

**T.C.
RİZE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RİZE İLİ VE TRABZON İLİNİN BAZI İLÇELERİNDEN
ALINAN ÇEŞİTLİ SU ÖRNEKLERİNDE TRİTYUM,
OKSİJEN-18 VE DÖTERYUM SEVİYELERİNİN
BELİRLENMESİ**

Erdem GENÇ

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Filiz KORKMAZ GÖRÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE - 2011

T.C.
RİZE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE İLİ VE TRABZON İLİNİN BAZI İLÇELERİNDEN
ALINAN ÇEŞİTLİ SU ÖRNEKLERİNDE TRİTYUM,
OKSİJEN-18 VE DÖTERYUM SEVİYELERİNİN
BELİRLENMESİ

Erdem GENÇ
YÜKSEK LİSANS

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13/06/2011

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 07/07/2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Filiz KORKMAZ GÖRÜR

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Osman GÖRÜR

Enstitü Müdürü: Doç. Dr. Fatih YILMAZ



RİZE – 2011

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Rize Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda 'Yüksek Lisans Tezi' olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmada, Rize ili ve Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme, mineral ve termal sularında doğal izotoplar olan Döteryum ve Oksijen-18 değerleri ile radyoaktif izotop olan trityum'un seviyeleri belirlendi.

Trityum değerlerinin ölçümü Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) RAD Birimi ve DSİ TAKK İzotop Laboratuvarlarında Ultra Düşük-Seviyeli Sintilyasyon Sayacı (Perkin Elmer QUANTULUS 1220) ile Döteryum ve Oksijen-18 ölçümleri de DSİ TAKK İzotop Laboratuvarlarında İzotop Oranlayıcı Kütle Spektrometresi (IRMS Dual Inlet) ile yapılmıştır.

Başta, Yüksek Lisans öğrenciliğim boyunca tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Filiz KORKMAZ GÖRÜR' e ve bu çalışmanın yapılmasında büyük katkısı olan sayın rektörüm Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU' na en içten dileklerimle teşekkürlerimi iletirim. Yüksek Lisans Tez çalışmalarımın yapılmasına olanak sağlayan ÇNAEM Genel Müdür Yardımcısı Dr. Gürsel KARAHAN' a, bana teorik ve deneysel olarak yardımları olan; Dr. Ahmet VARİNLİOĞLU' na, Dr. Günay YÜCE' ye, Zeynep YÜKSEL' e, Funda BARLAS ŞİMŞEK' e ve tüm ÇNAEM çalışanlarına, DSİ TAKK İzotop Laboratuvarları Yüksek Fizik Mühendisi Sabahat Özcan EYÜPOĞLU' na ve İclal KASAP' a, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Prof. Dr. Serdar BAYARI ile Doç. Dr. N. Nur ÖZYURT' a ayrı ayrı teşekkürlerimi iletirim.

Numunelerin toplanma aşamasında bana yardımları olan enişteme de ayrıca teşekkür ederim. Bu zamanlara gelmemde büyük katkıları olan ve her türlü desteğini esirgemeyen anneme, babama, ablama ve enişteme de şükranlarımı sunarım.

Her şeyin ötesinde benim için iyi bir örnek olan, hayatımın her aşamasında, özellikle zora düştüğüm zamanlarda desteği ile beni yönlendiren, tecrübelerine danıştığım, beni cesaretlendirerek bu noktalara gelmemde büyük katkıları olan, ancak şu an yanımızda olmayan rahmetli abim Yüksek Makine Mühendisi Erdal Genç' e çok ama çok teşekkür eder ona selamımı iletip Allah' tan rahmet dilerim. Seni hiç unutmayacağım abicğim. Bu çalışmamı sana adıyorum.

Erdem GENÇ
RİZE – 2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Radyoaktivite Hakkında Genel Bilgiler.....	3
1.2.1. Radyoaktif Bozunma	4
1.2.2. Ardışık Bozunma.....	4
1.2.3. Radyoaktif Denge	5
1.2.3.1. Geçici Denge	5
1.2.3.2. Daimi Denge	5
1.3. Radyonüklidler	6
1.3.1. Yerkabuğunda Başlangıçta Var Olan Radyonüklidler	6
1.3.2. Kozmik Işınlara Etkileşimi Sonucu Oluşan Radyonüklidler	7
1.3.3. Yapay Radyonüklidler	7
1.4. Radyasyon Çeşitleri.....	7
1.4.1. İyonlaştırıcı Radyasyonlar	9
1.4.1.1. Alfa Parçacıkları.....	9
1.4.1.2. Beta Parçacıkları.....	9
1.4.1.3. Gama Işınları.....	10
1.4.1.4. X-Işınları	10
1.4.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar	11
1.5. Sularda Radyoaktivite.....	11
1.6. İzotop Hidrolojisi ve İzotoplar Arası İlişkiler	13
1.6.1. Trityum	14
1.6.2. Döteryum ve Oksijen-18 İlişkisi.....	21
1.6.3. Oksijen-18 ve Trityum İlişkisi.....	24

1.6.4.	Tritiyum ve Döteryum İlişkisi.....	24
1.6.5.	Döteryum ve Yükseklik İlişkisi.....	24
1.6.6.	Oksijen - 18 ve Yükseklik İlişkisi	24
1.7.	Sıvı Sintilasyon Sayacı (LSC).....	24
1.7.1.	Fotoçoğaltıcı Tüp (PMT)	25
1.7.2.	Sintilatörler.....	26
1.7.3.	Dedeksiyon Mekanizması	28
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	35
2.1.	Giriş	35
2.2.	Çalışma Bölgesi.....	35
2.3.	Örnekleme	36
2.4.	Metot.....	37
2.4.1.	Birinci Damıtma	37
2.4.2.	Elektroliz.....	39
2.4.3.	Nötralizasyon	44
2.4.4.	İkinci Damıtma.....	45
2.4.5.	Viallerin Sayıma Hazırlanması	45
2.4.6.	Numunelerin Sayılması.....	46
2.5.	Tritiyum Aktivitesi Hesabı.....	47
2.6.	Tritiyum Hata Hesabı.....	50
2.7.	İzotop Oranlayıcı Kütle Spektrometresiyle Ölçümlerin Alınması	52
3.	BULGULAR	56
3.1.	Rize İli İçme Sularında Belirlenen Tritiyum Seviyeleri	56
3.2.	Trabzon İlinin Bazı İlçelerindeki İçme Sularında Belirlenen Tritiyum Seviyeleri	57
3.3.	Mineral ve Termal Sularda Belirlenen Tritiyum Seviyeleri	57
3.4.	Rize İli İçme Sularında Belirlenen $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası Değerleri	58
3.5.	Trabzon İlinin Bazı İlçelerindeki İçme Sularında Belirlenen $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası Değerleri	59
3.6.	Mineral ve Termal Sularda Belirlenen $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası Değerleri.....	59
4.	TARTIŞMA	61
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	70
	KAYNAKLAR.....	71
	EKLER.....	76

ÖZGEÇMİŞ	79
----------------	----

ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı, Rize ilinde ve Trabzon ilinin bazı ilçelerinde kullanılan içme, termal ve mineral sularında trityum, δD ve $\delta^{18}O$ seviyelerini belirlemek, bu suların kaynağı, dolaşımı ve beslenmesi hakkında bilgi sahibi olmak ve bu çalışmayı literatür ve standart limit değerleriyle karşılaştırmaktır.

Rize ili ve ilçelerinden alınan 12 adet içme, 1 adet mineral ve 2 adet termal su örneklerinin trityum değerleri 0.45 TU ile 9.70 TU aralığında, $\delta^{18}O$ değerleri -14.09 ile -10.21 aralığında, δD değerleri -98.50 ile -62.66 aralığında ve d-fazlası değerleri de 0.46 ile 22.64 aralığında değişmektedir. Bu su örneklerinin ortalama trityum değeri 6.84, ortalama $\delta^{18}O$ değeri -11.42, ortalama δD değeri, -74.37 ve ortalama d-fazlası değeri 17.01'dir. Trabzon ilinin bazı ilçelerinden alınan 5 adet içme suyu örneğinin trityum değerleri 6.65 TU ile 8.05 TU aralığında, $\delta^{18}O$ değerleri -10.46 ile -9.74 aralığında, δD değerleri -65.32 ile -62.41 aralığında ve d-fazlası değerleri 18.20 ile 20.33 aralığında değişmektedir. Bu su örneklerinin ortalama trityum değeri 7.31, ortalama $\delta^{18}O$ değeri -10.18, ortalama δD değeri -63.89 ve ortalama d-fazlası değeri 18.25'tir.

Trityum değerlerine göre, Rize ili sularının Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki sulardan daha genç yaşta ve sık dolaşımli sular oldukları görülmektedir. Ayrıca bu değerler; Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2004), ABD Çevre Koruma Ajansı (US EPA, 2004), Türk Standartları Enstitüsü (TSE, 2005) ve T.C. Sağlık Bakanlığı (TCSB, 2005)' in kabul ettiği limit değerler içerisindedir ve içme suyu olarak kullanılmalarında bir sakınca yoktur. δD ve $\delta^{18}O$ değerleri incelendiğinde Rize ilinden ve Trabzon ilinin bazı ilçelerinden alınan içme, mineral ve termal su örneklerinin Akdeniz kaynaklı yağışlardan etkilendiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: $\delta^{18}O$, δD , trityum, Ultra düşük-seviyeli sintilasyon sayacı, İzotop oranlayıcı kütle spektrometresi, Su, Rize, Trabzon

SUMMARY

The Determination of Levels of Tritium, Oxygen-18 and Deuterium in Various Waters in Rize and Some Trabzon Districts

The main aim of this study is to determine the isotope levels as tritium, δD and $\delta^{18}O$ in tap, spring and mineral waters in Rize and some Trabzon districts, take the information about its origin, circulation and nutrition, also compare this study with literature and standard limit values.

The measurements of 12 tap, 1 mineral and 2 thermal waters are change between 0.45 TU and 9.70 TU for tritium, -14.09 and -10.21 for $\delta^{18}O$, -98.50 and - 62.66 for δD and 0.46 and 22.64 for d-excess in Rize. The average measurements of these waters are 6.84 for tritium, -11.42 for $\delta^{18}O$, -74.37 for δD and -17.01 for d-excess. The measurements of 5 tap waters are change between 6.65 TU and 8.05 TU for tritium, -10.46 and -9.74 for $\delta^{18}O$, -65.32 and - 62.41 for δD and 18.20 and 20.33 for d-excess in some Trabzon districts. The average measurements of these waters are 7.31 for tritium, -10.18 for $\delta^{18}O$, -63.89 for δD and -18.25 for d-excess.

According the measurement of tritium, Rize waters are younger than the some Trabzon districts' waters and have shallow circulations. The obtained results showed that the activity concentrations of tritium in tap water samples did not exceed World Health Organizations, United States Environmental Protection Agent, Turkish Standard Institutions and Turkish Republic Health Department recommendations, thus there is no hazard to use them as drinking water. When δD and $\delta^{18}O$ values are examined, it's observed that tap, mineral and spring waters of Rize and some Trabzon districts are affected by Mediterranean origin precipitations.

Key Words: $\delta^{18}O$, δD , tritium, Ultra low-level scintillation counter, Isotope ratio mass spectrometer, Water, Rize, Trabzon

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Elementlerin nükleon konfigürasyonu ve nükleer kararlılık4
Şekil 2.	Elektromanyetik spektrum8
Şekil 3.	Hidrojenin izotopları..... 14
Şekil 4.	Tritiyum'un radyoaktif bozunumu.....14
Şekil 5.	Tritiyum'un beta spektrumu15
Şekil 6.	Tritiyum'un oluşumu15
Şekil 7.	Tritiyum konsantrasyonunun yıllara göre değişimi17
Şekil 8.	Sıvı sintilasyon sayacı (LSC).....25
Şekil 9.	Fotoçoğaltıcı tüpün şematik gösterimi26
Şekil 10.	Sintilatörün ışık ve soğurma bandı.....26
Şekil 11.	Fotoelektrik ışık bandının sintilatörün ışık bandına eşitlenmesi27
Şekil 12.	Beta aktif maddenin sintilasyon mekanizması.....29
Şekil 13.	Beta aktif maddenin sintilasyon ve dedeksiyon mekanizması30
Şekil 14.	Çakışan puls dedeksiyonu30
Şekil 15.	Çakışma ve toplama devreleri şeması31
Şekil 16.	Sayım sistemi elektroniği ile oluşan pulsun gösterimi31
Şekil 17.	Kütle spektrometresinin çalışma prensibi32
Şekil 18.	Çalışma bölgesini gösteren harita.....36
Şekil 19.	0.05N KMnO ₄ çözeltisi38
Şekil 20.	6M NaOH çözeltisi38
Şekil 21.	Altı gözlü ısıtıcı ve balon jocularle bağlantıları38
Şekil 22.	Silikon gres yağı39
Şekil 23.	Elektroliz sistemi (Akım kaynağı, Elektroliz banyosu).....40
Şekil 24.	Cam hücre, Metal elektrot41
Şekil 25.	250 mL' lik balon jocular ve tartım aleti41
Şekil 26.	Elektroliz banyosu – karıştırıcı, Hücre bağlantıları, Atık gaz çıkışı bağlantıları42
Şekil 27.	Elektroliz hücrelerini yerleştirmek için kullanılan çanta44
Şekil 28.	Nötralizasyon ve çökeltme işlemi44
Şekil 29.	Sintilatör çözeltisi46

Şekil 30.	Viallerde gerçekleşen gaz-su dengeleme reaksiyonu.....	54
Şekil 31.	Gaz moleküllerinin kolektörde dağılımı.....	55
Şekil 32.	Rize ili içme, termal ve mineral su örneklerinin $\delta D - \delta^{18}O$ ilişkisi.....	61
Şekil 33.	Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme suyu örneklerinin $\delta D - \delta^{18}O$ ilişkisi.....	62
Şekil 34.	Rize ili içme, termal ve mineral su örneklerinin $\delta^{18}O - \text{Tritiyum}$ ilişkisi.....	63
Şekil 35.	Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme suyu örneklerinin $\delta^{18}O - \text{Tritiyum}$ ilişkisi.....	64
Şekil 36.	Rize ili içme, termal ve mineral su örneklerinin $\text{Tritiyum} - \delta D$ ilişkisi.....	65
Şekil 37.	Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme suyu örneklerinin $\text{Tritiyum} - \delta D$ ilişkisi.....	66

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Doğal radyoaktif seriler	7
Tablo 2. Radyasyon çeşitleri	8
Tablo 3. İçme suyunda uluslararası trityum sınır değerleri	20
Tablo 4. Laboratuvar standardı ve Spike' nin TU değerleri	37
Tablo 5. Kararlı izotop laboratuvarlarında kullanılan standartlar.....	53
Tablo 6. Rize ili içme sularında belirlenen trityum seviyeleri.....	56
Tablo 7. Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme sularında belirlenen trityum seviyeleri.....	57
Tablo 8. Mineral ve termal sularda belirlenen trityum seviyeleri.....	57
Tablo 9. Rize ili içme sularında belirlenen $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerleri.....	58
Tablo 10. Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme sularında belirlenen $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerleri.....	59
Tablo 11. Mineral ve termal sularda belirlenen $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerleri.....	59
Tablo 12. Değişik yerlerdeki çeşitli su örneklerinin ortalama trityum değerlerinin karşılaştırılması.....	67
Tablo 13. Değişik yerlerdeki çeşitli su örneklerinin ortalama $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerlerinin karşılaştırılması.....	68

SEMBOLLER DİZİNİ

A	Aktivite
α	Alfa
Ah	Ampersaat
akb	Atomik kütle birimi
β	Beta
Bq	Becquerel
Ci	Curie
γ	Gama
δ	Delta
D _f	Döteryum fazlası
E _{ff}	Verim
F _M	Değer katsayısı
Z	Atom numarası
n	Nötron
p	Proton
σ	Sigma
TU	Tritiyum birimi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Su yaşamamız için vazgeçilmez öneme sahiptir. Susuz yaşam mümkün değildir. Yerküre üzerinde yaşam suya dayanır. Su diğer canlılar gibi insanın yaşaması için havadan sonra gerekli en temel ihtiyaç maddesidir. Hücrelerin %70-95'i, insan vücudunun %60-65'i, kanın %80'i, bazı deniz canlılarının %90'dan fazlası ve dünyanın %75'i sudur.

1997'de Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve UNESCO'nun yerkürenin su kaynaklarını değerlendiren etkinlik raporunda, tatlı su kaynaklarının sadece dünya su varlığının %2.5' unu oluşturduğu belirtilmektedir. Bu kaynağın %70'i ise kutuplarda buz kitlesi olarak bulunmaktadır. Raporda, tatlı su kaynaklarının ancak %1'inin doğrudan insanlar tarafından kullanılabilir durumda olduğu gösterilerek, su kaynakları için olası bir krizin varlığına dikkat çekilmiştir.

1998'de UNICEF ve UNDESA' nın yaptığı etkinlik kapsamında üzerinde durulan konu, dünya nüfusunun büyük bir kısmının içme suyu kaynağı olarak yeraltı sularına bağımlı olduğudur.

Ülkemizdeki tatlı suyun büyük bölümünün kaynağını yağışlar oluşturmaktadır. Ülkemize bir yılda düşen ortalama yağış 501 km^3 'tür. Bunun yanında, komşu ülkelerden ırmaklarla gelen su miktarı yaklaşık 7 km^3 'tür. Ülkemizdeki tüketilebilir su kaynaklarına bakacak olursak: 193 km^3 'lük toplam yüzey akışının 98 km^3 'ü (%49), 69 km^3 'lük yeraltı suyunun da 12 km^3 'ü (%17) tüketilebilir durumda bulunmaktadır.

Türkiye'nin su zengini bölgesi Doğu Anadolu Bölgesi'dir. Atmosferdeki CO_2 birikimini azaltmak için hiçbir önlem alınmadığında 2080'lere kadar Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklıklarda $3-4^\circ\text{C}$ artış (1961-1990 verileri temel alınmıştır), yağışlarda $0-1 \text{ mm/gün}$ azalış, akarsuların yıllık akımlarında %20-50 azalış, tarımsal üretimde %0- 2.5 lik azalış beklenmektedir. 2000 yılı verilerine göre kişi başına düşen yıllık su miktarı 2615 m^3 , kullanılabilir miktarsa yaklaşık 1700 m^3 'tür. Kişi başına düşen yıllık ortalama su miktarı 10000 m^3 'ün üzerinde olan ülkelerin su zengini olarak kabul edildiği düşünülürse, Türkiye su bakımından pek zengin bir ülke sayılmaz.

Tüm bu veriler gösteriyor ki suyun önemi her geçen yıl daha da artmaktadır. Dolayısıyla artan nüfusun su ihtiyacını karşılamak amacıyla değişik suyolları

araştırılmakta, suyun kalitesine ve içindeki radyoaktivite miktarına bakılmakta, su içerisindeki izotopik değerler araştırılıp su hakkında gerekli bilgilere ulaşılmaktadır.

Ülkemizin ve dünyanın değişik bölgelerinde sularda trityum ve kararlı izotop belirlenmesine yönelik olarak yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur.

Kayseri ilinde yer alan Bayramhacı sıcak ve mineralli, Tekgöz sıcak ve Yeşilhisar mineralli kaynaklarında yapılan çalışmalarda, $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin -12.32 ile -10.86 arasında, δD değerlerinin -90.69 ile -70.56 arasında ve trityum değerlerinin de -0.15 ile 7.15 arasında olduğu görülmüştür. Bu değerlere göre suların meteorik kökenli oldukları, Dokuzpınar soğuk su kaynaklarının hızlı ve sık dolaşımli en genç, Bayramhacı sıcak ve mineralli su kaynaklarının ise yavaş ve derin dolaşımli en yaşlı sular olduğu belirtilmiştir (Özel, 2007).

Külcüler jeotermal alanında yapılan çalışmalarda, $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin -8.57 ile -8.50 arasında, δD değerlerinin -55.60 ile -46.48 arasında ve trityum değerlerinin de -0.38 ile 0.00 arasında olduğu görülmüştür. Sıcak suların, $\delta^{18}\text{O}$ ve δD içeriklerine göre beslenme alanlarının aynı, sık dolaşımli, meteorik su bileşiminde olduğu ve trityum izotopu analiz sonuçlarına göre ise sıcak suların 50 yıldan daha yaşlı olduğu belirtilmiştir (Şimşek, 2007).

Kozaklı (Nevşehir) ve Terme (Kırşehir) sıcak ve mineralli sularında yapılan araştırmalarda, $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin -11.54 ile -9.42 arasında, δD değerlerinin -85.30 ile -67.95 arasında, trityum değerlerinin de -0.38 ile 8.63 arasında olduğu görülmüştür. Kozaklı ve Terme sıcak ve mineralli sularının $\delta^{18}\text{O}$, δD ve trityum değerlerine göre bunların meteorik kökenli yağışlardan beslendiğini, Kozaklı sıcak ve mineralli su kaynağının Terme sıcak ve mineralli su kaynağına göre beslenme alanı yükseltisinin daha az, su kayaç etkileşiminin daha fazla ve daha derin dolaşımli olduğu belirtilmiştir (Ok, 2007).

Yeni Zelanda sularında yapılan araştırmalarda, $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin $(1.90-2.02)\times 10^{-3}$ arasında, δD değerlerinin $(0.8-1.6)\times 10^{-4}$ arasında ve trityum değerlerinin de $0-10^{-14}$ arasında olduğu görülmüştür. Buharlaşıma, yoğunlaşma ve kimyasal dönüşüm süreçleri boyunca H_2^{18}O , HDO ve H_2O moleküllerinin sıcaklığa bağlı ayrışımı nedeniyle $\delta^{18}\text{O}$ ve δD ' un okyanus olmayan sularda konsantrasyonunun değiştiği ifade edilmiştir (Steward and Taylor, 1981).

