun Fe, Zn, Cd, Mn ve Co içindeki toplam α ve β aktiviteleri azalış göstermektedir.

Ölçülen yüksek değerler; Pb-75 ppb, Cr-35 ppb, Ni-12 ppb, Cu-65 ppb,

Ölçülen düşük değerler; Fe-45 ppb, Zn-55 ppb, Cd-15 ppb, Mn-135 ppb, Co-6 ppb

Toplam α aktivitesinin belirlenmesinde ZnS ve antrachene sintilasyonu ile alfa sayacı kullanılmıştır. Toplam β aktivitesinin belirlenmesinde ise ZnS ve antrachene sintilasyonu ile beta sayacı kullanılır.

Sonuç olarak; doğal α aktivitelerinin orijinal temelleri Toryum ve Uranyum'dur. Depremden sonra toplam α ve β aktivitelerindeki artış sırasıyla %40.8 ve %23.7 dir.

Tablo 3.22 Kuzulukta Ağustos 1999'daki Depremden Önce ve Sonra Termal Sulardaki α ve β Aktivite Yoğunlukları

	Depremden Önce	Depremden Sonra
Toplam α Aktivitesi	2,4	3,3
Toplam β Aktivitesi	2,2	2,7

Tablo 3.23 Depremden Önce ve Sonra Termal Sulardaki Elementlerin Yoğunluklarındaki Değişimler

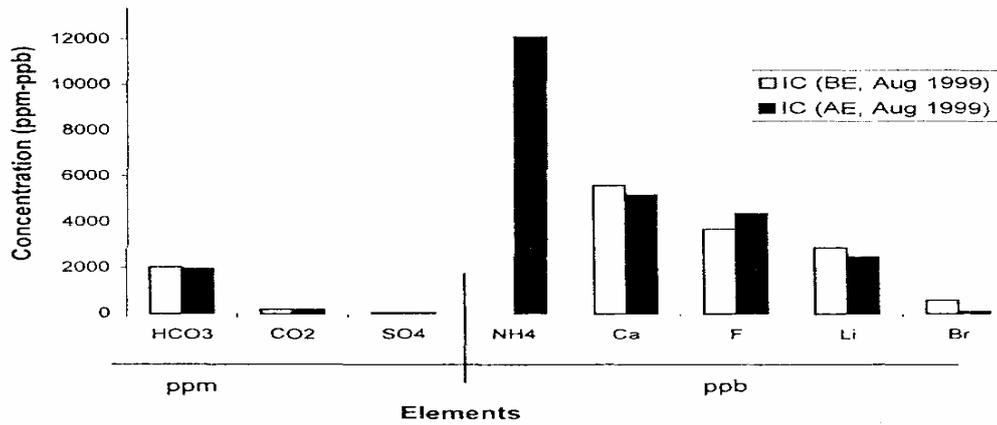
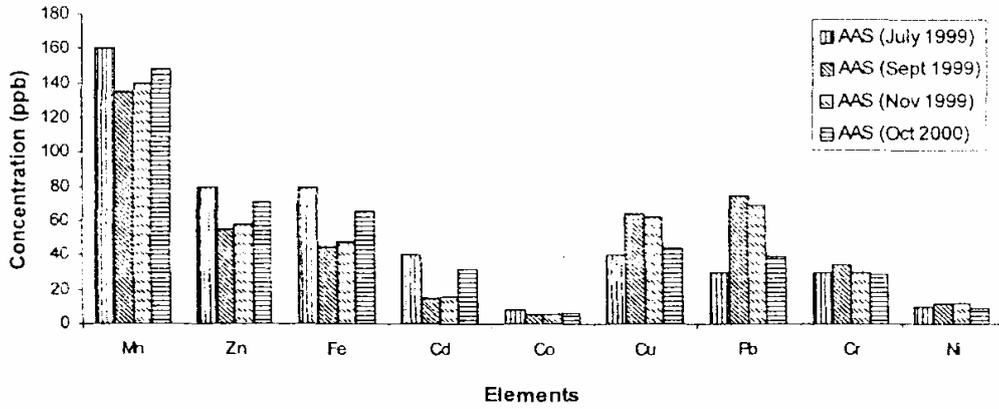
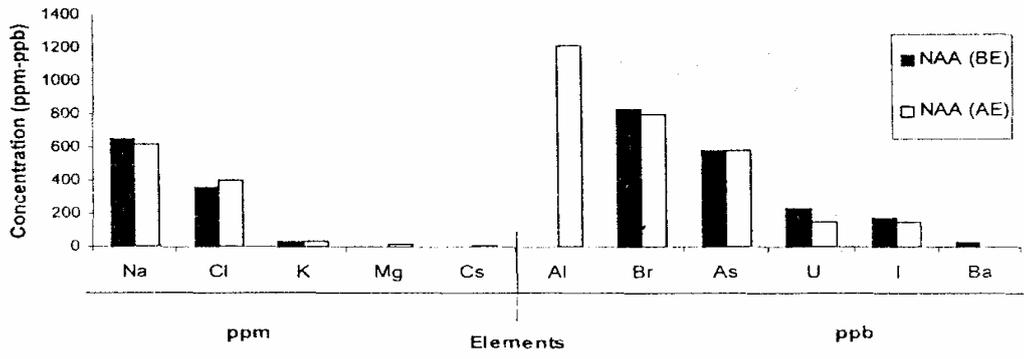
Elementler	Depremden Önce(Temmuz 1999)		Depremden Sonra(Eylül 1999)	
	NAA (mg/l)	IC (mg/l)	NAA (mg/l)	IC (mg/l)
Na	647	767	620	754
Cl	361	413	401	393
K	36	44	35	45
Mg	14	14,5	15,4	15,2
Cs	11,2		9,7	
Al	1,1		1,2	
Br	830	590	804	120
As	585		583	
I	176		154	
U	235		148	
Ba	27			

Tablo 3.24 Atomik Emme Spektrometresi (Atomic Absorption Spectrometer-ASS) İle Yapılan Uygulamada Termal Sulardaki Elementlerin Yoğunluklarının Gösterimi

Elementler	Termal Suların Yoğunlukları (ppb)			
	Tem.99	Eyl.99	Kas.99	Eki.00
Fe	80	45	48	66
Pb	30	75	69	39
Cu	40	65	63	44
Zn	80	55	58	71
Cd	40	15	16	32
Mn	160	135	140	148
Ni	10	12	12	9
Cr	30	35	30	29
Co	8	6	6	7

Tablo 3.25 İyon Chromatography ve Titration Deneylelerinin Sonuçları

Elementler	İyon Chromatography-Titration	
	Depremden Önce (mg/l)	Depremden Sonra (mg/l)
SO ₄	45,9	41,7
NH ₄	n.d	12,1
Ca	5,6	5,2
F	3,7	4,4
Li	2,9	2,5
Br	0,6	0,1
HCO ₃	2044	1983
CO ₂	198	185



Şekil 3.15 NAA, AAS ve IC Metotları İle Temmuz 1999 ve Eylül 1999'da Ölçülen Farklı Elementlerin Yoğunlukları (BE,17 Ağustos 1999 Depreminden Önce) (AE,17 Ağustos 1999 Depreminden Sonra)

NAA, Neutron Activation,AAS, Atomic Absorption Spectiometer,IC, Ion Chromatography
(B. Belin, T. Yalçın)

3.19 Phlegraeen Arazilerindeki Termal Suların Jeokimyasal Denetimi

İtalya'daki Phlegraeen bölgesi termal suları 1990-1999 yılları arasında periyodik olarak örneklenip, kimyasal bileşenleri, fizikokimya parametreleri ve jeokimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Farklı yerlerden alınan sularda gözlemlenen değişiklikler inceleme sırasındaki yer hareketleri ve mikrosismik olaylarla karşılaştırılmıştır. Phlegraeen bölgesi hidrotermal sisteminin denetimi derin akuferlerin kimyasal ve fiziksel karakterlerindeki değişim nedeni ile oluşan jeokimyasal değişiklikler hakkında bilgi vermiştir.

Bazı durumlarda, dikey toprak hareketleri ve sulardaki kimyasal değişimler arasında bir uyum gözlenmiştir. Solfatara krateri yakınlarındaki havuz ve kuyularda bazı kimyasal parametrelerde ilginç değişiklikler gözlenmiştir. Değişiklikler bütün örnekleme bölgelerinde görülmüştür. Fakat Solfatara krateri yakınlarındaki havuz ve kuyuları derin hidrotermal sistem değişikliklerinin tespiti için en uygun bölgedir.

Volkanik akıntıların jeotermal denetimi volkanik arazilerde doğal zararın tespiti için yararlı bir araç oluşturur. Phlegraeen bölgesi hidrotermal sistemi Pozu şehrinin 4-5 km altında yer alan bir mağma bacasından çıkan akıntılarla beslenmektedir. Bu bölgedeki çökme, yükselme ve sismik olayların sorumlusu olarak bu sığ magma bacası görülmektedir. Jeokimyasal karakteristiği ve ısısı nedeni ile sekiz tane örnekleme bölgesi seçilmiştir. Değişik zamanlarda örnekler alınmış ve polietilen şişelerde saklanmıştır. Katyon tespiti için asitlendirilmiş ve atomik emilim spektrometresi (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Li^+ , Rb^+ , Sr^{2+} , SiO_2) spektrometre (NH_4^+ , F^- , B) ve iyon kromatografisi (SO_4^{2-} , Cl^-) ile analiz edilmiştir. pH ve elektrik iletkenliği örnekleme sırasında kontrol edilmiştir.

Toplanan data'lara doluluk indeksi ve ters modelleme hesabı için PHREEQC yazılım programı uygulanmıştır.

Yapılan analizler sonucunda 3 farklı kimyasal su çeşidi ayırt edilmiştir.

1. Alkali-klorid, tuz oranı yüksek su
2. Alkali-bikarbonat, tuz oranı düşük su
3. pH'ı 1.40-4.9 olan asit sülfat sular

Suların bir kısmı da bu 3 çeşidin karışımıdır. Su bileşenlerindeki farklılıklarda;

1. Su-kaya etkileşimi
2. Sığ meteorik deniz suyu veya derin tuzlu jeotermal suların karışması
3. Mağmatik akıntıların

etkisi görülmüştür. (G. M. Valentino, 2004)

3.20 Yer Altı Su Kaynakları (Maden Suları)

Yüzeysel sularının yer altına sızarak tabakalar arasındaki boşluklarda ya da geçirimsiz tabaka üstündeki geçirimli tabakada birikmesine yer altı suyu denir. Sızma olayı sonucu yer altında depolanan bu suların yer yüzüne kendiliğinden çıktığı yerlere ise kaynak denir. Kaynak suları, kışın ılık, yazın soğuk olurlar. Günümüze kadar içmesuyu sağlamak amacı ile özellikle yer altı sularından yararlanılmıştır. Yüzeysel sulara oranla daha temiz olan yer altı su kaynaklarının sınırlı ve büyük bir kısmının kullanılmış olması, gittikçe yüzeysel su kaynaklarından yararlanılmasını zorunlu kılmaktadır. Yüzeysel su kaynaklarının her geçen gün artan bir hızla evsel, tarımsal ve özellikle endüstri atıkları ile kirletildiği, bunun sonucunda da halk sağlığının tehdit edildiği, ekolojik dengenin bozulduğu ve suların ekonomik değerinin yitirildiği bilinen bir gerçektir. Bu da yüzeysel su kaynaklarının kullanılabilirliği için gerekli arıtma masraflarını artırmaktadır. Vali Çeşmesi (Cankurtaran), Kocapınar (Honaz), Değirmenönü (Yeşilköy), Kestane deresi (Buldan, Gümüşsü, Işıklı, Gürpınar (Çivril), Güney suyu, Akgöz pınarı (Işıklı), Göz adını taşıyan sular (Honaz), Kırkpınar (Karahisar-Tavas), Başpınar (Askeri Gazino'nun kuzeybatı), Fındıksuyu (Çamlık-Atış Poligonu arası), Kozpınar (Zeytinköy batısı) gibi kaynakların büyük bölümü kent içme suyu şebekesine alınmış, bazıları az da olsa akışlarını sürdürmekte, piknik yeri olarak faydalanılmaktadır. Bazı kaynak sular üzerinde de kültür balıkçılığı amacıyla tesisler kurulmuştur.

Bolu'da özellikle Düzce ve Bolu ovalarını çevreleyen dağlar ormanca zengin olup yağışların toprağa kolayca sızmasını sağlayarak yer altı su tabakasının zenginleşmesini sağlarlar. Bu sulardan bir kısmı diplere kaymadan yamaçlar boyunca yüzeye çıkarak çeşitli tatlı su kaynakları ve pınarları oluşturur. Buna karşın sular faylı bölümlerde toplanmışsa altta mağmadan gelen kızgın gazların etkisi ile ısınır ve bazı mineralleri eriterek bünyelerine alıp yeryüzüne çıkarlar. bu durumda sıcak su kaynakları ile maden suları oluşur. Bolu'da da maden sularına rastlanır. Çünkü arazi tektonik çöküntü ve faylarla parçalanmıştır.

3.20.1 Maden Sularının En Önemlileri

a) Ömerler Maden Suyu

Bolu'ya 16 km. Abant yolu üzerindedir. Sıcaklığı 14 °C olup etkileşiminde kalsiyum bikarbonat ve magnezyum yer alır. Aktivitesi 6,4 Bq olup mide ve böbrek rahatsızlıklarına iyi gelir.

b) Akkaya Maden Suyu

Bolu'ya 6 km. mesafede bir tepeden çıkar. Sıcaklığı 20 °C olup karbonik asit bakımından zengindir. Su, taraçalı bir yüzeyden akarken içindeki karbon gazının uçması ile eriyik halindeki kireç açığa çıkarak dalga dalga traverten örtüler oluşturmakta ve ünlü Pamukkale' ye benzeyen görüntüler ortaya çıkmaktadır.

Kaplıca yolu üzerinde Bolu tarafında birkaç yerden çıkar. Bol kükürt ve hidrojeni ihtiva eder. İçilmesi tavsiye edilmez. Berk Köyünde çıkan maden suyundan acı su bazlaması yapılır. Ekmek hamurunu kabartmada kullanılır. Hidrokarbonatça zengin ve kalevidir. Radyoaktivitesi 6,8 Bq dir.

d) Kırıık Maden Suyu

Köy yolu üzerinde soldadır. Fazla kullanılmaz radyoaktivitesi 2,5 Bq olup ekonomik değeri pek yoktur.

3.20.2 Yer Altı Sularının Beslenmesinde Etkili Olan Faktörler

- 1) Yağış miktarı,
- 2) Yağış türü (Kar yağışları ile beslenme fazla olur.)
- 3) Zeminin geçirimliliğı (alüvyal ve karstik alanlarda geçirimlilik fazladır).
- 4) Arazinin eğimi :Eğimin az olduğı alanlarda beslenme daha fazladır.
- 5) Bitki örtüsü: Yüzeysel akımı engellediğı için.

3.20.2.1 Taban Suyu

Alüvyal ovaların tabanında bulunurlar. Altta geçirimsiz tabaka ile sınırlandırılmış geçirimli tabaka üzerinde biriken sulardır. Beslenme durumuna göre taban suları bazen yüzeye kadar çıkabilir. Yer altı su seviyesinin düşük olduğı alanlarda ise kuyu açmak suretiyle bu sulardan faydalanılır.

Türkiye taban suları bakımından zengindir. Örneğın: Ege Bölgesinin çöküntü ovaları, Konya, Kayseri, Erzurum, Erzincan, Elazığ, Bursa, Adapazarı gibi.

3.20.3 Kaynaklar

Yer altı sularının tekrar yeryüzüne çıktığı yere kaynak denir. Sularının Sıcaklığına Göre Kaynaklar 2 Grupta İncelenebilir:

3.20.3.1 Soğuk Su Kaynakları

Sularını yağışlarla yeryüzünden alırlar.

Sularının sıcaklığı ve akımları yıl boyunca değişir.

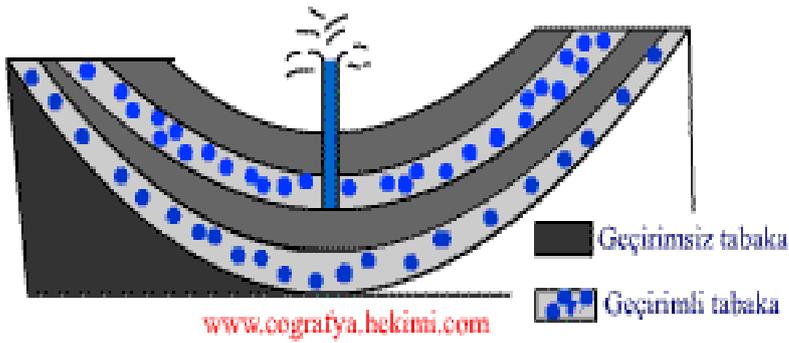
1)Tabaka Kaynağı (yamaç): Geçirimli tabakların uç kısmından suların yüzeye çıktığı yerdir.

2)Vadi Kaynağı: Vadi tabanlarından çıkan kaynaklardır.

3)Karstik Kaynak (Voklüz): Kalkerli arazilerde yer yüzüne çıkan kaynaklardır. En fazla Akdeniz Bölgesinde görülür. Örneğin: Düden suyu

Bu kaynakların en önemli özelliği sularının bol miktarda kireç içermesidir.

4)Artezyen Kaynağı: Tekne biçimindeki iki geçirimsiz tabaka arasındaki geçirimli tabakaya açılan bir sondaj ile suların püskürerek yer yüzüne çıkmasıdır. Diğer kaynaklardan ayrılan yanı beşeri faktörlerin etkisiyle yer yüzüne çıkmasıdır.



3.20.3.2 Sıcak Su Kaynakları

Sularını mağmaya yakın alanlardan alırlar.

Suları geldiği derinliğe göre sıcak veya ılıktır.

Sularının sıcaklığı yıl boyunca aynıdır.

Akım değişikliği olmaz.

Bol miktarda eriyik madde içerir.

1)Fay Kaynağı: Fay hattı boyunca yeryüzüne çıkan kaynaklardır. Halk arasında bu kaynaklara ılıca, kaplıca,çermik, içme ve maden suları denilmektedir.

Örneğin: Manisa (Kurşunlu, Urganlı, Alaşehir, Demirci), Denizli (Pamukkale, Karahayıt,Sarayköy, Buldan), Kütahya (Simav), Balıkesir (Edremit, Gönen), Sivas (Balıklı Çermik) gibi merkezlerde vardır. Bu yerlerin ortak özelliği yer yapılarının özelliğidir.

2)Gayzer Kaynağı: Etkin haldeki volkan dağlarından değişik aralıklarla püskürerek çıkan kaynaklardır. Türkiye’de örneklerine rastlanmaz. (www.ödev sitesi.com)

BÖLÜM IV

DENİZLER VE NEHİRLER

4.1 Amazon Kayalıklarındaki Tortu-Su Arasındaki Etkileşimde Radyonüklid Bulmak

Amazon nehrinin ağzında yapılan karakteristik ölçümler fiziksel oşinografi ölçümleri ve çökelme ile yapılmıştır. Amazon kıtasal kayalıklarında yapılan 2 yıllık alan çalışması nehir hidrografının değişik aşamaları süresince yapılan bilgi toplama amaçlı gemi gezintilerini de içermektedir. Kayalara gel-gitin Kuzey Brezilya akıntısının ve rüzgarın etki ettiği görülmüştür. Amazon Nehri ağzındaki Uranyumun çoğu parçacık evresine bağlıdır. Erimiş Uranyum'da Uranyum/Tuz dağılımı gözlemlenmiştir. Uranyum dağılımı fazla, tuz oranı ise daha düşüktür. Amazon Kayalıklarındaki taşıyıcı elementlerin ayrılışı ve dağılımının parça dinamiklerinin etkisinde olduğu deneyler sonucu anlaşılmıştır.

Kayalardaki parça oranlarını ölçmek için ^{234}Th , kayalara kıydan uzak sulardan gelen reaktif metal potansiyelini değerlendirmek için ise ^{210}Pb kullanılmıştır. Ultra-saf Germanyum kristali γ -ışını detektörü, teğet akış ultrafiltrasyon sistemi uygulanmıştır. Diğer ölçümler klasik radyokimyasal tekniklerle yapılmıştır. (Willard S. Moore, 1995)

4.2 İrlanda Denizinde Technetium-99 Birikimi

Nükleer yakıtın İrlanda Denizi içine boşalması ile ⁹⁹Tc denizin içine taşınmıştır. Denizin yüzeyinden ve derin yerlerinden alınan tortu örnekleri ile ⁹⁹Tc analizi ile yapılmıştır. Batı İrlanda Denizi içindeki çamurlu tortu kullanılarak hidrografik veri elde edilmiştir. Yüzey bölgesindeki sular derin yerlere göre daha fazla ⁹⁹Tc içermektedir ve tuzlu su yoğunluğu ile ters ilişkilidir. Bu ters ilişki Sellafield'e yakın Batı İrlanda Denizinde görülmemektedir.

Cumbrian kıyısına yakın yerlerde büyük oranda (>20 Bq/kg) ⁹⁹Tc bulunmaktadır. (Kinson S. Leonard, 2004)

4.3 Arap Denizinde Sahilden Uzak Yerlerde ve Sahilde Bulunan Metan

İlkbahar İntermosoon(SI) ve güneybatı Muson mevsimlerinde sırasıyla 1997 Ağustos-Eylül ve 1996 Nisan-Mayıs aylarında Arap denizinin merkezinde ve doğusunda iki kanal içinden metan (CH₄) ölçümü yapılmıştır. Kayalık bölgeler içerisinde SWM'de yüksek değişkenler incelenmiştir. Yüzey sularının anormal derecede doymun olduğu (≈ %13.000' den fazla) sonucu elde edildi. Arap denizinin merkezinde maksimum 2 çeşit metan olduğu görülmüştür. 150-200 metre derinlikte daha etkili olduğu, okyanusun başka yerlerinde de benzer şekilde yer aldığı görülmüştür. (D. A. Jayakumar, 2001)

BÖLÜM V

VOLKANİK VE SİSMİK HAREKETLER

5.1 Volkanik ve Sismik Hareketler, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen-Kuvaterner Volkanitlerine İlişkin Yeni Jeokimyasal, Radyometrik ve İzotopik Verilerin Yorumu

Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da Orta Miyosenden itibaren etkin olmaya başlayan çarpışma sonu volkanizması incelenmiş ve çeşitli yörelerdeki değişik yerlerden örnekler alınarak majör, iz ve nadir toprak element kimyasal analizleri, stronsiyum izotop ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) ölçümleri ve K/Ar (Tuncay Ercan, 1997) yöntemi ile radyometrik yaş belirlemeleri yapılmıştır. Volkanitlerin iz element kapsamaları genellikle üst kıtasal kabuk, kısmen alt kabuk ve ender olarak da manto ortalama değerlerine uymaktadır. Örneklerde ölçülen stronsiyum izotop oranları 0.70350—0.70640 arasında geniş bir aralıkta olup, bölgede Anadolu ve Arap plakalarının birbirleriyle çarpışmalarından önce Arap plakasına ilişkin kabuk parçasının volkanitleri oluşturan magmaya bulaştığının işareti olarak yorumlanmıştır.

Son yıllarda, volkanolojik, jeokimyasal, jeokronolojik ve izotopik çalışmalar yardımıyla volkanizmaların kökenleri, oluşum koşulları ve tektonik yerleşimlerinin açıklanmalarında büyük aşamalar kaydedilmiştir. Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun yaklaşık olarak yarısını kaplayan genç volkanizma, Orta Miyosenden itibaren yoğunlaşmaya başlamış ve bu etkinlik tarihsel zamanlara, hatta günümüze değin süregelmiştir. Volkanik kayaçlar üzerinde bugüne kadar yapılan çalışmalar yersel ve dar alanlarda olmalarının yanı sıra, özellikle petrokimyasal yönden de sınırlı kalmışlardır.

Güneydoğu Anadolu'yu kapsayan inceleme alanında, seçilen değişik bölgelerden 71 adet örnek alınmış, bunların tümünün majör element kimyasal analizleri, 11 tanesinde iz ve nadir toprak element analizleri 14 tanesinde K/Ar yöntemi ile radyometrik yaş belirlemeleri, sekiz örnekte ise stronsiyum izotop ölçümleri ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) yapılmıştır.

Tüm örneklerin major element kimyasal analizleri Japonya'da Tokyo Üniversitesi Kimya laboratuvarlarında X-ray flüoresans spektrometresi ile; 22 farklı iz element ile 9 tür nadir toprak elementin analizleri ise Kyoto Üniversitesi Araştırma Reaktör Enstitüsü Laboratuvarlarında, nötron aktivasyon analiz yöntemi ile gama ışınları spektrometresinde 4096 kanallı titreşim ağırlık analizcisi ile birlikte, saf germanyumlu yarı iletken dedektör (ORTEC,GEM—20180) kullanılarak yapılmıştır. Özellikle 9 tür nadir toprak elementin ölçümleri çok hassas olup, Tb ve Ho haricinde hata payı % 3 ün altındadır. İz elementlerden Sr, Sb ve Cs ölçümlerinde hata payı % 5 dolayında olup, diğerlerinde % 10 dan daha azdır. 8 örnekte yapılan stronsiyum izotop oranları ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) ölçümleri ise Tsukuba üniversitesi Kimya Laboratuvarlarında çift kollektörlü tipte bir kütle spektrometresi ile yapılmıştır. 14 farklı örnekte yapılan radyometrik yaş belirlemeleri ise K/Ar yöntemi ile Kobe Üniversitesi Jeokronoloji Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş, K ölçümleri atomik absorpsiyon spektrometresinde, Ar miktarları ise kütle spektrometresi kullanılarak yapılmıştır. (Tuncay Ercan, 1997)

5.2 Japonyanın Merkezindeki Norikura Volkanik Alanındaki Yüzeysel Suların Kimyası: Olası İstatistiksel Değişiklik

Tablo 5.1'de görüldüğü gibi su veya kaya etkileşimi sonucunda yüzeysel suların kimyasal yapısı ile ilgili birçok hidrokimyasal çalışma yapılmıştır ve bu sular hem insanlar tarafından hem paleo-tuzlusu tarafından kirletilmiştir. Norikura volkanı Japonya'nın batısında olup, araştırmalar için uygun bir yerdedir. Bu nedenle Norikura volkanının eteklerinden ve zirvesinden çeşitli örnekler toplanmıştır. Zirveden alınan bazı örnekler çok düşük elektrik iletkenliği göstermektedir ve $12\mu\text{s}/\text{cm}$ 'den daha düşüktür. Hidrokimyasal oluşum faktöründe istatistiksel olasılık değişken tekniği gibi esas bileşen analizi (PCA) ve faktör analizi (FA) kullanılmıştır. Sonuçta üç faktör elde edilmiştir. Birinci faktör yüksek K^+ , CA^+ , SO_4^{2-} yüklendiğini gösterir. Bu faktör su ve

taş arasındaki asidik çökeltme kimyasal etkileşiminin etkisini gösterir. İkinci faktör yüksek Na^+ ve Cl^- yüklendiğini ve deniz suyundaki etkisini gösterir. Üçüncü faktör NO_3^- yükünü ve sebzelerin biyokimyasal yapısının incelenmesine yardımcı olur.

Bu faktörlerin suların kimyasal yapısına etkisi sırasıyla %45, %20 ve %10 dur. Norikura dağıının eteklerinde yapılan araştırmada jeotermal olmayan su örneklerinde kimyasal zıtlık ortaya çıkarmıştır. Bütün kimyasal zıtlık %45 silikat bozulumundan %20 katkı iyon değişimi yada Ca^{2+} , ve Mg^{2+} çökeltmesindedir. (Katsuro Anazawa, 2000)

Tablo 5.1 Su Örneklerinin Kimyasal Yapısı

	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	SiO_2	EC(μS)
Norikura volkanik zirvesi									
Ortalama yoğunluklar	0,49	0,1	0,39	<0,05	0,2	0,24	0,74	2,59	5,79
Max. Yoğunluklar	1,00	0,45	1,11	0,14	0,5	1,11	3,37	10,12	12,3
Karşıtlık	0,07	0,01	0,09	0	0,01	0,05	0,44	7,88	7,17
Norikura volkanının etekleri									
Ortalama yoğunluklar	3,08	0,63	14,73	3	1,34	0,52	17,92	7,7	120,8
Max. Yoğunluk	20,95	2,03	36,05	10,31	14,98	2,09	51,92	11,83	281
Karşıtlık	15,58	0,18	75,05	5,36	9,26	0,24	134,9	11,49	4224
Bulanık su	5,3-991	0,0-36,5	0,3-67,2	0,6-41,4	7,2-1414	0,0-3211	43-3630		
Norikura bölgesi ^a									
Dağdaki çökeltme	0,22	0,07	<0,05	<0,05	0,13	0,11	0,06		
Norikura zirvesi ^b									
Japonya'daki sularındaki temel değerler ^c	nehir 6,7	1,19	8,8	1,9	5,8	1,15	10,6	0,18	70,7
Denizsuyu ^d	10,556	380	412	1272	19,4		2649	19	

a:Minami ve Ishizuka(1996), b:Araştırmalar, c:Kobayashi(1960),d:Brewer(1975)

5.3 Volkanik Duman Püskürten Küçük Deliklerin Sabit İzotop Jeokimyası:

Volkanik Gözetimin Kavranması

Volkanik çevrelerde mağmatik sular volkanik jeotermal sistemlerde toplanabilir, ya da nadiren volkan krateri içindeki derin kırıklardan yüzeye çıkabilir. Aktif volkanik bölgelerde mağmatik kalıtlı sıvı hakkındaki bilgi mağmanın kimyasal gelişimi içinde bulunduğu kabuk ve kabuktan çıkış mekanizmasının anlaşılmasına bağlıdır. Atmosferik

basınç karşısında mağma olmadan hidrotermal sıvıların genişmesi sonucu oluşan patlamalar sırasında değişkenlerin (özellikle su) kaynağı da ilgi çekicidir. (Hidrotermal yada freatomağmatik patlamalar) Her iki durumda da volkanik veya freatik (yer altı suyu ile ilgili) aktiviteler krater fümariyelik sistemlerdeki kimyasal değişimler ve dayanıklı izotoplar nedeni ile oluşur. Krater fümariyeliklerdeki yoğunlaşmış suların H ve O izotopik bileşimi volkanik sistemlerde yüksek ısıda mağmatik suların bulunmasının kanıtıdır. Volkanik bölgelerdeki çevresel riski değerlendirmek için yedi farklı volkanik bölge ele alınmıştır. Tablo 5.2’de Galeras Volkanı (Kolombiya), Kilauea (Hawaii), Kudryvy Volkanı (Kuril volkanik yayı), Saint Helen Dağı (Guagua Pichincha (Ekvator), Volcano Adası (İtalya), Ege Volkanik Yayı (Yunanistan) için sıcaklık, $\delta^{18}\text{O}$, değerleri elde edilmiştir. Mağmatik sıvıların çıkışı sırasındaki sığ su bileşenleri ile değişik derecelerde karışımı volkanik sistemlerin oluşumunda ikincil prosedürdür. Ortadan düşük ısıya ($>100\text{ C}^0$) kadar olan fümariyelikler daha soğuk sığ bileşenlerinin artışı yansıtan bir izotopik yapıya sahiptir. (C. Panichi, 2001)

Sonuç olarak; yavaşça gaz yayan volkanlar ve yüksek ısılı fümariyelikler (duman püskürten delik) sıvı örnekleri almak için en iyi yerlerdir. Volkanik buharların H ve O yapısı magma veya magma bileşenlerini gösterir.