Batı Suriye'de yer alan Figeş ve Al-sin bölgelerindeki karst kaynakları üzerine yapılan çalışmalarda, $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin -8.91 ile -6.49 arasında, δD değerlerini -50.49 ile -31.8 arasında ve trityum değerlerini de 2.98 ile 4.26 arasında olduğu görülmüştür. Yağışlar için ve yeraltı suları için belirlenen regresyon denkleminde göre, yağışlar süresince

buharlaşmanın olmadığı ve yeraltı sularının da çoğunlukla yağışlardan süzülen sulardan meydana geldiği belirtilmiştir. Yeraltı sularının trityum konsantrasyonlarının oldukça düşük olduğu ve Bloudan ve Kadmous meteorik istasyonlarının yağış değerlerine oldukça yakın olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca Figeş ve Al-sin yeraltı sularının 50–60 yıllık sular olabileceği belirtilmiştir (Al-Charideh, 2010).

Suriye’de bulunan Damascus Ghatta havzasında yapılan çalışmada, $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin -8.75 ile -5.84 arasında, δD değerlerinin -52.4 ile -35.9 arasında, trityum değerlerinin de <1 ile 7.9 arasında olduğu görülmüştür. Bu havzadaki yeraltı sularının tuzluluk miktarının, batıdan kuzeydoğuya ve güneydoğuya gidildikçe artmakta olduğu belirtilmiştir. Havzadaki yeraltı suyu düzeyinin azalmasının içme suyu kaynağı olan Cenomanian – Turonian akiferine az miktarda yansıdığı belirtilmiştir (Kattan, 2006).

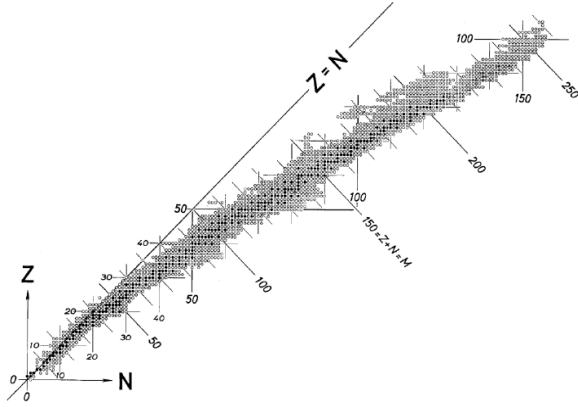
Bu çalışmanın temel amacı, Rize ilinde ve Trabzon ilinin bazı ilçelerinde kullanılan içme, termal ve mineral sularında trityum, δD ve $\delta^{18}\text{O}$ seviyelerini belirlemek ve bu suların kaynakları, dolaşimleri, yaşları ve beslenmeleri hakkında bilgi sahibi olmaktır. Ayrıca bu bölgede yaşayan insanların radyolojik tehlikelerinin değerlendirilmesi yapılarak; WHO, USEPA, TCSB ve TSE gibi ulusal ve uluslararası kuruluşların tavsiye ettiği üst değerlerle kıyaslanması sağlanacaktır.

1.2. Radyoaktivite Hakkında Genel Bilgiler

Radyoaktivite, 1895 yılında Wilhelm Röntgen’ in X-ışınlarını bulmasından sonra, 1896 yılında Henry Becquerel’ in uranyumun gözle görülmeyen ışınlar yaydığını belirlemesiyle keşfedilmiştir. Bu buluşların ardından Marie ve Pierre Curie tarafından başka radyoaktif elementler bulunarak izole edilmiştir. Radyoaktif maddeler tarafından yayılan ışınların özellikleri ise, Ernest Rutherford tarafından aydınlatılmıştır.

Atom çekirdeklerinin, parçalanmaya ve nükleer bozunmaya karşı dayanıklılığı çekirdek kararlılığı, dayanıksızlığı ise çekirdek kararsızlığı yani radyoaktivite olarak tanımlanır. Çekirdek kararlılığında en büyük etken, atom çekirdeklerinin bünyesinde yer alan nötron ve protonların birbirlerine oranıdır ve kararlı çekirdekler kararlı çekirdek bandında bulunur (Şekil 1). $Z < 20$ bölgesinde $Z=N$, $Z > 20$ bölgesinde ise $N/Z > 1$ olur ve giderek 1’den uzaklaşır.

Kararlı çekirdekler bulutu dışına çıkıldığı zaman, çekirdekler kararsız bir yapı kazanırlar. Kararlı hale gelebilmek için radyoaktif ışınlar yapan bu tür çekirdekler, radyoaktif çekirdekler olarak bilinirler.



Şekil 1. Elementlerin nükleon konfigürasyonu ve nükleer kararlılık

1.2.1. Radyoaktif Bozunma

Radyoaktif bir çekirdekte birim zaman aralığında meydana gelen bozunma sayısına aktivite denir. Kararlı bir çekirdeğe bozunan bir çekirdekte, herhangi bir t anında N tane radyoaktif çekirdek varsa ve dışarıdan çekirdek ilave edilmiyorsa dt zaman aralığı içinde bozunan çekirdek sayısı dN ile orantılı olur.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (1)$$

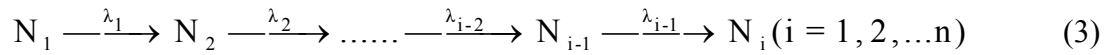
Bu diferansiyel denklem t=0 anındaki çekirdek sayısı N_0 için çözümlerse;

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

elde edilir. Bu denklemde; t zaman, N(t) t zamanı sonunda geriye kalan çekirdek sayısı ve λ da bozunma sabitidir.

1.2.2. Ardışık Bozunma

Bir radyoaktif bozunma, N_1, N_2, \dots, N_{i-1} gibi, radyoaktif ürünlerle sonuçlandığı zaman gerçekleşen süreç aşağıdaki gibi gösterilebilir. Bu süreç en son kararlı izotopa kadar sürdürülür.



N_1 çekirdeği ana çekirdektir, N_2 çekirdeği ürün çekirdek, N_i çekirdeği de bozunmanın sona erdiği son ürün çekirdek olan kararlı bir çekirdektir. λ' lar ise bu çekirdeklere ait bozunma sabitlerini göstermektedir.

Bu çekirdeklerin t anındaki sayıları bozunma kanununa göre aşağıdaki gibi verilir:

$$\begin{aligned}
\frac{dN_1}{dt} &= N_{10} - \lambda_1 N_1 \\
\frac{dN_2}{dt} &= N_{20} + \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \\
\frac{dN_i}{dt} &= N_{i0} + \lambda_{i-1} N_{i-1} - \lambda_i N_i
\end{aligned} \tag{4}$$

Yukarıdaki denklemlerin çözümü için, $t=0$ anında yalnızca ana çekirdeğin olduğunu düşünersek: $N_1 = N_{10}$ ve $N_2 = N_3 = \dots = N_i = 0$ olur ve aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\begin{aligned}
N_1 &= N_{10} e^{-\lambda_1 t} \\
N_2 &= N_{10} \lambda_1 \left[\frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)} \right]
\end{aligned} \tag{5}$$

Tam çözüm de şu şekilde olur:

$$N_i = N_{10} \prod_{j=1}^{i-1} \lambda_j \sum_{j=1}^{i-1} \frac{e^{-\lambda_j t}}{\prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^i (\lambda_k - \lambda_j)} \tag{6}$$

1.2.3. Radyoaktif Denge

1.2.3.1. Geçici Denge

Ana çekirdeğin λ_1 bozunma sabiti ile birinci ürün çekirdeğe, bu çekirdeğin de λ_2 bozunma sabiti ile ikinci ürün çekirdeğe bozunduğu durumu düşünelim.

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \tag{7}$$

Bu ifade de, $\lambda_2 < \lambda_1$ olduğunda yeterli bir zaman sonunda $e^{-\lambda_1 t}$ terimi $e^{-\lambda_2 t}$ terimine göre ihmal edilebilir olacağından,

$$N_2 = -N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} \tag{8}$$

elde edilir. Bu ifade belirli bir zaman sonra birinci ürün elementin λ_2 bozunma sabiti ile bozunacağı anlamına gelir.

1.2.3.2. Daimi Denge

Denklem 7'de $\lambda_1 \ll \lambda_2$ olduğunu düşünelim. $e^{-\lambda_1 t} \approx 1$ ve $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2$ yazılabilir. Bu ifade aşağıdaki şekle dönüşür:

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (9)$$

Zaman geçtikçe, $e^{-\lambda_2 t}$ terimi sıfıra gider ve bir denge durumu oluşur.

$$\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_2 \quad (10)$$

λ_1 çok küçük olduğundan $\lambda_1 N_{10} \approx 0$ olacaktır. Bu ana çekirdeğin çok büyük yarı ömre sahip olduğunu gösterir.

1.3. Radyonüklidler

Dünyanın oluşumuyla birlikte yer kabuğunda bulunan, dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınların etkileşimleri sonucu doğal olarak oluşan ve bunlara ilave yapay olarak meydana getirilen radyonüklidler üç grup altında toplanabilirler.

1.3.1. Yerkabuğunda Başlangıçta Var Olan Radyonüklidler

Büyük Patlama teorisine göre yeryüzü ve güneş sisteminin yaratıldığı zamanlarda oluşan elementlerin büyük bir kısmı radyoaktiftir; fakat o zamandan beri kararlı çekirdeklere bozunmaktadırlar. Birkaç radyoaktif izotopun yarılanma süresi dünyanın yaşına kıyasla çok uzundur ve bugün hala bunların radyoaktiflikleri gözlenebilmektedir. ^{235}U , ^{238}U ve ^{232}Th serileri ve ^{40}K radyonüklidi doğal çevrede radyoaktivitenin esas kısmını oluşturmaktadır.

Doğal radyoizotoplar atom numaraları 81–92 arasında değişen ağır çekirdeklerden oluşur. Bu çekirdekler α ve β yayımlayarak atom ve kütle numaralarını sonuçta kararlı ve hafif bir çekirdeğe ulaşmaya kadar azaltırlar. Alfa bozunması A ' yı dört birim değiştirir, β bozunması ise A sayısını değiştirmez ve böylece n bir tam sayı olmak üzere, kütle numaraları $4n$, $4n+1$, $4n+2$ ve $4n+3$ olan dört bağımsız bozunma serisi elde edilir. Bu dört seri Tablo 1'de verilmiştir. Neptünyum serisinin en uzun ömürlü üyesinin yarılanma süresi, yerin oluşumundan bu yana geçen süreye göre çok kısa olduğundan bu seri doğal maddelerde gözlenmez (Krane, 2001).

Tablo 1. Doğal radyoaktif seriler

Seri Adı	Türü	Son Çekirdek (Kararlı)	Ana Çekirdek	Yarılanma Süresi (y)
Toryum	4n	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$^{232}_{90}\text{Th}$	1.41×10^{10}
Neptünyum	4n+1	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$^{237}_{93}\text{Np}$	2.14×10^6
Uranyum	4n+2	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{238}_{92}\text{U}$	4.47×10^9
Aktinyum	4n+3	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$^{235}_{92}\text{U}$	7.04×10^8

Dünyadaki doğal radyonüklidlerin tek kaynağı bu radyoaktif ağır element serileri değildir. Bu serilerden farklı olarak tabiatta tek başına bulunabilen ve kendilerine has özelliklere sahip olan bazı doğal radyonüklidler de vardır. Bunların en önemlileri ^{40}K olmak üzere ^{87}Rb , ^{113}Cd , ^{115}In ve ^{138}La bu grupta sayılabilecek radyonüklidlerden bazılarıdır.

1.3.2. Kozmik Işınlardan Etkileşimi Sonucu Oluşan Radyonüklidler

Uzaydan dünya atmosferine giren yüksek enerjili parçacıklar, birincil kozmik ışınlar olarak bilinir. Bu radyasyonun büyük çoğunluğu protonlardır. Enerjileri 10 eV ile 1019 eV mertebelerindedir. Bu parçacıklar atmosferin alt tabakalarına kadar uzanarak havada mevcut atomların çekirdekleri ile etkileşerek ikincil protonlar, nötronlar, ^3H , ^{14}C , ^7Be ve ^{22}Na gibi kozmojenik radyonüklidleri oluştururlar (NCRP, 1987; UNSCEAR, 2000).

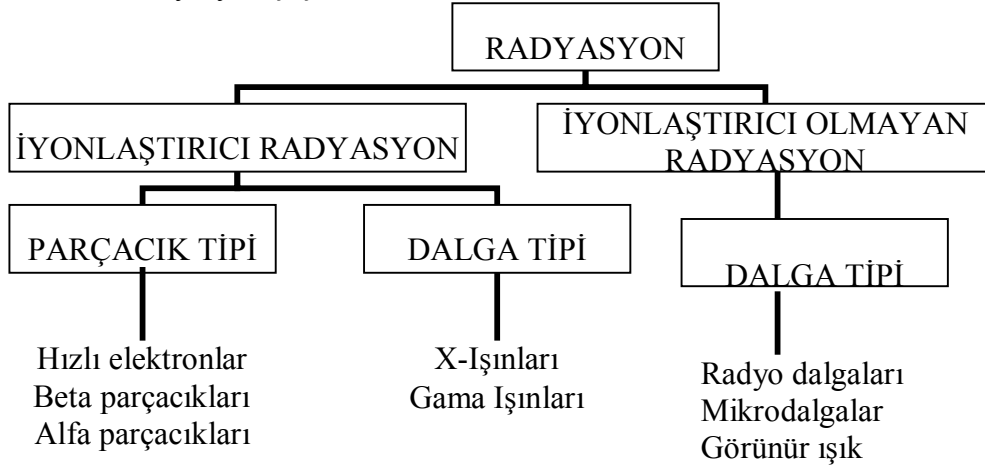
1.3.3. Yapay Radyonüklidler

Enerji, tıp, endüstri, araştırma ve tarım gibi pek çok alanda ^3H , ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{131}I ve ^{137}Cs gibi doğal olmayan radyoizotoplar yapay yollarla üretilmektedir. İnsan yapımı bu radyonüklidlerin miktarları doğal miktarlara göre küçüktür ve çoğu kısa yarılanma sürelerine sahiptirler.

1.4. Radyasyon Çeşitleri

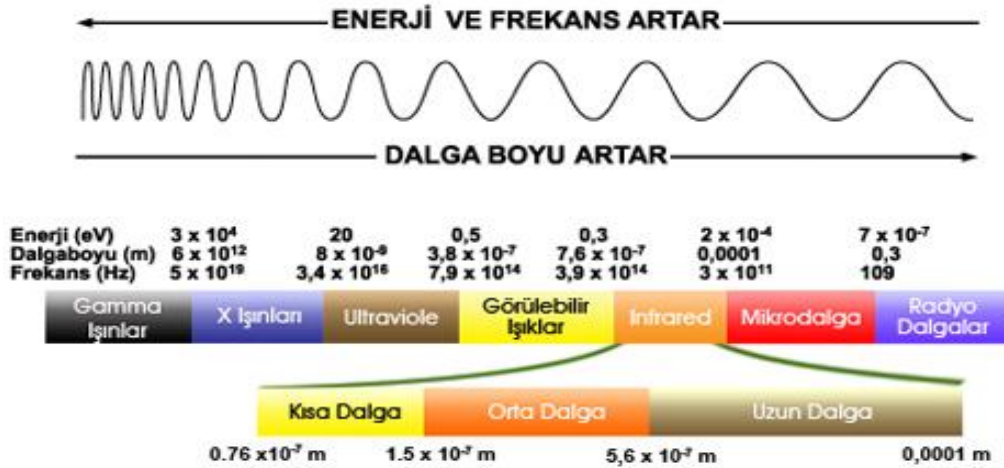
Radyasyonu madde ile etkileşimlerine göre Tablo 2'deki gibi iki gruba ayırmak mümkündür. Bunlar, "iyonlaştırıcı" ve "iyonlaştırıcı olmayan" radyasyonlardır. Tabiatına göre ise "parçacık" ve "dalga" tipi radyasyonlar olmak üzere yine iki sınıfa ayırmak mümkündür.

Tablo 2. Radyasyon çeşitleri



Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden atom altı parçacıkları ifade eder. Yüksek enerjiye sahiptirler. Radyoaktif bir elementten yüksek hızlarda yayımlanırlar. Parçacık radyasyonu alfa, beta parçacıklarını, nötronları ve protonları kapsar. Alfa ve Beta ışınlarının iç ışımalarda etkileri oldukça fazladır.

Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektromanyetik dalgalardır (Şekil 2). Vakumda ve havada ışık hızıyla ilerlerler, insan derisinde ise hızları daha düşüktür. Kozmik ışınlar, X-ışınları ve gama ışınları bu aileye mensup olup dış ışımalarda çok önemli yer tutarlar. Dalga boyları çok küçük fakat enerjileri yüksektir.



Şekil 2. Elektromanyetik spektrum

1.4.1. İyonlaştırıcı Radyasyonlar

İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar oluşturabilen radyasyon demektir. İyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir.

1.4.1.1. Alfa Parçacıkları

Alfa bozunumu Helyum çekirdeği olarak da bilinen, 2 proton ve 2 nötrondan oluşan birbirine sıkı bağlı bir parçacıktır. Reaksiyonun denklemi,



dir.

Alfa parçacıkları büyük elektrik yüklerine sahip olduklarından herhangi bir madde içerisinden geçerken yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirirler ve enerjilerini çabucak kaybettikleri için erişim uzaklıkları küçüktür. Havada enerjilerine göre 2.8' den 8.6 cm uzaklığa kadar gidebilirler. Alfa parçaları bir kâğıt veya 0.5 mm kalınlığında bir alüminyum plakla durdurulabilir. Alfa parçacığının enerjisi 4–8 MeV arasında değişir.

1.4.1.2. Beta Parçacıkları

Bu ışınlar parçacık karakteri gösterirler. Yük ve kütleleri elektron yük ve kütlesine eşittir. Çekirdek fazla proton veya nötronundan bir protonu nötrona veya nötronunu protona dönüştürerek kurtulabilir. Bu arada reaksiyonda yük korunum gereği çekirdekten bir elektron fırlatılır. Bu olay iki türlü gerçekleşir.



Bu olaylardan ilkinde Negatron bozunumu, ikincisine de Pozitron bozunumu adı verilir.

Beta ışınları alfa ışınlarından daha giricidir, oluşturdukları iyonlaşma ise alfa parçacıklarına göre daha azdır. Hızları alfa ışınlarından daha fazladır ve 1 MeV enerjili beta ışınları havada 3 m yol alabilir. Cilt ve giysiler beta ışınlarını zıhlamada yetersiz kalır.

Beta parçacıklarının enerjileri 0.5 ile 5 MeV arasında değişir. Alüminyum, beta ışınları için ideal bir zırh maddesidir.

1.4.1.3. Gama Işınları

Alfa ve beta bozunmalarının birçoğunda, ürün çekirdek enerji açısından uyarılmış durumda kalır. Ürün çekirdek bu uyarılmış durumlardan kurtulmak amacıyla bir veya iki gama fotonu yayınlar ve enerji bakımından temel seviyeye iner. Gama ışınları, X- ışınları ve görünür ışık gibi elektromanyetik radyasyonlardır.



X ve gama ışınlarının zırhlanması aynıdır. Kurşun, demir ve beton, X ve gama ışınlarının zırhlanmasında en çok kullanılan zırh malzemesidir.

Gama ışınlarının madde ile etkileşmesi; Fotoelektrik olay, Compton olayı ve Çift oluşum olayı ile gerçekleşir.

1.4.1.4. X-Işınları

X-ışınları ilk olarak 1895'te Wilhelm Röntgen tarafından keşfedilmiştir. Dalga boyu 0.05 Å ile 100 Å aralığındadır. Enerjisi yüksek olduğu için giricilik özelliğine sahiptir.

X-ışınları, dalga ve parçacık özelliği gösterirler. Fotoelektrik absorpsiyon, Compton saçılması, gaz iyonizasyonu ve sintilasyon, tanecik özelliğine; hız, refleksiyon, polarizasyon ve Rayleigh saçılması ise dalga özelliğine örneklerdir.

X-ışınlarının diğer özellikleri; gazları iyonlaştırmaları, sıvıların ve katıların elektriksel özelliklerini etkileyebilmeleri, fotoğraf filmini karartmaları, fotoelektron ve saçılan elektronlar ortaya çıkarmaları, her yönde doğrusal olarak ışık hızıyla yayılmaları, elektrik ve manyetik alanlardan etkilenmemeleri olarak sıralanabilir.

X-ışınları birincil X-ışınları ve ikincil X-ışınları olmak üzere ikiye ayrılır;

Birincil X-ışınları, atomun iç yörüngelerinde (veya enerji seviyelerinde) elektron boşlukları oluşması sonucunda, üst yörüngelerden alt yörüngelere elektron geçişi sırasında foton enerjinin yayımlanması sonucu oluşur (karakteristik X-ışını)

İkincil X-ışınları; hedefe gönderilen hızlandırılmış elektron demeti hedefe yaklaşırken hedef atomlarını uyarırlar. Bu uyarılma sonucunda Coulomb etkileşmeleri artar, gönderilen elektronlar tarafından tıpkı bir aracın otoyolda giderken aniden frene basması gibi bir etki verir ve X-ışınları oluşur (sürekli X-ışını) (Krane, 2002).

1.4.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar madde ile etkileştiğinde maddeyi iyonize etmeyen radyasyonlardır. Maddenin sıcaklığını artıran kızılötesi ışınlar ve fırınlarda kullanılan mikrodalgalar örnek olarak verilebilir.

1.5. Sularda Radyoaktivite

Sulardaki radyoaktivite, ya doğaldır veya insanların bu suların bulunduğu yöredeki etkinliklerinden ileri gelmektedir. Bu doğal radyoaktivite, ortam sayması olarak o yörenin karakteristiğidir.

Genellikle yüzey suları için doğal radyoaktivite alfa aktivitelerinde, 1 pCi/L' den ve beta aktifliklerinde ise 20–50 pCi/L' den küçüktür. Bu alfa ve beta aktifliklerine, gama aktiflikleri de eşlik edebilir.

Su içinde, kation ve anyon olarak erimiş tuzlar bulunmaktadır. En yaygın erimiş kationlar; sodyum, kalsiyum, magnezyum ve potasyumdur. Klorür, bikarbonat ve sülfat ise yaygın olarak bilinen anyonlardır.

Yeraltı sularında birçok radyoaktif kirletici element bulunmaktadır. Ancak, bu radyoaktif elementler radyasyon sağlığı bakımından önemli sayılabilecek konsantrasyonlarda değildir. Yeraltı suları, alt tabakalarda fazlaca bulunan volkanik ve granit kayalarıyla etkileşirler. Genellikle volkanik kütleler içinden geçen suların radyoaktivite konsantrasyonları, tortul kütleler içinden geçen sulara nispeten daha yüksektir. Bu nedenlerle yeraltı suları yüzey sularına göre daha fazla radyoaktiftir (Johnson and Tuitah, 1983).

Sularda en fazla uranyum ailesi elemanlarından radyum ve radon bulunmaktadır. Radyum suda kolay erir ve yeraltı sularına kadar ilerleyemeden toprak tarafından çok hızlı bir şekilde soğrulur. Bu nedenle yeraltı sularında radyum konsantrasyonu, Radon konsantrasyonuyla karşılaştırıldığında çok daha azdır (Dawis and Watson, 1990). Radyum vücuda alındığında kemiklerde birikerek omuriliği sürekli ışınlamaktadır (Lucas, 1991). Radon, toprak ve kayalardan yayılma ile suya karışmaktadır. Bu nedenle suda ölçülen radon, sadece suyun içerisinde bulunan radyumdan kaynaklanmamakta, aynı zamanda suyun geçtiği yerlerdeki toprak ve kayalarda bulunan radyumdan da ileri gelmektedir. Sudan gelen radonun miktarı sudaki miktarına bağlıdır. Yapılan çalışmalar 370 Bq/L radon konsantrasyonuna sahip bir suyun ev için radon konsantrasyonuna katkısının 37 mBq/L olduğunu ortaya koymuştur (Watson ve ark., 1993). Suyun sıcaklığı arttıkça ortama verilen

radon miktarı da artar (Hammond ve ark., 1981; Lawrence ve ark., 1992). Evdeki alışkanlıklar; duş, çamaşır ve bulaşık makinesi gibi suyun püskürtülmesi veya çalkalanması büyük miktar radon salınmasına neden olur.

Sularda uranyum ailesi elemanlarından başka, toryum ailesi elemanlarından toryumun kendisi ^{232}Th ve ^{228}Ra da bulunur. Diğer bozunma ürünlerinin yarı ömürleri düşük olduğundan insan sağlığına etkileri önemsizdir. Yine toprakta doğal olarak bulunan ^{40}K ve ^{87}Ru 'da yayınladıkları beta ışınlarıyla, suların toplam beta radyoaktivite konsantrasyonuna katkıda bulunurlar.

1945–1980 yılları arasında atmosferde yapılan nükleer bomba denemeleri ve reaktör kazaları sonucu havaya salınan radyoaktif maddeler, havada gaz, organik bileşikler ve inorganik aerosollar (örn. toz parçacıkları) halinde bulunur. Bu maddeler kuru serpinti ve yağışlarla, radyoaktif yağışlar halinde yavaş yavaş yeryüzüne inerek çevre ve sonuçta su kirliliğine neden olmaktadır. Toprak üzerinde yapılan çalışmalarda, yağışlarla orantılı olarak farklı bölgelerde farklı miktarlarda ^{137}Cs ve ^{90}Sr radyoizotopları ölçülmektedir. Çernobil reaktör kazası sonucunda toprakta biriken ^{37}Cs miktarı nükleer bomba denemeleri sonucu biriken miktarın 5 katı, ^{90}Sr miktarı ise %10'u düzeyinde kalmıştır. Çernobil kazası sonrası havada ve alınan yağmur örneklerinde yapılan radyoizotopik çalışmalar, havada ^{131}I , ^{37}Cs , ^{132}Te , ^{132}I , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{103}Ru ve ^{90}Sr gibi radyoizotopların varlığını ortaya koymuştur. Sularda ve toprakta yapılan çalışmalarda, sulardaki radyonüklid konsantrasyonlarının toprak yüzeylerindeki kadar çok daha az olduğu, suların içilmesi ve sularda yaşayan balık vs. canlıların yenmesiyle alınacak dozların solunum yoluyla alınacak dozlardan çok daha az olduğu bulunmuştur (ASTM, 1987). Nükleer denemelerin 1980'li yılların başından itibaren yasaklanmasıyla radyoaktif yağışların etkinliği de oldukça azalmıştır.

Nükleer enerjinin başta elektrik üretimi olmak üzere tıp, endüstri, tarım ve araştırmalarda çok geniş bir kullanım alanı vardır. Bu gibi tesislerden çıkan radyoaktif atıklar, gerekli önlemler alınmadığı takdirde çevre kirliliğine ve sonuçta içme suyu kaynaklarının radyoaktif kirlenmesine neden olacaktır. Bu amaçla uluslararası kuruluşlar (IAEA, WHO ve ICRP gibi) içme sularında kalıcı radyoaktivite olarak tanımlanan toplam alfa, beta ve özellikle ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonları için limit değerler saptamışlardır (Dashek, 2000).

İçme sularının radyoaktivite değerlerinin tespiti son derece önemlidir. Bu nedenle son yıllarda içme sularındaki radyoaktivitenin bilinmesi zorunlu olmuştur. Dünya Sağlık

Örgütü (WHO)'nün, 1984 yılında yayınladığı tavsiye limitlerine ve Türk Standartlar Enstitüsü (TSE)'nün 1984 yılında yayınladığı TS266 kodlu standart ile İSKİ' nin 1984 yılında yayınladığı içme suyu standartlarına göre, içme suyu için tavsiye edilen radyoaktivite sınırları, toplam alfa için 0.1 Bq/L ve toplam beta için 1.0 Bq/L olarak kabul edilmiştir. Bu limit değerler Sağlık Bakanlığı tarafından 18 Ekim 1997 tarihinde yayınlanan Doğal Kaynak, Maden ve İçme Suları ile Tıbbi Suların İstihsalı Hakkındaki Yönetmelikte değiştirilerek, doğal kaynak ve içme suları için toplam alfa radyoaktivitesi 0.037 Bq/L ve toplam beta radyoaktivitesi ise 0.37 Bq/L limitlerine indirilmiştir. Maden suları için ise bu sınırlar toplam alfa için 0.1 Bq/L ve toplam beta için 1.0 Bq/L olarak kabul edilmiştir (TS 226, 1965).

1.6. İzotop Hidrolojisi ve İzotoplar Arası İlişkiler

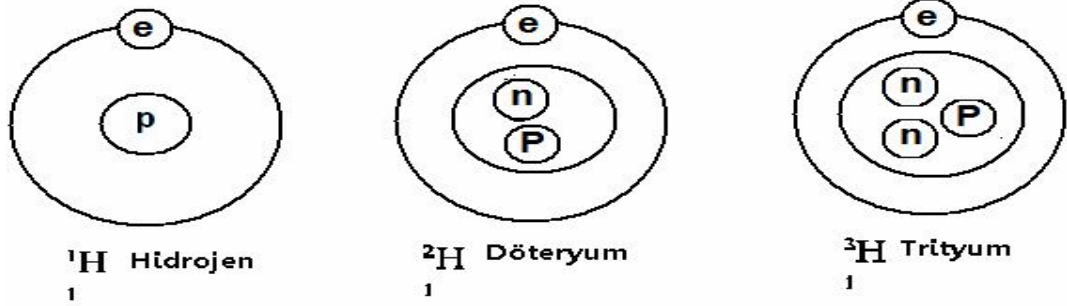
İzotop hidrolojisi, yapay izotop hidrolojisi ve çevresel izotop hidrolojisi olmak üzere iki kısımda incelenir. Yapay izotop hidrolojisinde yapay olarak hazırlanan izotop inceleme alanında kullanılır ve zamanla bu radyoizotopun konsantrasyonundaki azalma gözlenerek değerlendirme yapılır. Çevresel izotop hidrolojisinde ise sulara doğal olarak oluşan izotopik değişimler kullanılır. Değişimler tarafımızdan kontrol edilemez ve değiştirilemez. Ancak doğal olarak ortaya çıkan değişimler izlenir ve değerlendirilir.

Bir elementin atom numarası aynı fakat farklı kütle numarasına sahip atomlarına “izotop” denir. İzotoplar, kararlı ve radyoaktif izotoplar olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Kararlı izotoplar kararlı bir çekirdek yapısına sahiptirler. Kapalı bir sistemde kararlı izotopların atomik konsantrasyonlarında hiçbir değişiklik olmaz. Bunların başında δD ve $\delta^{18}O$ gelir. Radyoaktif izotopların çekirdekleri ise kararsız bir yapıya sahiptir ve zamanla parçalanarak başka elementlerin izotoplarına dönüşürler. Bunun başında da trityum gelir. Bu izotopların konsantrasyonları zamanla değişir.

İzotop teknikleri; yeraltı sularının beslenme alanlarının belirlenmesinde, baraj ve göl kaçaklarının etüdünde, çeşitli su kütlelerinin birbirleriyle ilişkilerinin saptanmasında, akiferlerin su taşıma özelliklerinin belirlenmesinde, kar-su eşdeğerinin belirlenmesinde, nehir ve deniz tabanındaki süzüntü maddesinin ölçülmesinde, yeraltı suyu eskilik derecelerinin belirlenmesinde, yeraltı suyunun akiferde kalış ve yenilenme sürelerinin belirlenmesinde ve farklı su kütlelerinin karışım oranlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

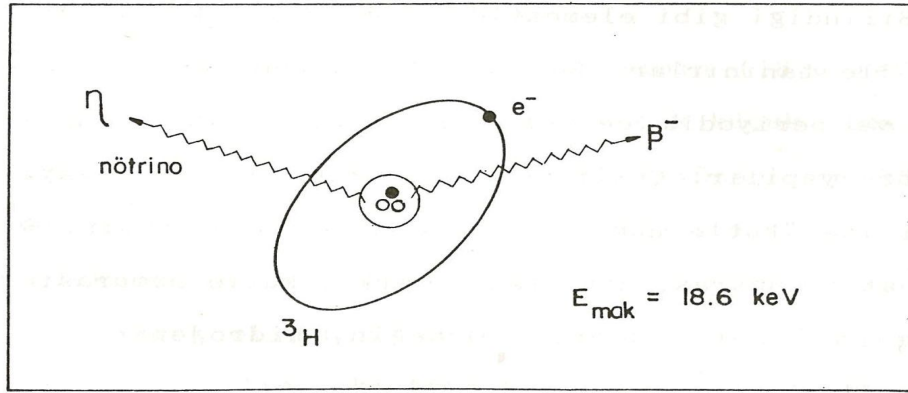
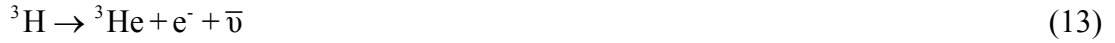
1.6.1. Tritiyum

Bir elementin atom numarası aynı fakat kütle numarası farklı atomlarına “izotop” denir. Şekil 3’ te gösterildiği gibi hidrojenin üç izotopu vardır.



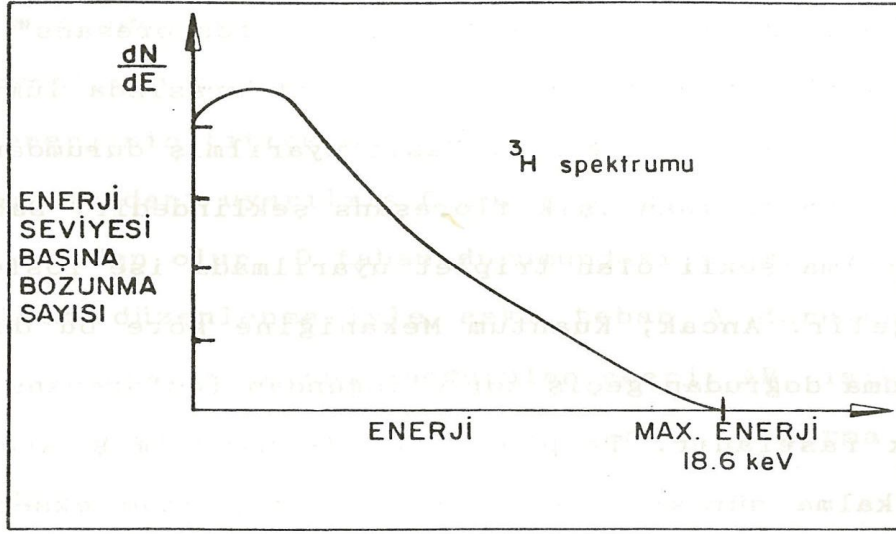
Şekil 3. Hidrojenin izotopları

Üçüncü izotop olan trityum, çekirdeğindeki nötron fazlalığı nedeniyle radyoaktif özellik gösterir, bir beta parçacığı ile bir anti nötrino ($\bar{\nu}$) yayınlamaya bozunur (Şekil 4) ve aşağıdaki bozunma reaksiyonuna göre kararlı trityum atomuna dönüşür (Altay ve Çifter, 1996).



Şekil 4. Tritiyum’un radyoaktif bozunumu

Tritiyum; fizikçiler Ernest Rutherford, M. L. Oliphant ve Paul Harteck’ in 1934’te yapmış oldukları döteryum - döteryum füzyon reaksiyonu sonucunda keşfedilmiştir (${}^2\text{H} + {}^2\text{H} \rightarrow {}^3\text{H} + {}^1\text{H} + 4.03\text{MeV}$). Tritiyum’un yarı ömrü 12.35 yıldır. Tritiyum çekirdeğinden yayınlanan enerjinin maksimum değeri 18.6 keV olup, bu enerji beta parçacığı ile antinötrino arasında rastgele bölüşülür. Bu nedenle beta parçacıklarının enerjisi 0–18.6 keV arasında herhangi bir değere sahip olabilir (Şekil 5). Dolayısıyla beta spektrumu süreklilik gösterir (Altay ve Çifter, 1996; Çifter, 2003; Portakal ve ark., 1988).



Şekil 5. Tritiyum'un beta spektrumu

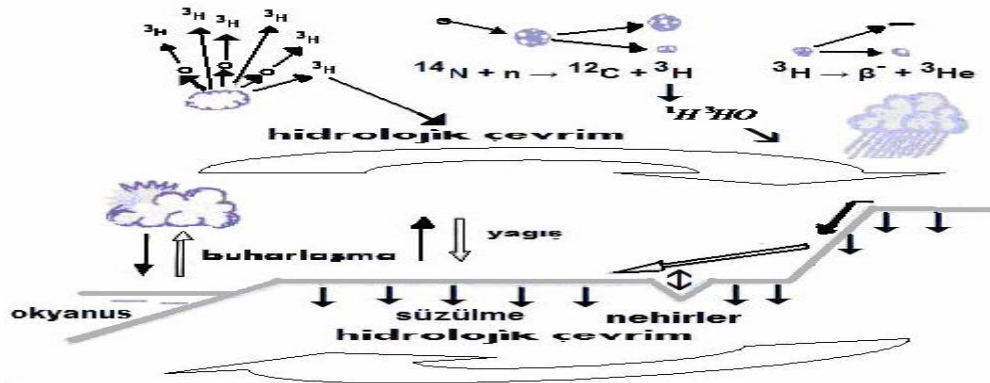
Tritiyum nükleer bombaların patlamasını başlatan nükleer reaksiyonun başlangıcında kullanılır ve bazı ışıltayan cihazların, boyaların, bina giriş çıkış kapılarının kontrolünü sağlayan cihazların yapısında ve çeşitli bilimsel araştırmalarda kullanılır. Tritiyum ticari amaçla reaktörlerde üretilir (Portakal ve ark., 1988).

Tritiyum yağışlara iki kaynaktan girerek hidrolojik çevrimde yerini alır ve “çevresel tritiyum” olarak adlandırılır;

1. Atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden doğal olarak oluşur:



Tritiyum hidrolojik çevrime Şekil 6' da gösterildiği gibi $^1\text{H}^3\text{HO}$ şekline yükseltgendikten sonra girer (Mook, 2002).



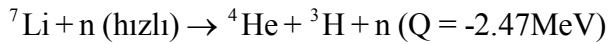
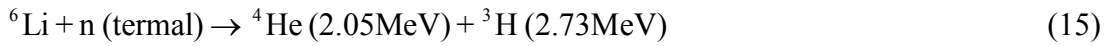
Şekil 6. Tritiyum'un oluşumu

Tritiyum'un atmosferdeki kalış süresinin çok küçük olmasından dolayı doğal olarak oluşum hızı da çok küçüktür. Tritiyum'un atmosferdeki bu doğal oluşum hızınının 0.25 atom/cm²s olduğu tahmin edilmektedir. Bu yolla tritiyum konsantrasyonu, coğrafi konuma bağlı olarak 5–20 TU (tritiyum birimi) civarındadır. Tritiyum yağışlara karışarak yeraltına geçtikten sonra uzun yıllar yeraltında bekler ve başka bir yeni suyla karışmazsa konsantrasyonu zamanla azalır (Altay ve Çifter, 1996; Çifter, 2003).

Sulardaki doğal tritiyum konsantrasyonu Bq/L ya da tritiyum birimi (TU) olarak verilir. Tritiyum konsantrasyonunun Bq-TU ilişkisi, 1 TU = 1 Tritiyum atomu/10¹⁸ hidrojen atomu = 3.19 pCi/L = 0.11816 Bq/L olarak verilmektedir. Yani, 1×10¹⁸ hidrojen atomuna karşı bir tritiyum atomunun bulunması "1 tritiyum birimi (TU)" olarak tanımlanır. Yağışlara girerek suyun hidrolojik çevrimine katılan tritiyum, hidrolojide çeşitli sorunların çözümünde doğal izleyici olarak kullanılmaktadır.

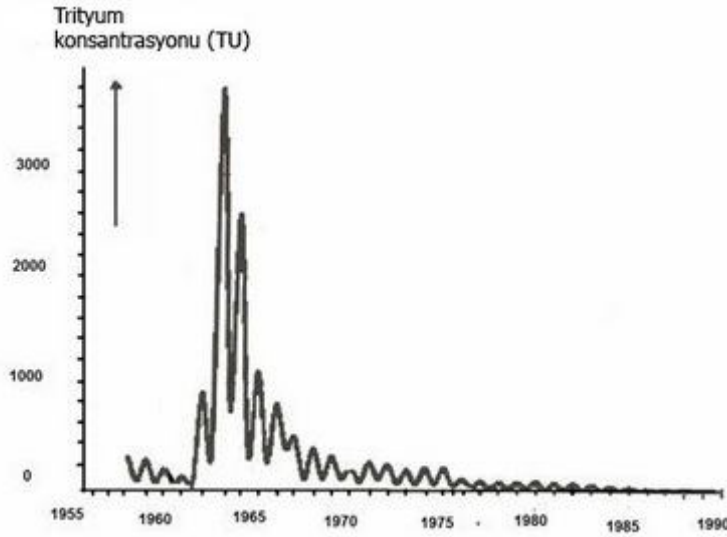
2. Nükleer çalışmalar sonucunda yapay olarak oluşur.

Genel olarak tritiyum üretimi için lityum izotoplarının termal veya hızlı nötron reaksiyonlarından faydalanılır. Doğal lityum içinde %7.5 oranında ⁶Li izotopu ve %92.5 oranında ⁷Li izotopu vardır. ⁶Li izotopu termal enerjili nötronları yutarak ürün olarak tritiyum verir ve reaksiyon ekzotermiktir, ⁷Li ise yüksek enerjili nötronları yutarak ürün olarak tritiyum verir fakat reaksiyon endotermiktir. Bu reaksiyonlar aşağıdaki gibi gösterilebilirler:



1952–1962 yılları arasında yapılan termonükleer denemelerle atmosfere yüksek miktarda tritiyum salınmıştır. Kuzey yarım kürenin atmosfer tabakasının enjekte edilen yüksek miktardaki tritiyumun aşamalı olarak troposfer tabakasına geçmesiyle 1953 yılından sonraki yağışların tritiyum konsantrasyonunda artış gözlenmiştir (Altay ve Çifter, 1996; Çifter, 2003). Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) ve Dünya Meteoroloji Organizasyonu işbirliğiyle yağışlardaki izotop kompozisyonunu belirlemek amacıyla kurulan meteoroloji istasyonlarından en fazla kaydı bulunan Kanada'nın Ottawa Meteoroloji istasyonundan toplanan yağış numunelerinde yapılan tritiyum analiz sonuçlarından bu artışı görmek mümkündür. Ottawa yağış istasyonundan alınan yağış numunelerinin ağırlıklı ortalama tritiyum konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi Şekil 7'de görülmektedir (Altay ve Çifter, 1996; Çifter, 2003).

1953 yılında trityum konsantrasyonu 26 TU iken, 1954 yılında 287 TU' ya çıkmış ve bu artış 1963 yılında 2900 TU' ya kadar ulaşmıştır. Kuzey yarım kürede 1963 yılındaki yağışlarda trityum konsantrasyonunun maksimum değere ulaştığı gözlemlenmiştir. 1963 yılında imzalanan bir antlaşmayla bu denemeler durdurulduktan sonra trityum konsantrasyonunda üstel olarak bir azalma gözlemlenmiştir. 1967–1980 yılları arasında; Çin Halk Cumhuriyeti ve Fransa' nın yapmış olduğu sınırlı denemelerle atmosfere çok miktarda trityum enjekte edilmiştir. 1968 yılından 1971 yılına kadar yağışlardaki trityum konsantrasyonu bu nedenle hemen hemen sabit kalmıştır. 1972 yılından sonra termonükleer denemeler öncesi değerlere doğru azalmaya devam etmektedir (Altay ve Çifter, 1996).



Şekil 7. Tritiyum konsantrasyonunun yıllara göre değişimi

Türkiye’de Ankara, Antalya ve Adana yağış istasyonları IAEA’nın kurduğu şebekeye dâhildir. Kuzey yarım kürede 1963 yılındaki artış üç istasyonda da gözlemlenmiştir. Ankara, Antalya ve Adana yağış istasyonlarından 1963 yılında alınan numunelerin trityum konsantrasyonlarının ağırlıklı ortalamaları sırasıyla 2585 TU, 710 TU ve 1150 TU’dur. Türkiye’deki trityum konsantrasyonu Viyana yağış istasyonu ile hemen hemen aynı paralellikte azalmaya devam etmektedir (Mook, 2002).