Tablo 5.2 H₂O-CO₂ Sistemlerinin Oksijen İzotopik Kompozisyonuna Göre $\delta^{18}\text{O}$ Değerlerinin Hesaplanması

Volkan	X _{CO₂}	T(⁰ C)	¹⁸ O (%)
Kudryavy	0,005-0,025	130-940	0,1-1
Galeras	0,01-0,03	140-397	0,02-1,6
Mt St Helens(MSH)	0,07	>400	2,3
Guagua Pichincha	0,03-0,04	87	2,0-3,0
Vulcano Island	0,02-0,17	200-600	0,1-4
Aegean arc	0,01-0,04	100	1,1-4,2
Kilauea	>0,03	85-300	>(1,2-3,8)

Tablo 5.3 Fumarolik Gazların Asıl Parçalarının Konsantrasyonları

	Kilauea zirvesi	Kilauea yarık bölgesi
HO	37,1	79,8
CO	48,9	3,2
SO	11,8	14,9

(C. Panichi, 2001)

5.4 Helyum İzotopu Değişimi: Tektonik, Volkanizm ve Sismik Aktivite İle İlişkisi

Türkiye'deki çeşitli tektonik illerdeki helyum izotopu oranının dağılımı önceden yayınlanan datalardan sentez edilerek incelenmiştir. 1999 depremindeki felaket ile Kuzey Anadolu Fay Hattında (NAFZ) yeni incelemeler yapılmıştır. Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'de Türkiye'de bulunan jeotermal sulardaki Helyum izotopu sonuçları verilmiştir.

R/R_A değeri ($R=^3\text{He}/^4\text{He}$ örneği ve $R_A=\text{hava } ^3\text{He}/^4\text{He}$) 7.87'den 0.05'e değişmektedir ve birçok yerde helyum örtüsü tanımlanmıştır. Doğu Anadolu'daki nemrut volkanik dağında bu örtü maksimum derecededir ve Batı Anadolu'daki örtü genişlemesi oldukça düşüktür. Değişik bölgelerde ölçülen ortalama He/entalpi değişkenliği yüksek ısı akış mekanizmasında jeoterm yükselmesi ve litosferik gerilme olduğu fikrini verir. Batı Anadolu'da tabakalar arasında sınırlı aktiviteler düşük He ilavesi ve bu nedenle oluşan düşük ($1.7 \cdot 10^6$ atom/J) ^3He /entalpi oranının nedeni olarak gösterilmiştir. Orta ve Doğu Anadolu'da daha büyük ısı ve helyum girişinin nedeni ise daha geniş alanlı mağmatik aktivitelerdir. ($3.1 \cdot 10^6$ atom/J Doğu Anadolu, $0.25 \cdot 10^6$ atom/J Orta Anadolu) Kuzey Anadolu'da düşük entalpi değerli sularda bulunan oldukça yüksek ^3He konsantrasyonu ise bölgede NAFZ (Kuzey Anadolu Fay Hattı) boyunca kayma çarpma hareketi ile ilgili bir volkanik aktiviteye dair kanıt olmaması nedeniyle önemlidir. NAFZ'de yapılacak sürekli bir denetleme He değişkenliği ve sismik aktiviteler arasındaki ilişki (eğer var ise) hakkında bilgi verecektir.

Türkiye'deki He dağılımının çarpıcı özelliklerinden biri Orta ve Doğu Anadolu'da düşük ve ortaya kadar olan entalpi değerlerindeki jeotermal alanlarda nispeten yüksek R/R_A değerlerinin gözlenmesi, yüksek entalpili Batı Anadolu'da ise daha düşük R/R_A oranlarının gözlenmesidir. (N. Güleç, 2002)

Tablo 5.4 Türkiye Jeotermal Sularındaki He-İzotop Veri Listesi

Bölge	Mevki, Yer	Örnek		Örnek		He ³ /He ⁴ (*10 ⁻⁶)	R/R _A	He ⁴ /Ne ²⁰	He ⁴ (*10 ⁻⁶)	R/R _A
		No	Enlem	Boylam	Türü					
Batı	Güre-Akçay	1	39° 33'	27° 02'	Gaz	0,57±0,17	0,41	80	1020	0,41
Anadolu	Dikili	2	39° 03'	26° 53'	Gaz	0,56±0,11	0,4	24	130	39
	Turgutlu-Urganlı	3	38° 29'	27° 43'	Gaz	0,97±0,07	0,7	30	2,6	0,7
	Turgutlu-Urganlı	4	38° 29'	27° 43'	Gaz	0,82±0,06	0,59	114	17	0,59
	Salihli-Kurşunlu	5	38° 26'	28° 08'	Gaz	1,75±0,46	1,26	0,57	0,057	1,45
	Bergama	6	39° 06'	27° 11'	Gaz	0,66±0,05	0,47	17	328	0,46
	Kula-Madensu(mineral w)	7	38° 32'	28° 39'	Gaz	3,92±0,15	2,82	28	23	2,84
	Kula-Emir	8	38° 32'	28° 39'	Gaz	2,38±0,06	1,71	15	17	1,72
	Söke-Davutlar	9	37° 42'	27° 17'	Gaz	0,34±0,04	0,24	69	5,2	0,24
	Yatağan-Bozhöyük	10	37° 19'	28° 08'	Gaz	0,14±0,04	0,1	53	3,1	0,1
	Çubukdağ-Tekkeköy	11	37° 57'	28° 44'	Gaz	1,46±0,22	1,05	0,25	2	2,25
	Pamukkale	12	37° 55'	29° 07'	Gaz	5,05±0,15	3,63	12	13	3,68
	Sandıklı-Hüdayi	13	38° 27'	30° 16'	Gaz	0,48±0,03	0,35	5,1	29	0,32
	Eynal-Simav	14	39° 04'	28° 56'	Gaz		1,68±0,17	300		1,68
	Ilıcalar-Simav	15	39° 05'	28° 59'	Su/Gaz		1,46±0,15	100		1,46
	Emet-Kaynarca	16	39° 21'	29° 16'	Su		0,60±0,06	34	0,15	0,6
	Banaz-Uşak	17	38° 44'	29° 47'	Gaz		0,70±0,07	17		0,7
	Çamur-Germencik	18	37° 54'	27° 38'	Gaz		0,77±0,08	1,5		0,73
	Bozköy-Germencik	19	37° 53'	27° 30'	Gaz		0,46±0,05	78	0,6	0,46
	Ömerbeyli-Germencik	20	37° 53'	27° 30'	Gaz		0,22±0,02	2,3		0,13
	Tekke-Hamam-Denizli	21	37° 55'	28° 47'	Gaz		2,52±0,08	79	3,1	2,52
	Paşa Ilıca	22	39° 10'	27° 19'	n.r		0,89			0,89
	Geyikli	23	39° 08'	27° 04'	n.r		0,71			0,71
	Kaynarca	24	39° 04'	26° 57'	n.r		0,6			0,6
	Nebiler	25	39° 09'	26° 56'	n.r		0,48			0,48
	Nebiler	26	39° 09'	26° 56'	n.r		0,6			0,6
	Bergama	27	39° 07'	27° 11'	n.r		0,47			0,47
	Menteşe	28	39° 25'	27° 16'	n.r		0,5			0,5
	Çamurlu-Dikili	29	39° 05'	26° 53'	n.r		0,48			0,48
	Bademli	30	39° 01'	26° 51'	n.r		0,38			0,38
	Kuzey	Gemlik-Orhangazi	31	40° 29'	29° 18'	n.r		0,28		0,28
Anadolu	Gemlik-Orhangazi	32	40° 29'	29° 18'	n.r		0,16		0,16	
	Armutlu	33	40° 33'	28° 50'	n.r		0,22		0,22	
	Armutlu	34	40° 33'	28° 50'	n.r		0,41±0,05	77	300	0,41
	Kuzuluk	35	40° 41'	30° 38'	n.r		0,63		0,63	
	Tuzla	36	40° 49'	29° 17'	Su/Gaz		0,42±0,04	26		0,41
	Gemlik	37	40° 25'	29° 08'	Su		0,29±0,003	0,95	0,34	0,05
	Bursa-Çekirge	38a	40° 12'	29° 03'	Su		0,52±0,05	45	0,27	0,52
	Bursa-Çekirge	38b	40° 12'	29° 03'	Su		0,52±0,05	106	0,4	0,52
	Bursa-Çekirge	39	40° 12'	29° 03'	Su		0,83±0,03	0,42	0,064	0,6
	Ilgaz-Kazancı	40	40° 55'	33° 38'	Gaz	3,91±0,14	2,81	3,8	2	2,93
	Ilgaz-Ödemiş	41	40° 57'	33° 33'	Gaz	1,38±0,03	0,99	52	6	0,99
	Kurşunlu-Çavundur	42	40° 50'	33° 11'	Gaz	1,50±0,09	1,08	38	2,6	1,08
	Orta-Kısaç	43	40° 37'	33° 21'	Gaz	3,84±0,09	2,76	338	17	2,76
	Orta-Derebayındır	44	40° 37'	33° 21'	Gaz	4,23±0,08	3,04	1150	32	3,04
	Bartın-Dereköy	45	41° 38'	32° 21'	Gaz	4,99±0,14	3,59	11	1,2	3,65
	Bolu-Susuz Kınık	46	40° 38'	31° 30'	Gaz	3,71±0,10	2,67	36	1,7	2,68
	Bolu-Cepni-Akkaya	47	40° 41'	31° 29'	Gaz	1,22±0,06	0,88	2	0,9	0,86
	Mudurnu-Babas	48	40° 24'	30° 59'	Gaz	6,46±0,18	4,65	6,9	119	4,78
	Düzce-Derdin	49	40° 45'	31° 01'	Gaz	1,04±0,09	0,75	27	1	0,75
	Düzce-Efteni	50	40° 45'	31° 01'	Gaz	2,55±0,06	1,83	2,3	3	1,93
	H.Yakup									
	İzник-Keramet	51	40° 22'	29° 58'	Gaz	0,40±0,04	0,29	6,3	67	0,26
İç	Avanos	52	38° 43'	34° 51'	Gaz	1,73±0,12	1,24	0,8	0,053	1,34
Anadolu	Ürgüp	53	38° 38'	34° 55'	Gaz	3,10±0,12	2,23	18	4,3	2,25
	Sofular-Acıgöl	54	38° 34'	34° 31'	Gaz	6,48±0,18	4,66	8,4	0,72	4,77
	Ziga	55	38° 16'	34° 17'	Gaz	2,03±0,05	1,46	1,1	0,096	1,59
	Ziga	56	38° 16'	34° 17'	Gaz	2,05±0,14	1,47	1,3	0,05	1,58

	Nasuh Pınarı	57	37° 46' 33" 43'	Gaz	1,59±0,06	1,14	23	3,3	1,14
	Akhöyük	58	37° 46' 34" 05'	Gaz	1,66±0,10	1,19	1,2	0,027	1,24
	Kemerhisar	59	37° 48' 34" 36'	Gaz	2,54±0,05	1,83	170	10	1,83
	Eskişehir	60	39° 46' 30" 32'	Su		0,72±0,07	93	<0,0009	0,72
	Haymana	61	39° 27' 32" 31'	Su		0,24±0,02	8,4	0,41	0,22
Doğu	Pasinler	62	39° 58' 41" 41'	Gaz		3,37±0,11	18	0,3	3,4
Anadolu	Akdağ-Dumlu	63	40° 03' 41" 21'	Gaz		1,75±0,06	1	0,26	1,99
	Ilıcalar-Simav	64	39° 57' 41" 07'	Gaz		3,63±0,12	2,9	0,049	3,87
	Nemrut	65	38° 36' 42" 12'	Gaz	10,59±0,15	7,62	6,5	2,6	7,87
	Nemrut	66	38° 36' 42" 12'	Su	8,119±0,052	5,84	1,21	0,0544	7,04
	Nemrut	67	38° 36' 42" 12'	Su	7,954±0,052	5,72	1,56	0,0955	6,58
	Nemrut	68	38° 36' 42" 12'	Gaz	10,671±0,05	7,68	135,1	0,116	7,69
	Nemrut	69	38° 36' 42" 12'	Gaz	9,858±0,050	7,09	35,97	0,522	7,13
	Çaldıran	70	39° 08' 43" 51'	Gaz	1,38±0,19	0,99	0,34	4,6	0,97
	Çaldıran	71	39° 03' 44" 09'	Gaz	5,31±0,18	3,82	29	2,3	3,84
	Çaldıran	72	39° 03' 44" 09'	Gaz	5,59±0,15	4,02	59	2,9	4,03
	Diyadin	73	39° 29' 43" 41'	Gaz	2,09±0,06	1,5	2,8	0,063	1,55
	Diyadin	74	39° 29' 43" 41'	Gaz	1,77±0,15	1,27	0,4	0,24	1,68
	Lake Van	75	38° 31' 43" 02'	Su	1,369±0,009-	0,98-2,03	0,27-0,30	3,27-4,07	0,82-6,15
					2,827±0,014	1,49-7,29	0,28-6,29	3,75-93,24	4,43-7,54
	Nemrut Caldera Lake	76	38° 36' 42" 12'	Su	2,067±0,008-				
					10,14±0,003				

n.t, not reported

Tablo 5.5 NAFZ Boyunca Yapılan He Araştırması Sonuçları

Yer	Örnek No	Enlem	Boylam	Örnek Tipi	Sıcaklık (°C)	Üretim Seviyesi Derinliği (kuyu örnekleri için)(m)	He ³ /He ⁴ (R/R _A)	(He/Ne)/ (He/Ne) _{hava}	He ³ /He ⁴ (R _C /R _A)	He ⁴ (*10 ⁻⁶ cm ³ STP/g H ₂ O)
Kurşunlu-Çavundur	77	40° 50'	33° 11'	Kuyu	54	167	1,22	183	1,23	2,2
Seben	78	40° 25'	31° 32'	Kaynak	74		0,21	22,7	0,22	0,41
Bolu	79	40° 38'	31° 30'	Kuyu	44	87	1,03	76	1,04	0,68
Babas-Mudurnu	80	40° 24'	30° 59'	Kuyu	38	80	2,16	67,5	2,19	3,5
Efteni-Gölkaya	81	40° 45'	31° 01'	Kaynak	42		0,71	297	0,71	0,14
Yalova	82	40° 35'	29° 16'	Kaynak	66		0,29	220	0,29	8
Hamamözü	83	40° 47'	35° 01'	Kuyu	38	580	0,69	63,9	0,7	2,4
Gözlek-Amasya	84	40° 24'	35° 48'	Kuyu	38	80	0,29	156	0,29	4,1
Reşadiye	85	40° 23'	37° 20'	Kaynak	48		0,31	8,4	0,36	2,2

Tablo: 5.6 Türkiye'nin Değişik Bölgelerinde Ölçülen He³/Entalpi Değerleri

Tektonik Bölgeler	Ortalama Depo Isısı ©	Ortalama Entalpi (J/b)	Ortalama He konsantrasyonu (*10 cm STP/g)	Ortalama He/entalpi oranı (*10 atom/J)
Batı Anadolu	251	1090	69,29	1,7
Kuzey anadolu	110	461,3	48,22	2,8
İç Anadolu	125	525	4,95	0,25
Doğu Anadolu	136	572	5,46	3,1

5.5 Kuzey São Paulo, Brezilya'da Sismik Aktiviteli Bir Bölgede Yapılan Jeotermal Araştırmalar

Sismik aktivitenin yer altı kaynaklarının açılması ile ilişkili olduğu Nuporanga'da jeotermal araştırmalar yapılmıştır. Yapılan makrosismik çalışmalar sismik aktivitenin başlangıcının Mayıs 1997'de COLABA kuyusunun açılışının tamamlanmasından hemen sonra olduğunu ve başlangıçtaki sismik hareketlerin yakın yerlerde oluştuğunu göstermiştir. Eylül 1997'de başlayan jeotermal araştırmalar sismik aktivitelere bağlı sıvı hareketlerinin yerel termal rejimde kısa süreli, zamana bağlı değişiklikler oluşturmaya uygun olması ile ilgilidir. Böyle zamana bağlı değişikliklerin teşhisinin bölgenin sismik durumu ile ilgili anlayışa katkıda bulunacağı düşünülmüştür. COLABA kuyusunun termal kayıt sonuçları, alışılmamış bir termal rejim ortaya çıkarmıştır. 175 metre aşağıda sabit ısılı bir bölge ve bunu takip eden 180 m-204m arasında ise yüksek ısılı bir bölge olduğu görülmüştür. Sonraki araştırmalarda, yoğun mikrosismik hareketlerden sonra TGZ' deki (yüksek ısılı bölge) ısının 0.8°C 'ye kadar düştüğü gözlenmiştir. CTZ (sabit ısılı bölge) de pompalanan suda yapılan ısı ölçümleri, az miktardaki ısı değişimlerinin sismik olayların sıklığı ile ilgili olduğunu göstermiştir. Nuporanga yakınlarındaki iki kuyuda da sismik aktiviteyle ilgili ısı değişiklikleri gözlenmiştir.

Mevcut jeotermal ve makrosismik veriler Nuporanga'daki sismikliği tetikleyen basit bir üretim modeli gelişiminde kullanılmıştır. Bu modele göre COLABA kuyusu, en az 40m derinlikteki yüksek bir akiferden su çeken ve 175m kadar derindeki bir fay bölgesine akıtan bir sifon görevi yapmaktadır.

Yapılan çalışmalarda, COLABA kuyusunun ısısının çevredeki diğer kuyulardan farklı bir dağılım gösterdiği sonucu çıkmıştır. Yer altı suyunun yukardan aşağıya doğru suyun kaybolduğu bir bölgeye aktığı görülmüştür. Bölgede ısı zamanla değişmektedir. Bu değişiklikler büyük sismik aktivite periyotlarıyla bağlantılıdır.

(Tereza Higashi Yamabe, 1996)

5.6 İtalya'daki Vulcano Adasındaki Jeotermal Kaynak Sularının Bileşiminde Deprem Nedeni İle Oluşan Değişimler

1979-1989 arasında Vulcano Adası jeotermal sularında oksijen bileşiminde değişimler olduğu gözlenmiştir. Mağmatik kaynaklı sularda yerel tektonik depremler olmadan önce $+1.0 \pm 0.5 \delta^{18}\text{O}$, ada yakınlarındaki yüksek enerjili sismik aktiviteden sonra ise $3.4 \pm 0.5 \delta^{18}\text{O}$ olarak ölçülmüştür. Sudaki $\delta^{18}\text{O}$ değerindeki önemsiz artış ise düşük enerjili ardışık tektonik depremlerden sonra gözlemlenmiştir. Bu depremler Vulcano Adasının hemen altında yüzeye yakın derinlikte oluşmuştur.

Ayrıca sudaki klor konsantrasyonu da mağmatik sıvıya bağlıdır. Bu klor içeriği büyük değişimlere uğramamış gibi görünür. Bunun sebebi büyük yerel depremlerden kaynaklanan depo ısısında $>300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ kadar görülen geçici artışlarla tamponlaşma olabilir. Bu mekanizma muhtemelen diğer mağmatik hidrotermal sistemlerde de olmaktadır.

Mineral sıvı sistemlerindeki izotopik değiş tokuş çoğunlukla erime-tortulaşma yada bir mineralin diğerine dönüşmesi gibi yüzey reaksiyonlarının kontrolündedir. Kayalar ve sıvılar arasında $\delta^{18}\text{O}$ değiş tokuş oranı, sıvının kimyasal bileşimine, tanecik boyutuna, sıvı mineral kütle oranına ve ısıya bağlıdır.

1979-1981 ve 1986-1988 yıllarında yapılan ölçümler sonucu depo suyundaki Cl konsantrasyonu $3900 \pm 100 \text{ mg/kg}$ olarak ölçülmüştür. 1950'lerde yapılan ölçümlerle karşılaştırıldığında Cl değerinde benzer olduğu görülmüştür. ($3500 \pm 15000 \text{ mg/kg}$)

Vulcano Adası'ndaki kayaların kırıklarındaki geçirgenlikte deprem sebepli geçici artışlar büyük yerel depremler sonucu oluşmaktadır. Böylece yüksek ısılı ^{18}O bakımından zengin mağmatik sıvı yerel jeotermal depoya dağılmaktadır. Bu mekanizma, Nisan 1978'deki güçlü sismik aktiviteden sonra depo suyu bileşimini büyük oranda etkilemiştir. Bu bileşimde sonraki küçük yerel depremlerle sadece az miktarda bir değişim olmuştur. (L. Bolognesi, 1999)

BÖLÜM VI

KULLANILAN YÖNTEMLER

6.1 Endüstrideki Radyasyon Gelişmesi ve Radyoizotop Ölçümü Uygulaması Hakkında Bazı Yorumlar

Yapılan gözlemler, örneğin kalınlığının on-line ölçümü için radyoizotop aletlerinin en son kullanımıyla, kağıttaki tabaka kalınlığı ve plastik endüstrisi ile tutarlıdır. Ayrıntılı ve sürekli data sunumu sisteminin kritik bölümü olarak radyoizotop aletleri on-line makine kontrolünün çok önemli bir parçası olmasını sağlamıştır. Akışkan ve parçacıkların 1-, 2- ve 3-D hareketi çalışmasında ve özellikle kimya mühendisliği ve lağım pisliği endüstrisinde radyo iztakibi (radyotracer) kullanımı iyi gelişmiştir, bu durum vurgulanması gereken bir gelişmedir. Ama α -ışını spektrometreleri yüksek kararlılık girişi ve hızlı data oluşturması ile bu alandaki market piyasasında önemli bir yer almıştır. Günümüzde klinik teşhisler için kurulan Pozitron Salınımı Tomografisi (PET), ve endüstriyel uygulamalardaki kullanımı gelecekte de kabul edilen bir teknoloji olmasını öngörmektedir. Özellikle de kimya mühendisliği endüstrisinde, yerküre biliminde ve özellikle de mineral araştırmada kullanım imkanı bulacaktır. (C. G. Clayton, 1989)

Aşağıdaki tablolarda radyoizotop ölçümü için kullanılan bazı aletlerde kullanılan kaynakların farklı yıllarda yapılan incelemeler sonucunda gözlenen değişiklikleri ele alınmıştır.

Tablo 6.1 1967'den Bu Yana ^{192}Ir γ -Radyografi Kaynaklarının İncelenmesindeki Değişiklikler

Yıl	Sonuç
1967	100
1968	102
1969	105
1970	109
1971	114
1972	114
1973	108
1974	113
1975	140
1976	153
1977	156
1978	180
1979	170
1980	169
1981	181
1982	169
1983	170
1984	150
1985	146
1986	139
1987	138

Tablo 6.2 1968'den Bu Yana ^{57}Co Mössbauer Kaynaklarının İncelenmesindeki Değişiklikler

Yıl	Sonuç
1968	100
1969	142
1970	154
1971	157
1972	197
1973	212
1974	205
1975	285
1976	243
1977	298
1978	288
1979	289
1980	315
1981	325
1982	348
1983	362
1984	400
1985	387
1986	365
1987	379

Tablo 6.3 1975'den Bu Yana ^{109}Cd ve ^{55}Fe EDXRF Kaynaklarının İncelenmesindeki Değişiklikler

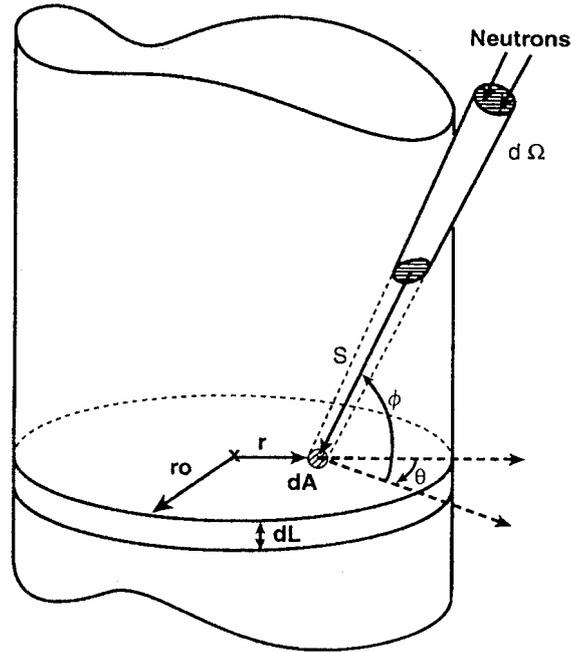
Yıl	^{109}Cd için sonuç	^{55}Fe için sonuç
1975	100	100
1976	98	94
1977	92	84
1978	144	94
1979	254	141
1980	595	386
1981	748	567
1982	1101	604
1983	757	415
1984	802	722
1985	838	947
1986	872	1274
1987	923	1372

Tablo 6.4 Domestik ve Endüstriyel Kullanımlar İçin ^{241}Am Kaynaklarının 1975'ten Sonraki Değişimleri

Yıl	Domestik hacim	Endüstriyel hacim
1975	1,5	300
1976	4	325
1977	6	350
1978	8	400
1979	6	425
1980	8	475
1981	9	500
1982	9	550
1983	11	625
1984	14	700
1985	17	750
1986	20	850
1987	25	900
1988	30	1000

6.2 Nötronu Harekete Geçiren Rhenium Telindeki Rhenium-186 ve Rhenium-188 Dağıtımını Modelleme ve Bir Su Bitkisi Üzerindeki Beta Dosimetresi Dağıtımın Etkisi

Şekil 6.1’de bir izotropik termal nötron alanındaki nötron aktivasyonu tarafından üretilen radyoaktif β -emme, Rhenium kaynaklarının aynı olmayan radyal radyoizotop dağılımının olduğu gösterilmiştir. Bu dağılım modellendiğinde ve tellerdeki 0.1-1.0 mm çaplı tellerdeki deneysel ölçümler modeli sürekli hale getirildiğinde, düzeltilen ^{186}Re ve ^{188}Re dağılımları kullanıldığında, yaklaşık 0.5 mm tel olarak hesaplanan doz dağılımı, katı su phantomundaki %5.0 tedavi edici oran üzerinde ölçülen Gafchromic film dağılımı ile aynı düzeydedir. (William K. Roberts, 1999)



Şekil 6.1 Nötron Aktivasyon Sisteminin Şematik Gösterimi

Tablo 6.5 Radyoaktif Rhenium'un Özellikleri^a

	Rhenium-186	Rhenium-188
Doğal zenginlik ^b	%37,4 (¹⁸⁵ Re)	%62,6 (¹⁸⁷ Re)
σ_{cap} nötronları için kesit	$112 \pm 2 * 10^{-24} \text{ cm}^2$ (¹⁸⁵ Re)	$76,4 \pm 1,0 * 10^{-24} \text{ cm}^2 + 2,8 \pm 0,1 * 10^{-24} \text{ cm}^2$ (¹⁸⁷ Re)
σ_{scat} nötronları kesitinin dağılımı	$10,6 \pm 0,6 * 10^{-24} \text{ cm}^2$ (¹⁸⁵ Re)	$11,8 \pm 0,4 * 10^{-24} \text{ cm}^2$ (¹⁸⁷ Re)
Ortalama/maksimum β enerjisi	346,7/1069,5 keV	764,3/2120,4 keV
Maksimum β oranı	5,0 mm	11,0 mm
En büyük γ -ışını enerjisi	13702 keV (9,42 \pm %0,06)	155,0 keV (15,1 \pm %0,004)
Yarı ömür	89,24 \pm 0,03 h (3,7 d)	17,005 \pm 0,004 h (0,7 d)

^aNudat'dan alınan veriler (1998)

^bWeast (1988)

6.3 Sıvı Sintilasyon Tekniği İle Sudety Dağlarının Yüksek Yerlerindeki Doğal Su Örnekleri İçindeki ²²²Rn'nin Kararlılığı

Doğal su içindeki ²²²Rn kararlılığının ölçülmesi için bir Wallac 1414 Winspektral α/β sıvı sintilasyon sayacı kullanılır. Polanya'da Sudety dağındaki Klodzka vadisinin yüksek yerlerindeki 4 delikten ve 23 kaynaktan örnekler toplanmıştır. Tablo 6.6'da Klodzka Vadisindeki kaplıcalarda bulunan kuyuların derinlikleri gösterilmiştir. Kaynak sularının araştırılmasının yarısında, kaynak su örneklerinde, Radon aktivite konsantrasyonu Tablo 6.7'de görüldüğü gibi 74 Bq/l'dan yüksek olarak tespit edilmiştir. Delik sularında Radon konsantrasyon seviyesi çok düşük yada beklenenin altında olduğu tespit edilmiştir. (Beata Kozłowska, 1999)

Tablo 6.6 Klodzka Vadisindeki Mineral Su Kaynağı Kuyuların Derinlikleri

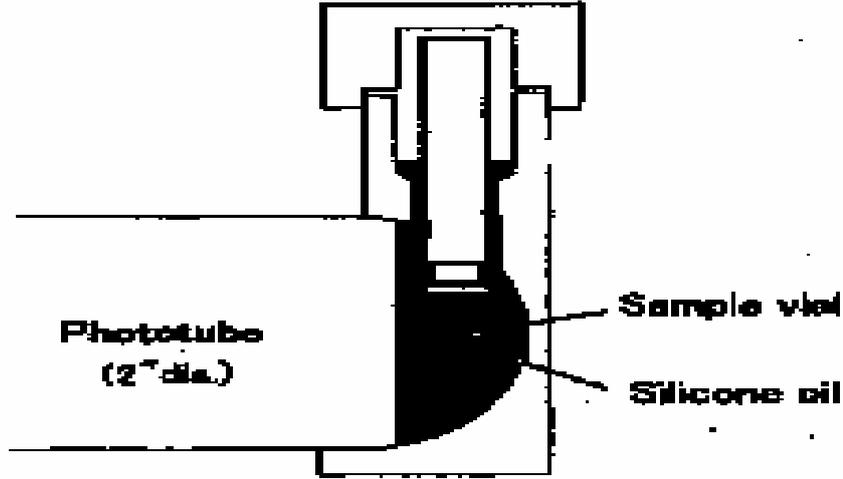
Kaplıcalar	Kuyu	Derinlik
Polanica Zdrój	Wielka Pieniawa	34,6
Polanica Zdrój	Józef II	43
Polanica Zdrój	Józef I	38,8
Polanica Zdrój	P-300	269
Duszniki Zdrój	Pieniawa Chopina	78
Duszniki Zdrój	Jan Kazimierz	162
Duszniki Zdrój	No.39	180
Duszniki Zdrój	B-3	96
Duszniki Zdrój	B-4	56
Kudowa Zdrój	No.2	24,1
Kudowa Zdrój	No.3	8,7
Kudowa Zdrój	K-200	21
Kudowa Zdrój	No.9	226
Jeleniów	J-150	98
Jeleniów	No.6	20
Ladek Zdrój	Chrobry	9,6
Ladek Zdrój	Skłodowska	2
Ladek Zdrój	Zdzisław	700,5
Ladek Zdrój	Jerzy	2
Ladek Zdrój	Dabrówka	3,5
Długopole Zdrój	Renata	27,1
Długopole Zdrój	Kazimierz	16,6
Długopole Zdrój	Emilia	18

Tablo 6.7 Klodzka Vadisindeki Mineral Termal Suları İçindeki ²²²Rn Aktivitesi

Kaynak	Kaplıcalar	Örneklerin Toplanma Tarihleri (1998)	Aktivite (Bq/l)
Wielka Pieniawa	Polanica Zdrój	Haziran	13,6±2,3
Józef II	Polanica Zdrój	Haziran	22,7±2,8
Józef I	Polanica Zdrój	Haziran	21,8±2,8
P-300	Polanica Zdrój	Haziran	4,3±1,5
Tap	Polanica Zdrój	Haziran	24,4±2,9
Pieniawa Chopina	Duszniki Zdrój	Haziran	7,2±1,8
Jan Kazimierz	Duszniki Zdrój	Haziran	16,7±2,5
		Eylül	15,5±3,6
No.39	Duszniki Zdrój	Haziran	9,1±1,9
B-3	Duszniki Zdrój	Haziran	83,2±5,2
		Eylül	89,3±7,5
B-4	Duszniki Zdrój	Haziran	3,8±1,5
Tap	Duszniki Zdrój	Haziran	<0,18
No.2	Kudowa Zdrój	Haziran	4,3±1,4
No.3	Kudowa Zdrój	Haziran	60,9±4,2
K-200	Kudowa Zdrój	Haziran	6,7±1,6
Tap	Kudowa Zdrój	Haziran	9,7±1,9
No.9	Kudowa Zdrój	Haziran	1,7±1,1
J-150	Jeleniów	Haziran	88,2±5,0
No.6	Jeleniów	Haziran	75,9±4,6
Chrobry	Ladek Zdrój	Eylül	100,3±5,2
Skłodowska	Ladek Zdrój	Eylül	336,3±14,1
Zdzisław	Ladek Zdrój	Eylül	115,6±8,3
Jerzy	Ladek Zdrój	Eylül	1332,8±28
Dabrowka	Ladek Zdrój	Eylül	145,8±9,3
Renata	Długopole Zdrój	Eylül	66,7±6,3
Kazimierz	Długopole Zdrój	Eylül	54,9±5,8
Emilia	Długopole Zdrój	Eylül	94,2±7,5
Tap	Długopole Zdrój	Eylül	20,1±3,6

6.4 PERALS Spektrometresi İle α -Sıvı Sintilyasyon Spektrometresi Tarafından Suyun İçindeki Radon Konsantrasyonunun Ölçülmesi

Şekil 6.2’de şeması verilen yüksek çözünürlü α -sıvı sintilyasyon spektrometresi, PERALS, suyun içindeki Radon konsantrasyonunun ölçülmesinde kullanılır. İyi bir ayarlama ile 5.49 MeV’lik çözünürlükte α ışınları için sonuç verebilir. Radon ayrılması için en uygun durum araştırılmıştır ve 11 su örneği 3 ml sintilatörün bir volümetrik oranı kabul edilmiştir. Suyun içindeki 0.68 Bq/l (3σ) olan düşük dedeksiyon limiti hesaplanmıştır.