Yağışlardaki trityum konsantrasyonu aşağıdaki etkiler altında değişmektedir:

a) Tritiyum konsantrasyonundaki maksimum değer, bahar ve yaz aylarına ait yağışlarda gözlemlenmektedir. Bu olay “bahar enjeksiyonu” olarak adlandırılır. Yapılan araştırmalar yaz yağmurlarının kış yağmurlarından daha fazla ağır izotop içeriğine sahip olduğunu göstermektedir (Gonfiantini, 1982). Yağışların ağır izotop içerikleri meydana

getirdikleri buharın ağır izotop içeriğine göre yüksektir. Yağışlarda meydana gelen ağır izotop zenginleşme miktarı sıcaklık ile ilişkilidir. Sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda ağır izotop zenginleşmesi daha fazladır. Sıcaklık fazla olduğu zamanlarda düşmekte olan yağmur damlalarının düşme esnasında yeniden buharlaşması daha fazla olacaktır. Buharlaşma esnasında hafif izotopik grupların öncelikle buharlaşması, düşen yağmur damlalarının ağır izotop zenginleştirmesini artırır. Bu nedenle kış aylarında düşen yağmur damlalarının ağır izotop içerikleri, yaz aylarında görülen yağmurların ağır izotop içeriğine göre daha fakirdir. Kuzey yarım küredeki yağışların trityum konsantrasyonu genellikle Haziran aylarında, Güney yarım kürede ise Eylül aylarında maksimum değere ulaşır. Yağışlardaki trityum konsantrasyonunun mevsimsel değişiminin bilinmesi trityum yeraltı suyu sistemine giriş fonksiyonunu bulmaya yarar ve bazı durumlarda yeraltı suyunun beslenme mekanizması hakkında bilgi verebilir (Altay ve Çifter, 1996).

b) Karasal bölgelerdeki yağışların trityum konsantrasyonu okyanus bölgelerinkinden daha yüksektir. Bunun nedeni, okyanuslardan oluşan su buharının daha soğuk olan kara üzerine hareketleri esnasında ardı ardına yoğunlaşması neticesinde oluşan yağmurların ağır izotop içeriklerinin kendisini oluşturan atmosferik buhara göre zenginleşmesine karşılık kendisinden önceki yağışlara göre ağır izotop bakımından fakirleşmesidir (Altay ve Çifter, 1996; Çifter, 2003).

c) Trityum konsantrasyonu coğrafi enlem dereceleri ile değişir. Stratosferden troposfere doğru olan trityum enjeksiyonunun kutup bölgelerinde daha yoğun olması nedeniyle trityum konsantrasyonu Güney yarım küredeki nazaran daha fazladır. Bunun nedeni Kuzey yarım kürede denizlerin alanının karaların alanına oranının Güney yarım küredekinden küçük olması ve nükleer denemelerin daha çok Kuzey yarım kürede yapılmış olmasıdır (Altay ve Çifter, 1996).

Trityum değeri, $TU < 1$ olan sular en az 50 yıllık suları temsil ettiği düşünülebilir. (1950' lerdeki bomba denemelerinden üretilen trityum'dan etkilendiği söylenebilir, pre-modern sular). Trityum değeri, $TU \approx 3$ olan sular 30–40 yıllık sular olarak düşünülebilir. Trityum değeri, $TU = 1–8$ arasında olan sular güncel ve eski sular karışımı olarak düşünülebilir. Trityum değeri, $TU = 9–18$ arasında olan sular güncel sular ve trityum değeri, $TU = 19–28$ arasında olan sular da termonükleer etkileşimlerden çokça etkilenen sular olarak ifade edilebilir (Clarke ve ark., 1976).

Trityum, kütle spektrometresinde ve atomik kütle spektrometresinde (AMS) ölçülebilir. Numune ^3He kütle spektrometresinde ölçüm için ilk önce bütün gazlardan

arıtılır ve ^3He ' nin trityum bozunmasından elde edilmesi için bir süre bekletilir. Daha sonra ^3He soygazı kütle spektrometresi ile ölçülür. ^3He kütle spektrometre yöntemi LSC' den daha hassastır, dedeksiyon limiti 0.5 mBq/L' dir. ^3He metodunun esas dezavantajı numune hazırlığındaki yöntemin karmaşıklığı ve uzun analiz süresidir (Xiaolin and Per, 2008).

Atomik kütle spektrometresi de trityum tespitine yönelik hassas bir yöntemdir dedeksiyon (algılama) limiti olarak 1 mBq (veya $^3\text{H}/\text{H}^1$ oranı için 1×10^{-13} ile 1×10^{-15}) sınırı bildirilmiştir. Bu yöntemin temel yararı, biyolojik numunelerin analizi için oldukça uygun olan küçük numunelerin (2 mg hidrojen) analizidir. AMS yönteminde, trityum ilk önce numuneden serbest bırakılır, daha sonra metal üzerinden soğurularak hidrojen gazına dönüştürülür (örneğin Ti). Daha sonra katalizör üzerinden etilen gazıyla reaksiyona sokulup etan gazına dönüştürülür ve AMS ile ölçülür. Bu yüzden AMS' nin numune hazırlığı LSC ile karşılaştırıldığında daha karmaşıktır. Trityum tespiti için AMS uygulaması oldukça sınırlıdır. Rutin analizlerde, LSC hâlâ, çevresel numunelerde trityum tespiti için en sık kullanılan yöntemdir (Xiaolin and Per, 2008).

Sıvı sintilasyon sayaçlarında daha önceki yıllarda aşağıya çekilemeyen dedeksiyon limitinin, elektronik teknolojisindeki gelişmeler sayesinde çok küçük değerlere indirilmesiyle, atmosferde doğal olarak oluşan trityumun bu sayaçlarla dedeksiyonu mümkün olmuştur. Ayrıca, bu teknikte kullanılan numune hazırlama yönteminin gaz sayma tekniğindeki nazaran daha kolay ve çabuk olması, Sıvı Sintilasyon Sayma Tekniğinin bütün dünyada yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Katı numunelerdeki trityum saptamasına yönelik olarak trityumu THO (trityum hidroksit)' e dönüştürmek için, yanma (combustion) yöntemi kullanılır (Xiaolin and Per, 2008).

Trityum, solunum ve sindirim yoluyla insan vücuduna girer. Havada çok uzaklara hareket edemez ve deriden giremezler. Trityum insan vücudu içerisinde 2 saatte yayılır. Bu zaman zarfında (vücutta olduğu sürece) çok sayıda hücrenin organik molekülleriyle birleşirler ve kaşıntıya, tahrişe neden olurlar. Trityumun sindirilmesi; kanser, genetik sorunlar ve plasentadan geçerek fetüse zarar verme gibi 3 sağlık sorununa neden olabilir (Makhijani, 2000).

Trityumun çevrede davranışı, değişik sistemler arasında transferi ve insana geçişi ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Trityum su ve süt gibi sıvı gıdalarla alınarak bütün vücutta dolaşım sağlayabilir, havadan gaz formu solunumla alınabilir ve ayrıca deriden soğurulabilir. Trityumun biyolojik yarı ömrü 12 gündür. İnsan sağlığı açısından, gaz halinde suda çözünürlüğünün az olması nedeniyle daha az zararlı olduğu, içinde 10^{-6}

$\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ trityum bulunan havanın bir hafta içinde 48 saat teneffüs edildiğinde insan vücudunda yaklaşık 200 μCi trityum biriktiği ispatlanmıştır. Yapılan deneyler trityumun hayvan karaciğer hücrelerinde aberasyona, kemik iliği hücrelerinde sitolojik zararlı etkiye neden olduğunu, DNA sentezini yavaşlattığını ve çeşitli doku hücrelerinde ölümlere neden olduğunu ortaya koymuştur. Kansere yol açar ancak diğer radyonüklidlere göre daha az tehlikeli radyonükliddir; çünkü zayıf beta yayınlar ve vücudu erken terk eder. Herkes doğada var olan az miktarda trityuma maruz kalmaktadır (Portakal ve ark., 1988).

İçme suyunda trityum' un sınır değerlerini Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2004) 10.000 Bq/l, ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA, 1980) 740 Bq/l, Türk Standartları Enstitüsü (TSE, 2005) 100 Bq/l ve T.C. Sağlık Bakanlığı (TCSB, 2005) 100 Bq/l olarak belirlemiştir.

İçme suyundaki uluslararası trityum seviyeleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. İçme suyunda uluslararası trityum sınır değerleri (CNSC, 2008)

Ülke	Tritiyum Seviyesi (Bq/L)
Kanada	7.000
Romanya	100
Avrupa Birliği (EU)	100
Belçika	100
Finlandiya	30.000
Fransa	100
Almanya	100
İtalya	100
İskoçya	100
İspanya	100
İsveç	100
İngiltere	100
Avustralya	76.103
Norveç	100
Rusya	7.700
İsviçre	10.000
İngiltere	740

1.6.2. Döteryum ve Oksijen–18 İlişkisi

Kararlı izotopların başında döteryum ve oksijen – 18 gelmektedir.

İzotopik içerikler aşağıdaki δ notasyonu ile verilir.

$$\delta(O/^{16}O) = \left[\frac{R_{\text{örnek}} - R_{\text{standart}}}{R_{\text{standart}}} \right] \times 1000 \quad (16)$$

δ değeri bağıl bir değerdir. Yani δ değeri, numunenin $^{18}O/^{16}O$ veya D/H oranının bir standardın $^{18}O/^{16}O$ veya D/H oranından farklılığıdır. Su analizlerinde izotoplar için kabul edilen standart SMOW (Ortalama Standart Okyanus Suyu)' dur. İzotopik içerikleri analiz sonucu olarak verilirken döteryum için $^2\delta$, δ^2H veya δD , oksijen -18 izotopu için $\delta^{18}O$ veya $^{18}\delta$ ifadeleri kullanılır. Burada R örneğin döteryum için (D/H) konsantrasyonu, oksijen için ($^{18}O/^{16}O$) konsantrasyon oranıdır.

Buna göre bir örneğin ^{18}O ve D içeriği,

$$\delta^{18}O = \frac{(^{18}O/^{16}O)_{\text{örnek}} - (^{18}O/^{16}O)_{\text{SMOW}}}{(^{18}O/^{16}O)_{\text{SMOW}}} \times 1000 \quad (17)$$
$$\delta D = \frac{(D/H)_{\text{örnek}} - (D/H)_{\text{SMOW}}}{(D/H)_{\text{SMOW}}} \times 1000$$

olarak ifade edilir.

IAEA' nın belirlediği VSMOW' un D ve ^{18}O için izotop oranları aşağıdaki gibidir (Mook, 2000).

$$(D/H)_{\text{VSMOW}} = 155.75 \times 10^{-6} \pm 0.05$$

$$(^{18}O/^{16}O)_{\text{VSMOW}} = 2005.20 \times 10^{-6} \pm 0.45$$

Hidrolojik çevrimde $-450 < \delta D < 100$ ve $-50 < \delta^{18}O < 50$ arasında değişir.

Ölçüm sonucunun negatif olması örnek suyun VSMOW (Vienna Ortalama Standart Okyanus Suyu)' dan izotopik açıdan daha küçük olduğunu gösterir. İzotopların bir standarttan binde olarak sapma şeklinde rapor edilmesinin nedenleri olarak;

- Elde edilen izotop oranlarının çok küçük sayılar olmaları (10^{-6} mertebesinde sayılar),
- Uluslararası bir karşılaştırma yapabilmek için bir standarda ihtiyaç duyulması,
- Fazlar ve moleküller arasındaki geçişler sırasında oranların değişiminin, mutlak oranlardan daha faydalı olması,

• Yüksek hassasiyette ölçüm yapabilen kütle spektrometrelerinin mutlak oranların ölçümünden çok, oranlardaki değişimler konusunda daha uygun olmaları sayılabilir (Mook, 2001).

Yağışların kararlı izotop içeriğini etkileyen faktörler:

• Benzer enlemlerde bulunan kıyı ve ada istasyonları yağışları ile kara istasyonlarına ait yağışların kararlı izotop değerleri karşılaştırıldığı zaman kıyı ve ada istasyonlarının ağır izotop bakımından daha zengin olduğu görülmektedir (Karasal Etki).

• 1964 yılında Dansgaard küresel olarak yıllık ortalama yağışın $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ile sıcaklık arasında lineer bir ilişki olduğunu göstermiştir. İzotopik ayrımın derecesi doğrudan sıcaklık ile orantılıdır. Sıcaklık gradyentinin olduğu yerde $\delta^{18}\text{O}$ ve δD gradyenti de olacaktır. Sıcaklık değişiminin az olduğu bölgelerde (tropik bölgeler) $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değişiminin de az olduğu çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir (Sıcaklık Etkisi).

• Yapılan çalışmalar yaz yağmurlarının kış yağmurlarından daha fazla ağır izotop içeriğine sahip olduğunu göstermiştir (Mevsim Etkisi).

• Daha yüksek yerlere düşen yağışlar, alçak yerlere düşen yağışlara nazaran ağır izotop içeriği bakımından daha fakirdir (Yükseklik Etkisi).

• Şebeke istasyonları incelendiği zaman her iki yarımkürede ekvatora yakın istasyonlara ait yağışların, yüksek enlemlerde yer alan istasyon yağışlarına göre daha pozitif kararlı izotop içeriğine sahip oldukları görülmektedir (Enlem Etkisi).

• Yoğun yağışlar daha hafif olan yağışlara göre daha az ağır izotop içeriğine sahiptirler (Miktar Etkisi).

Yağış numunelerinin analizi sonucu, $\delta^{18}\text{O}$ ve δD arasında, aşağıda verilen doğrusal ilişki elde edilmiştir:

$$\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + d(\text{‰}) \quad (18)$$

$$d = \delta\text{D} - 8\delta^{18}\text{O} \quad (19)$$

Bu denklemle gösterilen doğruya küresel meteorik su çizgisi denir ($d=10$) ve ortalama yıllık yağışların izotopik içeriklerinden elde edilmiştir. Bu çizgi üzerinde veya buna yakın olan değerlere sahip numuneler meteorik kökene sahiptir denilebilir. Beslenme alanı aynı olan ya da aynı tür yağışlardan beslenen benzer dolaşım sürelerine sahip sular meteorik su çizgisi üzerinde birbirine yakın konumda bulunurlar.

Burada d döteryum fazlası olup genellikle 10 civarındadır (Craig, 1961) ve yağışa kaynak oluşturan deniz suyunun buharlaşma miktarının bir göstergesidir. Bölgeden

bölgeye değeri değişebilir. Döteryum fazlası değeri buharlaşmanın fazla olduğu bölgelerde daha pozitif değerlere ulaşır. Önemli bir buharlaşmanın olmadığı yüzey ve yeraltı suları Küresel Meteorik Su Çizgisi (KMŞÇ) üzerinde bulunurlar. Düşük nem ve yüksek miktarda buharlaşmanın olduğu numuneler, KMŞÇ' nin solunda yer alırlar ve yüksek d-fazlası değerine sahip olurlar. Düşük buharlaşma miktarı ve düşük d-fazlası değeri yüksek nem olduğu zaman meydana gelir ve numuneler bu durumda KMŞÇ' nin sağında yer alırlar (Cappa ve ark., 2003). $\delta D - \delta^{18}O$ ilişkisi belli yağış rejimleri için zaman içinde değişmez. Bu nedenle, örneklerdeki d değerleri kullanılarak farklı yağış rejimlerinin etkisi belirlenebilir. Döteryum fazlasının yüksek değerler aldığı noktalarda (10'un üzerinde) denizel kökenli yağışların görülmesine karşılık düşük değerler aldığı noktalarda (10'un altındaki değerler) daha çok karasal kökenli yağışlar görülür (Kehinde, 1993). Döteryum fazlası değeri özel bölgeler için parmak izi gibi görev yapabilir. Örneğin, yüksek rakımlı bölgelerde d-fazlası düşük değerler alırken, Akdeniz bölgesi gibi düşük rakımlı bölgelerde yüksek değerler alırlar (Rozanski ve ark., 1993; Bar-Matthews ve ark., 1996). Döteryum fazlası elektriksel iletkenlikle ters orantılıdır.

¹⁸O genellikle kayaç rezervuarlarında daha yüksek miktarda bulunmaktadır. D ise genelde mineral ve kayaçlardan çok sulara bulunmaktadır. Kayaç-su etkileşiminin daha yoğun olarak gözlemlendiği sıcak sulara daha yüksek $\delta^{18}O$ değerlerinin izlenmesi beklenirken, çalışma sahalarında tam tersi bir durum söz konusu ise sahalarındaki suların daha yüksek yükseltilerden beslendiği düşünülebilir. Oksijendeki artışın nedeni, su - kayaç arasında meydana gelen etkileşim sonucunda kayaçta bulunan $\delta^{18}O$ izotopunun su molekülüne geçmesidir (Clark and Fritz, 1997).

Küresel Meteorik Su Çizgisi'nin sağında kalan sular için buharlaşma ile veya sıcak suların karışımı ile izotopik olarak zenginleşmiş örnekler veya diğerlerine göre daha çok kayaçlarla temas halinde bulunan örneklerdir denilebilir.

Akdeniz yağışlarına ait doğruyu gösteren denklem ise; $\delta D = 8\delta^{18}O + 22$ 'dir (20) (Dansgaard, 1964). Bu denklemle gösterilen doğruya Akdeniz meteorik su çizgisi denir

Hidrojen ve Oksijen izotoplarının oranları ile jeolojik çevrimdeki üç tür su ayırt edilebilmektedir. Kayaçların içinde oluşumu sırasında hapsedilen deniz suyu (bu durumda yeraltı suyunun beklenenden daha az negatif hatta pozitif δD ve $\delta^{18}O$ değerleri göstermesi söz konusudur) ve yağış sularından itibaren oluşan yeraltı suyu (doğada yaygın olarak

rastlanan bu durumda beslenme bölgesindeki yağış rejimine ve bölgedeki sıcaklığa bağlı olarak negatif δD ve $\delta^{18}O$ değerleri gözlenir).

1.6.3. Oksijen–18 ve Tritiyum İlişkisi

$\delta^{18}O$ – Tritiyum ilişkisine göre; oksijen ve trityum değerlerindeki artış sığ dolaşımdan gelen suları, oksijen ve trityum değerlerindeki azalış derin dolaşımdan gelen suları temsil eder. $\delta^{18}O$ değerlerindeki azalma, akiferin beslenme alanı yükseltisinin arttığını, trityum değerlerindeki azalma da suların dolaşım süresindeki artışı gösterir.

1.6.4. Tritiyum ve Döteryum İlişkisi

Tritiyum – δD ilişkisine göre; trityum ve döteryum değerlerindeki artış sığ dolaşımdan gelen suları, trityum ve döteryum değerlerindeki azalış derin dolaşımdan gelen suları temsil eder. Tritiyum değeri, suların dolaşım yolu uzarsa bozunmadan dolayı azalmaya uğrar. δD değerlerindeki azalma beslenme alanı yükseltisindeki artışı göstermektedir.

1.6.5. Döteryum ve Yükseklik İlişkisi

δD – yükseklik ilişkisine göre; her 100m' lik yükseklik artışına karşın δD değerlerindeki azalma %1.0 ile %4.0 arasında değişmektedir (Clark and Fritz, 1997).

1.6.6. Oksijen - 18 ve Yükseklik İlişkisi

$\delta^{18}O$ – yükseklik ilişkisine göre; genel olarak her 100m' lik yükseklik artışına karşılık yağış suyunun $\delta^{18}O$ içeriğindeki azalma %0.15 ile %0.50 arasında değişmektedir (Clark and Fritz, 1997).

1.7. Sıvı Sintilasyon Sayacı (LSC)

Sıvı sintilasyon sayma sistemi (Şekil 8), sayım için belirli yöntemlerle hazırlanmış sintilatör ilaveli numunenin sayma sisteminde sayılması prensibine dayanır. Özet olarak numune içindeki beta parçacıkları atom çekirdeklerinden yayınlanır, sintilatör atomları uyararak fotonları oluşturur ve bu fotonlar fotoçoğaltıcı tüp aracılığıyla elektriksel darbelere dönüştürülerek çıkış sinyali olarak dedekte edilirler (Çifter ve Sayın, 2002).

Sularda trityum aktivitesi çok düşük olduğu için bunu ölçecek sayaç kararlı verime ve düşük ortam saymasına sahip olmalıdır.



Şekil 8. Sıvı sintilasyon sayacı

LSC günümüzde radyoaktivite miktarının ölçülmesinde kullanılır. Çekirdek bozunumu sonucu oluşan her tür parçacık ve ışınımın algılanmasında kullanılır. Örnek olarak; doğal radyonüklid seviyelerin ölçülmesinde, insan kaynaklı radyonüklidlerin incelenmesinde, radyoaktif çalışmaların oluşturduğu serpintilerin incelenmesinde, yiyeceklerde ^{14}C analizinde, yeraltı ve çevresel sularda trityum ölçümlerinde kullanılır.

Bir sıvı sintilasyon sayacı genel olarak fotoçoğaltıcı tüp ve sintilatör'den oluşur.

1.7.1. Fotoçoğaltıcı Tüp (PMT)

Fotoçoğaltıcı tüpler, düşük ışık sinyallerini ölçülebilecek yüklere çevirirler ve sintilatörden uyarılma sonucu yayınlanan fotonların dedeksiyonunda kullanılırlar. Fotoçoğaltıcı tüpler; fotokatot yüzey, dinodlar (katot elektrotlar), toplama elektrotu (anot elektrot) gerilim kaynağına sahip bir devreden (RL devresi) oluşur (Şekil 9).

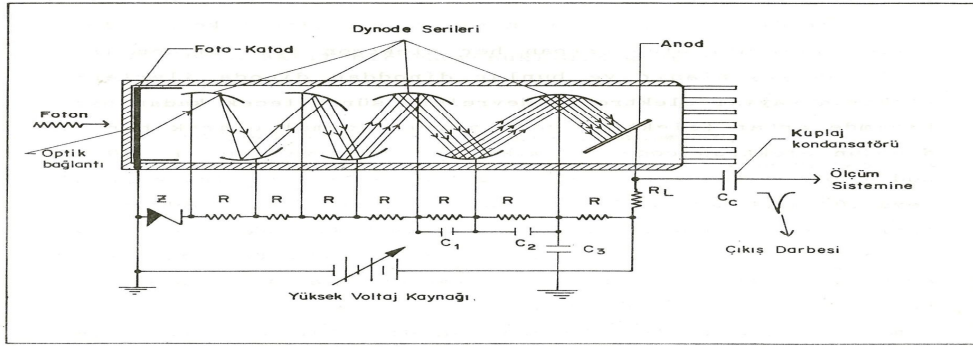
Fotokatot, üzerine düşen fotonu, fotoelektronlara dönüştürür. Yüzeyden kolay elektron koparılabilmesi için Sezyum antimon gibi bağlanma enerjisi düşük maddelerden oluşur.