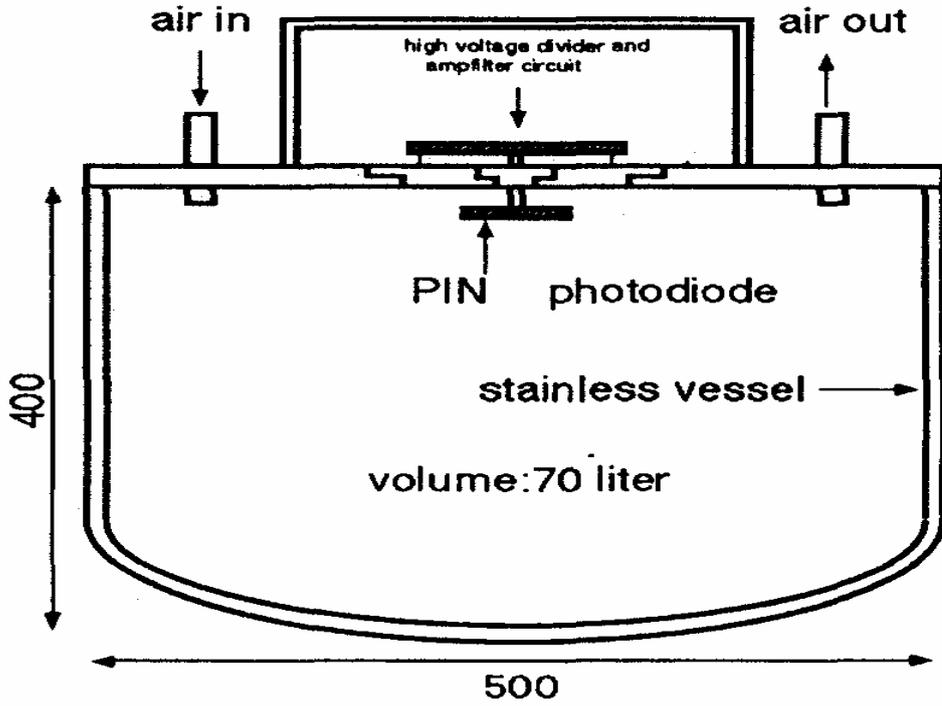


Şekil 6.2 PERALS Spektrometresi Dedektörünün Kesiti ve Sıvı Sintilasyon Örneğinin Çalışma Prensibi

Bu metot yer altı suları ve kaynak sularının karşılaştırılmasında kullanılır ve α -ışını spektrometre metodu tarafından sonuçlandırılır. (Scunichi Hamanaka, 1997)

6.5 Detektör Bileşenleri İçin Radon Oluşum Oranları ve Yüksek Duyarlı Radon Monitörü

Şekil 6.3'de görüldüğü gibi materyaller için Radon oluşum oranlarının ölçülmesi için elektrostatik çökeltme metodu kullanılır. ELEGANT V içinde birkaç materyal bileşenlerinden oluşmuş Radon'un düşük seviyesi bulunmuştur. Radon monitörü, düşük seviyeli Radon konsantrasyonunun düşük duyarlılıkta ölçülmesi için geliştirilmiştir. Sistem, bir günlük ölçüm için 1.6 mBq/m^3 kadar küçük Radon konsantrasyon yoğunluğuna sahip değerleri gösterir. (E. Choi, 2000)



Şekil 6.3 Gelişmiş Radon Dedektörünün Şematik Gösterimi

Tablo 6.8 ELEGANT V Materyalleri İçin Çıkan Gaz

Örnek	Zaman (saat)	Rn (mBq)
PMT	37	1,91±0,13mBq/PMT
µ-metal	50	1,70±0,12mBq/µ-metal
µ-metal	100	<0,0107mBq/µ-metal
kablo	100	(3,30±0,27)*10 mBq/m
OFHC	50	<0,454 mBq/m
RC kutu	50	(2,89±0,58)*10 mBq/RC kutu
Mo	200	0,0561 mBq/m

6.6 Oda Sıcaklığında 30 eV'dan Daha Az Enerjili VUV Fotonlarının Yol Açtığı GSO Altında Ce'nin Bozunumu

Valans bandı içinde uyarılmış Gd_2SiO_5 (gadolinium oxyorthosilicate) Ce'de Ce^{3+} 'nın 420 nm emilim grubu için uyarılmış VUV bozunumu, %0.5 mol'de Ce^{3+} konsantrasyonu için ölçülmüştür. Luminescence bozunumlarında, bozunumlar ve oluşumlar dikkate alınmalıdır ve bu bozunumlar fotonun enerjisine ($h\nu$) bağlıdır. 62 eV'da boşluk bandının hemen üstünde 58 ns'de ve artışta maksimum değer $h\nu=7.0$

eV'da 92 ns'de, azalışta ise $h\nu=10.0$ eV'da 60 ns'de bozunum zamanı kolayca anlaşılabilir. (S. Shimizu, 2002)

6.7 Gama Işını Spektrometresi İle Situ İçindeki Uranyum Konsantrasyonunun Ölçülmesi: Bir Değerlendirme

Portatif aletler, doğal çevre içindeki radyoizotop konsantrasyonlarının ölçülmesinde çok sık kullanılırlar. Taş ve kaya içindeki düşük konsantrasyonlu Uranyumun belirlenmesinde ve toplanan taş ve kaya örneklerinin içindeki konsantrasyon kararlılıklarının karşılaştırılmasında ve geciktirici nötron aktivasyon sayacı (DNC) tarafından analiz edilmesinde yararlı olmuştur. Toprağın içindeki Uranyum konsantrasyonunun bulunması için taşınabilir γ -ışını spektrometresine ihtiyaç duyulur. (Marsha I. Sheppard, 1986)

6.8 Çevresel Örnekler İçindeki ^{129}I 'nın Gama-X Spektrometresi İle Ölçülmesi

Çevresel örnekler içinde kilogram başına birkaç Becquerel düşük seviyeli ^{129}I aktivitesi miktarını ölçmek için gama-x spektrometresi uygun bir tekniktir. Doğrultucu gama-x spektrometresi yıkıcı olmayan hızlı bir teknik olup birkaç radyoizotop ölçümü için kullanılabilir ve kolay kullanılabilen bir alettir. Farklı çevresel matrisler içinde ^{129}I miktarının ölçülmesinde, 25 keV'in altında düşük enerjilerde kendiliğinden emilim kararlılığı için deneysel bir metot olarak tanımlanır. Örneğin sürtünme katsayısı $\mu_m(E)$ kütle enerjisinin ölçülmesinde bu metot temel alınmıştır. Metot, farklı enerji geçişleri kullanılarak ^{137}Cs , ^{129}I ve ^{125}I üzerinde test edilmiştir. (P. Bouisset, 1999)

Tablo 6.9 Silindirik Kapların Özellikleri

Kap	Uzunluk (mm)	Çap (mm)
G1	9	49
G2	15	72
G3	32	90
G4	59	90
G5	47	37

Tablo 6.10 Detektörün Özellikleri

Detektör	Verim (meV %)	(1.33 FWHM keV)	(30 FWHM keV)	(122 FWHM keV)	Kristal Boyutu		Pencere	
					Uzunluk	Çap	Tip	Kalınlık
24I	24	700 eV	850 eV	47,9	52,8	Al	0,5	
00O		350 eV	530 eV	15,9	36,9	C	0,76	
26O	26	650 eV	800 eV	49,9	54,6	Al	1,27	
51O	51	700 eV	850 eV	73,4	62,9	Be	0,5	
56O	56	800 eV	1000 eV	76,1	66	Be	0,5	
58O	58	700 eV	900 eV	75,8	65,7	Be	0,5	
68O	68	900 eV	1000 eV	79,9	69,9	Be	0,5	
69O	69	750 eV	900 eV	74	69,3	Be	0,5	

Tablo 6.11 Ayarlanabilir Standart Kaynakların Özellikleri

Matrix	Radyonükleid	Kap	Yoğunluk
Çam sakızı su karışımı	Multigamma	G1-G2-G3-G4-G5	1,15
Çam sakızı su karışımı	¹²⁹ I	G1-G4	1,15
Kum	Multigamma	G2	1,55
Kağıt	Multigamma	G2-G3	0,125

6.9 Elektrostatik Hızlandırıcı İle Radyoizotop Bulunuşu

Işınlama, hızlandırıcı ve reaktör tarafından üretilen örneklerde ¹⁰Be ve ²⁶Al, karada ve kara dışında ³⁶Cl, karasal örneklerde ¹⁴C, Mayıs 1977'den beri Rochester Üniversitesinde bir MP tandem Van de Graaff hızlandırıcısı tarafından araştırılmaktadır. Rochester Üniversitesinde ¹⁴C için yapılan araştırmanın sonuçları Tablo 6.12'de gösterilmiştir.

Örnek miktarları 1 mg'dan 10 mg'a kadar değişmektedir ve radyoizotopun durgun izotoplara oranı ³⁶Cl ve ¹⁴C için 10¹⁶ da bir, ¹⁰Be ve ²⁶Al için 10¹⁴ de bir dir. Jeolojik ve arkeolojik alanlarda ¹⁴C ölçülmüştür. Antartik Meteoritleri ve buzlarda olduğu gibi çeşitli yer altı suları örneklerinde ³⁶C ölçülmüştür. ¹⁴C çıkışı ve jeolojik ölçüm sistemleri elektrostatik hızlandırıcı prensibine dayanır ve bunlar günümüzde U.S.A, U.K ve Kanada laboratuvarlarında yapım aşamasındadırlar.

Tablo 6.12 Rochester Üniversitesi İçin ^{14}C Sonuçları

Örnek	Rochester yaşı (yıl BP) ^a	Beklenen yaşı
Mt. Shasta	4580±90	4590±250 ^b
Bull mummy cloth Dahshur, Egypt	2200±150	2050±200 ^b
Baby woolly mammoth (U.S.S.R)	>23000 ^c	uygun metot ile elde edilebilen çok küçük boyutlu örnekler
Australian sucrose	1,47±0,03 ^d	1,45-1,51 ^e

a, BP=1950'den önceki yıllar. ^{14}C 'nin yarı ömrü 5568 yıl olarak tayin edilmiştir

b, U.S.G.S tarafından yapılan ölçümler

c, başlangıçtaki sonuçlar

d, $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ oranı

e, bu oranın farklı laboratuarda elde edilen sonucu

(H. E. Gove,1980)

6.10 Örneklerdeki Radyoiyotun Üretimi İçin TeO_2 ' nin Termal Özellikleri

İyot'un 3 farklı radyonükleidi (^{120}I , ^{123}I , ^{124}I) modern nükleer medikal teşhis için kullanılır. Katı TeO_2 hedefi nükleer reaksiyon tarafından (p,n) izotop zenginleştirilmesinde kullanılabilir. Işınlamadan sonra eriyen hedeften kuru damıtma yolu ile hedef materyalden üretilen radyo iyot hızla ayrılabilir.

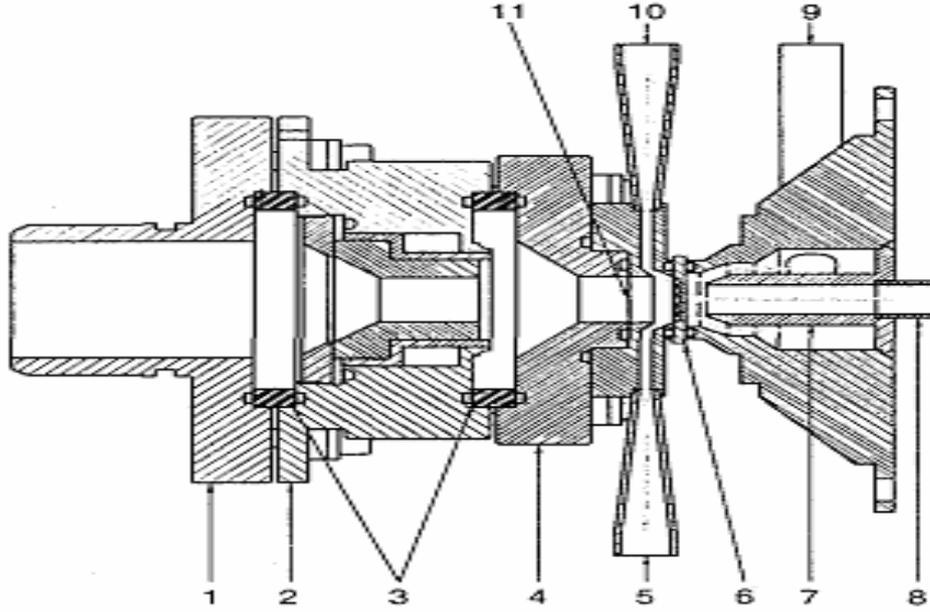
Şekil 6.4'de görüldüğü gibi yoğun katı hedef ışınlama sistemi, (COSTIS) TeO_2 hedeflerinin ışınlanması için hazırlanmış olup radyoiyotun düzenli üretimi için uygundur. Hedef dairesel Pt diskinden oluşmuştur ve diskin merkezinde dairesel tahta içinde TeO_2 erir.

Hedef parça, COSTIS içine elle yerleştirilir ve ışınlama pozisyonu içinde havalı bir şekilde sabitlenir. Işınlamadan sonra birkaç hedef parça serbest bırakılır ve bir taşıma kabı içine yerçekimi ile biriktirilir.

TeO_2 'nin ön yüzünden Helyum soğutması için oyuğun teknik dizaynı ve hedef diskin arka yüzünün çabuk soğumasında ışınlama içinde hedefin termal davranışının taklit edilmesi temel alınmıştır. Katı hedefin termal özelliklerinin tahmini için sayısal (numerical) metot geliştirilmiştir.

Sınır tabakası içinde sıvı akışı artırılmış bir yöntem gibi tanımlanır. Sıcaklık değişimi, katı ve sıvı arasında değişir ve Fourier yasası ile elde edilir. Yerel termodinamik denge, kütle korunumu, momentum ve enerji ifadeleri kullanılır.

Denklemleri çözmek için sonlu hacim metodu kullanılır.



Şekil 6.4 COSTIS'in Basitleştirilmiş Gösterimi

1-hızlı bağlantı yapmakta kullanılan döküm aleti 2-grafit yerleştirilmesi ile suyla soğutulmuş kolimatör 3-izole edilmiş alüminyum oksit halkaları 4-helyumla soğutulmuş oyuk 5-helyum girişi 6-TeO₂ ile platinyum hedef diski 7-su jeti 8-soğutulmuş su girişi 9-soğutulmuş su çıkışı 10-helyum çıkışı 11-titanyum engelleme penceresi

Sınır tabaka ispatı;

Katı ve sıvı faz değişiminden meydana gelen sıcaklık akışı Jayatilike denklemi ile elde edilir.

$$\frac{U_R}{U_\tau} = \frac{1}{K} \ln(EY^+) \quad (6.1)$$

$$k = \frac{U^2 \tau}{\sqrt{C} \mu} \quad (6.2)$$

$$\varepsilon = C \mu^{0.75} \frac{k^{1.5}}{K \delta} \quad (6.3)$$

k , değişken kinetik enerji

ε , kinetik enerjinin dağılma oranı

U_R , sıvı içindeki ilk delikli levhanın merkez noktasından meydana gelen paralel hızın sonsuz değeri

U_τ , iki ayrı kuvvetin sürtünme hızı

δ , duvar ile ilk delikli levha arasındaki uzaklık

Y^+ , duvarın boyutsal mesafesi ($Y^+ = U_\tau \delta / \nu$)

C_μ , sabit değer (0.09)

K , Karman'li değeri (0.417)

E , düz duvar için sertlik değeri (8.6)

$$S_U = \rho s |U_R| (U_{duvar} - U_P) \quad (6.4)$$

P , sıvı yoğunluğu ifadesi

$$s, \text{ sürtünme faktörü } s = \left(\frac{\tau_{duvar}}{\rho U_R^2} \right)$$

U_P , hızın hücre içindeki değeri

U_{duvar} , hız

Sürtünme faktörü;

$$s = \max[s_l, s_t] \quad (6.5)$$

$$s_l = \frac{1}{\text{Re}} \quad (6.6)$$

$$s_t = \left[\frac{K}{\ln(E \text{Re} \sqrt{s_t})} \right] \quad (6.7)$$

Re, Reynolds sayısı $\left(\frac{U_R \delta}{V_1} \right)$

Duvarda sıcaklık değişimi için, sıvının duvardan sıcaklık akışı aşağıdaki denklem ile verilir.

$$S_T = \rho s_t U_R (T_{\text{duvar}} - T_P) \quad (6.8)$$

S_t , Stanton sayısı

T_{duvar} , duvarın sıcaklığı

T_p , hücre içindeki sıcaklık

Stanton sayısı;

$$S_t = \frac{q_{\text{duvar}}}{\rho c_p U_R (T_P - T_{\text{duvar}})} \quad (6.9)$$

$$S_t = \left\{ \begin{array}{l} \frac{s_t}{Pr_l (1 + P \sqrt{s_t})} \dots \dots \dots R_e > 132 \text{ için} \\ \frac{s_t}{Pr_l} \dots \dots \dots R_e \leq 132 \text{ için} \end{array} \right\} \quad (6.10)$$

P, Jayatillike'de düz duvarın alt tabaka rezistans yapısı

$$P = E \left(\frac{Pr_l}{Pr_t} - 1 \right) \left(\frac{Pr_l}{Pr_t} \right)^{0.25} \quad (6.11)$$

Pr_l ve Pr_t, levha şeklinde ve değişken Prandtl sayısı

Sonuçta, logaritmik duvar yapısı aşağıdaki ifadeler kullanılarak elde edilir.

$$q_w = \lambda \frac{\Delta T}{\delta} \frac{Pr_l Y^+}{Pr_t \left(\frac{\ln EY^+}{K} + P \right)} \quad (6.12)$$

$$h = \frac{pc_p U^+ R}{Pr_t \left(\frac{\ln EY^+}{K} + P \right)} \quad (6.13)$$

İyi sonuç elde edilmesi için değişken akı değeri için sınır tabakası 30 < Y⁺ < 500 olarak ele alınır.

$$\tau_{du \text{ var}} = \mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right)_{x_j = 0} \rightarrow 0 \quad \text{ve} \quad h \rightarrow 0 \quad (6.14)$$

Türbülans modeli Lam-Bremhorst (J. J. Čomor, 2004) türbülans modelinin standart k-ε modelinden farklılıkların hesaplanmasında aşağıdaki ifadeler kullanılır.

$$U_j \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(v_l + \frac{v_l}{\sigma_K} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + v_l \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_j}{\partial x_i} - \varepsilon \quad (6.15)$$

$$U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(v_l + \frac{v_l}{\sigma \varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + f_l C_l v_t \frac{\varepsilon}{k} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_j}{\partial x_i} - f_2 C_2 \frac{\varepsilon^2}{K} \quad (6.16)$$

$$v_t = f_\mu C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6.17)$$

$$f_\mu = \left[1 - \exp(-0.0165 \text{Re}_k) \right]^2 \left(1 + \frac{20.5}{\text{Re}_t} \right) \quad (6.18)$$

$$f_l = 1 + \left(\frac{0.05}{f_\mu} \right)^3 \quad (6.19)$$

$$f_2 = 1 - \exp(-\text{Re}_t^2) \quad (6.20)$$

$$\text{Re}_k = \frac{\delta \sqrt{k}}{v_l} \quad (6.21)$$

$$\text{Re}_t = \frac{k^2}{v_l \varepsilon} \quad (6.22)$$

$$U_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(a \frac{\partial T}{\partial x_j} - \overline{u_j \theta} \right) \quad (6.23)$$

$$a = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad \overline{u_j \theta} = -a_t \frac{\partial T}{\partial x_j} \quad (6.24)$$

Tam çözümleyici denklemler;

Ortalama sıcaklık için çözümleyici denklemler, sıvı ve metalin her ikisi içinde aşağıdaki şekilde yazılabilir.

Sıvı için;

$$U_j \frac{\partial}{\partial x_j} \left(p_s c_{p,s} T \right) - \frac{\partial T}{\partial x_j} \left(\lambda_s \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) = S_s \quad (6.25)$$

Metal için;

$$- \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda_m \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) = S_m \quad (6.26)$$

$$\frac{S_s}{c_{p,s}} = U_j \frac{\partial}{\partial x_j} \left(p_s T \right) - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\lambda_s}{c_{p,s}} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (6.27)$$

$$U_j = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(p_s \Phi \right) - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) \quad (6.28)$$

$$\Phi = T \quad \Gamma_\Phi = \frac{\lambda_s}{c_{p,s}} \quad S_\Phi = \frac{S_s}{c_{p,s}} \quad (6.29)$$

$$\frac{S_m}{c_{p,s}} = - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\lambda_m}{\lambda_s} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (6.30)$$

$$\frac{S_m}{c_{p,s}} = - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\lambda_m}{\lambda_s} \frac{\lambda_s}{c_{p,s}} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (6.31)$$

$$S_{\Phi} = U_j \frac{\partial}{\partial x_j} (p_s \Phi) - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\beta \Gamma_{\Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) \quad (6.32)$$

$$\Phi = T \quad \Gamma_{\Phi} = \frac{\lambda_s}{c_{p,s}} \quad \beta = \frac{\lambda_m}{\lambda_s} \quad U_j = 0$$

$$S_{\Phi} = \frac{S_m}{c_{p,s}} \quad (6.33)$$

Sınırlı hacim metodunun prosedürünün ayrımı göz önüne alındığında difüzyon (yayıma) terimi şöyle ölçülür.

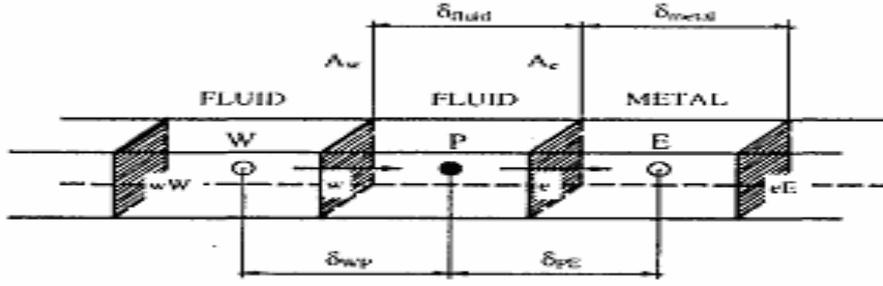
$$\int_V \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma_{\Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) dV = \int_A \left[\left(\beta \Gamma_{\Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)_e - \left(\Gamma_{\Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)_w \right] dA_{yz} \quad (6.34)$$

$$= \left(\beta A \Gamma_{\Phi} \right)_e \frac{\Phi_E - \Phi_P}{\delta_{PE}} - \left(A \Gamma_{\Phi} \right)_w \frac{\Phi_P - \Phi_W}{\delta_{WP}}$$

$$= \beta A_e \left(\Gamma_{\Phi} \right)_e \frac{\Phi_E - \Phi_P}{\delta_{PE}} - A_w \left(\Gamma_{\Phi} \right)_w \frac{\Phi_P - \Phi_W}{\delta_{WP}}$$

Metal ve sıvı arasındaki sıcaklığın lineer değeri;

$$\beta = \frac{\delta_m + \delta_s}{\delta_s} \quad \text{şeklindedir.} \quad (6.35)$$



Şekil 6.5 Sonlu Hacim Şekli

Sonuçta β çarpan faktörü şu şekilde tanımlanır.

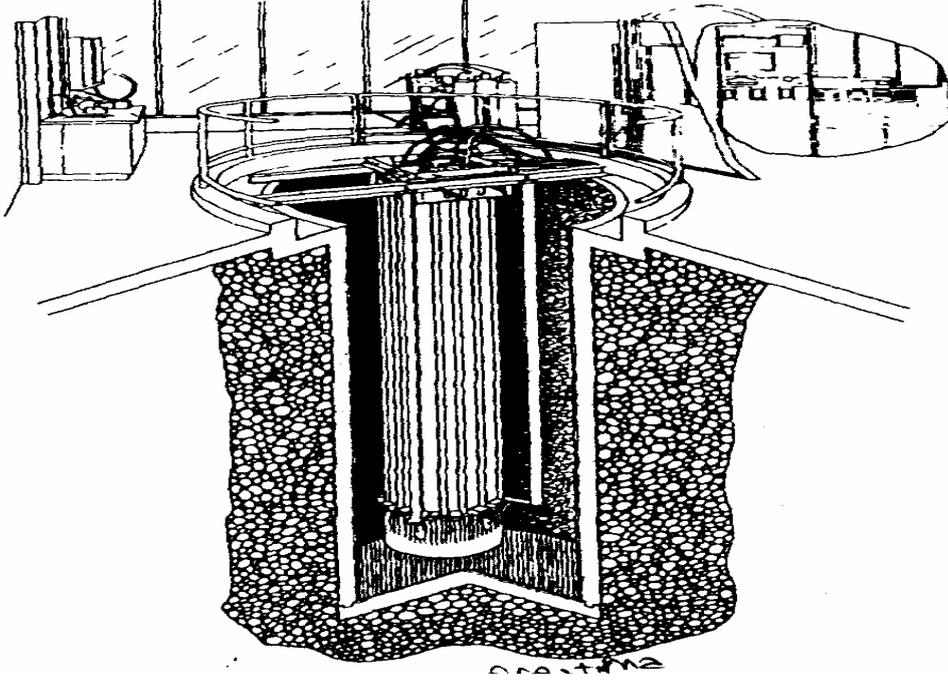
$$\beta = \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{\delta_m + \delta_s}{\delta_s} \\ \frac{\lambda_m}{\lambda_s} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{sıvı kenar} \\ \text{sıvı ve metal kenar arası} \\ \text{metal kenar} \end{array} \quad (6.36)$$

$$\left(\Gamma_{\Phi} \right)_e = \frac{2\delta_{PE}}{\left(\delta_{we} / \left(\Gamma_{\Phi} \right)_P + \left(\delta_{e(eE)} / \Gamma_{\Phi} \right)_E \right)} \quad (6.37)$$

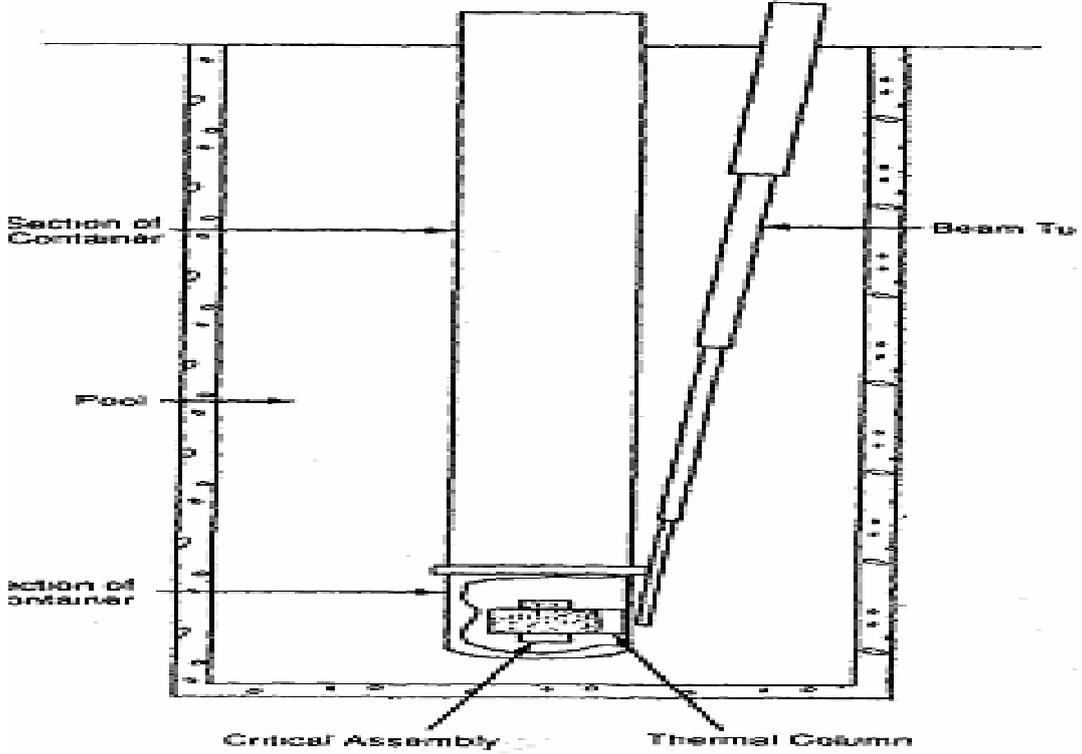
(J. J. Čomor, 2004)

6.11 RMC'de SLOWPOKE-2 İçin Nötron Radyografisine Dayanan Ölçümler

Şekil 6.6'da şeması verilen nötron radyografisi için küçük SLOWPOKE-2 (20 kWh) nükleer reaktör bu tür araştırmanın yapılabilirliği için araştırılmıştır. Nötron aktivasyon analizi (NAA) ve radyoizotop üretimi için her şeyden önce plan çizmek gerekir.



Şekil 6.6 Kingston, Ontario, Canada'nın Royal Military College'da SLOWPOKE-2 Araştırma Reaktörü

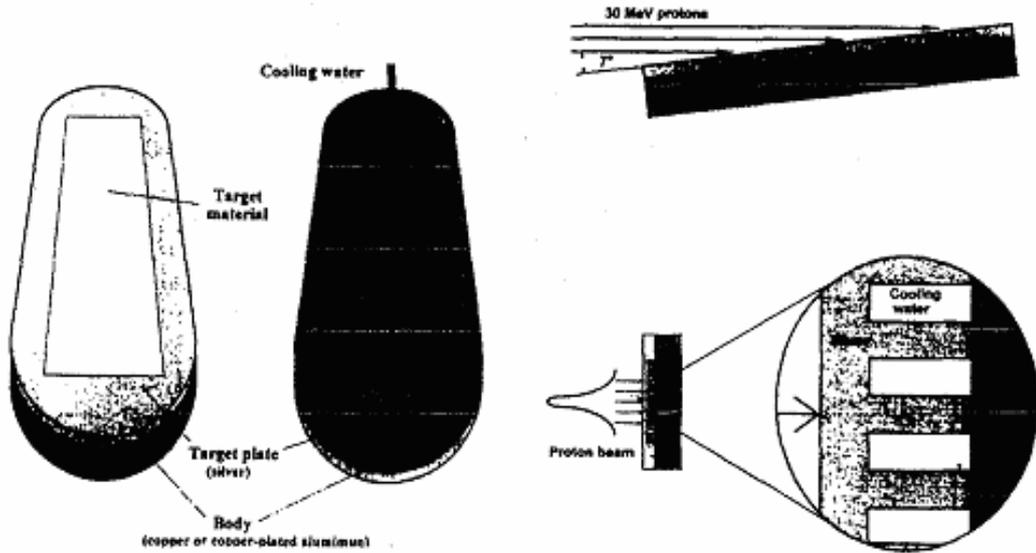


Şekil 6.7 Nötron Işın Tüpünün Prototipi

RMC’de SLOWPOKE-2, reaktör taşıyıcı ve Berilyum reflektör arasında sudaki boşluk içinde suyun bir termal sütun ile hazırlanmasıdır. Taşınabilir nötron radyografisi, bir ışın durdurucu, reaktör göbeği ve bir ışın tüpü ya da kolimatörün bulunduğu yere yerleştirilmiştir. İlk olarak, nötron radyografisi için SLOWPOKE-2’nin kullanımı daha sonra da elde edilen radyografinin nitelikleri araştırılır. Nötron radyografik ve termal nötron değişiminin her ikisinin ölçümleri için Şekil 6.7’deki gibi ışın tüpünün hazırlanması ve yerleştirilmesi ile yapılabilir. Bu prototip dizayn ve deneylerin temelinde sürekli bir nötron radyografisi hazırlanmalıdır. Hesaplamalar sonuçlandırılmalı, hazırlıklar yapılmalı ve çalışmalar hazırlıkların yapılması ile ilerlemelidir. (W. J. Lewis, 1990)

6.12 Radyoizotop Üretimi İçin Katı Hedefin Termal Performansının Araştırılması

Katı hedef materyali Şekil 6.8’de şematik olarak gösterildiği gibi su ile soğutulmuş destek üzerine yerleştirilmiştir. Çeşitli radyoizotopların büyük ölçekli ölçümlerinde bir hedef sistemi kullanılır. Farklı bombardıman durumlarında katı hedef sisteminin ayrıntılı termal analizi, sonlu element analiz programı yöntemi ile yapılmıştır. Parametre çalışmasının sonunda, katı hedefin ışık akım limitinin artışı gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Hedef Dizaynı ve Soğutulmuş Konfigürasyon

Bu çalışma da iki boyutlu Gauss dağılımı kullanılır.

$$P=P_0 e^{-x^2/2\sigma_x^2} e^{-y^2/2\sigma_y^2} =0 \quad (6.38)$$

$|x| \leq 12.5$ için ve $|y| \leq 37.5$ için, yada

$|x| > 12.5$ için ve $|y| > 37.5$ için

P_0 , toplam ışın gücü

σ_x ve σ_y , x ve y dağılımı için standart sapma

(F. M. Nortier, 1994)

6.13 Basit Laboratuvarlar İçin Çok Düşük Seviyeli Gama Işını Analiz Sistemi

Bu sistem çevresel örnekler ve jeofiziğin birçok çeşidinin ölçülmesi için uygundur. Meteorit örnekler ve ayla ilgili örneklerde ^{26}Al 'nın düzenli ölçümlerinde kullanılır ve 0.3 dpm/örnek'den daha düşük radyoizotop ölçümleri için daha uygundur. 26 meteorit örneği bu ölçümlere dahil edilmiştir. Çok boyutlu gama spektrometresi ilk olarak Indiana State Üniversitesinde 1972'de yapılmıştır. 1987'de bu spektrometre California Polytechnic State Üniversitesine taşınmıştır.

Bu spektrometre, 0.127 metre çapında fotoçoğaltıcı (fotomultiplier) tüpleri ve 0.067 metre çapında NaI çubuk ile 0.102 metre çapında NaI sintilasyon sayacı tarafından 0.152 metre çapında iki ana detektörden oluşmuştur. (R. Grismore, 1997)

Tablo 6.13 Çok Boyutlu Gama Işını Spektrometresi Kullanılarak 26 Adet Meteorit Örneğinden Elde Edilen ²⁶Al Yoğunlukları

Aile meteoritler	Örneğin kütlesi (g)	²⁶ Al yoğunluğu	
		dpm/örnek	dpm/kg
I. Siderites (iron meteorites)			
A. Octahedrites			
Gibeon, Namibia	103,22	0,18±0,08	1,7±0,7
Canyon Diablo, AZ piece #1	21,32	0,13±0,10	6±5
Canyon Diablo, AZ piece #2	36,4	<0,5	<13
Toluca, Mexico	48,98	<0,4	<9
II. Siderites (non-iron meteorites)			
A. Mesosiderite			
Bondoc Peninsula, Luzon, P.I	14	0,23±0,10	16±7
B. Pallasites			
Brenham, KS	63,64	0,15±0,10	2,4±1,6
Admire, KS	4,82	0,08±0,08	16±16
III. Aerolites (stone meteorites)			
A. Chondrites			
I. Olivine hypersthene chondrites			
Ellerslie, Queensland, Austral	19,55	1,02±0,15	52±8
Ladder Creek, KS	30,91	0,99±0,13	32±4
Beenham, NM	14,1	0,84±0,13	60±9
Potter, Ne-piece #1	49,93	2,83±0,15	57±3
Potter, Ne-piece #2	61,53	3,21±0,18	52±3
New Almelo, KS	92,01	3,72±0,18	40±2
Temple, TX	131,97	6,12±0,23	46,4±1,7
Densmore, KS	69,13	3,29±0,18	48±3
La Lande, NM	33,13	1,48±0,13	45±4
Arcadia, NE	40,14	1,86±0,13	46±3
II. Olivine bronzite chondrite			
Hughes 003, South Australia	48,35	2,17±0,13	2,17±0,13
III. Carbonaceous chondrites			
Murchison, Victoria, Austrlia	25,05	0,82±0,13	0,82±0,13
Allende, Chihuahua, Mexico	27	1,20±0,15	1,20±0,15
Murray, KY	20,9	0,92±0,13	0,92±0,13
Marlinga, South Australia	10,6	0,64±0,13	0,64±0,13
Leoville, KS	157,12	5,8±0,2	5,8±0,2
B. Achondrites			
I. Eucrite achondrites			
Millbillillie, W. Austral	15,22	1,45±0,15	1,45±0,15
Camel Donga, Austral-piece #1	14,06	1,02±0,13	1,02±0,13
Camel Donga, Austral-piece #2	10	0,92±0,13	0,92±0,13

6.14 Düşük Seviyeli Ge Spektrometresi İle Kozmik Işın Etkileşimi Çalışması

Düşük seviyeli Ge gama spektrometresi yardımı ile, radyoizotop üretimi ve ikinci derece kozmik ışının değişiminin bir sistematik araştırması önerilmektedir. Üçüncü derece üretilmiş nötronlar ve hızlı müonlar ile durgun negatif müonların yoğunluğu, hızlı nötron değişimi ve termal reaksiyonlar taslak olarak çıkarılmıştır.

Kozmojenik üretim, Ge spektrometresi içinde sonradan ortaya çıkan yıkıcı ölçümler ile çoğu kez metalik hedefin kısa sürede ortaya çıkmasından elde edilir. (G. Heusser, 1993)

Tablo 6.14 Ge Spektrometresi İle Nötron Akış Ölçümleri İçin Reaksiyonlar

Numara	Reaksiyon	Sınır Enerjisi(keV)	T _{1/2}	Yan Reaksiyon
	<i>Direct</i>	<i>(thermal) capture</i>		
1	⁷² Ge (n,□) ^{73m} Ge	53,4;66,7	0,5 s	⁷⁴ Ge (n,2n)
2	⁷⁴ Ge (n,□) ^{75m} Ge	139,5	48 s	⁷⁶ Ge (n,2n)
3	⁷⁰ Ge (n,□) ^{71m} Ge	198,3	22 ms	⁷² Ge (n,2n)
4	¹⁹⁹ Hg (n,□) ^{200*} Hg	368		²⁰¹ Hg (n,2n)
5	¹¹⁵ In (n,□) ^{116m} In	417; 1097,3; 1293,5	54,2 m	
6	¹ H (n,□) ^{2*} H	2223		
	<i>Indirect</i>	<i>inelastic scattering</i>		
7	⁷⁴ Ge (n,n̄) ^{74*} Ge	595,8		⁷⁴ Ge (n,□)
8	⁷² Ge (n,n̄) ^{72*} Ge	691,0; 834		
9	⁶³ Cu (n,n̄) ^{63*} Cu	669,6; 962,1; 1327; 1412,1; 1547		
10	⁵⁶ Fe (n,n̄) ^{56*} Fe	846,8; 1238,3		
		<i>(thermal) capture activation</i>		
11	⁷⁰ Ge (n,□) ⁷¹ Ge	10,37	11,34 d	
12	¹⁰⁹ Ag (n,□) ^{110m} Ag	657,8; 884,7	252 d	
13	¹⁹⁷ Au (n,□) ¹⁹⁸ Au	411,8	2,694 d	
		<i>fast neutron activation</i>		
14	⁷⁰ Ge (n,3n) ⁶⁸ Ge	10,37	271 d	
15	⁵⁸ Ni (n,pn) ⁵⁷ Co	122,1	271,79 d	(μ ⁻ ,n)
16	⁵⁸ Ni (n,p) ⁵⁸ Co	810,8	70,86 d	(μ ⁻ ,0n)
17	⁵⁹ Co (n,2n) ⁵⁸ Co			
18	⁵⁶ Fe (n,p2n) ⁵⁴ Mn	834,84	312,3 d	(μ ⁻ ,2n)
19	⁶³ Cu (n,xpyn) ⁵⁴ Mn; ⁵⁷ Co, ⁵⁸ Co			(μ ⁻ , (x-1)pyn)
20	⁵⁸ Co (n,p) ⁵⁹ Fe	1099; 1291	44,53 d	(μ ⁻ ,0n)
21	⁷⁰ Ge (n,2p4n) ⁶⁵ Zn	1125,2	244,3 d	(μ ⁻ ,p4n)

6.15 Yarı Ömür İle Radyoizotopun Spektrumunun Ölçümü İçin Kullanılan Alet

Oak Ridge isochronous siklotronu içinde alfa parçacıkları emilimi üretimi ve kısa ömürlü geciktirici proton üretiminin yarı ömrü ve enerji spektrumunun ölçümünde kullanılır. Bu alet kolayca ayarlanabilir ve birkaç milisaniyede yarı ömür ölçülebilir. Bu teknik ile uygun bir detektör birlikte çalışarak radyasyon tipleri tayin edilebilir. (R. S. Bender, 1965)

6.16 Bir Beta Detektörü Gibi Fotoçoğaltıcı

Yarım yüzyıl önce fotoçoğaltıcı kullanılmaya başlandığından bu yana diğer dedektörlerin performansı araştırılmıştır. Dış beta aktivitesi için detektörden bağımsız olarak kendi kendine hizmet verebilmektedir. Beta detektörü, $^{90}\text{S}+^{90}\text{Y}$ 'nin %24 oranında oluşum ihtimali ile bir fotoçoğaltıcı (PM) kullanıldığı zaman daha kesin bir şekilde tayin edilebilir.

NE102A plastik sintilatör ve PM'nin birliktelikte oluşturduğu sistem $^{90}\text{S}+^{90}\text{Y}$ için yapılan sayımın yarısında sintilatör sistemden ayrılarak PM yalnız bırakılmalıdır. Böylece, fotoçoğaltıcının tek başına ne kadar performans gösterdiği belirlenir. Yapılan çalışmalarla PM'nin $E_{\beta\text{max}}$ ile lineer artış gösterdiği belirlenmiştir. (Dinesh Bohra, 1992)

6.17 X-Işımı Floresansı Kullanılarak $58 \leq Z \leq 68$ Arasındaki Toplam Atomik İncelme, Toplam Atomik Fotoelektrik Kesitinin ve Toplam Atomik Dağılım Kesitinin Hızlı Ölçümü

59.537 keV'de ($58 \leq Z \leq 68$) dokuz element kullanılarak toplam atomik dağılım kesiti, toplam atomik fotoelektrik kesiti ve toplam atomik incelme kesitleri belirlenmiştir. Ölçümler Si(Li) katı detektörü ve Am-241 uç kaynağı kullanılarak yapılmıştır. Tablo 6.15'de deneysel sonuçlar hesaplanan teorik değerler ve diğer elde edilen sonuçlar ile

karşılaştırılmıştır. Deneysel değerler, teorik değerler ve diğer deneyler arasında uygunluk görülmüştür. (A. Karabulut, 1999)

Lambert kuralına (A. Karabulut, 1999) göre 59.537 keV enerjili (i) elementinin toplam atomik incelme kesiti ($\sigma_t(i)$) ile verilir.

$$\sigma_t(i) = - \frac{\ln I/I_0}{T} \frac{M}{N} \quad (6.39)$$

I ve I_0 , hedef tarafından soğurulan ilk ve son γ -ışını şiddeti

T, hedef kalınlığı (birim alana düşen ağırlık)

M, atomik kütle

N, Avagadro sayısı

E_i enerjili (i) elementinin X-ışını fotoiyonizasyon kesiti aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$\sigma_{K\alpha} = \frac{I_{K\alpha}(i)}{I_0 G \varepsilon \beta T} \frac{M}{N} \quad (6.40)$$

$I_{K\alpha}(i)$, elementin $K\alpha$ pikinin ölçülen net şiddeti

$I_0 G$, doğrudan deneysel jeometri ölçümünde radyasyonun şiddeti

ε , detektörün efficiency'si

$K\alpha$, X-ışını enerjisi

β , doğrudan emme faktörü

β aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\beta = \frac{1 - \exp[-(\mu_i + \mu_\varepsilon)F]}{(\mu_i + \mu_\varepsilon)F} \quad (6.41)$$

μ_i ve μ_ε , hedefin ilk emilen incelme ağırlık katsayısı ve yayılan radyasyon enerjisi

Toplam atomik fotoelektrik kesiti,

$$\sigma_{tp}(i) = \frac{\sigma_{K\alpha}(i)}{J_K w_K f_{K\alpha}} \quad \text{ile verilir.} \quad (6.42)$$

J_K , emme artış faktörü

w_K , flüoresans oluşum faktörü

$f_{K\alpha}$, X-ışını yayılma oranı $K\alpha$ 'nın yayılma oranı

Toplam atomik dağılım kesiti ise aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$\sigma_{ts}(i) = \sigma_t(i) - \sigma_{tp}(i) \quad (6.43)$$

(A. Karabulut, 1999)

Tablo 6.15 $58 \leq Z \leq 68$ Değerleri İçin $\sigma_t(i)$, $\sigma_{tp}(i)$, $\sigma_{K\alpha}(i)$ ve $\sigma_{ts}(i)$ Değerleri

Elementler	Z	$\sigma_t(i)$		$\sigma_{tp}(i)$		$\sigma_{K\alpha}(i)$		$\sigma_{ts}(i)$
		Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel
Ce	58	2135±145	2190	2046±139	2100	1258±85	1292	89±6
Pr	59	2397±165	2330	2305±159	2230	1418±98	1373	91±6
Nd	60	2548±153	2460	2241±157	2360	1393±84	1467	106±7
Pm	61	2590	2610	2462	2510	1524	1560	128
Sm	62	2735	2760	2603	2650	1613	1644	132
Eu	63	2872±181	2910	2759±174	2800	1709±108	1735	112±7
Gd	64	3050±195	3060	2940±188	2950	1829±117	1835	110±7
		3071±220		2950±197		1829±123		131±9
Tb	65	3178±207	3240	3047±198	3120	1883±122	1928	131±9
		3224±260		3085±193		1907±119		138±9
Dy	66	3396±224	3410	3260±215	3290	2014±133	2033	135±9
		3399±235		3284±173		2029±107		115±8
Ho	67	3528±236	3590	3387±227	3460	2083±140	2128	141±1
Er	68	3749±255	3790	3621±246	3660	2245±153	2269	128±9
		3774±255		3613±224		2240±139		161±9

6.18 Radyoizotoplarca Uyarılmış X-Işını Floresanı Kullanılarak Element Analizi

α parçacıkları yada fotonlar gibi uygun bir fırlatıcı ile bombardıman edilen bir materyalden gönderilen flüoresan X-ışınlarının yoğunluğu ve enerjisinin ölçümü zararlı olmayan elemental analizde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Radyoizotopların, yüksek kararlılıktaki yarıiletken detektörlerle kombinasyon içinde olması X-ışını flüoresanında, radyasyonun uyarıcı kaynak olarak kullanımı, elemental analizlerde geniş uygulama alanı bulmuştur. Enerji dağıtmaya meyilli X-ışını flüoresanı birçok element analizi için kullanışlıdır ve böylece geniş kullanım alanı bulmuştur.

30 mm² *3 mm Si(Li) 5.9 keV'de 200 eV kararlılığa sahip 30 mm² *3 mm Si(Li) içeren bir detektör X-ışını spektrometresi, bir Sistem 100 (S100) Canberra çok kanallı analizör ile birlikte kullanılmıştır. Botswana'daki çevresel, jeolojik çalışmalarda PS AXIL software ile 20mCi ¹⁰⁹Cd kullanılan bir geometri kullanılmıştır.

Sistem 100 Canberra çok kanallı analizörü ile toplanan spektral data AXIL programı ile analiz edilmiştir.

Tablo 6.16 Taş Örnekleri Sonuçları

Örnek Numarası	Major Elementler	Tracer Elementler
1	Fe, Zr	Rb, Sr
2	Fe, Zr	Mn, Co, Rb, Sr, Y, Nb, Mo
3	Fe, Zr, Sr	Mn, Rb, Y, Nb
4	Fe	Ca, Ti, Cr, Mn, Sr, Zr, Y
5	Fe, Zr	Ti, Cr, Mn, Rb, Y, Nb, Mo

Tablo 6.17 Maden Cevheri Örneklerinin Sonuçları

Örnek	Major Elementler	Tracer Elementler
CuQz	Cu	Fe, Zn
Pyrhotite	Fe	Ni, Cu
Stibnite	Fe, As	Cu, Zn, Sr

Tablo 6.18 Aerosol Örneklerin Sonuçları

Örnek	Major elementler	Tace Elementler
Naledi	Fe, Cu, Zn, Ba, Pb	Cr, Co, Br, Sr, Zr
Lobatse	K, Ca, Fe, Zn, Sr, Zr, Ba, Pb	Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Br
Palapye	Ca, Fe, Zn, Sr, Zr, Ba, Pb	K, Mn, Cu
Selibiphikwe	Ca, Fe, Zn, Sr, Y, Zr, Ba, Pb	V, Cr, Cu
Francistown	Fe, Zn, Sr, Ba, Pb	K, Ca, Cu, Zr

Endüstriyel bakımdan gelişmemiş olan Botswana'da aerosol katkısı araç egzozlarından gelmektedir. Örneklerde Pb bulunması bunu göstermektedir. Bakır-kuarz madenlerindeki X-ışını flüoresanı spektrumu analizi Cu ve Fe ile Zn izlerini göstermektedir. Si piki sistem gürültüsü ve elementin düşük miktarda bulunuşu nedeni ile analiz edilmiştir. (K. R. S. Devan, 1997)

6.19 X-ışını Floresan Spektrometresi İle Kaya Fosfatlarının Analizi

Fosfat gübrelere element bileşimi ilgi çekicidir. Çünkü elementlerin gübreden toprağa, oradan besin zincirine ve sonrada insanlara geçmesi mümkündür. Bu durum sağlığa da etki yapacaktır. Fosfat gübrelere radyonüklid konsantrasyonu ve toksik elementlerin ölçümü için birçok metot kullanılmaktadır. X-ışını flüoresanı kullanımı ve değişik orijinli kaya fosfat örneklerinin element bileşimi aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Fosfat gübreleri, bitkiler için kullanılan K ve N gibi önemli gıdalardan biridir ve bunlar modern tarımda inorganik gübre olarak kullanılmaktadır. Gübrelerde kullanılan fosforun kaynağı sualtı fosfatı ve volkanik kaya fosfatıdır. Fosfat gübrelerinin element karakterizasyonu, nötron aktivasyon analizi, foton aktivasyonu, atomik emilim spektrometresi ve X-ışını spektrometresi ile yapılmaktadır.

Örnekler her kayanın fosfat deposundan ve birkaç değişik noktadan alınmıştır. Öğütme ve elekten geçirme gibi homojenizasyon işlemleri sonucunda örnekler endüstriyel ve bilimsel tarım araştırmaları için iki bölüme ayrılır. X-ışını flüoresanlarından önce örnekler bilyeli bir tokmağı olan bir dibekten geçirilir ve örneklerin %80'ninin çapı 74 µm olduğu görülür. X-ışını flüoresanı ölçümleri enerji dağıtan bir spektrometre ve Mo X-ışını tüpü (40 kV, 10 mA) ile yapılır. X-ışını spektrası Si(Li) detektörle toplanır. S100 Canberra MCA kartı AXIL yazılımı ile analiz edilir.

Kaya fosfatlarındaki elementlerin tespitinde X-ışını flüoresanı metodu kullanımının uygun bir analitik metot olduğu görülmüştür. Metot yüksek doğruluk derecesine sahiptir. Analiz için yapılan örnek toplama işlemi de oldukça kolaydır. Elde edilen sonuçlar toprakla ilgili incelemeler ve tarımsal çalışmalarda kullanılabilir. (P. Hayumbu, 1995)

Tablo 6.19 Kaya Fosfat Örneklerinin Element Konsantrasyonu

Element	Nepal	Pakistan	Tanzanya	Burkina Faso	Kolombiya	Tunus (Gafsa)	Peru (Bayovar)	Zambiya	Tayland	Florida
Ti			1495±124	1146±136	574±85			1093±133	696±108	616±103
Mn	464±32	1421±74	348±28	336±33				982±75	1,03±0,04	120±23
Fe	3648±135	6412±259	1,30±0,04	1,80±0,06	5029±150	1715±88	2331±109	2,5±0,1	1,13±0,04	5461±216
Co								127±31		
Ni		29±6						106±11	56±8	
Cu	69±9		61±6						396±15	
Zn	17,5±3	205±10	220±20	21±4	236±12	312±12	102±7	72±6	2577±57	88±6
Br							10,6±1,7			
Se						8,5±1,6				
Rb	6,2±1		20±2	26±2	11,2±1,5				8,7±1,5	
Sr	144±4	480±10	4405±59	897±16	565±10	1835±26	2140±33	3013±60	572±10	685±13
Y	23±2	103±4	27±3	96±4	99±4	117±4	49±3	156±6	37±3	121±4
Ce								2476±409		
Pb	113±6	120±8							75±6	15,2±3,6
Th			21±2		8,0±2,0			17,8±1,8		
U		15,2±4,2	42±7	8,9±4,2	40±6	48±7	85±11	10,2±4,6	13,6±4,2	103±13

Tablo 6.20 Fosfat Kayalarındaki Element Konsantrasyonları Dağılımı ve Ortalama Değerleri

Element	Oran/ppm	x/ppm
Ti	574-1459	994
Mn	120-10,300	2309
Fe	1715-25,000	9584
Co	127	
Ni	29-106	64
Cu	61-396	175
Zn	17,5-2577	418
Br	10,6	
Se	8,5	
Rb	6,2-26	16
Sr	144-4405	1561
Y	23-156	78
Ce	2476	
Pb	15,2-120	103
Th	Ağu.21	16
U	8,9-103	33

6.20 Endüksiyonla Birleştirilmiş Plazma Bölgesi Kütle Spektrometresi; Plutonyum İzotopları İçin Bir Başka Alet ve Çevresel Matrislerdeki Plutonyum İzotop Oranlarının Belirlenmesi

Farklı çevresel bölgeler içindeki radyonüklidlerin transferi konusunda bir çok çalışma yapılmıştır. İnsanlar ile çevre üzerine bu radyonüklidlerin etkileri bir model ile ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Kesin deneysel sonuçta, matrislerin bütün tipleri için bu modeller gerekli kılınmaktadır. (hava, su, tortu, toprak, yiyecek, v.b) Bu radyonüklidler ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu ve ^{241}Pu olarak adlandırılabilir. Bu radyonüklidler nükleer silah testleri, nükleer araçlar, reaktörler yada uydu kazaları ile çevreye yayılırlar.

Tablo 6.21 Pu SF ICP-MS İçin Elde Edilen Veriler

Kalan zaman	1
Pik genişliği/numarası	1
Pik genişliği	1
Etki alanı sayısı	20000
Tetkik edilen sayı	3
Güç (m/Δm)	400

Bu farklı kaynaklar, farklı $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ oranlarına sahiptirler ve bununla birlikte bu oran çevre içinde bozulan kaynağa yol göstermede kullanılır. Sıvı sintilasyon ve alfa spektrometresi Plütonyum izotop kararlılığı için ve termal iyonizasyon kütle spektrometresi, Plütonyum izotop oranlarının kararlılığı için kullanılan geleneksel analitik aletlerdir. Geçen 10 yıl içinde kütle spektrometreleri donanımı ile plazma iyon kaynakları ve bölge analizleri daha çok geliştirilmiştir. Fakat günümüzde çevresel örnekler içerisinde uzun ömürlü radyonükleidlerin oranları ve izotop doygunluğunun kararlılığı için başka metotlar sunulmaktadır. Farklı çevresel örnekler içerisindeki izotop oranları ve doygun ^{239}Pu , ^{240}Pu ve ^{241}Pu için sonuçlar elde edilmiş ve sunulmuştur. (M. Agarende, 2003)

6.21 Endüstriyel Radyografi



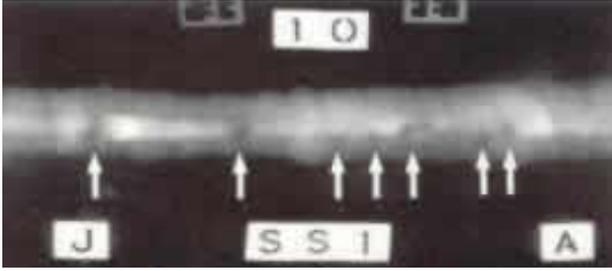
Şekil 6.9 Radyografinin Konumlandırılması

Çalışma sırasında, radyasyonun güvenli kullanımı bütün çalışanların iş birliği ile sağlanır.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) mevzuatlarında, çalışanların ve diğer personelin radyasyondan korunması için yasal zorunlulukları açıkça belirtmiştir

İyonlaştırıcı radyasyon malzemelerden geçebilir ve fotografik film üzerine görüntü oluşturabilir. Bu teknik radyografi olarak adlandırılır ve banyo edilen filmlere radyografik filmi denir.

Endüstriyel radyografide, metal malzemelerdeki kusurları ortaya çıkarmak için daha çok giricilik özelliği fazla olan X-ışını veya gama ışınları kullanılır. X-radyografi ve gama radyografi terimleri radyasyon kullanarak film çekildiğini ifade eder.



Şekil 6.10 Radyografi Filmi

Yoğunluğu fazla olan malzemeler daha fazla radyasyon soğurur. Telefonun içindeki metal bileşenler, plastik parçalardan daha fazla radyasyon soğurduğu için daha net görünürler. Şekil 6.10'da görülen radyografi filmindeki ok işaretli kaynaklar kusurları gösterir.