Dinodlar (katot), fotoelektronları çoğaltırlar.

Toplama elektrotu (anot), çoğalan elektronları toplar.

RL devresi, toplanan elektronları kendi üzerinden geçirerek bir voltaj pulsu oluşturur.

Foton, fotokatot yüzeyden elektronları koparır. Dinodlar arasında yüksek gerilim uygulanarak elektronlar çoğaltılırlar. Fotokatotlar ve dinodlar düşük iyonlaşma enerjisine sahip maddelerden yapılırlar. Fotokatotlar, antimon ve alkalin metallere oluşan yarı iletken ince tabakadan yapılmıştır. Dinodlar, alkali veya toprak alkali metalden yapılmıştır (Altay ve Çifter, 1996).

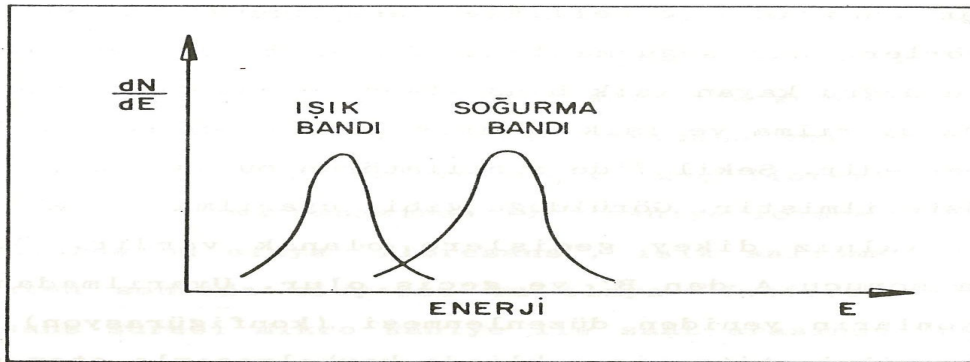


Şekil 9. Fotoçoğaltıcı tüpün şematik gösterimi

1.7.2. Sintilatörler

Üzerine bir tek yüklü parçacık, X-ışını veya γ -ışını çarptığı zaman, gözle görülen bölgede veya ona yakın bölgede ışık yayınlayan sodyum iyodür, sezyum iyodür, antrasen, naftalin ve fenantrinin gibi maddelere (kristal veya amorf maddeler) sintilatör denir.

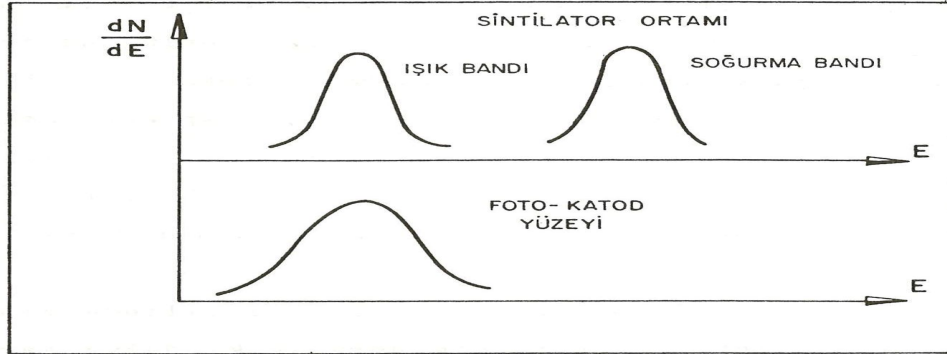
Sintilatörler, soğurma ve ışık bantlarıyla nitelendirilirler (Şekil 10). Sintilatörden ışık şeklinde yayımlanan enerji, soğrulan enerjiden düşüktür. Bu yüzden ışık bandı soğurma bandının gerisinde yer alır.



Şekil 10. Sintilatörün ışık ve soğurma bandı

Sintilatörde oluşan ışık, ışığa duyarlı bir yüzeye çarptırılarak (foto-katod yüzey) ışık enerjisi fotoelektronlara dönüştürülür. Fotoelektrik madde soğurma bandı maksimum değeri, sintilatörün ışık bandının maksimum değerine (fotoelektrik olay gereğince) uyması lazımdır (Şekil 11). Bu maksimum değerler eşitlenmediği zaman, bu eşitlik sintilatöre

başka maddeler katılarak sağlanır. Sıvı sintilatörlerde aktivatör olarak en fazla PPO ve POPOP gibi maddeler kullanılır (Altay ve Çifter, 1996).



Şekil 11. Fotoelektrik ışık bandının sintilatörün ışık bandına eşitlenmesi

İyi bir dedektörün sintilatör materyalinde aranan özellikler, şeffaflık, büyük boyutlarda kullanılabilirlik ve yüksek miktarda foton yayımlayabilme şeklinde sıralanabilir.

Sintilatör; organik sintilatörler (kristal, sıvı, plastik), inorganik sintilatörler (toz) ve gazlı sintilatörler olmak üzere 3 sınıfta incelenir.

Organik sintilatörler; kristal, sıvı ve plastik sintilatörler olmak üzere üç gruba ayrılır. Etkin organik sintilatör materyalleri aromatik bileşiklerdir. Benzenoid halkalarını oluşturan planar moleküllerinden oluşur. Organik sintilatörler uygun bileşiklerin birleşimiyle şekillenir. İnorganik ve organik sintilatörler arasındaki en önemli fark yanıtlama süresidir. İnorganik sintilatörler için yanıtlama süresi ~ 1 μ s iken organik sintilatör için 10 ns'den düşüktür. Organik kristallerin lüminisansını genişletmek için hiçbir aktivatör gerekli değildir. Aslında, hiçbir safsızlık (impurity) istenmez çünkü varlıkları ışık çıkışını azaltır. Bu nedenle kristal yapımı için kullanılan madde arıtılır. En yaygın organik kristal sintilatörler antrasen ve trans-stilben'dir. Organik sıvı sintilatörler bir ya da daha fazla çözüneni ihtiva eden bir çözücü karışımından oluşur. İyi çözücülüğe sahip bileşenler ksilen, toluen ve heksametilbenzen içerir. Sıvı sintilatörler, verimi artırmak için büyük hacimli dedektöre ihtiyaç duyulan ölçümlerde oldukça kullanışlıdır. Örnekler, düşük aktiviteli β yayıcıların sayımı (özellikle ^3H ve ^{14}C), kozmik ışınların tespiti ve NE 213 sintilatörü kullanılarak MeV mertebesindeki nötronların enerji spektrumlarının ölçümünde kullanılır. Sıvı sintilatörler böylesi ölçümler için oldukça uygundur, çünkü büyük miktarlarda kullanılabilirler (kilolitreler). Ayrıca uygun kap kullanılarak istenilen boy ve şekilde dedektörlerde kullanılabilirler. 4π geometrisini sağladıkları için algılama verimleri yüksektir. Plastik sintilatörler, sıvı organik sintilatörlerin katı çözeltisi olarak düşünülebilir. Sıvı organik sintilatörlerinkine benzer özellikler taşırlar fakat sıvılarla karşılaştırıldığında

sağladıkları avantaj kaba ihtiyaç duymamalarıdır. Plastik sintilatörler, ince fiberlerden ince levhalara kadar hemen hemen istenen her tür şekil ve boyda üretilebilirler. Su, hava ve birçok kimyasala karşı eylemsiz (inert)'dirler. Bu nedenle radyoaktif numune ile doğrudan temas halinde kullanılabilirler (Tsoulfanidis, 1995).

İnorganik sintilatörlerden en yaygın kullanılanlarına alkali metallere NaI(Tl), CsI(Tl), CaI(Na), LiI(Eu) ve CaF₂(Eu) kristalleri örnek olarak verilebilir. Parantez içindekiler safsızlık ya da aktivatördür. NaI bunlar arasında en çok kullanılanıdır (Tsoulfanidis, 1995). Foton yayınlanma olasılığını artırmak ve ışığın kendisinin soğurulmasını azaltmak için kristale aktivatör denilen küçük miktarda safsızlıklar ilave edilir. En çok kullanılan aktivatörlerden biri talyumdur ve böyle bir dedektör NaI(Tl) şeklinde gösterilir. NaI'dan 303 nm dalgaboylu ışık yayınlanırken NaI(Tl)'dan 410 nm'lik ışık yayınlanır. Dalga boyundaki morötesi bölgesinden görünür bölgeye değişim, pek çok fotoçoğaltıcı tüpün maksimum duyarlılığı ile uyuşur (Krane, 2002). NaI(Tl) sintilatörü çoğunlukla gama ışınları için kullanılan bir sintilatördür. Yarı iletken dedektörler daha iyi enerji çözünürlüğüne sahip olduğu halde büyük dedektör hacimleri gerektiği zaman NaI(Tl)'nın yerini alamazlar. CsI(Tl) sintilatörü, NaI dan daha yüksek atom numarasına ve daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Bu nedenle γ -ışınları dedeksiyonunda NaI(Tl)'dan daha yüksek verim sağlar. CsI(Na) sintilatörünün yoğunluğu ve atomik numarası CsI(Tl) ile aynıdır. Işık-dönüşüm verimi NaI(Tl)'nın yaklaşık %85'i kadardır. Emisyon spektrumu 320–540 nm arasındadır (Tsoulfanidis, 1995).

Gazlı sintilatörler soygazların karışımından oluşur ve oldukça kısa bozunma zamanları vardır. Soygazlar tarafından yayınlanan ışık ultraviyole bölgesine ait olduğu için, azot gibi diğer gazlar ana gaza dalga boyu düzenleyici olarak eklenir. Floresans maddenin ince tabakalar halinde iç tabakalara sürülmesi ile de aynı verim elde edilir. Gama dedeksiyonu için düşük verim sağlar. Ağır parçacıkların (alfalar, fisyon parçacıkları vb.) enerjilerinin ölçümünde kullanımı uygundur (Tsoulfanidis, 1995).

1.7.3. Dedeksiyon Mekanizması

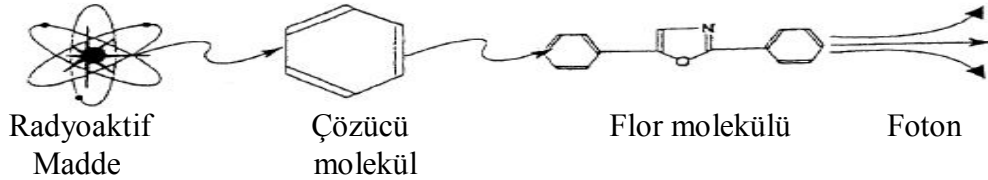
Özet olarak çalışma mekanizması şu şekildedir: Radyoaktivite seviyesi ölçülecek olan numune, plastik veya cam vial (kap) içine konur. Numune içinde radyonüklid alfa, beta veya gama ışını yayımlayarak radyoaktif bozunmaya uğramaktadır. Daha sonra vial içine üç kimyasalın karışımı olan sintilasyon çözeltisi (kokteyl) ilave edilir. Bu üç kimyasal; çözücü, emülgatör ve florudur. Bunlardan emülgatör sadece karışımdaki sıvı örneklerin

uygun bir şekilde karışımın sağlar. Çözücü ise numuneyi çözer. Numunedeki radyonüklidin yaydığı radyasyonla çözücü molekül uyarıldığında bir ışık yayınlanır. Çözücü olarak; toluen, ksilen veya alkil benzen türleri kullanılır. Yayınlanan bu ışık, kokteylin diğer bir kimyasal bileşeni olan flor tarafından soğrulur ve mavi bir ışık yayınlanır (ISP, 2011).

Beta parçacığının dedeksiyonu aşağıdaki gibi gerçekleşir:

1. Numune içindeki atom radyoaktif bozunmaya uğrar.
2. Beta parçacıkları radyoaktif bozunmayla yayınlanır.

3. Yayınlanmış beta parçacığı çözücü moleküllerini uyarır. Uyarılmış çözücü moleküller enerjilerini foton ışığı şeklinde yayınlarlar ve bu çözücü moleküller taban durumuna geri dönerler. Bu yayınlanan foton ışığının enerjisi çözünen maddeye (flor) aktarılır. Çözünen maddenin yörünge elektron bulutunun düzeni bozulur ve bu elektronlar uyarılmış duruma yükselirler. Çözünen molekülün uyarılmış yörünge elektronları taban duruma geri döndüklerinde mavi ışık yayınlarlar (Şekil 12). Nükleer bozunma olayları keV enerji mertebesi başına yaklaşık 10 foton üretirler. Enerji 5 ns gibi çok kısa zamanda tüketilir. Uyarılmış flor molekülleri tarafından üretilen toplam foton sayısı sintilasyonu oluşturur. Işığın şiddeti beta parçacığının ilk enerjisiyle orantılıdır (Altay ve Çifter, 1996; URL-1, 2011).



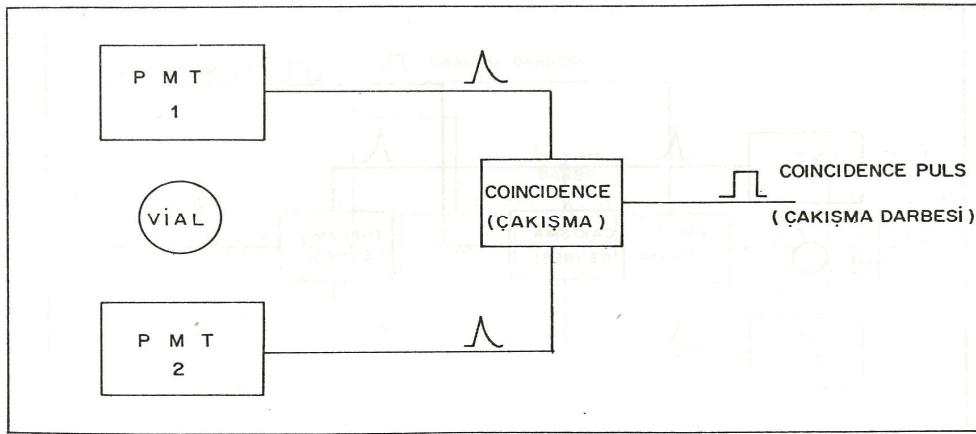
Şekil 12. Beta aktif maddenin sintilasyon mekanizması

4. Mavi ışık parıltıları PMT' deki fotokatot yüzeye çarpar (Şekil 13). Yayınlanan elektronlar mavi ışık fotonlarının sayısıyla orantılı elektrik pulsu üretirler. LSC normal olarak iki PMT' den oluşur. PMT pulsunun genliği olayın vialde gerçekleşme yerine bağlıdır. PMT' ye yakın bir yerde gerçekleşen olay, uzak bir yerde gerçekleşene göre daha yüksek puls üretir. PMT' den kaynaklanan gürültüler çakışan puls dedeksiyon sistemi ile giderilir (Şekil 14). Yani, Karşılık iki PMT, sadece fotonları aynı anda çözümlerse devre çıkışı pulsu oluşur, devrenin çözme zamanı yaklaşık 20ns'dir (çakışma devresi). Sıvı sintilatördeki radyonüklidlerin PMT' ye farklı uzaklıklarda bulunması sorunu da toplama devreleri ile yok edilir. İki PMT' de aynı anda oluşan pulslar bu devre ile toplanır ve

çıkışta oluşan pulslar toplam sintilasyon şiddetiyle orantılı olur. Bu analog puls sürekli bir spektrum oluşturur (Altay ve Çifter, 1996; URL-1, 2011).

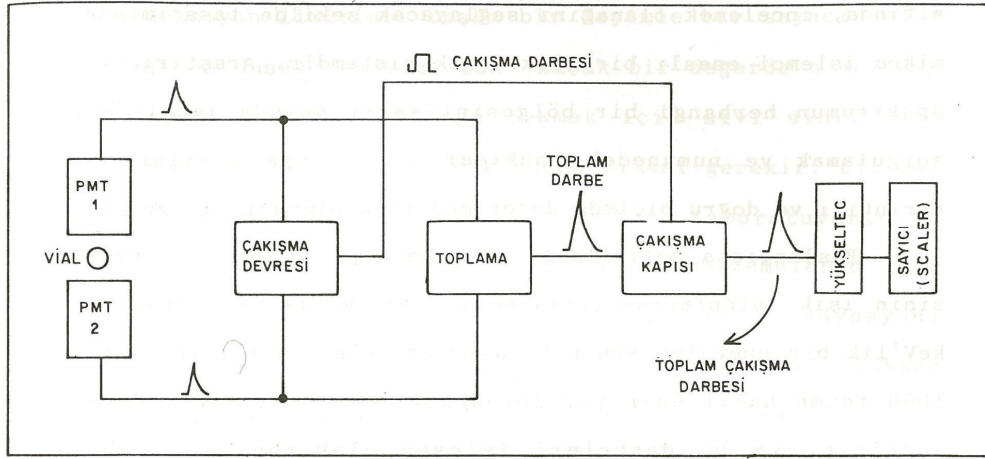


Şekil 13. Beta aktif maddenin sintilasyon ve dedeksiyon mekanizması



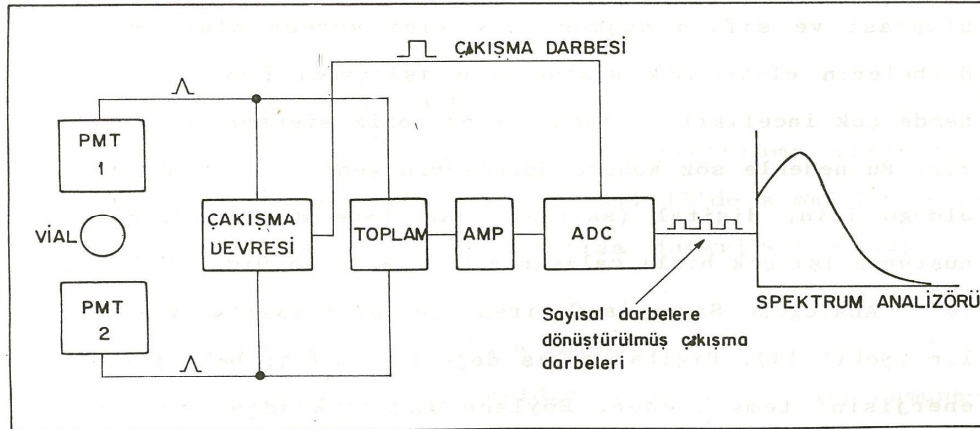
Şekil 14. Çakışan puls dedeksiyonu

5. Çakışma devresi ve toplama devresi çakışma kapısı ile birleştirilir. Pulslar yükselticiyle belli sayılabilecek seviyelere yükseltilirler ve daha sonra analog sayısal dönüştürücüye (ADC) gönderilir (Şekil 15). Elektriksel pulsun genliği burada sayısal değerlere çevrilir ve beta parçacığının enerjisini temsil eden bu sayısal değerler mukayese edilerek, LSC' deki çok kanallı analizörlerde (MCA) uygun kanallara yerleştirilirler (Altay ve Çifter, 1996; URL-1, 2011).



Şekil 15. Çakışma ve toplama devreleri şeması

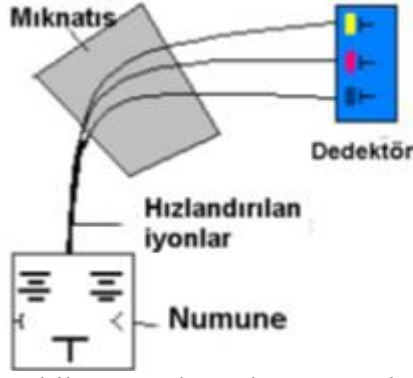
6. Her bir kanaldaki pulsların sayısı, çıktı olarak alınır veya bilgisayar ekranında görüntülenirler. Böylelikle örnek analiz edilir ve radyasyonun enerjisi veya kokteyldeki çözünmüş radyoaktif maddenin miktarı hakkındaki bilgiyi vermesi için spektrum olarak çizilebilir (Şekil 16) (URL-1, 2011).



Şekil 16. Sayım sistemi elektronığı ile oluşan pulsun gösterimi

1.8. İzotop Oranlayıcı Kütle Spektrometresi

Kütle spektrometresi, iyonlaştırılmış ölçüm gazının hız süzgecinden geçtikten sonra manyetik alan uygulanması esnasında farklı iyonların farklı dairesel yörüngeler çizerek kolektörlerde toplanması ve yükselteç ve diğer elektronik sistemler aracılığıyla ölçülmesi prensibi ile çalışır (Şekil 17) (Çifter ve Sayın, 2002).



Şekil 17. Kütle spektrometresinin çalışma prensibi

İzotop ayrışması, belirli bir bileşikteki bir elementin fiziksel bir durumdan bir diğerine geçişi ya da bir bileşikten diğerine kimyasal olarak geçişi sırasında izotopik kompozisyonunun değişmesi olarak adlandırılabilir. Bir elementin tüm izotoplarının aynı kimyasal özelliklere sahip olduğu kabul edilse de, modern kütle spektrometrelerinde yapılan ölçümler izotopların kimyasal ve fiziksel davranışlarında çok küçük de olsa farklar olduğunu ortaya koymuştur. İzotopik bileşiklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki farklılıklara kütle farkları neden olmaktadır. Bir molekülün kinetik enerjisi ($kT = \frac{mv^2}{2}$ burada; k Boltzman sabiti, T sıcaklık, m molekül kütlesi, v ortalama molekül hızı) sıcaklığa bağlı olup, daha ağır izotopik bileşikler daha az hareketlidirler. Aynı sıcaklık ortamında bulunan moleküller izotopik içeriklerinden bağımsız olarak aynı enerjiye sahiptirler. Bunun anlamı daha ağır olan moleküller daha küçük hızlara sahiptirler.