6.22 Radyoizotoplar ve X-Işını Cihazları



Şekil 6.11 Bir Kapalı Kaynak Tipi (Yaklaşık Bir Kurşun Kalem İle Aynı Büyüklükte)

Kapalı kaynaklar elektrik gücü olmaksızın sürekli olarak gama ışınları yayar. Fiziksel olarak bu küçük kaynaklar radyoaktif madde (radyoizotop) içerirler. Miktarı Bq (Becquerel) olarak ölçülür.

Gama radyografisinde en yaygın kullanılan radyoizotop Ir-192'dir. Diğer radyoizotoplar, radyografisi çekilecek olan malzemenin yoğunluğuna göre kullanılır.

Elektrik gerilimi olmadığında cihaz radyasyon üretmediği için radyografçının cihazı ellemesi ve konumlandırması güvenlidir.



Şekil 6.12 El İle Taşınabilir (Portatif) ve Hareket Ettirilebilir (Mobil) Radyografi Cihazları

Kapalı (kapsüle edilmiş) radyoaktif kaynaklar sürekli olarak radyasyon yaydığı için taşınmaları ve konumlandırılmalarında yoğunluğu fazla metal malzemedan yapılmış özel taşıma kapları (konteyner) gereklidir. Radyoaktif kaynaklar, X-ışını radyografisi yapılmasının zor olduğu alanlarda kullanılabilir. El ile taşınabilir konteynerler taşıma ile ilgili yönetmeliklere uymaktadırlar.

6.23 Kapalı Alan ve Açık Alan Radyografisi



Şekil 6.13 Bir Fabrikada Kapalı Alan Radyografisi

Kapalı alan radyografisi, dışarıda diğer çalışanların radyasyona maruz kalmaması için özel olarak zırhlama yapılmış bir odadaki uygulamadır. Oda kapısına monte edilen interlock devreleri sayesinde oda içerisinde radyasyonla çalışma yapılırken, odaya yanlışlıkla girişler önlenir. Kullanılmadığı zamanlarda radyografi cihazları depolarda kilit altında tutulur. Uyarı notları ve güvenlik kilitleri radyasyon hasarına maruz kalınmaması için depo girişlerini sınırlar. Filmi çekilecek malzemelerin hareket ettirilmesinin (taşınmasının) veya kapalı alan radyografisinin mümkün olmadığı durumlarda açık alan radyografisi uygulanır. Radyasyon tehlikesi olan alana insanlar yaklaştırılmaz. Kontrollü alanların büyüklüğü, radyasyon demetini sınırlandıran lokal zırhlama ve kolimatörler kullanılarak en aza indirilir.

6.24 Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Analizi

Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi (EDXRF) belirlenen örneği hızlı ve hassas olarak analizleyebilen modern bir yöntemdir. Sistemle daha ziyade, jeolojik, çevre, metal alaşımları vb. örneklerin ppm-% aralığındaki analizleri yapılabilir. EDXRF spektrometresinde örnekler, X-ışını tüplerinden veya radyo izotop kaynaklarından elde edilen ışınlar ile uyarılırlar. Örnekler X-ışınları ile uyarılmaları sonucunda kendilerine has karakteristik K, L, M ışınlarını yayınlırlar. 241-Am kaynağı ile uyarılan örnekler HPGe dedektörü ile, ⁵⁵Fe ve ¹⁰⁹Cd kaynağı ile uyarılan örnekler Si(Li) dedektörü ile okunup analiz edilir.



Şekil 6.14 Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi (EDXRF)

6.25 Enstrümental Nötron Aktivasyon Analizi (INAA) ve Gama Spektrometresi

INAA, çeşitli örneklerdeki majör, minör ve eser elementlerin nitel ve nicel analizinde kullanılan hassas bir analiz tekniğidir. Bu teknikle, toprak, sediment, liken, kömür, su, v.b. gibi çevresel, jeolojik, biyolojik, alaşım, vb. örneklerdeki 40'a yakın elementin miktarları tayin edilebilmektedir. INAA'nin temel prensibi, öncelikle örneğin nükleer reaktörde ışınlanmasıdır. Bu işlem sonucunda, kararlı izotoplar, değişik radyasyonlar yayınlayan kararsız radyoizotoplara dönüşürler. Her radyoizotop kendine ait dalga boyu veya enerjide gama radyasyonu yayımlar. Bu radyasyonun gama sayım sisteminde ölçülmesi sonucunda gama spektrumunda belli enerjide hangi elementin olduğunu tayin edebileceğimiz pikler elde edilmektedir. Bu pik alanlardan yapılan hesaplamalarla da, elementin derişimi bulunmaktadır. Özet olarak bu analiz tekniği, örneğin hazırlanması, ışınlanması, sayımı, hesaplanması ve değerlendirilmesi basamaklarından oluşmaktadır. Gama spektrometri tekniği ile çeşitli örneklerdeki gama ışını yayan doğal ve bazı yapay izotoplar ölçülerek radyoaktiviteleri hesaplanmaktadır. (Uluslar arası Atom Enerjisi Ajansı, 1983)

6.26 Sintilasyon Sayıcıları

Bu sayıcılar radyasyonların fosforesans yada fluoresans meydana getirmelerine dayanır. Bir radyasyon bir fluoresan cisim üzerine gönderildiği zaman bir ışıldama meydana gelir. Bu metot Rutherford tarafından kullanılmak sureti ile transmütasyonun keşfine yol açmıştır. Aynı şekilde Crookes'un spintariskop adını verdiği alette bu metoda dayanır. Kullanılan fluoresan ZnS ekranıdır. Son yıllarda radyasyon ölçülmesinde büyük bir gelişme gösteren alet sintilasyon sayıcılarıdır. Sintilasyon sayıcıları, yüksek enerjili parçacıkların veya gama ışınlarının fluor veya fosfor denilen cisimler üzerine gönderilmeleri ile meydana gelen radyasyonları önce bir fotokatod üzerine gönderip burada meydana gelen fotoelektronları fotoçoğaltıcılardan geçirmek sureti ile sayılarını artırmak ve sonunda bunları bir kaydedici alette tespit etmekten ibarettir.

6.27 Kullanılan Başlıca Fluorlar

6.27.1 Alfa Fluorları

Gümüfle aktiflenmiş çinko sülfür saydam bir plastik üzerine ince (yaklaşık olarak 10 mg/cm²) ve homojen bir tabaka halinde yayılarak kullanılır.

6.27.2 Beta Fluorları

Antrasen veya az miktarda antrasen içeren büyük naftalin ve stilben kristalleri beta parçacıklarının sintilasyon dedeksiyonunda kullanılır. Son zamanlarda plastik fluorların daha kullanışlı olduğu bulunmuştur.

6.27.3 Gama Fluorları

Thallium ile aktiflenmiş bir Sodyum İyodür NaI (TI) kristali gama ışınlarının sayımı için en mükemmel bir fluordur.

Sıvı Sintilasyon Sayıcılarında, numune ve fluor aynı bir çözücüde çözülür. Tipik bir sintilasyon sıvı toluende p-terphenyl dir.

6.27.4 Fotokatod

Katod genellikle antimonlu seziumdan yapılmış ince bir levhadır.

6.27.5 Fotoçoğaltıcılar

Modern sintilasyon sayıcılarının en önemli kısmı olan fotoçoğaltıcılar çeşitli biçimlerde olabilir. Bunlar Berilyum-Bakır alaşımından yapılmışlardır. Bunlara dynod adı verilir. Dynodlara artan voltajlar uygulanır ve buralarda meydana gelen elektronlar bir dynoddan ötekine gittikçe sayıları devamlı olarak artar. Bu elektron amplifikasyonu olayı birbirini izleyen dynodlar boyunca devam ederek anodda son bulur. Örneğin fotokatoddan beş elektron çıkmış olsa ve alette n sayıda dynod bulunmuş olsa sonunda 5ⁿ sayıda elektron meydana gelmiş olur.

Bir sintilasyon sayıcı sistemi, kristal fotokatod, fotoçoğaltıcı sistemi, yüksek voltaj redresörü, amplifikatör, diskriminatör, sayıcı devreden ibarettir. Sintilasyon sayıcıları fotoçoğaltıcı tüpü üzerine uygun fosforun yerleştirilmesi ile alfa, beta, X ışınlarını veya nötronları ve özellikle gama ışınlarını kaydetmede kullanılır. Radyasyonların enerjilerini ve bunları veren nüklidlerin tanınması bakımından sintilasyon spektrometresi yapılmıştır. (Prof. Dr. Bahriye Yaramış, 1984)

6.28 Gama Spektrometre Sistemi

6.28.1 Kullanım Amaçları

26 Nisan 1986 Çernobil nükleer kazasından sonra radyoaktivite ve radyoaktif kirlilik çok daha fazla önem kazanmıştır. Kaza sonucu Türkiye’de büyük miktarda radyoaktif kirliliğe maruz kalmıştır. Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi ve Trakya’da havada ve yiyeceklerde radyoaktif kirlilik ölçülmüştür. O dönemlerde radyoaktif kirliliği ölçecek aletlerin yeterli olmaması böyle bir spektrometre sisteminin kullanılmasında önem kazanmıştır.

Bugün bulunan Gama spektrometre sistemi ile çevremizdeki maddelerin radyoaktif olup olmadığını, eğer radyoaktif ise bu radyoaktivitenin hangi izotoptan kaynaklandığını ve aktivitenin ne kadar olduğunu belirleyebilmekteyiz.

6.28.2 Teknik Özellikleri

Ge(Li)dedektör: Spektrometrede kullanılan yüksek saflıktaki lityum katkılanmış germanyum dedektördür.

Dedektörün önünden giren gama ışınları kristaldeki elektronlarla belli olasılıkla fotoelektrik soğurma veya compton saçılması yoluyla etkileşir. Eğer gama ışını 1,022 MeV üstünde ise çekirdeğin kuvvetli coulomb ile de etkileşir. Bu olaylar sonucu üretilen fotoelektronlar iletim bandına en yakın bağlı enerji düzeylerinde zayıfça bağlı elektronları uyarırlar ve bu elektronlar örgü içinde hareket ederler. Kristal boyunca uygulanan besleme potansiyeli elektron ve holl çiftlerinin yüklerin toplandığı n ve p tipi yarı iletken tabakaların uçlarına geçmesini sağlarlar. Elde edilen (toplanan) elektron holl çiftinin toplam sayısı ile orantılı bir puls voltajı üreten yüke duyarlı bir yükselteçte toplanır.

Ge(Li) Dedektörün özellikleri

Bağıl Verim	: 10%
Ayırma Gücü	: 2,0 keV (FWHM)
4,0 keV (FWTM), 1,33 MeV	
1,0 keV (FWHM), 1,2 MeV	
Geometri	: Sonu kapalı silindirik
Çap	: 46 mm
Uzunluk	: 42 mm
Pencerenin Aktif Alanı	: 16 cm ²
Deplasyon Voltajı	: 3500 V

Tavsiye Edilen Besleme : 4000 V dc

Tavsiye Edilen Besleme Kapasitansı : 1 pF

Dedektörün Pencereden Mesafesi : 5 mm

Tavsiye Edilen Besleme Kaçak Akımı: 0,01 nA

Önyükselteç: Dedektörden gelen pulsları depolanan enerji ile orantılı olarak voltaj sinyaline dönüştürür. Elektronik katlar için pulsları şekillendirir ve büyültür.

H.V: (Yüksek Voltaj) Güç Kaynağı: H.V. güç kaynağının amacı dedektöre besleme gerilimini sağlamaktır. Çalışma sırasında güç kaynağı 4000 V olarak kullanılır.

Spektroskopi Yükselteci : Ön yükselteçten gelen pulsları büyültür, sinyallere ayırır, puls yüksekliğini ayarlar. Gelen ve çıkan pulslar arasında doğrusal bir ilişki kullanarak sinyalleri büyültür.

Analog Dijital Çevirici (ADC): Spektroskopi yükseltecinden gelen sinyallere genlikleri ile orantılı olarak sayısal sisteme dönüştürür.

S100 MCA Kartı ve Çok Kanallı Analizör: Bu birim ADC deki verileri depolayıp, spektrum olarak gösteren; verilerin hafızada saklanması, analizini ve rapor olarak verilmesini sağlayan, enerji kalibrasyonu yapan Microsoft WINDOWS programı ile birlikte çalışan bir programdır.

Bilgisayar ve Çevre Birimleri: IBM PC/2-21 model 8086 işlemcisi, 640kB ana belleği olan bir bilgisayar, EGA grafik kartı, 20 MB sabit diski, bir 3.5" disket sürücüsü, S100 MCA (Çok Kanallı Analizör) kartı, matematik işlemcisi, IBM proprinter XL yazıcısı olan sistemdir.

6.28.3 Uygulamaları

Gama spektrometre sistemi ile çeşitli maddelerin radyoaktif olup olmadığı, radyoaktif ise aktivitesinin ne kadar olduğu hesaplanır. Çeşitli kuruluşlar tarafından gönderilen örneklerin de radyoaktif olup olmadığı incelenebilir.

Metot, hava, su, toprak, bitkisel ve hayvansal gıdalar gibi çok çeşitli materyallere uygulanabilir. Bu metotla, nükleer silah testleri, nükleer kazalar ve nükleer santrallerden yayılan radyonükleidlerin tespit edilmesi mümkündür.

Gama spektrometresinin doğru ve kesin kullanılabilmesi için bazı önemli maddeler:

Bu yöntem için HPGe yada (Ge(Li)) dedektörleri tavsiye edilir. Dedektör %18-%20 etkiye sahip olmalıdır. ⁶⁰Co kaynağının en üst gama ışını 1,33 Mev olarak ölçülmüştür. Dedektörün çözünürlüğü 1,8 keV ve 2,2 keV arasında olmalıdır.

Germanyum dedektörlerinin 1500 V ile 5000 V yeterlidir. Gama spektrometresinin avantajı gama ışınlarının kimyasal ayrıştırmaya gerek olmadan ölçülebilmesidir.

6.28.4 Hesaplamalar

Aktivitenin ölçüm zamanı;

Eğer gama spektrumu içindeki radyonükleidlerin en üst seviyesi ile R_n oranı biliniyorsa, ortalama etkinlik kg 'ın, ilk ağırlığa oranı olup aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$R_n = R_t - R_b \quad (6.44)$$

$$A_n = \frac{R_n m_f}{\epsilon m_\mu m_F P \gamma} \quad (6.45)$$

A_n -Nükleidin ortalama aktivite yoğunluğu (Bq/Kg ilk ağırlık)

R_n -Nükleidin net oranı (sayı/sn)

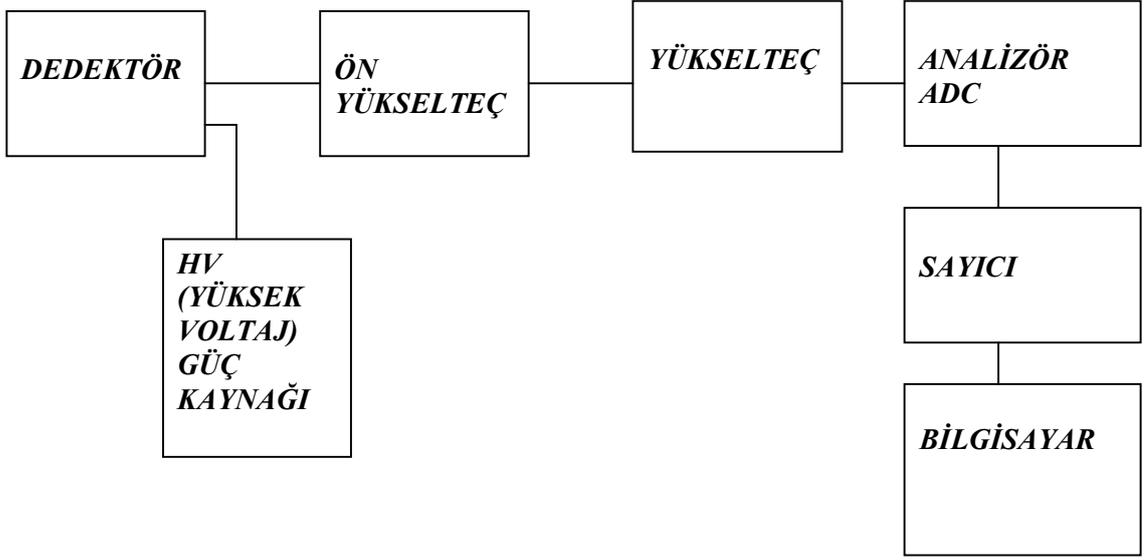
R_t -Nükleidin kaba oranı (sayı/sn)

R_b -Nükleidin ortalama oranı (sayı/sn)

m_F -Külleme yada ölçüm için kullanılacak ıslak örneğin ağırlığı (Kg)

m_r -Külleme sonrası örneğin ağırlığı (Kg)

m_u -Ölçüm için kullanılacak külün ağırlığı (Kg) (www.omu.edu.tr)



ŞEKİL 6.15 Gama Spektrometrisi Şematik Gösterimi

BÖLÜM VII

ANALİZ VE SONUÇLAR

Özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra nükleer çalışmalarda sağlanan gelişmeler, Dünyanın radyoaktivitesine çok büyük oranda etki ederek suni radyoaktivitenin birikimine ve radyoizotopların hızla artmasına neden olmuştur. Kararsız elementler olan transuranyum elementlerin hepsi radyoizotoplardır. Bunların yanında hemen her elementin radyoizotopları da suni olarak üretilebilir. Ancak bunların büyük bir kısmı araştırma ve uygulama için gerekli özelliklere sahip olmadıklarından uygulamada kullanılan radyoizotop sayısı sınırlıdır. Dünyanın her tarafında, özellikle araştırma amaçlı olarak kurulan reaktörler; nötron bombardımanı sağlayarak kararlı nükleonları kararsız izotoplara dönüştüren fabrikalar olarak, yaygın ve geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Suni radyoizotopların başka bir kaynağını da nükleer kaynaklardan ileri gelen yan ürünler ve radyoaktif atıklardır.

Enerji kaynağı olarak kullanılan atom santrallerinden sızıntı yoluyla çevreye yayılan radyoaktif ışınlar, radyoaktif partiküller, toz ve bulutlar, yada denemeler esnasında çevreye yayılan radyoaktif ışınlar ve partiküller örnek olarak gösterilebilir. Özellikle çevreye yayılan Alfa ve Beta ışınları besin zincirine girebilir, organizmalarda birikim gösterebilir.

Çernobil'deki kaza nedeniyle atmosfere karışan ve zincirleme reaksiyonlara uğrayan radyoaktif maddelerin atmosferik hareketlerle uzaklara taşınması ve düştükleri yerlerde radyasyona neden olmasıdır. Dolayısıyla kirlenme, Çernobil'e daha yakın olan Karadeniz ve bu denizin kıyılarında daha fazla olmuştur.

Her yıl ÷lkemize önemli miktarda radyoaktif madde ithal edilmektedir. Kullanılan tüm radyoaktif maddelerden oluşan atıklar içerisinde en yaygın olanları ^{125}I , ^{31}I , ^{99}Mo , ^{65}Zn , ^{75}Se , ^{32}P , ^{14}C 'dir.

Sularda radyoaktivite ölçümleri, önceleri daha çok kaplıca sularında yapılmıştır. Ancak daha sonraları yapılan araştırmalar göstermiştir ki, küçük dozlarda da olsa sürekli olarak çeşitli kaynaklardan vücuda alınan radyasyon, belli bir süre sonra insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Sularda bulunan radyoaktivite; doğal radyoaktivite, radyoaktif yağışlar ve nükleer ve radyolojik tesisler olmak üzere başlıca üç kaynaktan ileri gelmektedir.

Bu tez ile radyoizotopların çok farklı kullanım alanları olduğu, insan sağlığı için tıpta teşhis ve tedavi amaçlı kullanımının yanı sıra teknolojide de farklı amaçlarda kullanıldığı anlatılmış olup, çok farklı kullanım amaçları olan radyoizotopların insan sağlığına etkileri farklı araştırmalar sonucu ortaya konmuştur. Termal sularda ve kaynak sularındada farklı tip ve oranlarda bazı radyoizotopların olduğu tespit edilmiştir. Fakat bu araştırmalarda kullanılan teknoloji ve ölçüm için kullanılan aygıtların eski teknoloji olması bu araştırmalardan elde edilen sonuçların bazı eksiklikler içerebileceğini ortaya konulmuştur.

Bu nedenle, bu tezde günümüzde dünya üzerinde bu tür araştırmalar yapan insanların kullandıkları yeni metotlar tanıtılmıştır. En basit teknolojiden en kompleksine kadar kullanılan yaygın olan veya olmayan tüm araç ve gereçler detaylı bir şekilde tanıtılmıştır.

Aşağıdaki tablolar Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından yapılan araştırmalar sonucunda oluşturulmuş olup, hava, su, (kaplıca, içme suyu, musluk suyu, maden suyu, Küçükçekmece gölü, Marmara denizi, kar suyu) ve toprak içerisindeki radyoaktivite değerleri gösterilmiştir.

Hava Radyoaktivite Ölçümleri (2), Ağustos 1967-Aralık 2002 yılları arasında İstanbul, Çanakkale, ve Ankara'da

Hava Radyoaktivite Ölçümleri (4), Aralık 1971-Şubat 1976 yıllarında İstanbul'da,

Hava Radyoaktivite Ölçümleri (5), Mart 1976-Mayıs 1980 yıllarında İstanbulda
Hava Radyoaktivite Ölçümleri (6), Haziran 1980-Ağustos 1984 yıllarında İstanbulda
Hava Radyoaktivite Ölçümleri (7), Eylül 1984-Kasım 1980 yıllarında İstanbulda
Hava Radyoaktivite Ölçümleri (8), Aralık 1988-Şubat 1993 yıllarında İstanbulda
Hava Radyoaktivite Ölçümleri (9), Mayıs 1997-Mart 1993 yıllarında İstanbulda
Hava Radyoaktivite Ölçümleri (11), Eylül 2001-Aralık 2003 yıllarında İstanbulda
yapılan ölçüm sonuçlarını, göstermektedir.

Su Radyoaktivite Ölçümleri-İçme Suları, (1) (2) (4) (6) (7) (8) (9) (10) ile numaralandırılmış tablolar ile farklı yerleşim yerlerindeki su içerisindeki radyoaktivite ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

Su Radyoaktivite Ölçümleri-Kaplıca Suları, (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) ile numaralandırılmış tablolar ile Türkiye'deki farklı yerleşim yerlerinde bulunan kaplıcalar içerisindeki radyoaktivite ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

Su Radyoaktivite Ölçümleri-Maden Suları, (1) (2) ile Türkiye'nin Değişik bölgelerinden elde edilen maden suları içerisindeki radyoaktivite ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

Su Radyoaktivite Ölçümleri-Kar Suyu, Ocak 2001-Aralık 2003 yılları arasında kar suları içerisindeki radyoaktivite ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

Su Radyoaktivite Ölçümleri-Musluk Suyu, ÇNAEM tarafından Ocak 1976-Temmuz 2003 yılları arasında musluk suları içerisindeki radyoaktivite ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

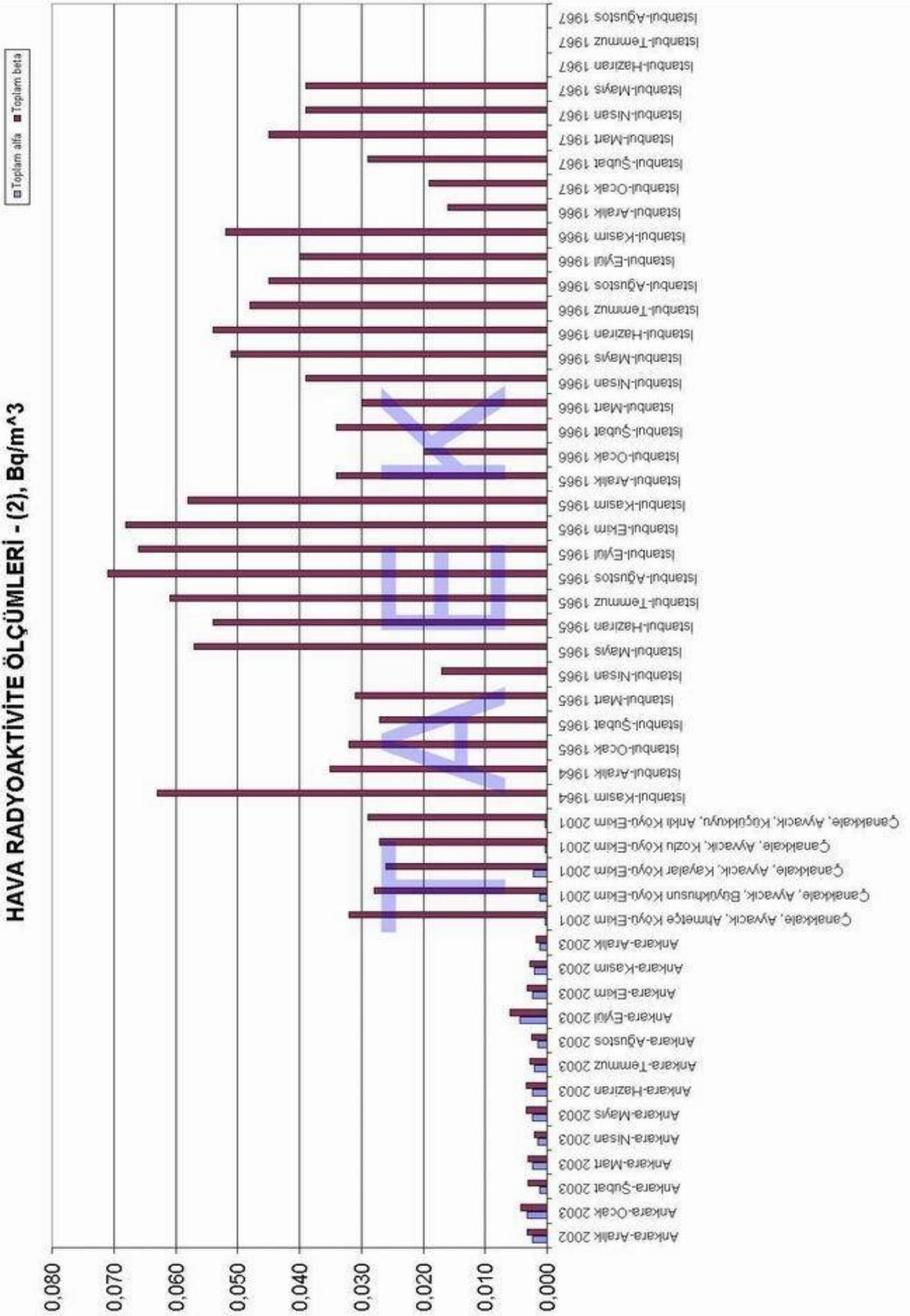
Su Radyoaktivite Ölçümleri-Yağmur Suyu, ÇNAEM tarafından Ocak 1976-Temmuz 2003 yılları arasında yağmur suları içerisindeki radyoaktivite ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

Su Radyoaktivite Ölçümleri-Küçük Çekmece Gölü, Ocak 1976-Ocak 2003 yılları arasında Küçük Çekmece Gölü içerisindeki radyoaktivite ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

Su Radyoaktivite Ölçümleri-Marmara Denizi, Ocak 1980-Ocak 2003 yılları arasında Marmara Denizi içerisindeki radyoaktivite ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

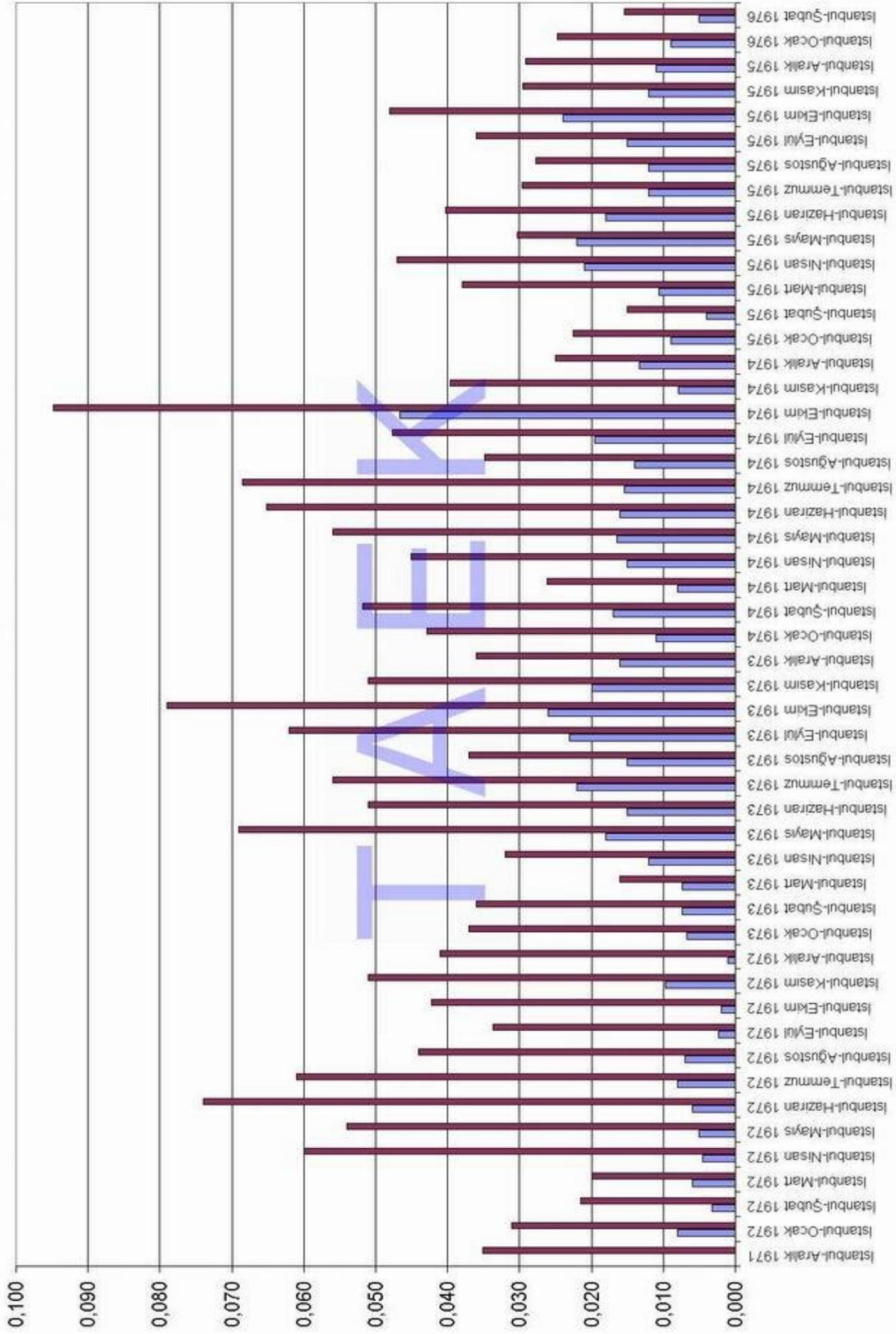
Toprak Radyoaktivite Ölçümleri (2) (3), farklı yıllarda farklı yerleşim yerlerinden toplanan toprak örnekleri içerisindeki radyoaktivite ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