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 = \frac{1}{2} m_B v_B^2 \quad \frac{v_A}{v_B} = \left(\frac{m_B}{m_A} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{45}{44} \right)^{\frac{1}{2}} = 1.011 \quad (21)$$

Bunun sonuçları olarak;

- Ağır moleküller düşük difüzyon hızlarına sahiptir.
- Ağır moleküllerin çarpışma frekansları düşük olup daha yavaş reaksiyona girerler.

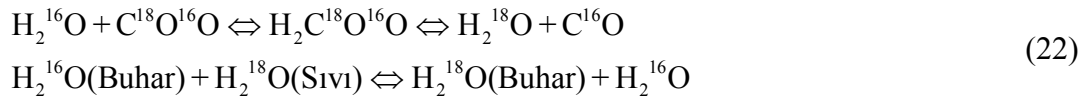
Ağır moleküller daha yüksek bağlanma enerjisine sahiptirler. İki molekül ya da iki atom arasındaki kimyasal bağda itme ve çekme kuvvetlerinin dengesi mevcuttur. İtme kuvveti iki parçacık arasındaki mesafe azaldıkça hızla artar. Çekme kuvveti mesafe azaldıkça itme kuvvetine göre daha az artar. Sonuçta iki parçacık belirli bir mesafede yerleşirler. Parçacığın bir tanesinin ayrılabilmesi çekme kuvvetini yenebilecek kinetik enerjiye sahip olması ile mümkündür. Bu enerji parçacığın bağlanma enerjisi olarak adlandırılır ve kütlesiyle ilişkili olup, ağır parçacığın bağlanma enerjisi hafif parçacığın

bağlanma enerjisinden büyüktür. Dolayısıyla hafif parçacık daha kolay bağını koparabilir. Bunun sonuçları olarak;

- $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ ve $^1\text{H}_2\text{H}^{16}\text{O}$ molekülleri $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ molekülünden daha düşük buhar basıncına sahip olması nedeniyle $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ molekülü daha kolay buharlaşır.
- Pek çok kimyasal reaksiyonda hafif olan izotoplar ağır olanlara göre daha hızlı reaksiyona girerler.

Hidrolojik çevrimde izotop kompozisyonunda meydana gelen değişiklikler kütle bağımlı olarak başlıca üç süreçle açıklanabilir.

Denge izotop ayrışması, bir aradaki moleküllerde ya da denge halinde olan fazlarda gerçekleşen izotop değiş-tokuşu olarak tanımlanabilir. Bu olay tersinir bir reaksiyondur. Bu durumda fazlardan ya da bileşiklerden bir tanesinin ağır izotop içeriğinin net olarak zenginleştiği ya da fakirleştiği söylenemez. Ancak genellikle yoğun olan faz (sıvı, buhardan yoğundur) ya da ağır olan molekül (CaCO_3 , CO_2 'den ağırdır) daha fazla ağır izotop içerir. Denge izotop ayrışması sıcaklıkla ilişkilidir ve sıcaklık arttıkça izotopik farklılıklar azalır.



Kinetik izotop ayrışması, tek yönlü kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlardır. Kinetik ayrışmada orijinal fazın ya da bileşiğin ağır izotopik içeriği fakirleşir.

Transport izotop ayrışmasında, kinetik ve denge ayrışmalarından farklı olarak moleküllerin oynadığı rol söz konusudur. Suyun izotopik türleri ($^1\text{H}_2^{16}\text{O}$, $^1\text{H}_2\text{H}^{16}\text{O}$, $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$) farklı hareket kabiliyetlerine sahiptir. Ağır izotopların davranışları ağır moleküllerde daha da belirgin hale gelir.

Farklı bileşikler ya da süreçler birbirlerine çok yakın hatta aynı izotopik kompozisyonlara sahip olabilirler ve ayrıca izotopik oranların son derece küçük değerler olmaları, Kütle spektrometrelerinin karmaşık yapıları bu bilginin sağlanmasında örnek toplanmasından sonuçların hesaplanmasına kadar geçen süreçte özen gösterilmesini gerekli kılmaktadır.

Su örneği içerisindeki izotopik oranlardaki ($^2\text{H}/^1\text{H}$ veya $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) değişimler ancak kütle spektrometreleriyle saptanabilir. Kütle Spektrometresi, basit olarak iyonları kütlelerine göre ayırarak bolluklarıyla ilişkili ölçer. Kaynak (source), uçuş tüpü (flight tube) ve kolektörden (collector) oluşur. Gaz molekülleri kaynakta iyonize edilip, elektrik alanında bir demet halinde hızlandırılarak, uçuş tüpüne ulaşıp buradaki manyetik alan

etkisiyle dairesel bir yol izleyerek kütleleriyle ilişkili yarıçaplarla saparlar. Böylece farklı kütleli iyonlar farklı kolektörlere ulaşırlar. Kolektörlere ulaşan iyonlar elektrik yüklerini kaybederler ve küçük bir akıma neden olurlar. Bu akımın şiddeti kolektöre çarpan iyon sayısı ile orantılıdır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

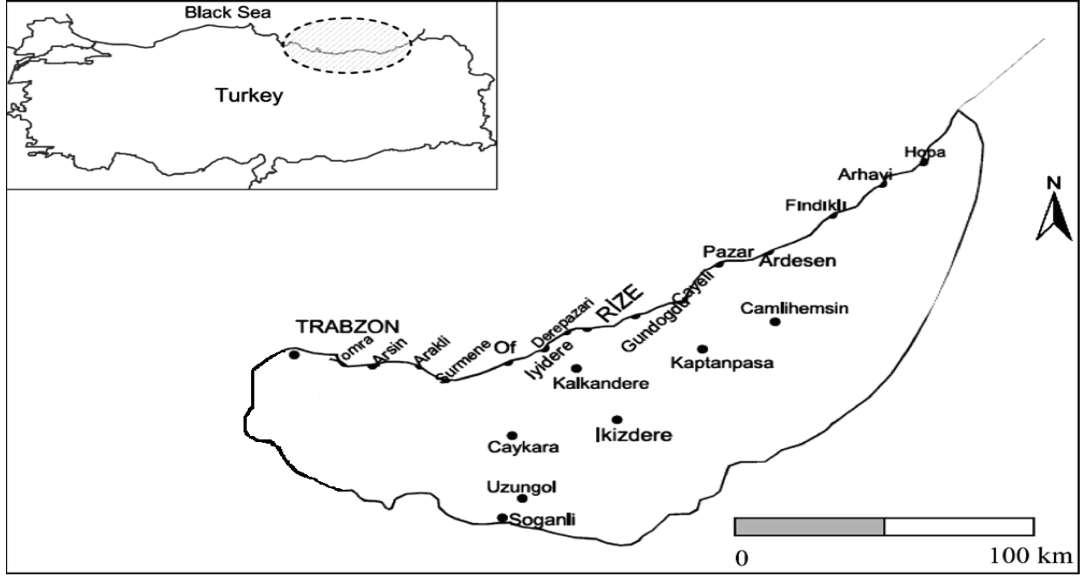
2.1. Giriş

Bu çalışmada, Rize ili ve Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki (Şekil 18) içme, mineral ve termal su örneklerinin trityum, $\delta^{18}\text{O}$ ve δD seviyeleri belirlendi.

2.2. Çalışma Bölgesi

Rize, Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan ve Karadeniz'e sahili olan bir ildir. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Rize'nin; batısında Trabzon, doğusunda Artvin, güneybatısında Bayburt, güneyinde Erzurum illeri bulunur. Türkiye'nin en çok yağış alan ilidir. En önemli ürünü çay'dır. Toplam nüfusu 319.569 olmakla birlikte; bu nüfusun 195.569'unu şehir nüfusu, 124.000'ini de köy nüfusu oluşturmaktadır. Yüzölçümü, 3.920 km^2 'dir. Rize'de yaz mevsimi ılık geçer, sonbahar ve kış mevsimleri ise yağışlı geçer. Rize'de göze çarpan yerler özellikle Ayder, Ridos ve Andon kaplıcalarıdır. Ayder yaylası, Rize'nin Çamlıhemşin ilçesinin 19 km güneydoğusunda yer alan 1.350 m rakımda ladin ve kayın ormanlarıyla kaplı bir yayladır. Kaplıca suyu 260 m derinlikten gelir ve 50 derece sıcaklıktadır. Çeşitli hastalıklara iyi geldiği söylenir. Ridos, merkezden 55 km içerdedir ve Ilıcaköy' de bulunur. Kaplıca suyu 260 m derinlikten gelir ve yaklaşık 70 derece sıcaklığa sahiptir. Kaplıca suyunun çeşitli hastalıklara iyi geldiği söylenir. Andon, yeni adıyla Küçükçayır Rize merkeze 25 km uzaklıkta bulunmakta olup Güneysu yolu üzerindeki Zincirli Köprü mevkii ve Çaykent Beldesi yolu takip edilerek gidilebilen bir yerdir. Buranın en önemli özelliği içmeler mahallesinde bulunan mineral sudur. Yedi mahalleden oluşan Andon 5.000 nüfuslu bir yerleşim birimidir.

Trabzon, Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz bölümünde yer alan merkezi bir şehirdir. Karadeniz sahili ile Zigana Dağları arasında yer almakta olup yüzölçümü açısından az bir alanı kaplar. Batısında Giresun'a bağlı Eynesil ilçesi, güneyinde Gümüşhane'ye bağlı Torul ilçesi ve Bayburt, doğusunda da Rize'ye bağlı İkizdere ve Kalkandere ilçeleri, kuzeyi Karadeniz ile çevrili antik çağ'dan beri varlığı bilinen il ve il merkezinin adıdır. Toplam nüfusu, 765.127 olup bunun 408.103'lük kısmı şehir nüfusunu oluşturmaktadır. Bölgenin en önemli ürünleri Fındık, Çay ve Hamsi'dir. Yüzölçümü, 4.685 km^2 'dir (Şekil 18).



Şekil 18. Çalışma bölgesini gösteren harita

17 adet içme suyu örneği; Fındıklı, Ardeşen, Çamlıhemşin, Pazar, Hemşin, Çayeli, Rize, Derepaşarı, İyidere, Kalkandere, İkizdere, Of, Sürmene, Araklı, Arsin, Yomra ve Güneysu' dan, 2 adet termal su örneği; Ayder ve Ridos' tan, 1 adet mineral su örneği de Andon' dan alınmıştır.

2.3. Örneklenme

Analiz için 300mL su yeterli olmasına rağmen terslikleri önlemek için 1L örnek temiz polietilen şişeye hava kabarcığı kalmayacak şekilde tamamen doldurularak laboratuvara ulaştırılmalıdır. Su numunelerine elle temas edilmemelidir, yakınında herhangi bir kirlenici madde bulunmamalıdır. Şişeler; örnek adı, örneklenme tarihi ve yerini belirtecek şekilde etiketlenmelidir. Örnekler analiz sırası gelinceye kadar +4°C' de ve güneş almayan bir yerde bekletilmelidir. Numunenin adı, alındığı tarih numuneler işleme tabi tutulmadan önce kayıt altına alınır.

Laboratuvara ulaştırılan örneğin trityum içeriğinin belirlenmesine kadar uygulanan aşamalar aşağıdaki bölümlerde kısaca özetlenmiştir, bu bölümlerde anılan analiz aşamalarında kullanılan çözelti ve standartların anlamları aşağıdaki gibidir.

Ölü su (Background = DW), trityum içermediği kabul edilen damıtılmamış zenginleştirilmemiş su örneğidir. Genel kabul her laboratuvarın kendi yakın çevresindeki trityum içeriği sıfır olan bir doğal su kaynağını “ölü su” olarak kullanması yönündedir. Bu su sadece sayım aşamasında kullanılır, hiçbir işleme tabi tutulmaz ve bize background değerini verir.

Laboratuvar standardı (DWS), radyoaktif referans sağlayan kurumlardan temin edilen stok standart çözeltilerden, laboratuvarların kendi ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde hazırladıkları trityum içeriği bilinen standart çözeltilerdir. Hiçbir kimyasal işlemlemeden geçmeden sadece sayım aşamasında kullanılır. Bize verim ve kalibrasyon faktörü değerlerini verir. Laboratuvar standardının iyi bir sayma istatistiğine sahip olabilmesi için, trityum konsantrasyonunun 15000–20000 TU civarında olması gerekmektedir

Spike (Zenginleştirmeyi kontrol standardı = RWS), damıtma ve elektroliz sonrası süreçlerde oluşacak problemleri gözlemek amacıyla kontrol amaçlı kullanılan trityum içeriği bilinen çözeltilerdir. Damıtma ve elektroliz işlemlerinden geçer ve zenginleştirme faktörünü, zenginleştirme parametresini bulmamıza yarar. Kısacası numuneyi trityum bakımından ne kadar zenginleştirdiğimizi anlamamıza olanak sağlar. Laboratuvar standardından seyreltilerek Spike olarak hazırlanan çözeltilerin trityum içeriği 1000–1500 TU arasında olması gerekir.

Trityum hesabında kullanılan spike ve laboratuvar standartlarına ait veriler Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Laboratuvar standardı ve Spike’ nin TU değerleri

Ölçüm Tarihi	04.02.2011
LAB. STD.’nin Hazırlanma Tarihi	01.08.2007
LAB. STD.’ nin İlk Konsantrasyonu, $X_{0(std)}$	24491.776 TU
LAB. STD. İçin Geçen Süre	1283 gün
Ölçüm Tarihindeki LAB. STD.’ nin Konsantrasyonu, $X_{(std-ölç)}$	20109.4170 TU
SPIKE’ nin Hazırlanma Tarihi	01.08.2007
SPIKE’ nin İlk Konsantrasyonu, $X_{0(spk)}$	1959.7339 TU
SPIKE İçin Geçen Süre	1283 gün
Ölçüm Tarihindeki SPIKE’ nin Konsantrasyonu	1609.0751 TU

2.4. Metot

2.4.1. Birinci Damıtma

Düşük sıcaklıkta ısıtılarak gaz faza geçirilen örneğin içerdiği kimyasal bileşiklerden ayrıldıktan sonra soğutulup yoğunlaştırılarak sıvı faza dönüştürülmesine damıtma denir.

Yoğuşturma işlemi sürekli çeşme suyu ile soğutulan geri soğutucular tarafından sağlanmaktadır. Amaç, sayım sırasında hatalı parıldamalara neden olabilecek kimyasal bileşikler (yabancı maddeleri ve erimiş tuzları) sudan uzaklaştırmaktır. Numuneler birinci damıtmaya alınacağı zaman aşağıdaki süreçlerden geçerler.

- Elektroliz için en az 250 mL su gerektiği için, damıtma için yaklaşık 300 mL' lik sular alınır.

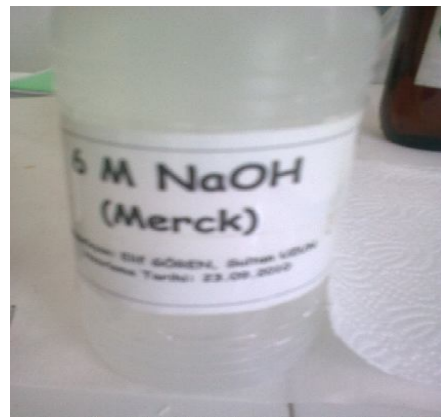
- 500 mL' lik damıtma balonlarına örneklerden yaklaşık 20 mL koyularak çalkalanır ve bu sular dökülür.

- Balon jodelere yaklaşık 300 mL konulur.

- Her bir balona, 0.05N $KMnO_4$ (Şekil 19) (ısı ile ayrılmayan organik bileşikler kimyasal olarak parçalayıp ayrılabilir duruma getirmek için, yani organik safsızlığı gidermek için) ve 6M NaOH (Şekil 20) (radyo karbon ve radyoaktif iyot gibi maddeleri uzaklaştırmak için)'tan 3 – 4 damla damlatılır ve balon jodeler iyice çalkalanır.



Şekil 19. 0.05N $KMnO_4$ çözeltisi



Şekil 20. 6M NaOH çözeltisi

- Balonlar 6 gözlü ısıtıcıya yerleştirilirler (Şekil 21).

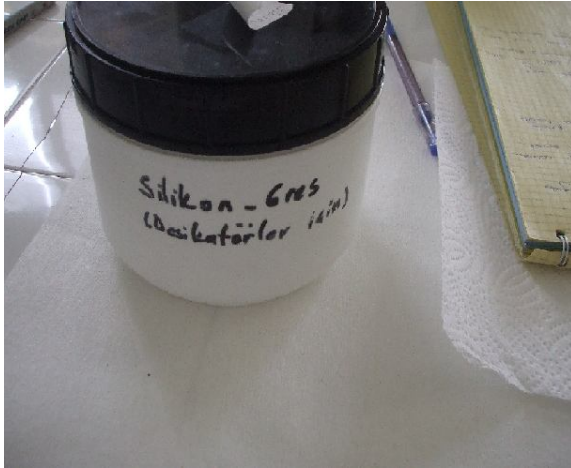


Şekil 21. Altı gözlü ısıtıcı ve balon jodelerle bağlantıları

- Balonların üzerine vigroux kolonlar (destilasyon köprüsü) takılır ve bu şekilde soğutucuya bağlanırlar.

- 250 mL' lik şilifli toplama erlenleri (nuçe erlenleri) takılır ve silikon tuzaklarla olan bağlantı hortumu yerleştirilir. Silikon yağ içeren tuzaklar numuneye dışarıdan trityum girmesini engellemek içindir.

- Damıtmadaki cam hücrelerin ve kolonların arasına, tıplarına dışarıya bir şey çıkmaması için silikon gres yağı (Şekil 22) veya vazelin sürülebilir.



Şekil 22. Silikon gres yağı

- Sistem kontrol edildikten sonra musluk (soğutucu su) açılır. Su girişi alttan üst tarafa doğru olur.

- Isıtıcıların ayarı son konuma getirilir.

- Toplama kaplarının altındaki silikon tuzaklardan çıkan hava kabarcıkları kontrol edilir (hava kabarcığının çıkması gerekir).

- Başlangıçta oluşan damıtık suyun 10–15 mL' si ile toplama kapları çalkalanır ve bu su atılır. Bundaki amaç, 100°C' nin altında kaynama noktasına sahip diğer maddeleri damıtık suyun içine dahil etmemektir. Damıtma işlemine balonda birkaç mL kalana kadar devam edilir.

- Isıtıcı ve soğutma suyu kapatılır, sistemin soğuması beklenir.

- Nuçe erlenlerinde toplanan damıtık suyun, üzeri örnek kodu ve damıtma tarihi ile etiketlenmiş kahverengi şişelere boşaltılır.

2.4.2. Elektroliz

Su içinde çözülmüş kimyasal bileşiklerin ayrılması işlemine elektroliz denir. Suyun elektrolizi ile açığa çıkan hidrojen gazındaki trityum içeriği elektrolitte kalandan az olur ve

gittikçe elektrolitteki trityum zenginleşmiş olur. Elektrolizle, yaklaşık 250 mL hacimdeki örneğin trityum içeriği yaklaşık 10–15 kat zenginleştirilip sayılabilir büyüklüğe yükseltilir.

Elektroliz sistemi; akım kaynağı, elektroliz banyosu ve soğutma sistemi gibi temel bileşenlerden oluşur (Şekil 23):

Akım kaynağı, tüm hücrelerden geçirilecek akımı üretir.

Soğutma sisteminin, elektroliz sonucu açığa çıkan hidrojen-oksijen karışımı ile taşınan buhardan dolayı numune kaybını en aza indirmek ve elektrolitin akım geçerken ısınmasını engellemek gibi görevleri vardır. Soğutma banyosundan oluşur.

Elektroliz hücreleri, elektroliz (soğutma) banyosunun içerisine yerleştirilmiş metal kutular içinde kendi bölmelerine yerleştirilir. Bu kutular donmayı engelleyici ve hücrelerde meydana gelen sıcaklıkları düşürmek için antifriz içeren su karışımıyla doldurulmuştur. Soğutma ünitesi kalın strafordan yapılmış delikli kapağa sahiptir ve 4°C' de tutulur. Elektroliz banyosunun üzerinde iç ve dış ortamın ısı akışını engellemek için nem emici olarak plastik toplar bulunur.

Karıştırıcı, banyodaki suyun homojen dağılmasını sağlar.



Şekil 23. Elektroliz sistemi (Akım kaynağı, Elektroliz banyosu)

Elektroliz seti 12 hücreden oluşur. Dolayısıyla 10 adet örnek ve 2 Spike' la çalışmak mümkündür. Bu 12 örnek hem damıtma hem de elektroliz işlemlerinden geçer.

Elektroliz hücreleri, cam hücre ve içine yerleştirilen çelik elektrottan oluşur (Şekil 24). Elektrot; koyu, yumuşak çelik olan katot'tan ve parlak, sert çelik olan anot'tan oluşur.



Şekil 24. Cam hücre, Metal elektrot

- Öncelikle teraziler sertifikalı ağırlıklarla tartılarak kalibre edilir.
- Elektroliz hücreleri, elektrotlar ve balon jöjeler numaralandırılırlar.
- Daha sonra 250 mL' lik boş balon jöjeler (Şekil 25) tıparıyla birlikte tartılırlar ve kaydedilirler.



Şekil 25. 250 mL' lik balon jöjeler ve tartı aleti

- İçlerine 1'er gr Na_2O_2 (granül ya da toz) ilave edilir ve tekrar tartılıp kaydedilirler. Na_2O_2 , damıtma sonu saflaşan suyun elektriği iyi iletebilmesi için kullanılır.

• Bu sisteme hacim seviyesine kadar yaklaşık 250 mL damıtılmış örnekler ve Spike' lar doldurulur ve tekrar tartılıp kaydedilirler. Na_2O_2 'nin iyice çözünmesini sağlamak için balon jojeler iyice çalkalanır.

• Boş elektroliz hücreleri içindeki elektrotlarıyla tartılıp kaydedilir.

• Balon jodedeki hazırlanan çözeltinin ($\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH} + 1/2 \text{O}_2$) yaklaşık 160 mL' si elektroliz hücrelerine aktarılır ve bu şekilde tartılıp kaydedilirler. Kalan yaklaşık 90 mL su $+4^\circ\text{C}$ de bekletilir.