HAVA RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - (2), Bq/m³

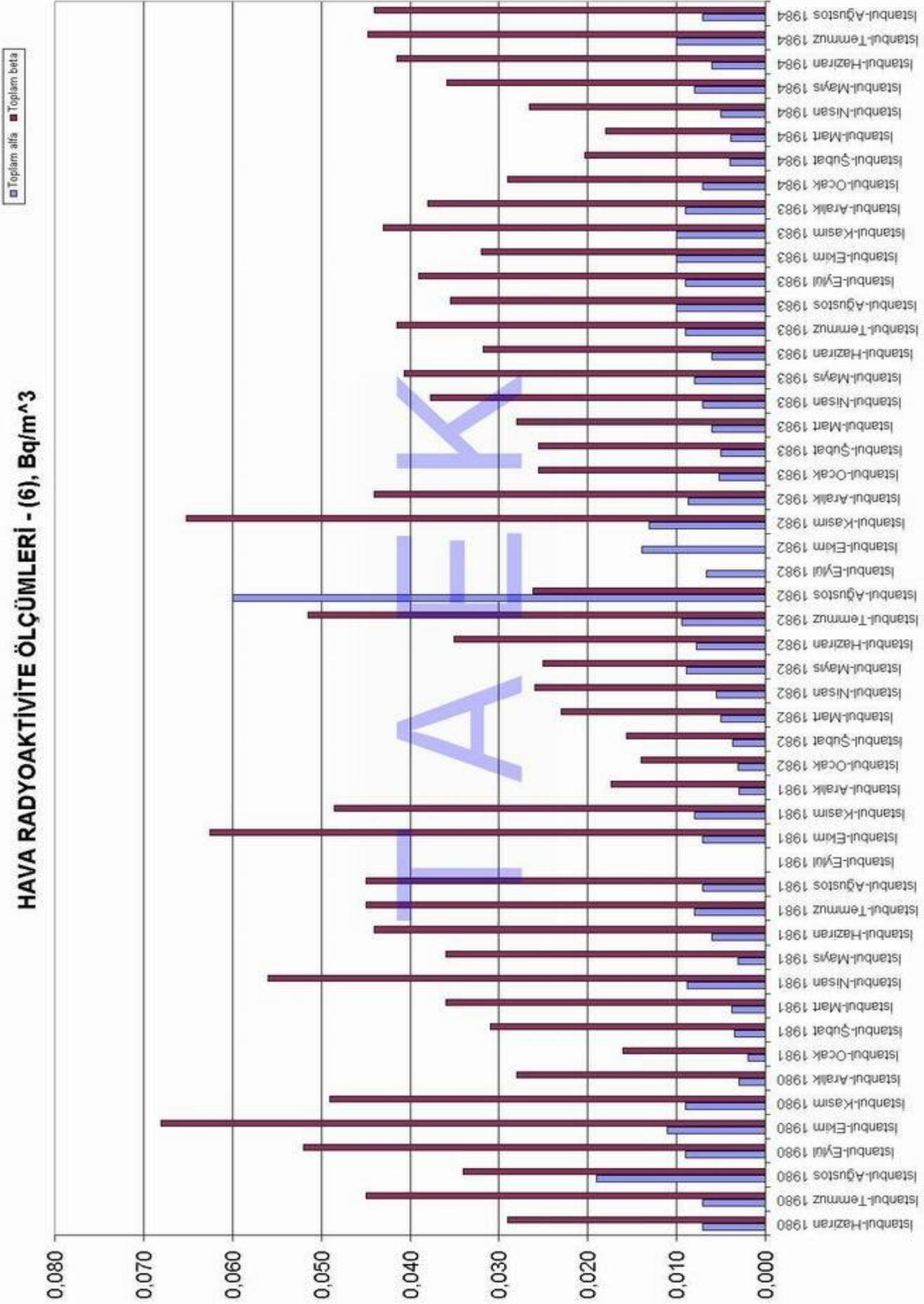


HAVA RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - (4), Bq/m³

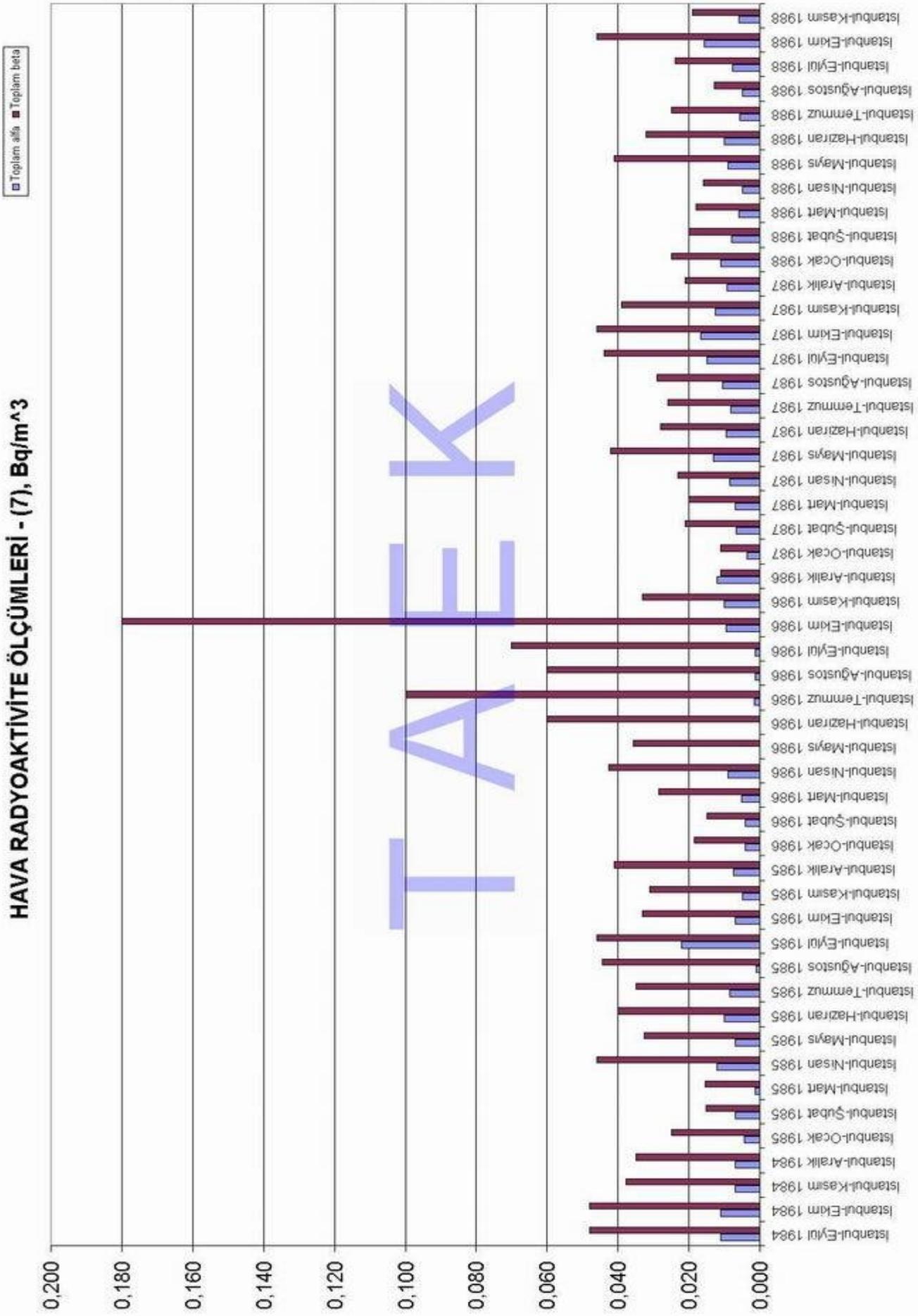
■ Toplam Alfa ■ Toplam Beta



HAVA RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - (6), Bq/m³

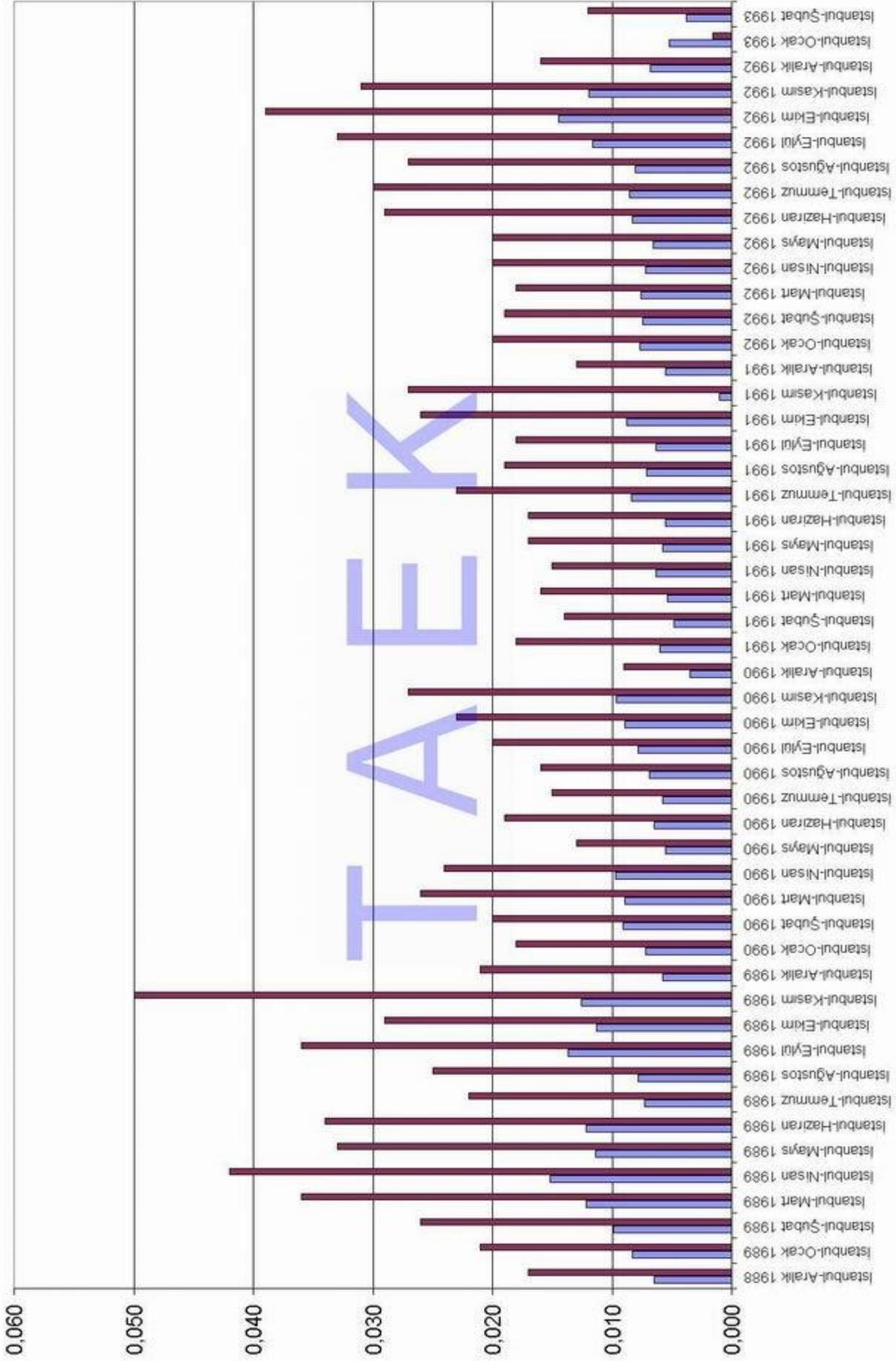


HAVA RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - (7), Bq/m³



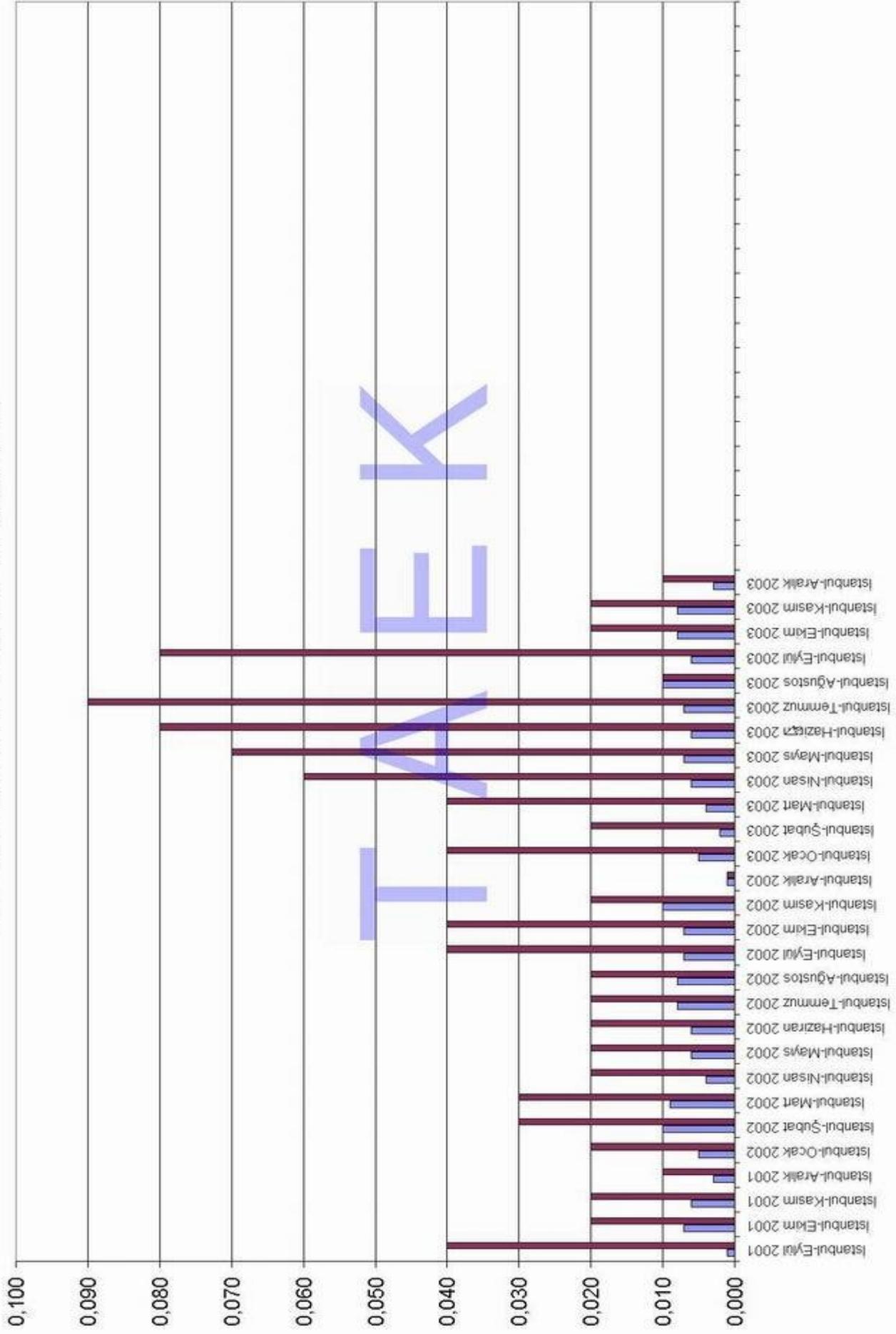
HAVA RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - (8), Bq/m³

■ Toplam alfa ■ Toplam beta

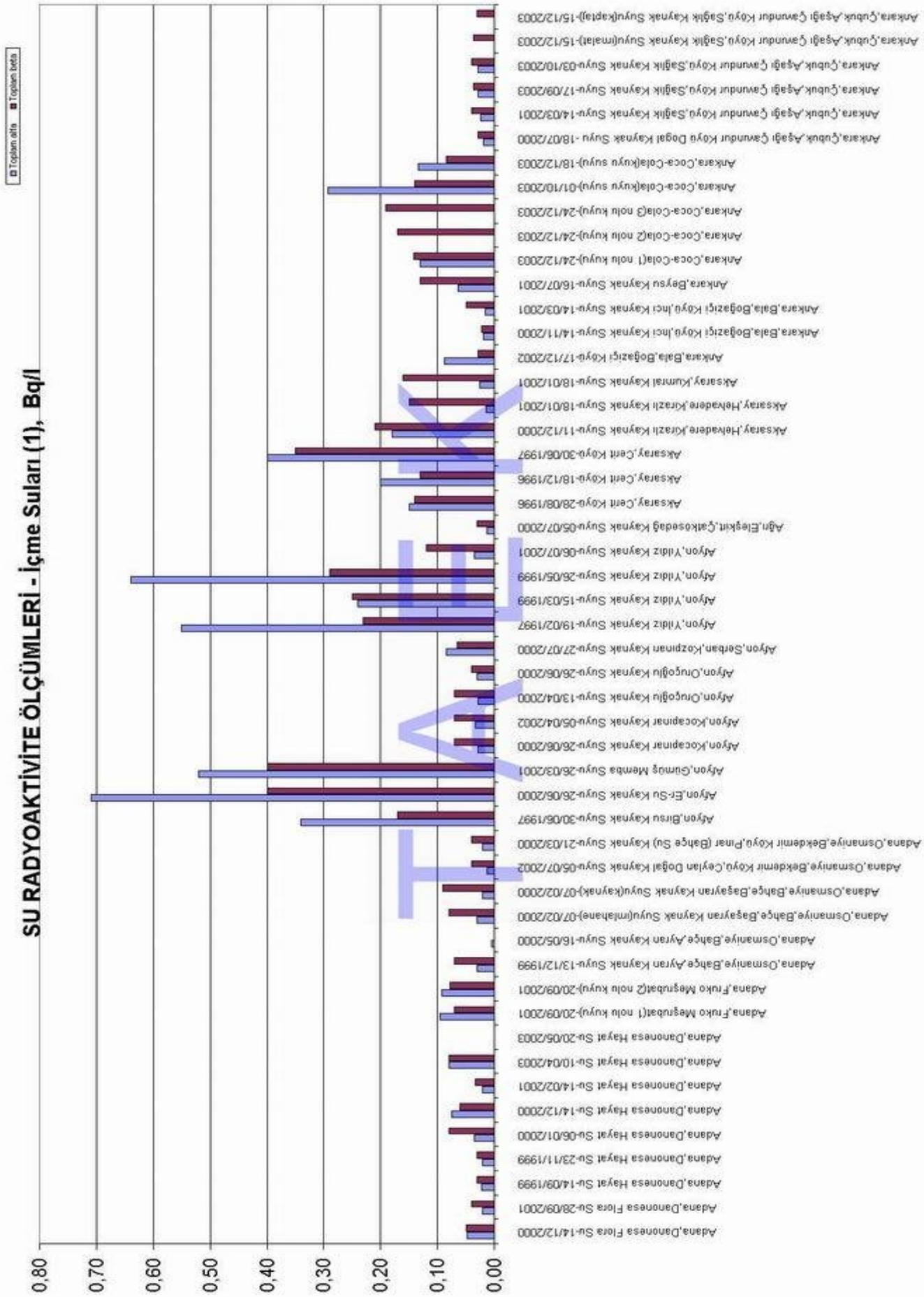


HAVA RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - (11), Bq/m³

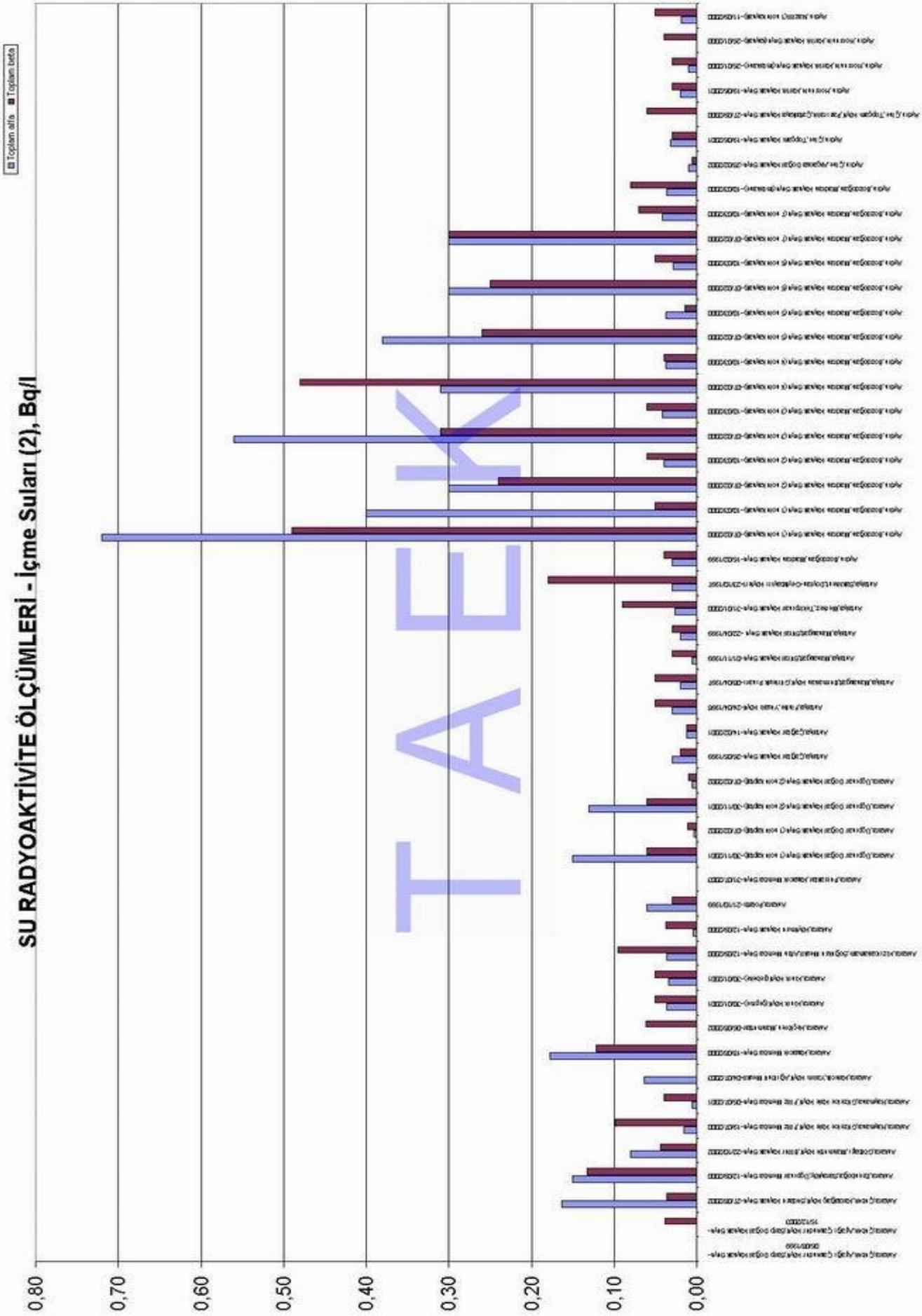
Toplam alfa ■ Toplam beta



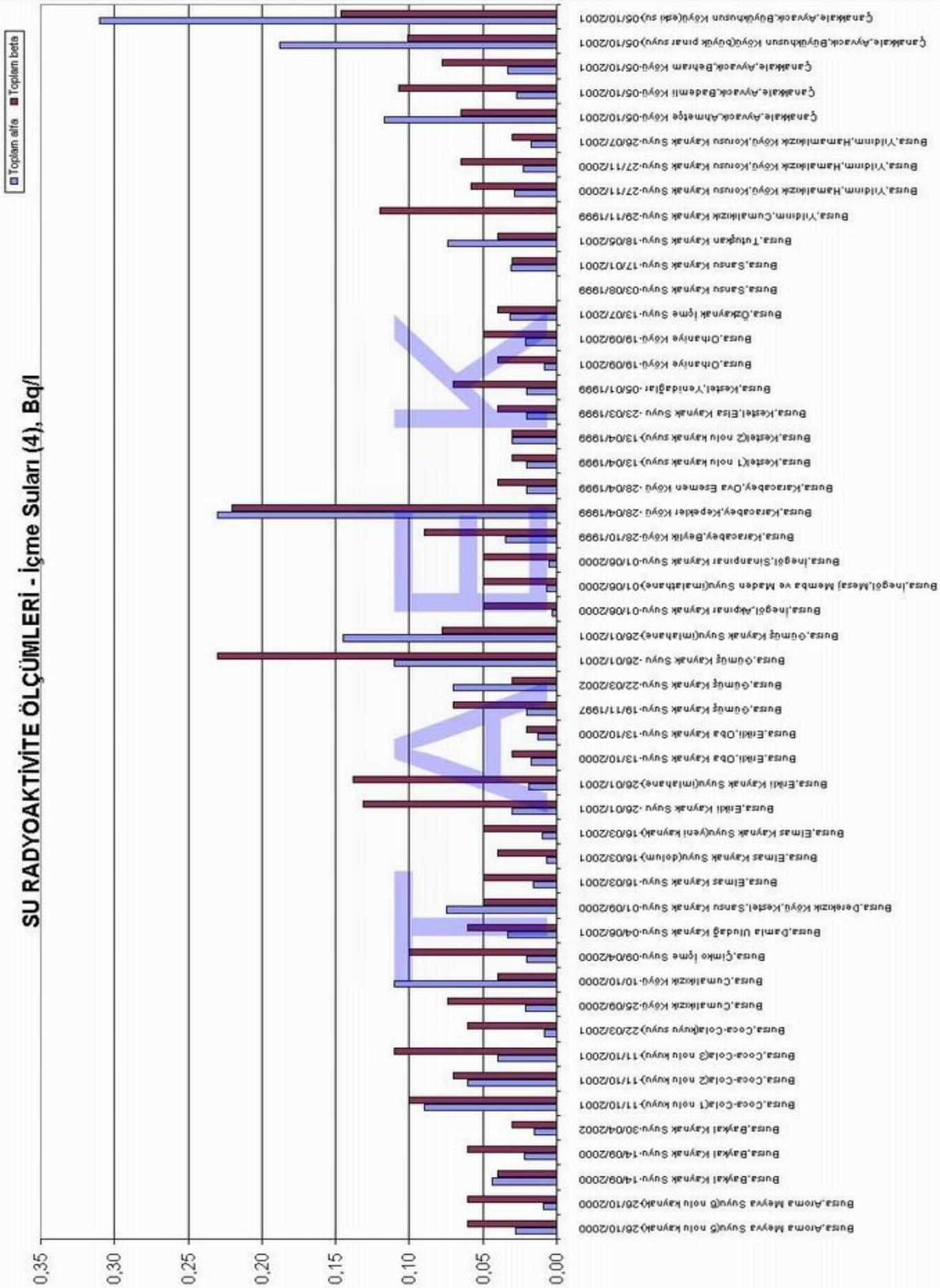
SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - İçme Suları (1), Bq/l



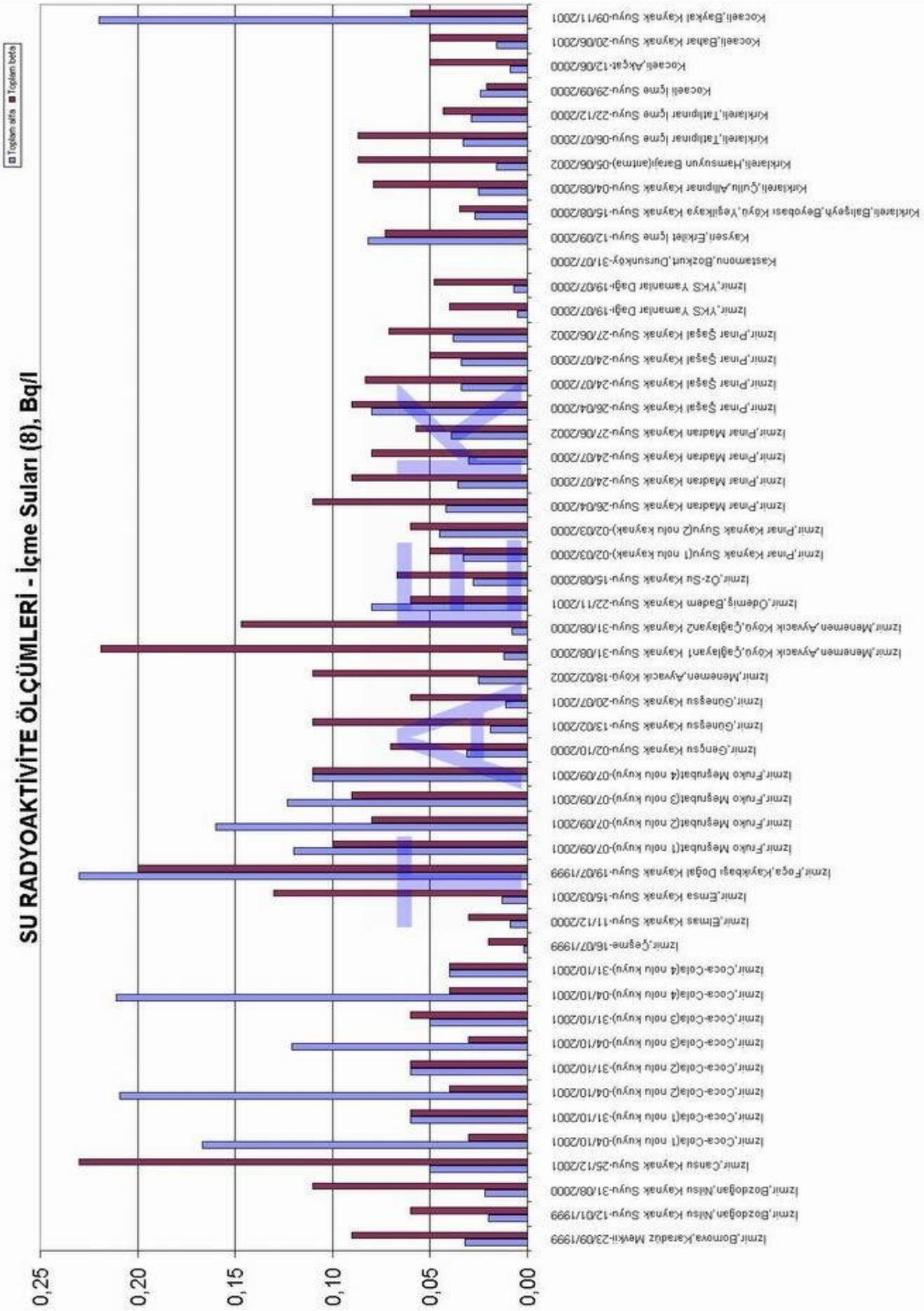
SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - İçme Suları (2), Bq/l