• Bu şekilde elektroliz hücreleri soğutma banyosunda kendi yerlerine yerleştirilir ve elektroliz sırasında açığa çıkan hidrojen-oksijen gaz karışımının güvenli bir şekilde laboratuvar dışına atılması için, hücrelerin gaz çıkış başlıkları plastik hortumlarla silikon yağı bulunan tüplere bağlanır. Bütün tuzaklar birbirlerine hortumlarla bağlanmışlardır ve en son toplayıcının hortumuyla oluşan bu gaz karışımı laboratuvar dışına atılır. Bu yüzden hava kabarcığı gözlenmeyen tüplerin bağlı olduğu kablolar tekrar kontrol edilir. Hücrelerin gaz çıkış başlıkları da, elektroliz boyunca yerinden çıkmasını diye hücrelere yayla bağlanırlar (Şekil 26).



Şekil 26. Elektroliz banyosu – karıştırıcı, Hücre bağlantıları, Atık gaz çıkışı bağlantıları

• Hücreler arası elektrik akımını sağlayacak bağlantılar (-) ve (+) uçlara dikkat edilerek seri bir şekilde yerleştirilir ve $+5^\circ\text{C}$ ' ye soğutulduktan sonra elektrolize başlanır.

Elektroliz sırasında devreden geçirilecek toplam elektrik yük miktarı, Spike'ların zenginleştirme parametrelerini ve numunelerin zenginleştirme faktörlerini hesaplamada kullanılır.

$$\text{Elektroliz sırasında devreden geçirilecek toplam elektrik yük miktarı} = \sum A_i t_i \quad (23)$$

dir. Burada,

A_i :i. kademe boyunca geçen akım şiddeti (Amper),

t_i :i. kademe için geçen süre (saat)

dir.

Faraday yasasına göre, 1 eşdeğer-gram maddeyi serbest hale geçirmek için 96479 Coulomb elektrik yükü gereklidir.

1 eşdeğer gram = bir iyonun kütlesi/bir iyonun valansı' dır.

1 eşdeğer gram; H^+ için 1g, O^- için 8g' dir. Yani 1 Faraday ile 9g su ayrıştırılır.

1 Coulomb = 1 Amper x saniye,

96479 Coulomb = 26.80 Amper x saat' tır.

1g suyun elektrolizle ayrışması sonucu devreden $26.80/9 = 2.977Ah$ yük geçer.

250 mL' yi, 18 mL' ye düşürmek için toplam elektrik yük miktarı:

$$Q = (250 - 18) \times 2.977 = 690Ah' \text{ dir.} \quad (24)$$

Bu yüzden devreden elektroliz boyunca toplam 690Ah yük geçecek şekilde akım şiddeti ayarlanır.

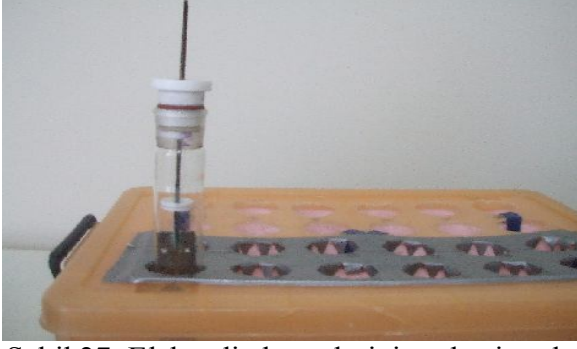
Devreden geçirilecek akım ve gerilim şiddeti şu şekilde düzenlenir:

- İlk 100Ah' lik kademe için (yaklaşık ilk 2 saat) ampermetre 2A (taşmalar olmasın diye), voltaj 45V'a ayarlanır, yaklaşık 2 saat sonra ampermetre 5A'e çıkarılır, voltajda yine 45V'a ayarlanır. Son 100Ah' lik kademe için ampermetre tekrar 2A'e ayarlanır. Ayarlanan amper-volt değerlerinin değişmemesi için arasıra kontrol edilirler.

- 5A ile çalıştırılan sistemin yaklaşık 2 gün sonraki toplam ağırlığı tartılıp elektroliz sonrası toplam ağırlık olarak kaydedilir.

- İstenilen seviyeye geldiği düşünülürse balon jöjelerde kalan yaklaşık 90mL ilave edilir ve elektroliz için ilave sonrası ağırlık olarak kaydedilir.

- Devreden toplam 690Ah yük geçtikten sonra akım otomatik olarak kesilir. Hücreler elektroliz banyosundan çıkarılır, kurulanır, lastik tıparları takılır ve tartılıp elektroliz sonrası zenginleştirilmiş toplam ağırlık olarak kaydedilir. Çıkarılan hücreler daha önce hazırlanmış elektroliz hücrelerini yerleştirmek için kullanılan çanta (Şekil 27) şeklinde hücre yuvalarına sıra ile yerleştirilip nötralizasyon için bekletilirler.



Şekil 27. Elektroliz hücrelerini yerleştirmek için kullanılan çanta

- Bu şekilde elektroliz işlemine devam edilir ve yaklaşık 250 mL elektrolit yaklaşık 18mL' ye 7 günde indirilir.
- Elektroliz işleminin ne zaman sonlanacağına arada yapılan tartımlar ve hesaplamalarla karar verilir. Tartımların hepsi elektroliz formuna kaydedilir.

2.4.3. Nötralizasyon

- Hücrelerin içindeki elektrotlar temizlik için çıkarılır.
- Buz dolu kaba (+4°C' deki) iki cam hücre konulur. Cam hücrelerin bağlantıları cam hortumlarla sağlanır. Bu iki cam hortum bir ara hortumla T şeklinde birleştirilir, ara hortum CO₂' ye diğer cam hortumlar da hücrelerin içinde olacak şekilde bağlantıları sağlanır (Şekil 28). Na₂O₂ nedeniyle oluşan bazik ortamı nötrleştirmek için CO₂ gazı verilir. Bu işleme örneklerde beyaz çökelek oluşana kadar devam edilir (yaklaşık 5–10 dk).



Şekil 28. Nötralizasyon ve çökelme işlemi

- Çökeltme oluştuktan sonra pH metre ile örnek pH'lerine bakılır (pH 7 veya 7'ye yakın olmalı).

- İşlem tamamlandıktan sonra II. Damıtmaya geçilir.

2.4.4. İkinci Damıtma

Amaç çökeli uzaklaştırmak ve damıtma ile saflaştırmanın sağlanmasına yardımcı olmaktır.

- Damıtma işlemi için 25 mL'lik damıtma balonları ve 20 mL'lik toplama tüpleri kullanılmaktadır.

- Damıtma işlemi balon jöjelere başka hiçbir şey katılmadan I. Damıtma gibi yapılır. Yaklaşık 10 dk' da işlem sona erer.

- Damıtılmış örneklerin kapları parafinle iyice kapatılır.

Hücrelerin ve cam malzemelerin temizlenmesi aşağıdaki şekilde yapılır.

- Elektroliz sonu, katotlar basınçlı, deterjanlı sıcak suyla yıkanır ve kurulamaya bırakılır, anotlar sıcak suyla fırçalanıp 105°C' deki etüvde kurutulur.

- Damıtma sonu kirlenen cam malzemeler yıkama asidinde bekletilir (1:1 HCl), sonra sırasıyla musluk suyu ve saf suyla yıkanıp etüvde kurutulurlar.

2.4.5. Viallerin Sayıma Hazırlanması

- Her bir örnek için 20 mL'lik plastik vialler hazırlanır.

- Plastik vialler kapaklarıyla tartılıp kaydedilirler.

- Mikro pipet 8 mL'ye ayarlanır.

- II. Damıtma sonu toplanan damıtık sudan 8 mL viallere konur ve bu şekilde tartılıp kaydedilirler.

- 12 mL sintilatör çözeltisi (Şekil 29) ilave edilir ve bu şekilde tekrar tartılıp kaydedilirler.



Şekil 29. Sintilatör çözeltisi

- Viallerin kapakları kapatılır. Aynı işlemler; DWS, DW ve RWS için de tekrarlanır.
- En son, vial kapaklarına isimler ve tarihler yazılır.
- Tartımlar sonu vialler iyice çalkalanıp karıştırılır ve dış yüzeyleri etil alkolle silinir.
- Örnekler termal dengeye gelmesi için 24 saat cihaz (LSC) içinde bekletilir.

2.4.6. Numunelerin Sayılması

Numuneler LSC ile sayılmadan önce; uygun enerji kanal aralığı ve numune-sintilatör oranı belirlenmelidir.

Uygun enerji kanalının belirlenmesi aşağıdaki gibi yapılır.

• Enerji kanalının seçiminde en iyi performans için şu 3 faktör çok önemlidir: Sayma Verimi (E_{ff}), Ortam Sayması (B), Değer Katsayısı ($F_M = E_{ff}^2/B$). E_{ff} ' nin en yüksek, B ' nin en düşük dolayısıyla F_M ' nin en yüksek olduğu durum en uygun koşul olacağı için tercih edilmelidir. B , MDA ile doğru orantılıdır.

$$E_{ff} = \text{cpm/dpm} = \text{dakikadaki sayım sayısı/dakikadaki bozunma sayısı}$$

$$\text{dps} = \text{dpm} \times 60 = \text{Bq/lt}$$

Elimizde ^3H ve B kaynakları olsun. Aynı miktarda sintilatörle (12 mL), aynı miktarda kaynaklar (8 mL) karıştırılıp, saydırılır ve örneğin alt eşik değeri sabit seçilip üst eşik değerleri artan miktarda değiştirilir ve bu aralıklardaki sayımların E_{ff} , B ve F_M değerlerinden uygun değer olanı belirlenir. Trityum için %60 verim bulunmalıdır yaklaşık. Kanal değerleri için en uygun değer (5–180) arası, enerji değerleri için de (5–6) keV bulunmuştur.

- Sayım 3'er tur 15 dk, 4'er tur 20 dk olabilir.

Uygun numune-sintilatör oranının belirlenmesi için de aşağıdaki işlemler yapılır.

- Aktivitesi bilinen trityum standartları ile sintilatör değişik oranlarda karıştırılıp 20 mL karışım hazırlanır ve verim değerlerine bakılır. Farklı sintilatör kullanımı aktivite de değişiklik yapmaz, ancak verim de değişiklik yapabilir. Böylelikle en uygun koşul bulunur.

- Yapılan araştırmalarda en uygun oranın, 8 mL trityum örneği ve 12 mL sintilatör ile sağlandığı görülmüştür.

Bu uygun oranlar belirlendikten sonra numunenin sayımı aşağıdaki gibi yapılır.

- Vialleri cihaza koyma sırası şu şekildedir: DW (Ölü Su = Background) + RWS (Spike) + Örnekler + DWS (Lab. Std.). Bu sıralamayla örneklerin hepsi kasetlere koyulur.

- Kasete protokol numarasını gösteren fiş (bayrak = flag) takılır ve fiş sürgüsü sola doğru itilir.

- Diğer kasetler de böyle peşi sıra dizilirler.

- Yeni bir çalışma için başka kasete başka bir protokol fişi takılabilir.

- Sistemin bilgisayarı açılır. Bilgisayardaki sayım için yüklenmiş programa takılan protokol numarası atanır. Bu şekilde istediğimiz kasetteki numuneleri bilgisayara saydırırız ve LSC yeni bir protokol fişi görmedikçe kasetlerle gelen numuneleri hep istediğimiz sayım için sayacaktır.

- Bu protokol bilgisayardan açılır ve sayımla ilgili bilgiler girilir. Viallere kaç tur atılacağı, numune ile ilgili bilgiler (yarılanma ömrü, enerji - kanal aralığı...), yapılan çalışmanın ismi, hatta yapılan çalışmanın gizlenebilmesi için çalışmaya ait şifre de girilebilir.

- İstenirse sayım sonu çıktı alınabilecek gibi ayarlama yapılabilir.

- Bu şekilde her numune için 10 tur, 60 dk; toplamda 600 dk saydırılır ve böylelikle 12 numunenin olduğu sayım yaklaşık bir hafta devam eder.

2.5. Trityum Aktivitesi Hesabı

Numunelerin trityum konsantrasyonlarının hesabı için aşağıdaki işlemler yapılır:

- Numuneler ve standartların ortalama sayma hızları hesaplanır.

- Numunelerin ve standartların ortalama net sayma hızları hesaplanır.

$$\begin{aligned} N(\text{num}) &= S(\text{num}) - B \\ N(\text{std}) &= S(\text{std}) - B \end{aligned} \quad (25)$$

Burada;

N (num) :Numunenin ortalama net sayma hızı (sayma/dakika),

S (num) :Numunenin ortalama sayma hızı (sayma/dakika),

N (std) :Lab. Std.' nin ortalama net sayma hızı (sayma/dakika),

S (std) :Lab. Std.' nin ortalama sayma hızı (sayma/dakika),

B :Background numunesinin ortalama sayma hızı (sayma/dakika),

- F Kalibrasyon faktörü hesaplanır.

Kalibrasyon faktörü, yani kullanılan sıvı sintilasyon sayma sisteminde 1 cpm' lik saymanın kaç trityum birimine (TU) karşılık geldiği, Laboratuvar standardından hazırlanmış numunelerin sayılmasıyla bulunur. Laboratuvar standardı ölçüm setine bu amaçla konulmaktadır.

Kalibrasyon faktörü aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$F \text{ (TU / cpm)} = \frac{X \text{ (std - ölç)}}{N \text{ (std)}} \quad (26)$$

Burada;

F :Sayılan Lab. Std.' den elde edilen kalibrasyon faktörü (hassasiyet faktörü) (TU/cpm),

X (std-ölç):Lab. Std.' nin ölçüm tarihindeki konsantrasyonu (TU),

N (std) :Lab. Std.' nin net sayma hızı (sayma/dak.)

- Spike' ler için Zenginleştirme faktörleri hesaplanır.

Doğal sularda trityum konsantrasyonu düşük olduğu için numuneler elektroliz yoluyla trityum bakımından zenginleştirilmekte ve sayımları ondan sonra yapılmaktadır. Gerçek trityum konsantrasyonun belirlenmesi için ne kadar zenginleştirme yapıldığının belirlenmesi gerekmektedir.

Hücrelerin zenginleştirme faktörlerinin belirlenmesi için elektroliz sırasında kullanılan Spike hücrelerinin zenginleştirme faktöründen yararlanılır. Spike' lar için zenginleştirme faktörünün bağıntısı aşağıdaki şekilde verilir.

$$Z(\text{spk}) = \frac{N(\text{spk}) \times F \times \frac{X_0(\text{std})}{X_0(\text{spk})}}{X(\text{std - ölç})} \quad (27)$$

Bu denklemde;

Z (spk) :Spike' lar için zenginleştirme faktörü,

N (spk) :Zenginleştirilmiş Spike' nin ortalama net sayma hızı (sayma/dakika),

X₀ (std) :Lab. Std.' nin hazırlandığı tarihteki trityum konsantrasyonu (TU),

X₀ (spk) : Spike' nin hazırlandığı tarihteki trityum konsantrasyonu (TU),

- Z (spk 1) ve Z (spk 2)' nin hesaplanması yardımıyla Z_{ort}' a bulunur.

$$Z_{ort} = \frac{Z(\text{spk 1}) + Z(\text{spk 2})}{2} \quad (28)$$

Burada;

Z_{ort} :Spike'lerden hesaplanan ortalama zenginleştirme faktörü,

$Z(\text{spk 1})$:Spike 1 için zenginleştirme faktörü,

$Z(\text{spk 2})$:Spike 2 için zenginleştirme faktörü'dür.

• Spike'ler için P Zenginleştirme parametresi hesaplanır.

Spike hücrelerinden hesaplanan ortalama zenginleştirme faktörünün değeri, aşağıdaki denklemde yerine konarak her bir Spike doldurulmuş hücre için zenginleştirme parametresi bulunur.

$$P = \frac{2.977}{Q} \times \frac{(W_i - W_f) \times \ln Z_{ort}}{\ln \left(\frac{W_i}{W_f} \right)} \quad (29)$$

Yukarıdaki denklemde;

P :Spike'lerin zenginleştirme parametreleri,

Q :Elektroliz sırasında geçmesi gereken Amper x saat değeri,

W_i :Spike su numunelerinin başlangıç kütlesi (g),

W_f : Spike su numunelerinin elektroliz sonundaki kütlesi (g),

• P_1 ve P_2 'nin hesaplanmasıyla P_{ort} ' a bulunur.

$$P_{ort} = \frac{P(\text{spk1}) + P(\text{spk2})}{2} \quad (30)$$

Burada,

P_{ort} :Spike'lerden hesaplanan ortalama zenginleştirme parametresi,

P_{spk1} :Spike 1 için zenginleştirme parametresi,

P_{spk2} :Spike 2 için zenginleştirme parametresi'dir.

• Numunelerin Z Zenginleştirme faktörleri hesaplanır.

Numune konulmuş hücreler için P_{ort} kullanılarak zenginleştirme faktörleri her numune için bulunur.

$$Z = e^{\frac{P_{ort} \times Q}{(W_i - W_f) \times 2.977} \times \ln \left(\frac{W_i}{W_f} \right)} \quad (31)$$

Bu denklemde,

Z :Numunelerin zenginleştirme faktörü,

P_{ort} :Spike'lerin ortalama zenginleştirme parametresi,

W_i :Su numunelerinin başlangıç kütlesi (g),

W_f :Su numunelerinin elektroliz sonundaki kütlesi (g).

• Numunelerin ölçüm yapıldığı tarihteki A (TU) trityum konsantrasyonları hesaplanır.

Yukarıda bulunan F, N (num) ve Z değerleri aşağıdaki denklemde yerine konularak numunelerin ölçüldüğü tarihteki trityum konsantrasyonları hesaplanır.

$$A \text{ (TU)} = \frac{N \text{ (num)} \times F}{Z} \quad (32)$$

Burada;

A (TU) :Numunenin ölçüm yapıldığı tarihteki trityum konsantrasyonu (TU).

• Numunelerin alındığı tarihteki konsantrasyonu hesaplanır.

Yukarıdaki son denklem yardımıyla numunelerin alındığı tarihteki gerçek konsantrasyonları radyoaktif bozunma bağıntısına göre hesaplanır.

$$A_0 = A \times e^{\lambda t}, \quad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad (33)$$

A_0 :Numunenin alındığı tarihteki trityum konsantrasyonu (TU),

λ :Bozunma sabiti,

$t_{1/2}$:Trityum'un yarılanma ömrü (12.35 yıl),

t :Numunenin alındığı tarihle ölçüm yapılan tarih arasındaki süre'dir.

2.6. Trityum Hata Hesabı

Doğru ölçüm yapmak için hataların giderilmesi veya en aza indirilmesi gerekir. Hata, gözlenen değer doğru değerden sapması olarak tanımlanabilir.

Numunelerin trityum konsantrasyonundaki hata hesabı için aşağıdaki işlemler yapılır:

• Kalibrasyon faktörü F' nin yüzde hatası hesaplanır.

$$\sigma_{\%F} = \sqrt{\left(\frac{\sigma \text{ (std)}}{N \text{ (std)}} \times 100 \right)^2 + 1} \quad (34)$$

Bu denklemde;

$\sigma_{\%F}$:Sayılan Lab. Std.'den elde edilen kalibrasyon faktörünün yüzde hatası,

$\sigma \text{ (std)}$: Lab. Std.' den elde edilen hata'dır.

• Lab. Std.' den elde edilen hata hesaplanır.

$$\sigma(\text{std}) = \frac{s(\text{std})}{\sqrt{n}}, \quad s(\text{std}) = \sqrt{\frac{(\sum d_i)^2}{n}}, \quad d_i = X_i - \bar{X} \quad (35)$$

Bu denklemde;

$s(\text{std})$:Lab. Std.'deki sayımlardan elde edilen standart sapma,

n :Lab. Std.'nin sayılma sayısı,

d_i :Lab. Std.'nin ilgili sayımı ile ortalama sayımı arasındaki sapma,

X_i :Lab. Std.'nin ilgili sayım değeri,

\bar{X} :Lab. Std. sayımlarının ortalama değeri'dir.

• Numunenin ortalama net sayma hızındaki hatası bulunur.

$$\sigma_{N(\text{num})} = \sqrt{(\sigma_{S(\text{num})})^2 + (\sigma_B)^2} \quad (36)$$

Bu denklemde;

$\sigma_{N(\text{num})}$:Numunenin ortalama net sayma hızı hatası,

$\sigma_{S(\text{num})}$:Numunenin ortalama sayma hızı hatası,

σ_B :Background numunesinin ortalama sayma hızı hatası,

• Numunenin ve background numunesinin ortalama sayma hızındaki hatalar hesaplanır.

$$\sigma_{S(\text{num})} = \frac{s(\text{num})}{\sqrt{n}}, \quad s(\text{num}) = \sqrt{\frac{(\sum d_i)^2}{n}}, \quad d_i = X_i - \bar{X} \quad (37)$$

$$\sigma_B = \frac{s(B)}{\sqrt{n}}, \quad s(B) = \sqrt{\frac{(\sum d_i)^2}{n}}, \quad d_i = X_i - \bar{X} \quad (38)$$

Bu denklemde;

$s(\text{num})$:Numunelerin sayımlarından elde edilen standart sapma,

$s(B)$:Background numunesindeki sayımlardan elde edilen standart sapma,

n :İlgili numunenin veya backgroundun sayılma sayısı,

d_i :İlgili numunenin veya backgroundun sayımı ile ortalama sayımları arasındaki sapma,

X_i :Numune veya background' un ilgili sayım değerleri,

\bar{X} :Numune veya background sayımlarının ortalama değerleri'dir.

• Sayılan Lab. Std.'den elde edilen Kalibrasyon faktörü'ndeki hata değeri hesaplanır.

$$\sigma_F = \frac{F \times \sigma_{\%F}}{100} \quad (39)$$

Bu denklemde;

σ_F : Sayılan Lab. Std.' inden elde edilen kalibrasyon faktörünün hatası'dır.

• Numunelerin Zenginleştirme faktöründeki hata hesaplanır.

$$\sigma_Z = \sqrt{\left(\frac{(P_{Spk1} - P_{ort})^2 + (P_{Spk2} - P_{ort})^2}{n-1} \right)} \quad (40)$$

Bu denklemde;

σ_Z : Zenginleştirme faktörünün hatası,

n : Spike adetidir.