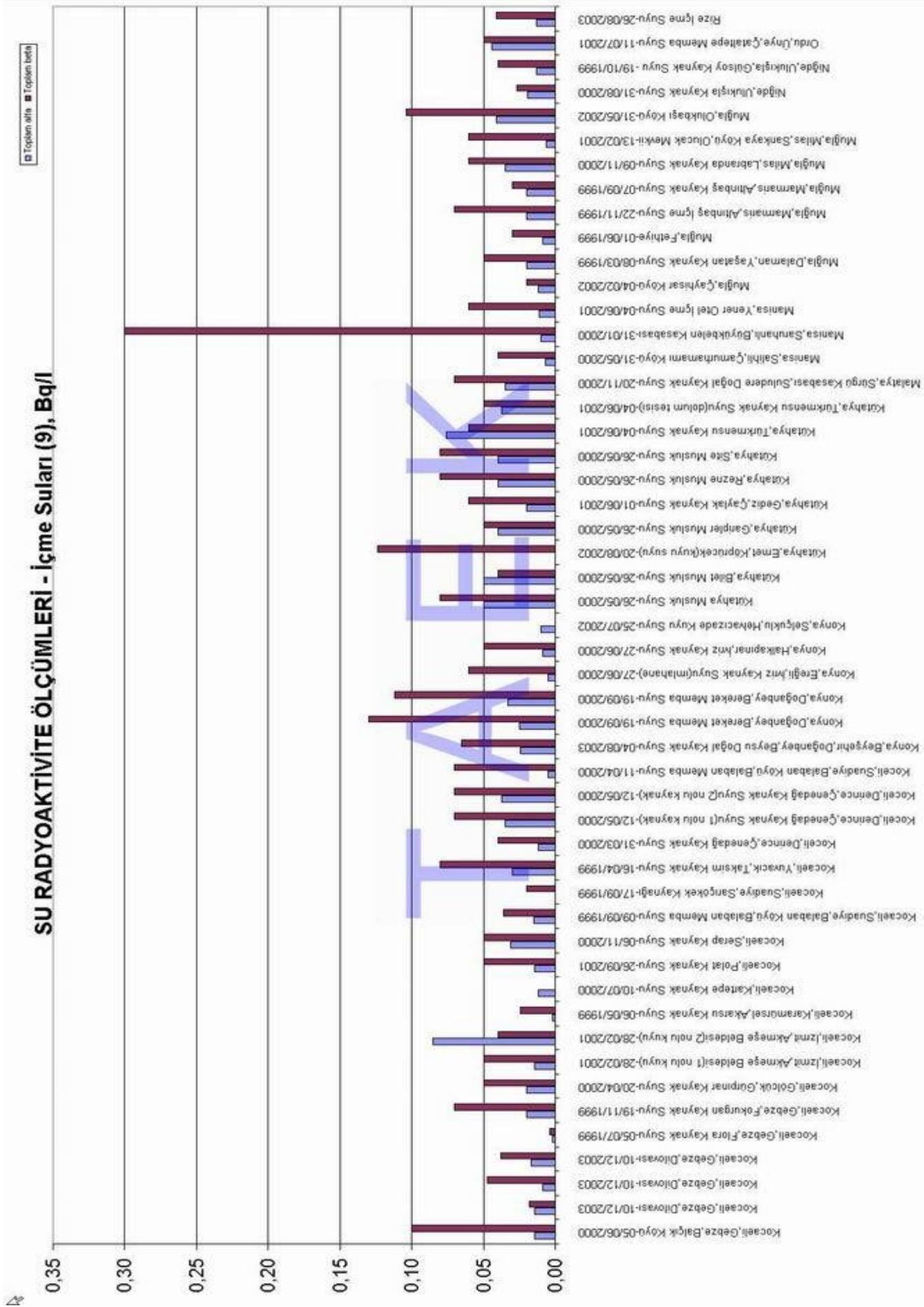


SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - İÇME SULARI (4), Bq/l

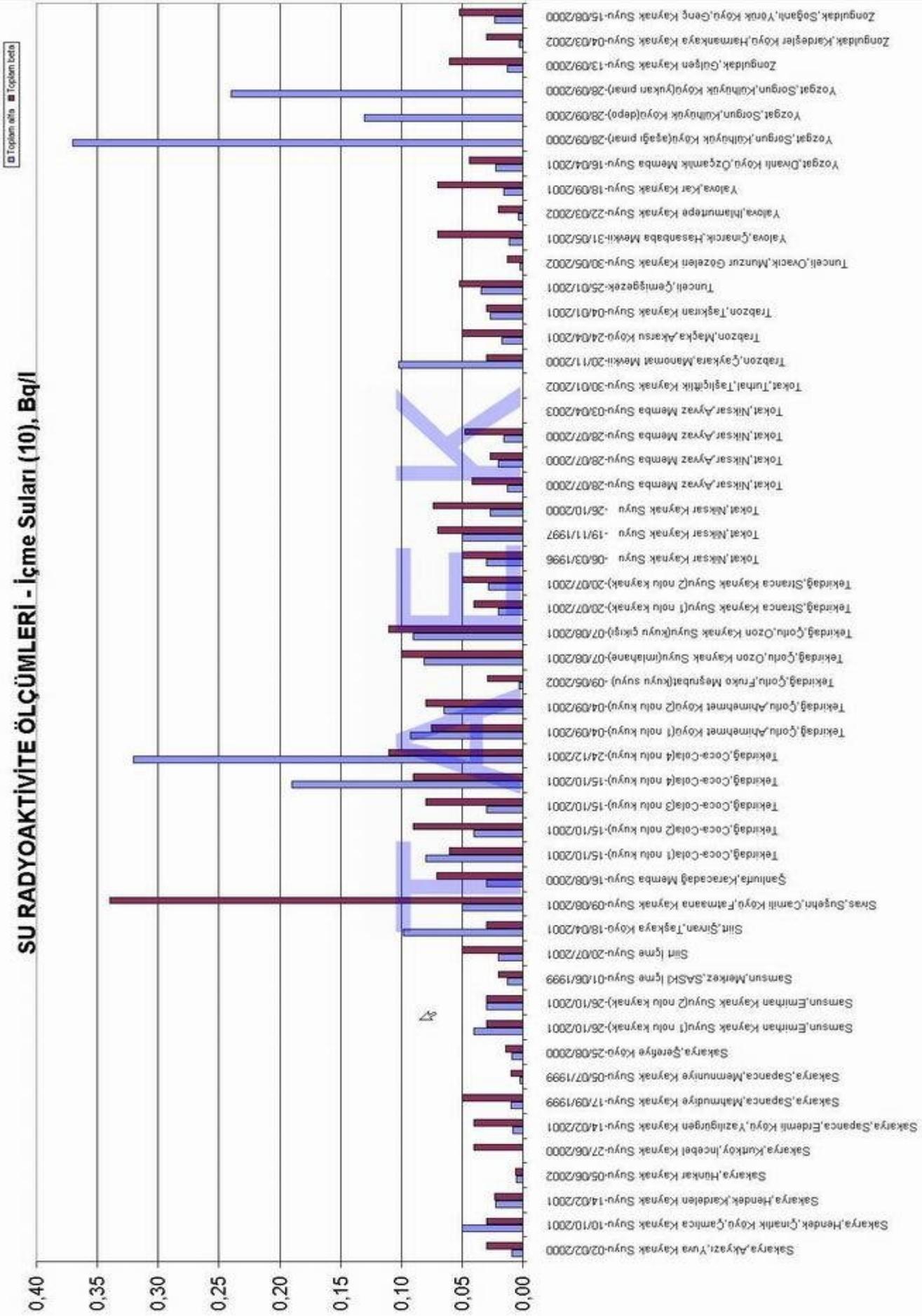


SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - İçme Suları (8), Bq/l





SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - İçme Suları (10), Bq/l

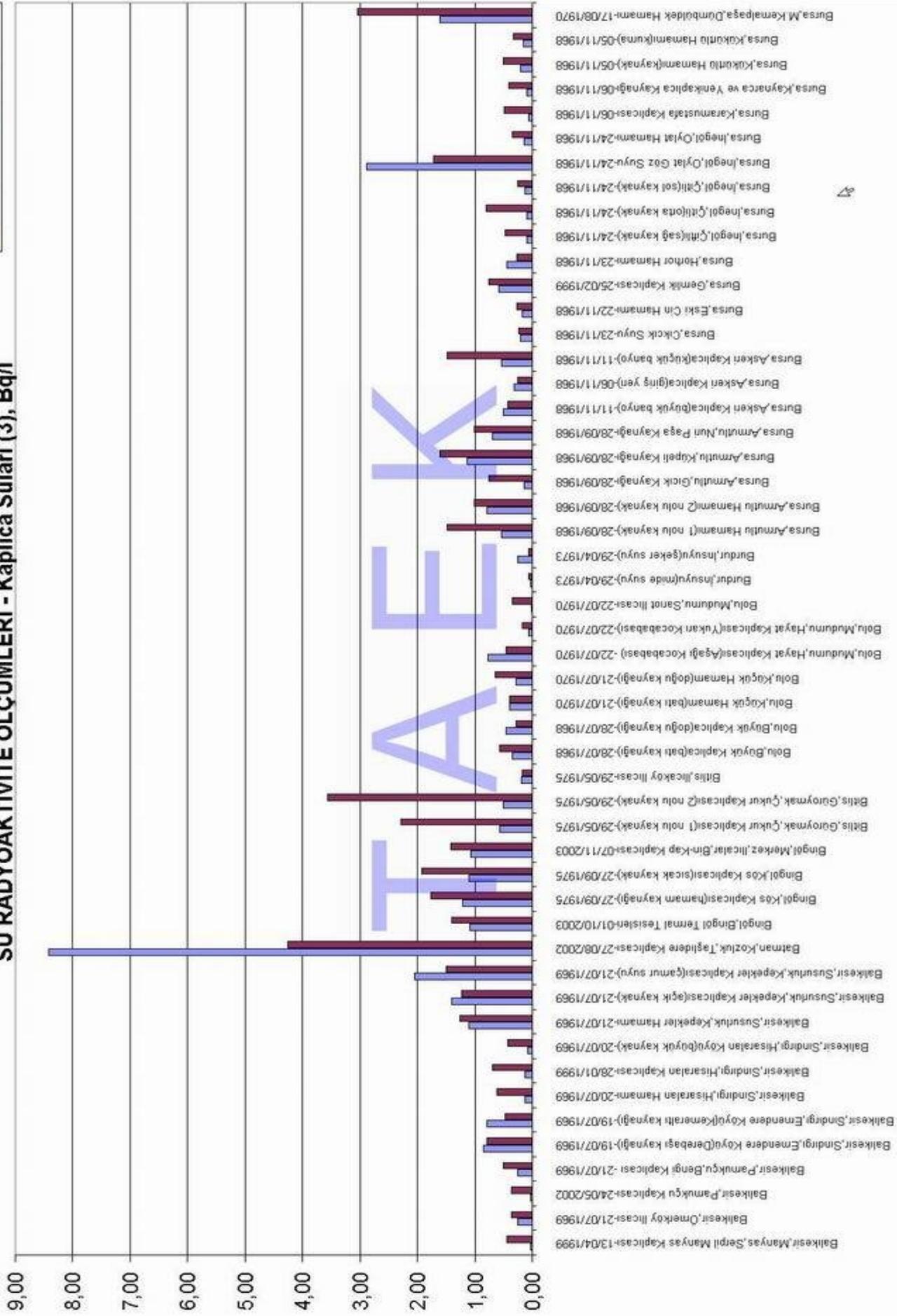


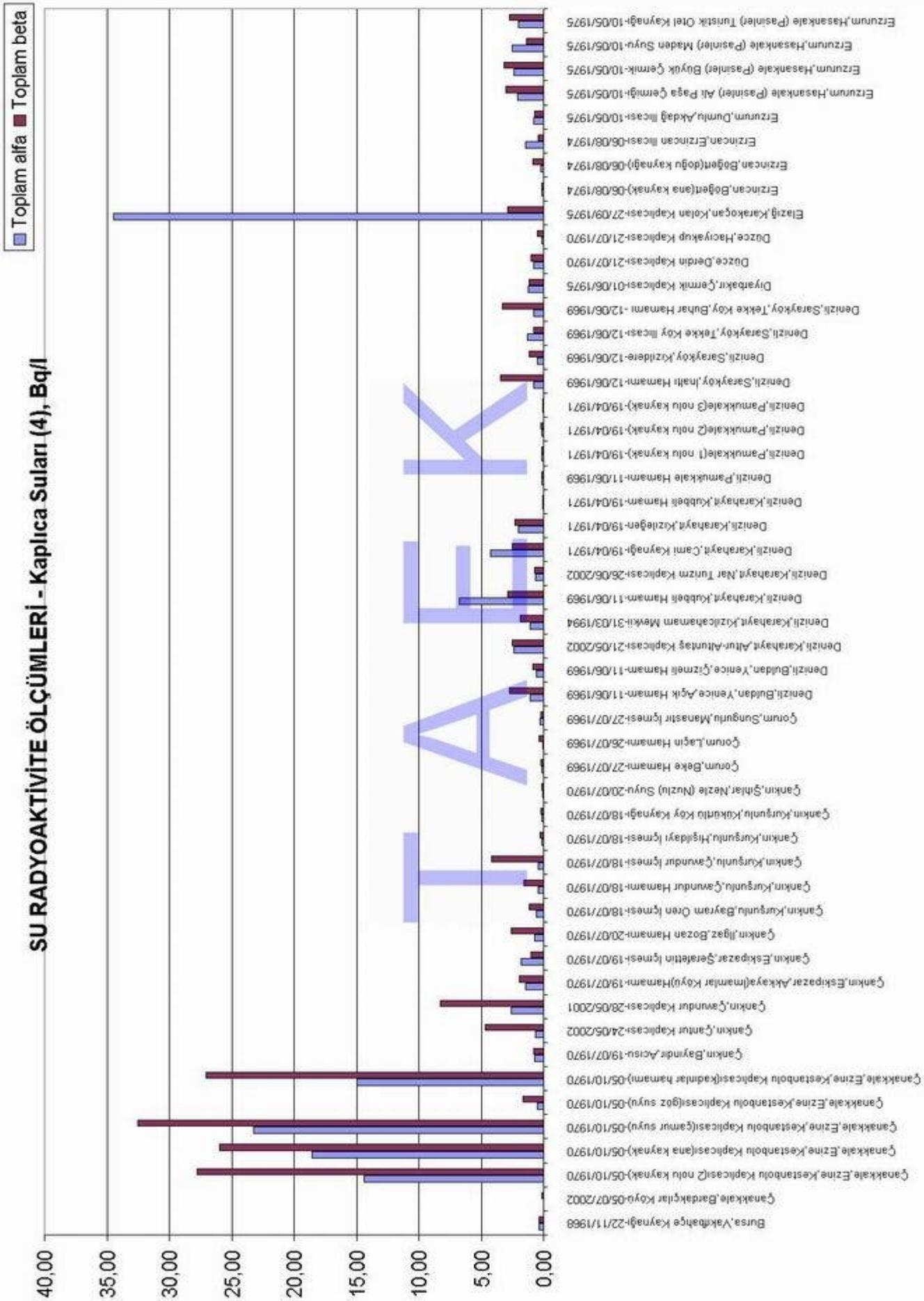
SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ, Toplam Alfa
(ölçüm aralığındaki numune sayısı)

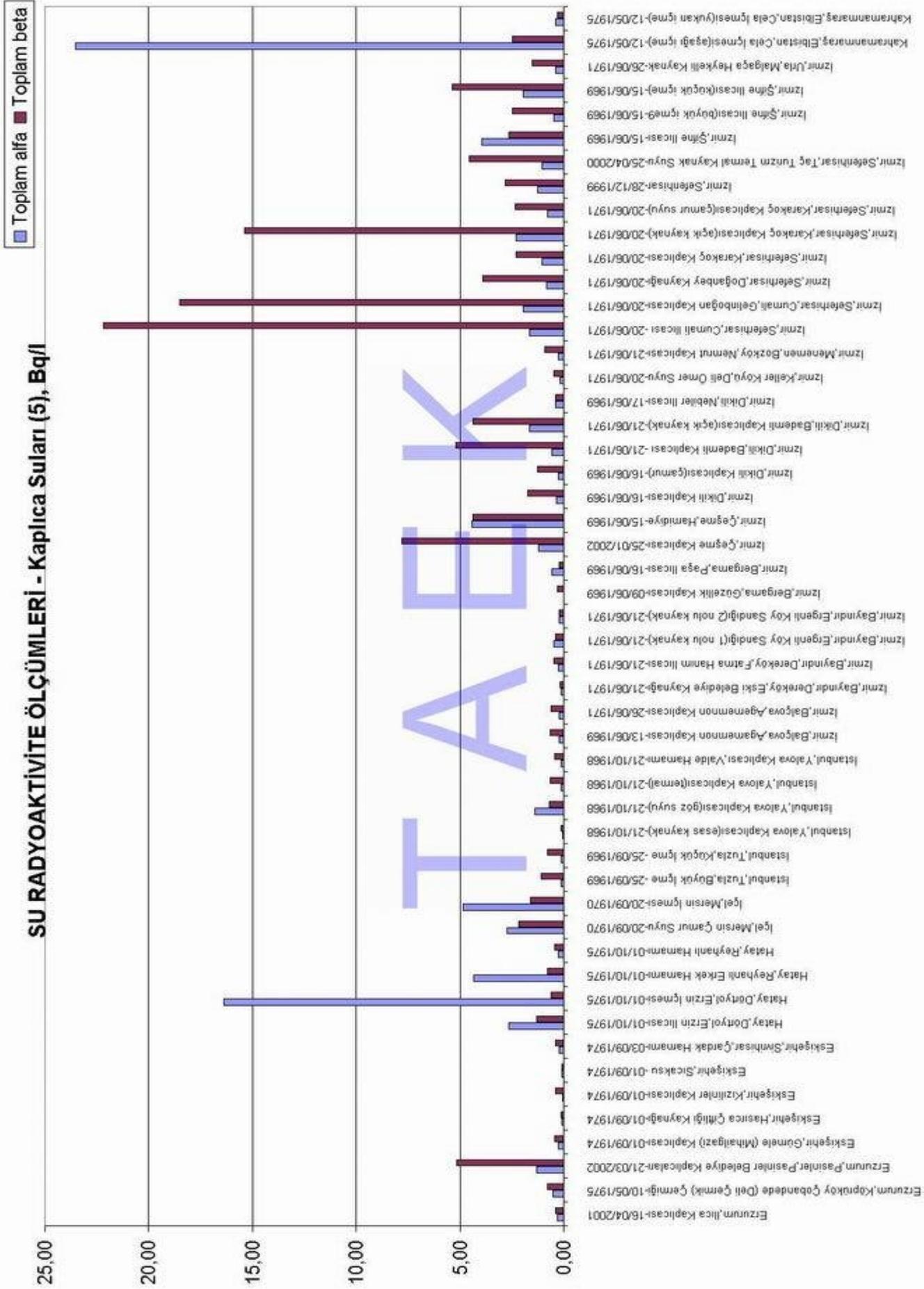


■ Toplam alfa ■ Toplam beta

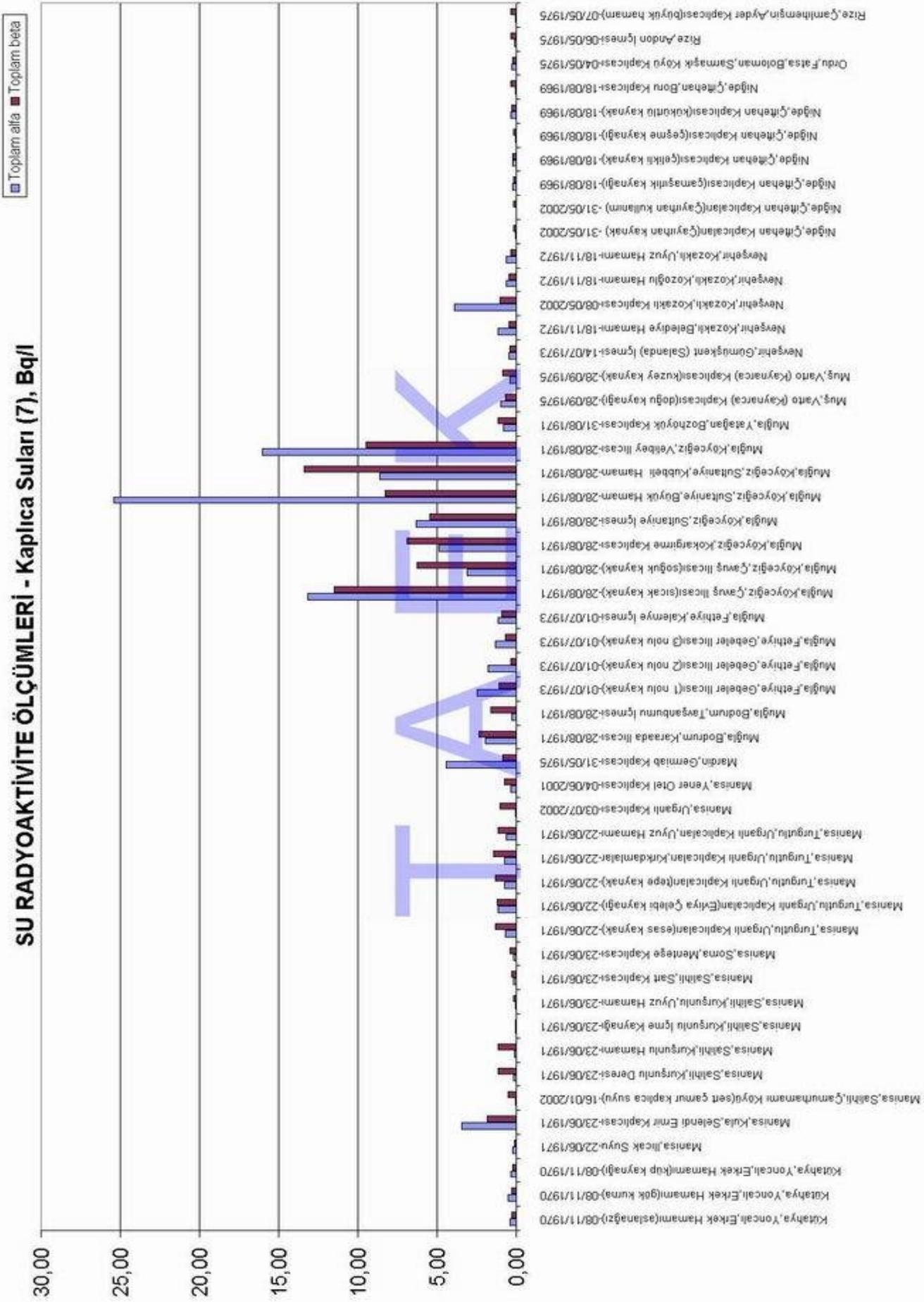
SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - Kaplıca Suları (3), Bq/l



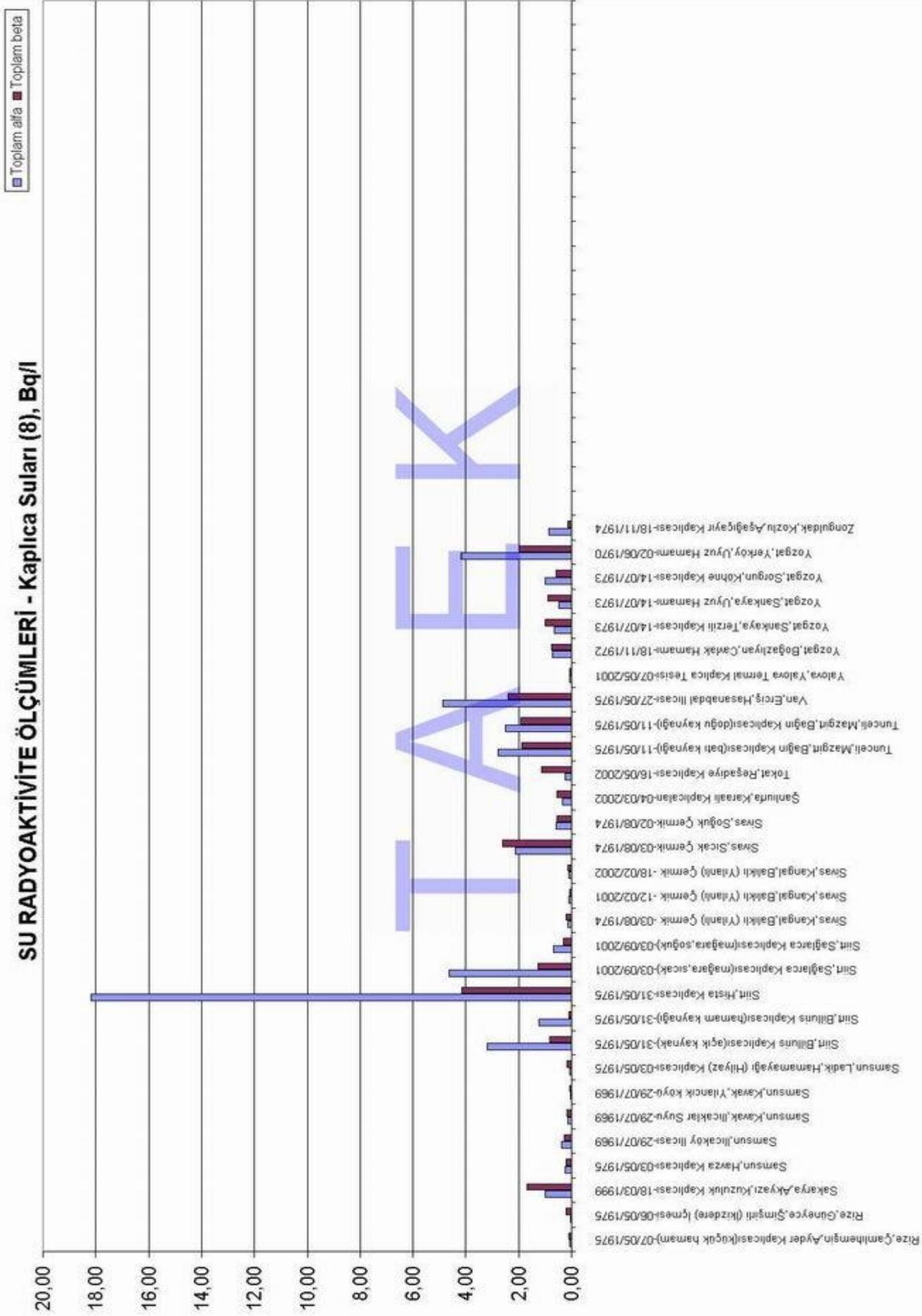




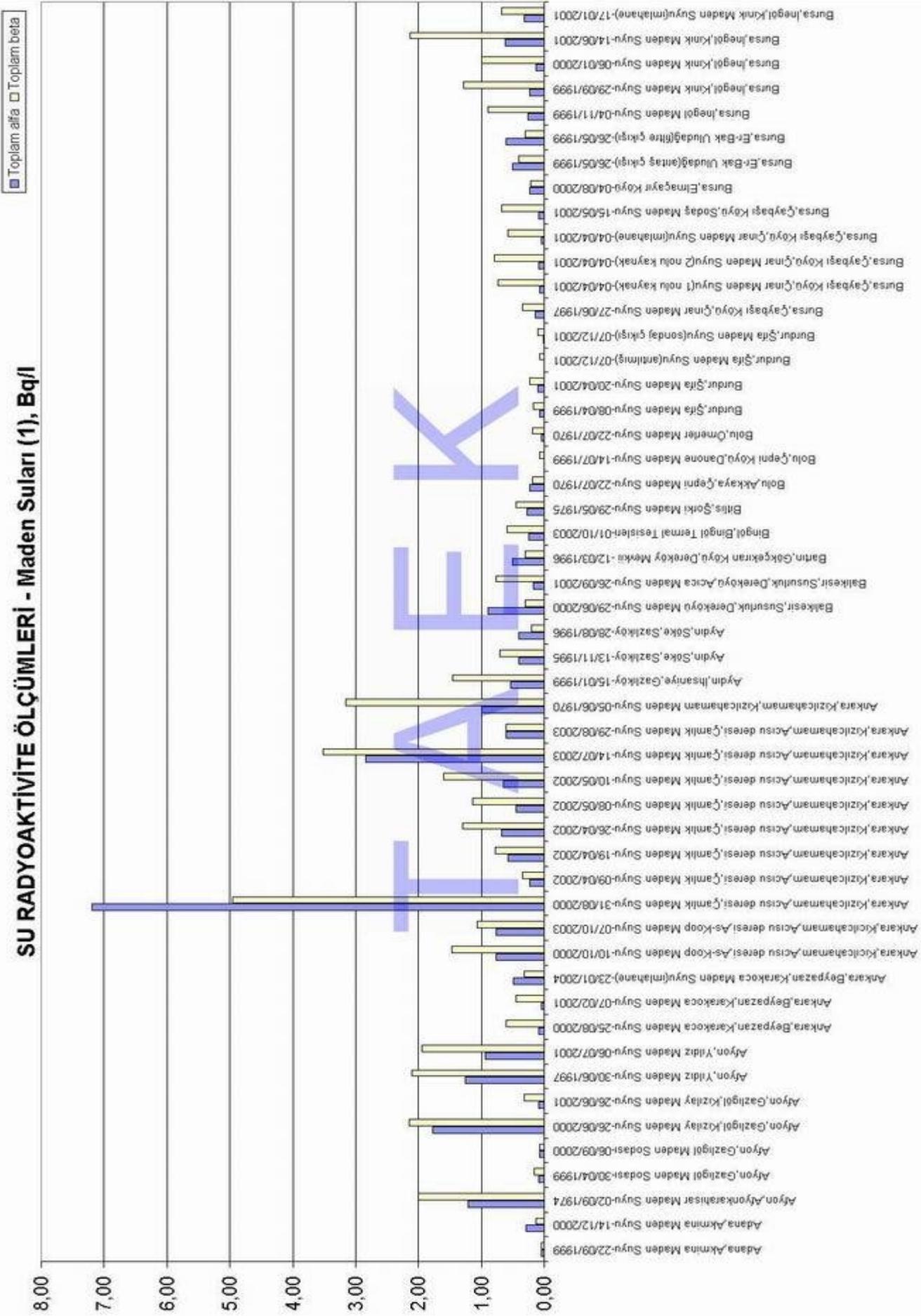
SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - Kaplıca Suları (7), Bq/l



SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - Kaplıca Suları (8), Bq/l



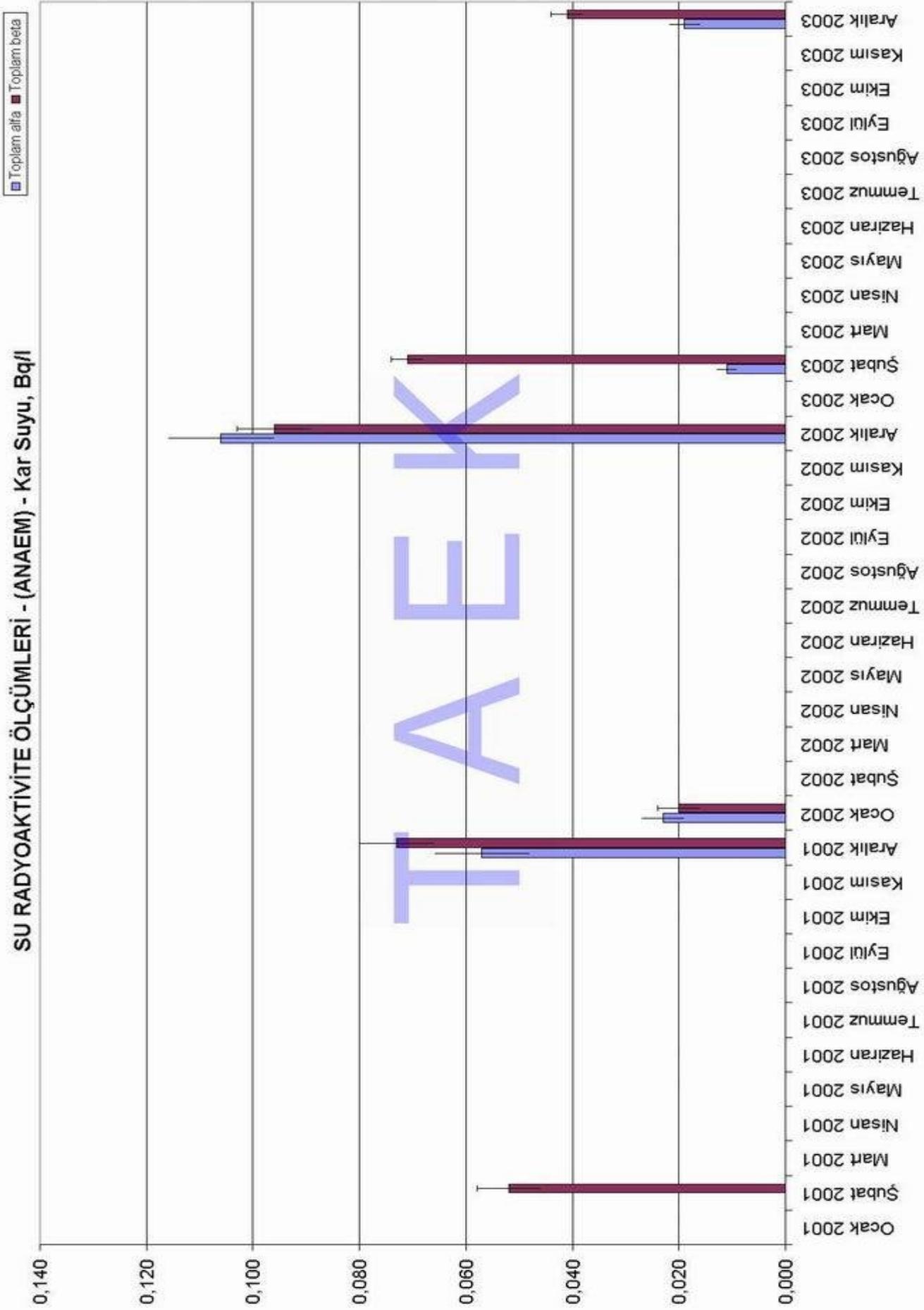
SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - Maden Suları (1), Bq/l



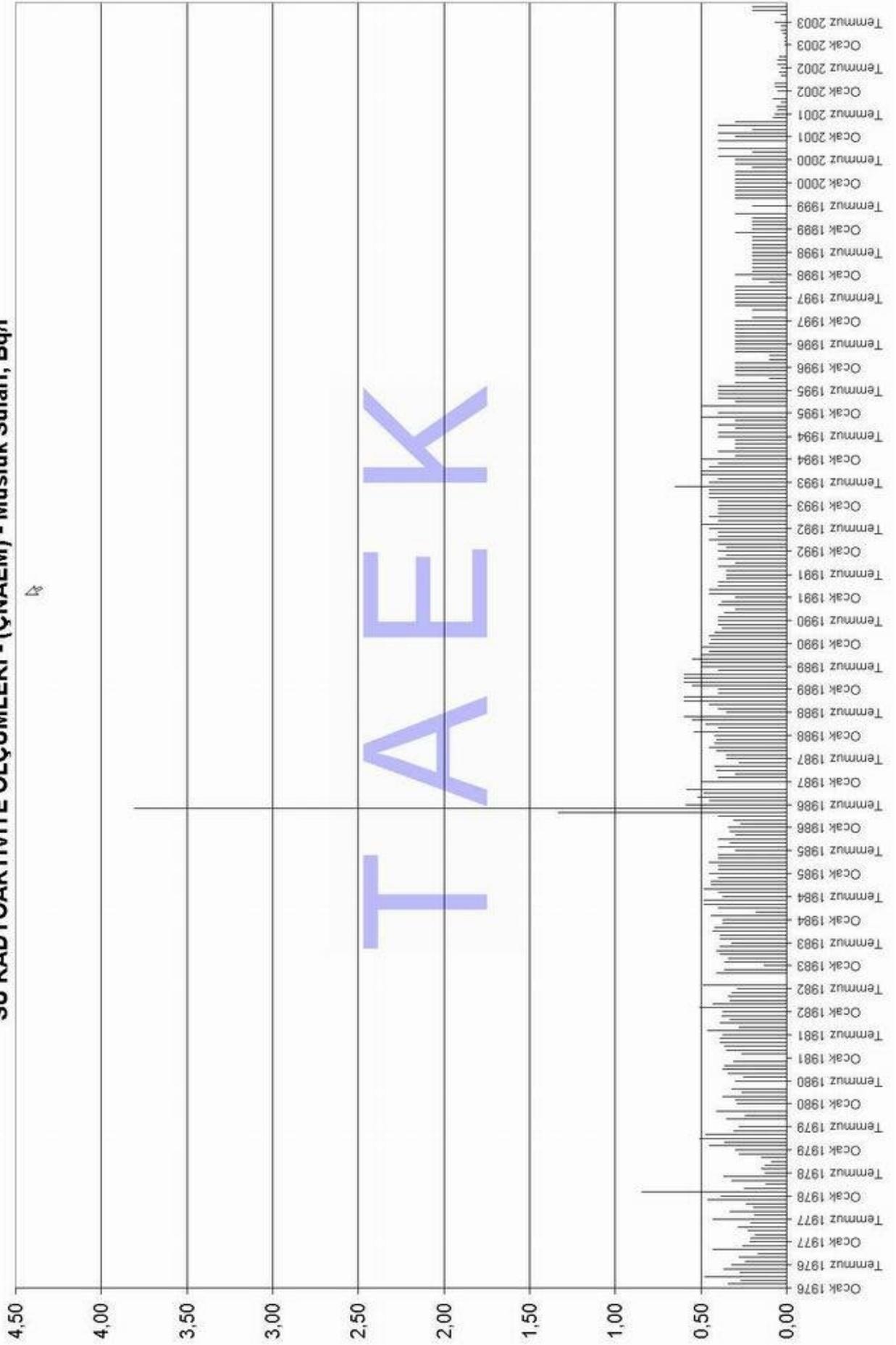
SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - Maden Suları (2), Bq/l



SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - (ANAEM) - Kar Suyu, Bq/l



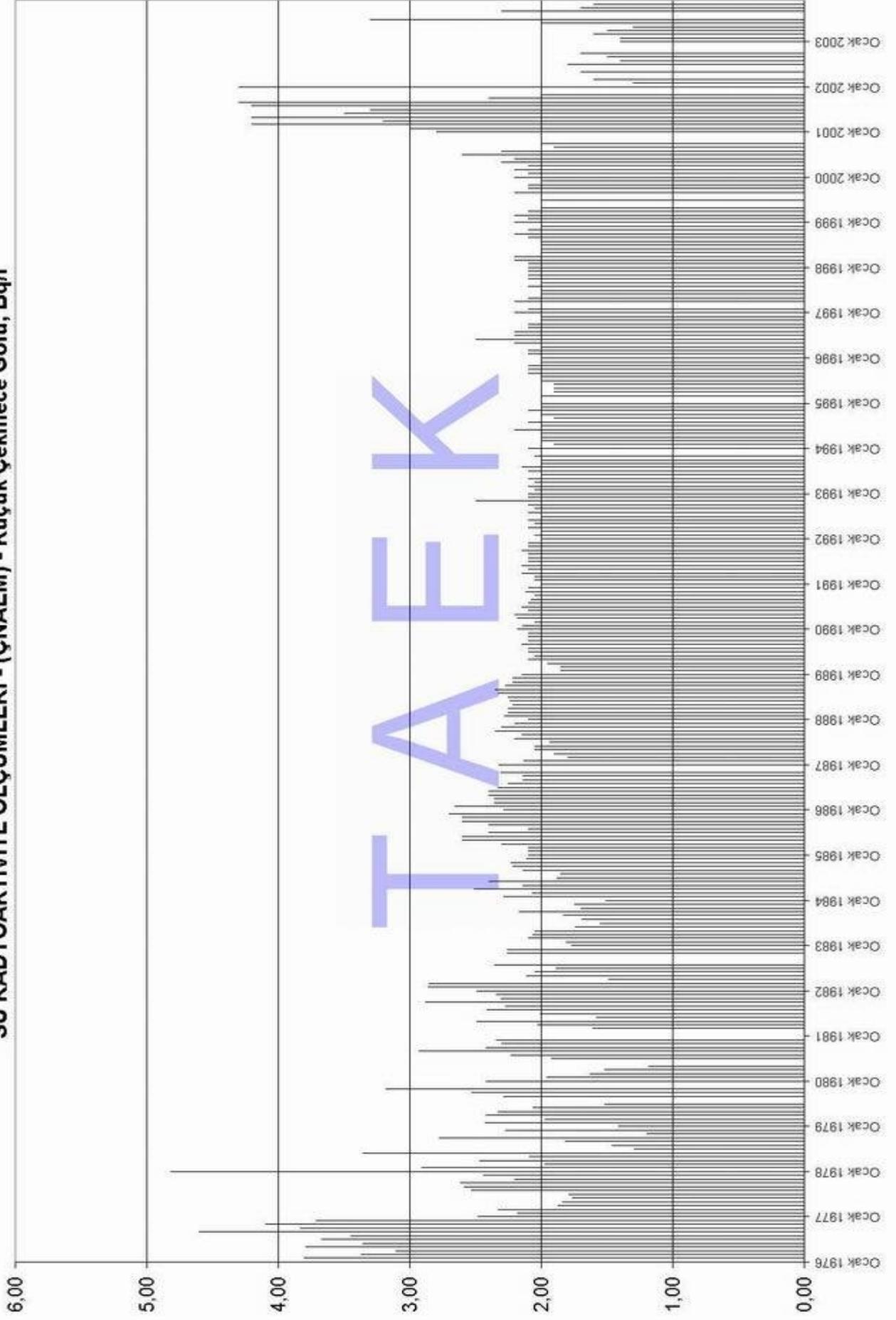
SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - (ÇNAEM) - Musluk Suları, Bq/l



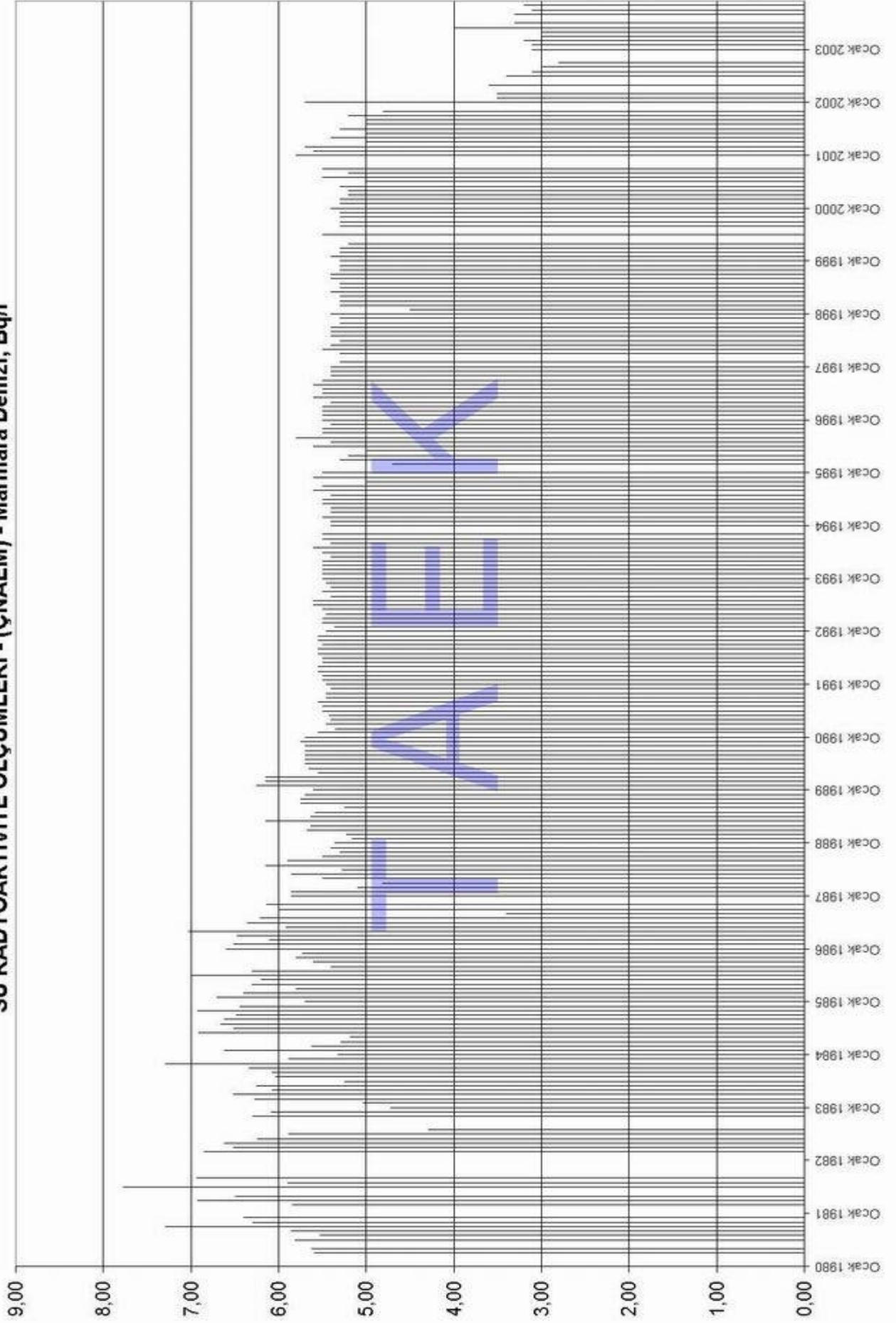
SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - (ÇNAEM) - Yağmur Suları, Bq/l



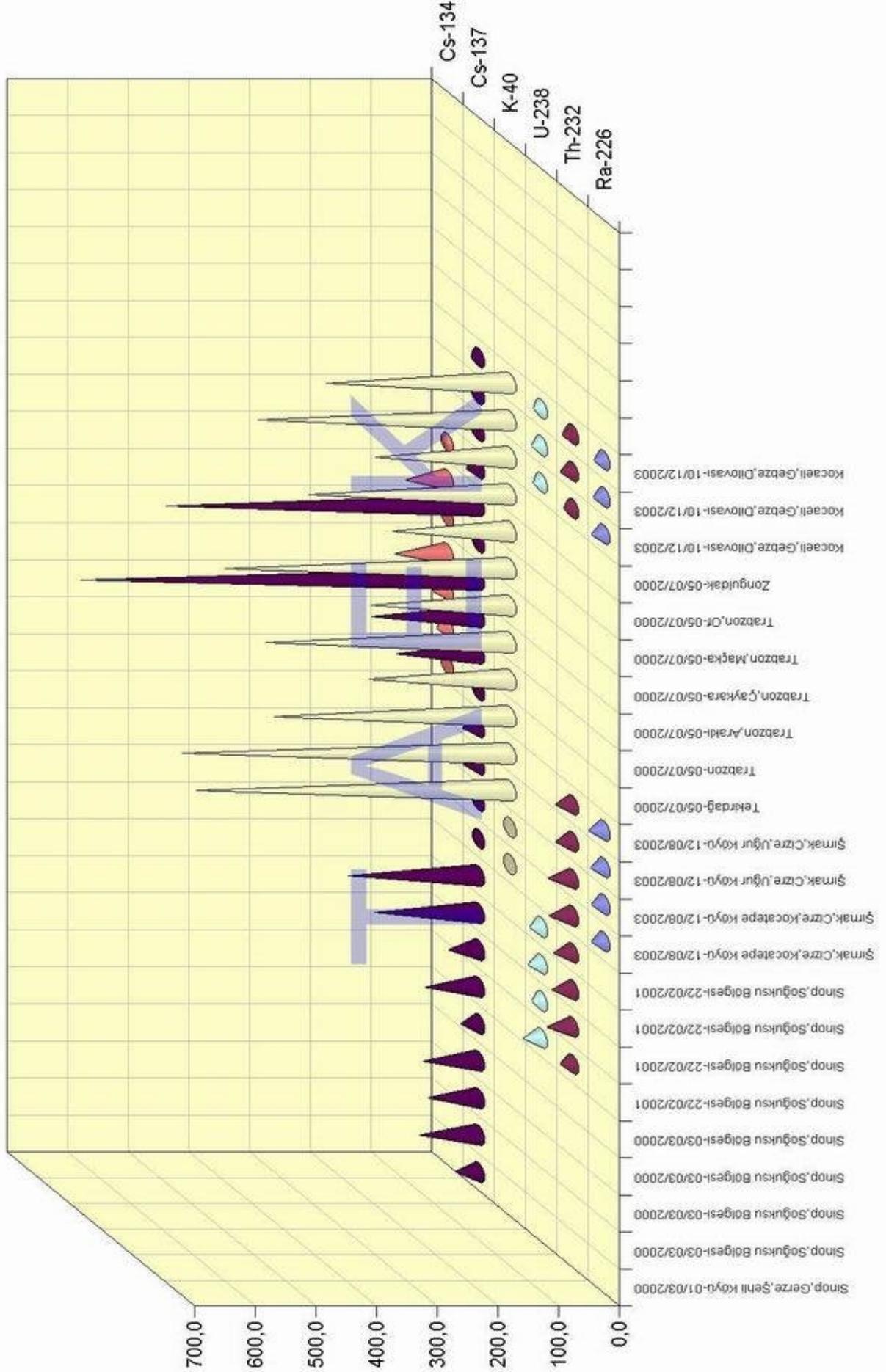
SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - (ÇNAEM) - Küçük Çekmece Gölü, Bq/l



SU RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - (ÇNAEM) - Marmara Denizi, Bq/l



TOPRAK RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ - (3), Bq/kg



KAYNAKLAR

- A. Karabulut, G. Budak ve M. Ertuğrul, 1999, 'Fast Measurement of Total Atomic Attenuation, Total Atomic Photoelectric and Total Atomic Scattering Cross Section in the Range $58 \leq Z \leq 68$ Using Radioisotope X-Ray Fluorescence', Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 152, Issues 2-3 Pages 202-206
- B.A Al-Bataina, A. M. İsmail, M. K. Kullab, K. M. Abumurad ve H. Mustafa, 1997, 'Radon Measurements in Different Types of Natural Waters in Jordan', Radiation Measurements. Vol. 28, No. 1-6, pp. 591-594
- Beata Kozłowska, Agnieszka Hetman, Wictor Zipper, 1999, 'Determination of ^{222}Rn in Naturel Water Samples from Health Resorts in the Sudety Mountains by the Liquid Scintillation Technique', App. Radiation and Isotopes 51 p. 475-480
- B. Belin, T. Yalçın, F. Suner, E. Bozkurtoğlu, A. Gelir, H. Güven, 2002, 'Earthquake-Related Chemical and Radioactivity Changes of Thermal Water in Kuzuluk-Adapazarı, Turkey', Journal of Environmental Radioactivity 63 p. 239-249
- C. E. J de Ronde, P. Stoffers, D. Garbe-Schönberg, B. W. Christenson, R. Botz, B. W. Davy, M. Schmitt, C. N. Battershill, 2002, 'Discovery of Active Hydrothermal Venting in Lake Taupo, New Zeland', Journal of Volcanology and Geothermal Research 115 p. 257-275
- C. G. Clayton, 1989, 'Some Comments on the Development of Radiation and Radioisotope Measurement Application in Industry', App. Radiat. Isot. Vol. 41, No. 10/11, pp. 917-934,

- C. Panichi, G. La Rufa, 2001, 'Stable Isotope Geochemistry of Fumaroles: An Insight into Volcanic Surveillance', *Journal of Geodynamics* 32 p. 519-542
- D. A. Jayakumar, S. W. A. Naqvi, P. V. Narvekar, M. D. George, 2001, 'Methane in Coastal and Offshore waters of the Arabian Sea', *Marine Chemistry* 74 p. 1-13
- Dinesh Bohra, Arvind Parihan ve M. A. Padmanabha Rao, 1992, 'The Photomultiplier as a Beta Detector', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A320* p. 393-395,
- E. Baradács, I. Hunyadi, Z. Dezső, I. Csige, P. Szerbin, 2001, '²²⁶Ra in Geothermal and Bottled Mineral Waters of Hungary', *Radiation Measurements* 34 p. 385-390
- E. Choi, M. Komori, K. Takahisa, N. Kudomi, K. Kume, K. Hayaski, S. Yoshida, H. Ohsimu, H. Ejiri, T. Kishimoto, K. Matsuoka, S. Tasaka, 2000, 'Highly Sensitive Radon Monitor and Radon Emanation Rates for Detector Components', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 459 p. 177-181
- F. M. Nortier, N. R. Stevenson, W. Z. Gelbart, 1994, 'Investigation of the Thermal Performance of Solid Targets for Radioisotope Production', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 355 p. 236-241
- François-D. Vuataz, Harald L. Gorhan, Markus Geissmann, 2003, 'Promotion of Geothermal Energy in Switzerland: A Recent Programme of a Long-Term Task', *Geothermics* 32 p. 789-797
- G. M. Valentino, D. Stanzione, 2004, 'Geochemical Monitoring of the Thermal Waters of the Phlegraean Fields', *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 133 p. 261-289
- G. Heusser, 1993-1994 'Cosmic Ray Interaction Study with Low-Level Ge-Spectrometry', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 369 p. 539-543

- H. E. Gove, D. Elmore, R. Ferraro, R. P. Beukens, K. H. Chang, R. L. Kilus, H. W. Lee, A. E. Litherland, K. H. Purser, 'Radioisotope Detection with Tandem Electrostatic Accelerators', Nuclear Instruments and Methods 168 (1980), Pages 425-433
- Helvacı, 1984, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü ve Türkiye Jeotermal Derneği
- Halim Mutlu, 1997, 'Chemical geothermometry and Fluid-Mineral Equilibria for the Ömer-Gecek Thermal Waters, Afyon Area, Turkey', Journal of Volcanology and Geothermal Research 80 p. 303-321
- Halim Mutlu, Nilgün Güleç, Hydrogeochemical Outline of Thermal Waters and Geothermometry Application in Anatolia (Turkey)', Journal of Volcanology and Geothermal Research 85 (1998) p. 495-515, General Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey (MTA), 06520 Ankara, Turkey
- J. J. Čomor, Ž. Stevanovič, M. Rajčević, D. Košutič, 2004, 'Modeling of Thermal Properties of a TeO₂ Target for Radioiodine Production', Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 521 p. 161-170
- K. R. S. Devan, D. P. Winkoun ve V. R. K. Murty, 1997, 'Elemental Analysis using Radioisotope Excited X-Ray Fluorescence', App. Radiat. Isot. Vol. 48, No. 10-12, pp. 1397-1401,
- Kinson S. Leonard, David McCubbin, Paul McDonald, Matthew Service, Rachel Bonfield, Stuart Conney, 2004, 'Accumulation of Technetium-99 in the Irish Sea', Science of the Total Environment 322 p. 255-270
- Katsuro Anazawa, Hiroo Ohmori, 2001, 'Chemistry of Surface Water at a Volcanic Summit Area, Norikura, Central Japan: Multivariate Statistical Approach', Chemosphere 45 p. 807-816

- L. Bolognesi, 1999, 'Earthquake-Induced Variations in the Composition of the Water in the Geothermal Reservoir at Vulcano Island, Italy', *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 99 p. 139-150
- Liljana Mljač, Milko Križman 1995-1996, 'Radioactive Contamination of Surface Waters from a Fly-Ash Depository at Velenje (Slovenia)', *Environment International*. Vol. 22, Suppl. 1, pp. S339-S345
- M. Agarende, S. Benzoubir, A. M. Neiva-Marques, P. Bouisset, 2003, 'Sector Field Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, Another Tool for Plutonium Isotope Ratios Determination in Environmental Matrices', *Journal of Environmental Radioactivity* 72 p. 169-176
- Marsha I. Sheppard, J. W. Barnard ve D. H. Thibault, 1986, 'Measurement of Uranium Concentrations in Situ by Gamma-Ray Spectrometry', *App. Radiat. Isot* Vol. 37 No. 10, pp. 1019-1023
- N. Güleç, D. R. Hilton, H. Mutlu, 2002, 'Helium Isotope Variations in Turkey: Relationship to Tectonics, Volcanism and Recent Seismic Activities', *Chemical Geology* 187 p. 129-142
- P. Hayumbu, N. Haselberger, A. Markowicz, V. Valkovic, 1995, 'Analysis of Rock Phosphates by X-Ray Fluorescence Spectrometry', *App. Radiat. Isot* Vol. 46, No. 10, pp. 1003-1005
- P. Bouisset, O. Lefèvre, X. Cagnat, G. Kerlao, A. Ugron D. Calmet, 1999, 'Direct Gamma-X Spectrometry Measurement of ^{129}I in Environmental Samples Using Experimental Self-Absorption Correction', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A437 p. 114-127
- Prof. Dr. Bahriye Yaramış, *Nükleer Fizik (Cilt 1)*, 1984

- R. Grismore, R. A. Llewellyn, J. W. Hilsinger, A. S. Ginn, L. G. James, M. D. Brown, 1997, 'A Very-Low-Level Gamma-Ray Analysis System for Modest Laboratories', Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 402 p. 164-170
- R. S. Bender, I. R. Williams ve K.S. Toth, 1965, 'Apparatus for Measuring Spectra of Radioisotopes with Half-Lives from One Second Down to a Millisecond', Nuclear Instruments and Methods 40 p 241-244
- Shunichi Hamanaka, Kiyoshi Shizuma, Xiao-giong Wen, Kazuo Iwatani, Hiromi Hasai, 1997, 'Radon Concentration Measurement in Water by Means of α Liquid-Scintillation Spectrometry with a PERALS Spectrometer', Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 410 p. 314-318
- S. Shimizu, H. Ishibashi, A. Ejiri, S. Kubota, 2002, 'Luminescence Decay of Ce-Doped GSO Under Excitation of VUV Photons with Energy Less Than 30 eV at Room Temperature', Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 486 490-495
- S. Şimşek, G. Günay, H. Elhatip, M. Ekmekçi, 2000, 'Environmental Protection of Geothermal Waters and Travertines at Pamukkale, Turkey', Geothermics 29 p. 557-572
- Sağlam, Vedat; Şifalı Bitkiler ve Reçeteleri, Şifalı sular ve Kaplıcalar, Kahraman Yayınları, İstanbul 1996, syf 425-461
- S. Labidi, M. Dachraoui, H. Mahjoubi, N. Lemaitre, R. Ben Salah, S. Mtimet, 2002, 'Natural Radioactive Nuclides in some Tunisian Thermo-Mineral Springs', Journal of Environmental Radioactivity 62 p. 87-96
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
'Radyasyon ve Radyasyondan Korunmak'
Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
İSTANBUL, 1999

Tuncay Ercan, Tatsuya Fujitani, Jun-Ichi Matsuda, Kenji Notsu, Selçuk Tokel ve Tadahideui, MTA Dergisi 110, 143-164, 1990

Tereza Higashi Yamabe, Valiya M. Hazma, 1996, 'Geothermal Investigations in an Area of Induced Seismic Activity, Northern São Paulo State, Brazil', Tectonophysics 253 p. 209-225

Uluslar arası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) Radioactive Wastes, Second Edition, 1983

Ünsal Gemici, Gültekin Tercan, Mümtaz Çolak, Cahit Helvacı, 2004, 'Hydrogeochemical and Hydrogeological Investigations of Thermal Waters in the Emet Area (Turkey)', App. Geochemistry 19 p. 105-117

Walter D'Alessandro, Fabio Vita 2003, 'Groundwater Radon Measurements in the Mt. Etna Area', Journal of Environmental Radioactivity 65 p. 187-201

Willard S. Moore, David J. DeMaster, Joseph M. Smoak, Brent A. Mckee ve Peter W. Swarzenski, 1995, 'Radionuclide Tracers of Sediment-Water Interactions on the Amazon Shelf', Continental Shelf Research, Vol. 16, No. 5/6, pp. 645-665

William K. Roberts, Urs O. Häfeli, 1999, 'Modeling Rhenium-186 and Rhenium-188 Distribution in a Neutron-Activated Rhenium Wire and Effect of the Distribution on beta dosimetry in a Water Phanton', App. Radiat. Isot. 51 p. 543-549

W. J. Lewis, W. S. Andrews, L. G. I. Bennett, P. A. Beeley, 1990, 'Measurements in Support of a Neutron Radiography Facility', Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 299 p. 430-433

www.omu.edu.tr/akad/fen/Fizikbl/nukleer_aras_lab.htm 14k

www.taek.gov.tr

Zeynel Demirel, Talat Yıldırım, Musa Burçak, 2004, 'Preliminary Study on the Occurrence of Geothermal Systems in the Tectonic Compressional Regions: An Example From the Derman Geothermal Field in the Biga Peninsula, Turkey', Journal of Asian Earth Sciences 22 p. 495-501

Z. Kattan, 1997, 'Environmental Isotope Study of the Major Karst Spring in Damascus Limestone Aquifer Systems: Case of the Figh and Barada Springs', Journal of Hydrology 193 p. 161-182