• Bulunan $\sigma_{\%F}$, $\sigma_{N(num)}$, σ_F , σ_Z değerleri yardımıyla numunenin ölçüm tarihindeki trityum konsantrasyonundaki hata değeri bulunur.

$$\sigma_A = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\%F}}{Z} \right)^2 \times (\sigma_{N(num)})^2 + \left(\frac{S_{(num)}}{Z} \right)^2 \times (\sigma_F)^2 + \left(\frac{N_{(num)} \times F}{Z^2} \right)^2 \times (\sigma_Z)^2} \quad (41)$$

Bu denklemde;

σ_A : Numunenin ölçüm tarihindeki trityum konsantrasyonundaki hata' dır.

• Numunenin alındığı tarihteki trityum konsantrasyonundaki hata değeri bulunur.

$$\sigma_{A_0} = \sigma_A \times e^{\lambda \times t}, \quad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad (42)$$

Bu denklemde;

σ_{A_0} : Numunenin alındığı tarihteki trityum konsantrasyonundaki hata,

λ : Bozunma sabiti,

$t_{1/2}$: Trityumun yarılanma ömrü (12.35 yıl),

t : Numunenin alındığı tarihle ölçüm yapılan tarih arasındaki süre'dir.

• Aktivite hatasıyla birlikte verilir.

Sonuç : $(A_0 \pm \sigma_{A_0})$

Trityum aktivitesi ve hata hesabına yönelik sayısal örnek Ek 1'de verilmiştir.

2.7. İzotop Oranlayıcı Kütle Spektrometresiyle Ölçümlerin Alınması

1. Örneğin araziden uygun bir şekilde alınması ölçüm sonucunun sağlıklı olması açısından çok önemlidir. Alınan örneğin kaynağı temsil ettiği varsayılır. 1 litrelik çift kapaklı bir plastik şişe uygundur. Şişe, örnek su ile çalkalandıktan sonra üzerinde hava boşluğu kalmayacak şekilde tam olarak doldurulmalıdır. Kapaklar sıkı bir şekilde

kapanmalıdır. Örnekler laboratuvara ulaştırılana kadar serin bir yerde korunmalı, buharlaşma olmaması için özen gösterilmelidir.

Şişenin üzerine; örneğin alınma tarihi, proje adı ve örnek adı, örnek alınan yerin adı ve lokasyonun koordinatları yazılabilir.

Kaynaktan alınacak suyun gözeden çıkıyor olması gerekir. Göllelenmiş, buharlaşmaya maruz kalmış sudan örnek alınmamalıdır.

2. Gelen su örneklerinin δD ve $\delta^{18}O$ değerlerini belirlemek için, örnekler ve standartlardan oluşan bir set oluşturulur. Standartlar, örneklerin gerçek değerlerinin hesaplanması ve sistemin kararlılığının izlenmesi için sete konur. Kullanılan standartlar IAEA' nın dağıtımını yaptığı sertifikalı uluslararası SLAP, GISP, VSMOW (Standart Light Antarctic Precipitation, Greenland Icesheet Precipitation, Vienna Standart Mean Ocean Water) ve bu standartların dışında laboratuvar tarafından belirlenen yerel standartlar ATW, HLW' dir (Ankara Tap Water, Hard Lake Water) (Tablo). Kullanılan standartlar ölçülen numunelerin ölçüm aralığını kapsamalıdır. Örneğin Türkiye' deki suların $\delta^{18}O$ değerleri yaklaşık olarak +3 ile -20 arasında olduğu yaklaşımla değerlendirirsek, en az bir standart -20 ya da daha düşük, bir standart +3 ya da daha yüksek, bir standardın da bunların ortalaması olması idealdir.

Tablo 5. Kararlı izotop laboratuvarlarında kullanılan standartlar

Standart	δD	$\delta^{18}O$
VSMOW	0.00	0.00
SLAP	-428.00	-55.50
GISP	-189.50	-24.80
ATW	-67.02	-10.02
HLW	-32.45	-2.73

DSİ Kararlı İzotop Laboratuvarında örnekleri ölçüme hazırlarken, aynı set içerisinde, yerel standartlardan (Tablo 5) ATW ve HLW, uluslararası standartlardan GISP, SLAP, SMOW' den herhangi ikisi olmak üzere en az 4 standart kullanılır. Laboratuvara gelen örnekler ve kullanılan standartlardan, 200 μl alınarak maksimum 60 numunelik ölçüm seti aşağıdaki adımlara göre hazırlanır.

• Tekrarlanabilirliği görmek çok önemli olduğundan her bir örnek en az üç kez aynı sete konur. Cihazdan kaynaklanabilecek hatalar, örnek hazırlamadan gelebilecek hatalar nedeniyle aynı örneğin ölçüm sonuçları arasında farklar olabilir (Mook, 2000).

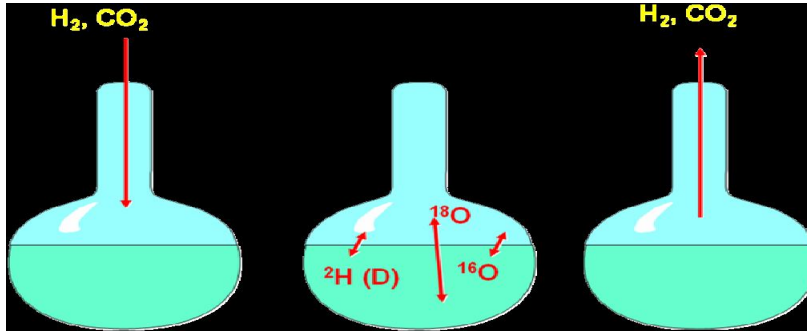
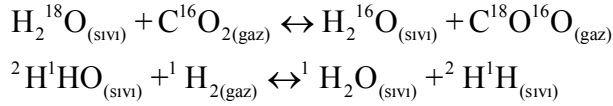
- Aynı örnek başa, ortaya, sona olacak şekilde üç kez ölçülecek şekilde sete yerleştirilir. Böylece zamanla (bir setin ölçüm süresi: yaklaşık 30 saat) ortaya çıkabilecek hatalar maskelenmemiş olur (Gröning ve ark., 2008).

- 60 örnek kapasiteli bir sette mesela 2 GISP, 2 SLAP, 3 ATW, 3 HLW gibi en az 10 tane standart kullanılır. Setin içindeki standartlar başa ya da sona toplu halde konmaz, setin içine dağıtılarak örnekler gibi ölçülmesi sağlanır.

- δD ölçümü için örnekler hazırlanırken katalizör kullanılır. Her vialin içine su örneği ile birlikte bir katalizör konur. Viallerin kapakları su örnekleri konduktan sonra sızdırmazlık sağlayacak biçimde sıkıca kapatılır.

- Bu şekilde hazırlanan set analiz için sistemdeki örnek hücresi birimlerine yerleştirilir.

Örnekler hücelere konduktan hemen sonra viallerin içindeki hava vakumlanır ve viallere δD için hidrojen gazı, $\delta^{18}O$ için CO_2 gazı doldurulur. Gaz ve su arasındaki dengelenme reaksiyonu için, örnek hücre tablası $40^\circ C$ sabit sıcaklıkta olup aşağıdaki dengeleme reaksiyonları gerçekleşir (Şekil 30). Bu sıcaklıkta δD analizi için 4 saat, $\delta^{18}O$ analizi için 8 saat beklenir. Böylece örnek hazırlama süreci tamamlanmıştır.

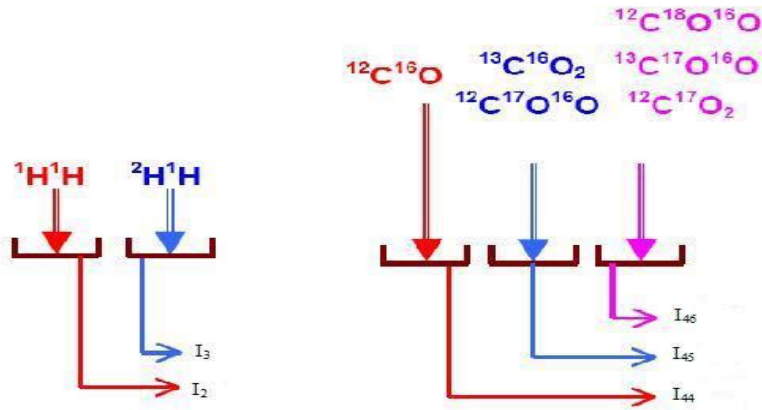


Şekil 30. Viallerde gerçekleşen gaz-su dengeleme reaksiyonu

Ancak gaz ve suyun denk olan bu değeri suyun izotopik değeri değildir. Bu dengelenme sırasında su bir miktar buharlaşmıştır çünkü dengeleme sıcaklığı $40^\circ C$ dir ve suda olan izotoplar gazda da vardır. Aslında ayrışma (fractionation) gerçekleştiğinden, bu durumu düzeltmek için gaz ve buhar karışımı vialden alınıp $-90^\circ C$ lik bir tuzakta bekletilerek gaz buhardan ayrıştırılır. Bu gaz Dual Inlet' teki örnek körüğüne, dengelemede kullanılan referans gaz da Dual Inlet' teki referans körüğüne alınır. Körüklerde tutulan gaz

sıkıştırılarak ya da genişletilerek ölçüm için uygun sinyal elde edilir. Kütle Spektrometrelerinde suyun doğrudan ölçümü çeşitli problemlere yol açmaktadır. Bu problemlerden en başta geleni suyun metale yapışması (adhesion) nedeniyle hafıza etkisinin (memory effect) oluşmasıdır. Yani, su örneği sistemden temizlenememesi nedeniyle bir sonraki su örneğinin sonucuna katkı yapmaktadır. Bu nedenle Dual Inlet' te olduğu gibi su ile izotopik olarak dengelenmiş gaz kullanmak daha uygundur.

Örnek ve referans gazları sırasıyla Dual Inlet sisteminin temel birimi olan, taşınan gazın iyonize edildiği ve kolektörlerde ölçüldüğü çok düşük basınçlı (10^{-8} mbar) bir ortam olan Isoprime' ye gönderilir. Gazlar, basınç etkisiyle Dual Inlet' ten Isoprime' deki iyon kaynağına ulaşırlar. Bu gaz molekülleri bir filamentten yayılan elektronlarla iyonize edilirler ($e^- + M \rightarrow M^+ + 2e^-$). İyonlar kaynaktan elektrik alanların etkisiyle ayrılarak ($qV = \frac{1}{2}mv^2$) manyetik alana girerler ve kütleleri ile ilişkili olarak saparlar. Farklı kütleli iyonlar farklı kolektörlerde toplanırlar (Şekil 31). Kolektöre ulaşan iyonların miktarı ile ilişkili olarak meydana gelen akım izotopik oranların elde edilmesini sağlar.



Şekil 31. Gaz moleküllerinin kolektörde dağılımı

3. BULGULAR

Önceki bölümde anlatılan yöntemlerle, Rize ili ve Trabzon ilinin bazı ilçelerinden alınan içme, termal ve mineral sularında trityum, $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri belirlenerek, sonuçlar tablolar halinde verilmiştir.

3.1. Rize İli İçme Sularında Belirlenen Trityum Seviyeleri

Rize ili ve Fındıklı, Ardeşen, Çamlıhemşin, Pazar, Hemşin, Çayeli, Derepazarı, İyidere, Kalkandere, İkizdere ve Güneysu ilçelerinden alınan 12 içme suyu örneğinin trityum değerleri Tablo 6'da gösterilmektedir.

Tablo 6. Rize ili içme sularında belirlenen trityum seviyeleri

Su Tipi	Alınan Yerler	Tarih	TU
İçme Suyu	Fındıklı	30.10.2010	7.38 ± 0.14
	Ardeşen	30.10.2010	7.47 ± 0.15
	Çamlıhemşin	05.01.2011	7.35 ± 1.10
	Pazar	30.10.2010	7.29 ± 0.14
	Hemşin	05.01.2011	7.60 ± 1.10
	Çayeli	05.01.2011	9.70 ± 1.25
	Rize Merkez	30.10.2010	8.14 ± 0.15
	Derepazarı	31.10.2010	6.66 ± 0.13
	İyidere	06.01.2011	7.85 ± 1.10
	Kalkandere	06.01.2011	7.45 ± 1.10
	İkizdere	06.01.2011	7.20 ± 1.10
	Güneysu	06.01.2011	6.64 ± 0.70

Rize ilinden alınan 12 içme suyu örneğinin trityum konsantrasyonları 6.64 TU (Güneysu) ile 9.70 TU (Çayeli) aralığında değişmektedir. Rize ili içme sularının ortalama trityum değeri ise 7.56 TU'dur.

Trityum değerlerine göre Rize ili içme suyu örnekleri 2 grupta toplanabilir. Trityum değeri 1–8 TU arasında olan; Fındıklı, Ardeşen, Çamlıhemşin, Pazar, Hemşin, Rize, Derepazarı, İyidere, Kalkandere, İkizdere ve Güneysu suları güncel ve eski sular karışımı olarak düşünülebilir. Sadece trityum değeri 9 TU'dan büyük olan Çayeli suyu yeni (güncel) su olarak nitelendirilebilir.

3.2. Trabzon İlinin Bazı İlçelerindeki İçme Sularında Belirlenen Tritiyum Seviyeleri

Trabzon ilinin Of, Sürmene, Araklı, Arsin ve Yomra ilçelerinden alınan 5 içme suyu örneğinin trityum değerleri Tablo 7’de gösterilmektedir.

Tablo 7. Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme sularında belirlenen trityum seviyeleri

Su Tipi	Alınan Yerler	Tarih	TU
İçme Suyu	Of	06.01.2011	7.45 ± 1.10
	Sürmene	06.01.2011	8.05 ± 1.15
	Araklı	06.01.2011	6.65 ± 1.05
	Arsin	06.01.2011	6.95 ± 1.05
	Yomra	06.01.2011	7.45 ± 1.10

Trabzon ilinin bazı ilçelerinden alınan 5 içme suyu numunesinin trityum konsantrasyonları 6.65 TU (Araklı) ile 8.05 TU (Sürmene) aralığında değişmektedir. Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme sularının ortalama trityum değerleri ise 7.31 TU’dur.

Tritiyum değeri yaklaşık 1–8 TU arasında olan; Of, Sürmene, Araklı, Arsin ve Yomra içme suyu örnekleri, güncel ve eski sular karışımı olarak düşünülebilir.

3.3. Mineral ve Termal Sularda Belirlenen Tritiyum Seviyeleri

Andon’dan alınan 1 adet mineral su ile Ayder ve Ridos’tan alınan 2 adet termal su örneğinin trityum değerleri Tablo 8’de gösterilmektedir.

Tablo 8. Mineral ve termal sularda belirlenen trityum seviyeleri

Su Tipleri	Alınan Yerler	Tarih	TU
Mineral Su	Andon	06.01.2011	0.45 ± 0.65
Termal Su	Ayder	30.10.2010	8.10 ± 1.15
	Ridos	06.01.2011	3.25 ± 0.80

Rize ilinden alınan termal suların ortalama trityum değeri 5.68 TU, mineral suyun trityum değeri ise 0.45 TU’dur.

Tritiyum değerlerine göre mineral ve termal sular 3 grup altında toplanabilir. Tritiyum değeri 1 TU’dan küçük olan Andon mineral suyunun en az 50 yıllık (pre-modern) ve çok derin dolaşıma sahip su olduğu düşünülebilir. Tritiyum değeri yaklaşık 1–8 TU arasında olan Ayder termal suyu güncel ve eski sular karışımı olarak düşünülebilir. Tritiyum değeri yaklaşık eşit 3 olan Ridos termal suyunun da modern ve 30–40 yıllık geçmişe sahip olduğu söylenebilir.

3.4. Rize İli İçme Sularında Belirlenen $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası Değerleri

Rize ili ve Fındıklı, Ardeşen, Çamlıhemşin, Pazar, Hemşin, Çayeli, Derepazarı, İyidere, Kalkandere, İkizdere ve Güneysu ilçelerinden alınan 12 içme suyu örneğinin $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerleri Tablo 9’da gösterilmektedir.

Tablo 9. Rize ili içme sularında belirlenen $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerleri

Su Tipi	Alınan Yerler	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$	δD	d-fazlası
İçme Suyu	Fındıklı	30.10.2010	-11.21 ± 0.32	-74.07 ± 0.55	15.61
	Ardeşen	30.10.2010	-11.40 ± 0.15	-73.70 ± 0.12	17.50
	Çamlıhemşin	05.01.2011	-11.03 ± 0.17	-70.74 ± 0.71	17.50
	Pazar	30.10.2010	-10.21 ± 0.13	-62.66 ± 0.72	19.02
	Hemşin	05.01.2011	-10.30 ± 0.30	-64.95 ± 0.74	17.45
	Çayeli	05.01.2011	-11.08 ± 0.18	-70.50 ± 1.09	18.14
	Rize Merkez	30.10.2010	-11.23 ± 0.16	-70.63 ± 1.09	19.21
	Derepazarı	31.10.2010	-11.53 ± 0.17	-70.71 ± 1.02	21.53
	İyidere	06.01.2011	-11.57 ± 0.01	-69.92 ± 0.15	22.64
	Kalkandere	06.01.2011	-10.74 ± 0.21	-70.10 ± 0.81	15.82
	İkizdere	06.01.2011	-12.47 ± 0.16	-82.21 ± 0.42	17.55
	Güneysu	06.01.2011	-11.04 ± 0.26	-72.96 ± 0.96	15.36

Rize ilinden alınan 12 içme suyu örneğinin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri; $\delta^{18}\text{O}$ için -12.47 (İkizdere) ile -10.21 (Pazar) aralığında ve δD için -82.21 (İkizdere) ile -62.66 (Pazar) aralığında değişmektedir. Rize ili içme suyu örneklerinin ortalama $\delta^{18}\text{O}$ değeri -11.15, ortalama δD değeri ise -71.10’dur.

Rize ilinden alınan 12 içme suyu örneğinin d-fazlası değerleri 15.36 (Güneysu) ve 22.64 (İyidere) aralığında değişmektedir. Rize ili içme suyu örneklerinin ortalama d-fazlası değeri ise 18.11’dir.

Döteryum fazlası değeri buharlaşmanın fazla olduğu bölgelerde daha pozitif değerlere ulaşır. Küresel meteorik su doğrusunun d-fazlası değeri 10’ dur. Buna göre, Derepazarı ve İyidere içme sularında diğer içme suyu örneklerine göre daha fazla buharlaşma olduğu görülmektedir.

Döteryum fazlası değerlerinin düşük olduğu (10’un altında) bölgelerde daha çok karasal kökenli yağışlar gözlenirken, yüksek olduğu yerlerde de denizel kökenli yağışlar gözlenir. Ayrıca, yüksek rakımlı bölgelerde d-fazlası değerleri düşük değerler alırken, Akdeniz bölgesi gibi düşük rakımlı bölgelerde yüksek değerler alırlar (d = 22). Buna göre,

özellikle İyidere ve Derepazarı içme sularının Akdeniz kaynaklı yağışlardan beslendiği söylenebilir.

3.5. Trabzon İlinin Bazı İlçelerindeki İçme Sularında Belirlenen $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası Değerleri

Trabzon ilinin Of, Sürmene, Araklı, Arsin ve Yomra ilçelerinden alınan 5 içme suyu örneğinin $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerleri Tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 10. Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme sularında belirlenen $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerleri

Su Tipi	Alınan Yerler	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$	δD	d-fazlası
İçme Suyu	Of	06.01.2011	-10.44 ± 0.07	-65.32 ± 0.66	18.20
	Sürmene	06.01.2011	-9.74 ± 0.30	-62.41 ± 0.55	15.51
	Araklı	06.01.2011	-10.05 ± 0.04	-65.32 ± 0.67	18.68
	Arsin	06.01.2011	-10.20 ± 0.13	-63.05 ± 0.61	18.55
	Yomra	06.01.2011	-10.46 ± 0.36	-63.35 ± 0.70	20.33

Trabzon ilinin bazı ilçelerinden alınan 5 içme suyu örneğinin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri; $\delta^{18}\text{O}$ için -10.46 (Yomra) ile -9.74 (Sürmene) aralığında ve δD için -65.32 (Of ve Araklı) ile -62.41 (Sürmene) aralığında değişmektedir. Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme suyu örneklerinin ortalama $\delta^{18}\text{O}$ değeri -10.18, ortalama δD değeri ise -63.89'dur.

Trabzon ilinin bazı ilçelerinden alınan 5 içme suyu örneğinin d-fazlası değerleri 15.51 (Sürmene) ve 20.33 (Yomra) aralığında değişmektedir. Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme suyu örneklerinin ortalama d-fazlası değeri 18.25'tir.

Döteryum fazlası değerlerine göre, Yomra içme suyu örneğinde diğer içme suyu örneklerinden daha yüksek buharlaşma olduğu ve özellikle bu suyun Akdeniz kaynaklı yağışlardan beslendiği söylenebilir.

3.6. Mineral ve Termal Sularda Belirlenen $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası Değerleri

Andon'dan alınan 1 adet mineral su ile Ayder ve Ridos'tan alınan 2 adet termal su örneğinin $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerleri Tablo 11'de gösterilmektedir.

Tablo 11. Mineral ve termal sularda belirlenen $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerleri

Su Tipleri	Alınan Yerler	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$	δD	d-fazlası
Mineral Su	Andon	06.01.2011	-11.05 ± 0.28	-71.84 ± 0.58	16.56
Termal Su	Ayder	30.10.2010	-14.09 ± 0.23	-91.99 ± 0.33	20.73
	Ridos	06.01.2011	-12.37 ± 0.29	-98.50 ± 0.49	0.46

Rize ilinden alınan 1 mineral ve 2 termal su örneğinin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri; $\delta^{18}\text{O}$ için -14.09 (Ayder) ile -11.05 (Andon) aralığında ve δD için -98.50 (Ridos) ile -71.84

(Andon) aralığında değişmektedir. Rize ili termal su örneklerinin ortalama $\delta^{18}\text{O}$ değeri -13.23, δD değeri ise -95.25'tir. Mineral suyun $\delta^{18}\text{O}$ değeri -11.05, δD değeri ise -71.84'tür.

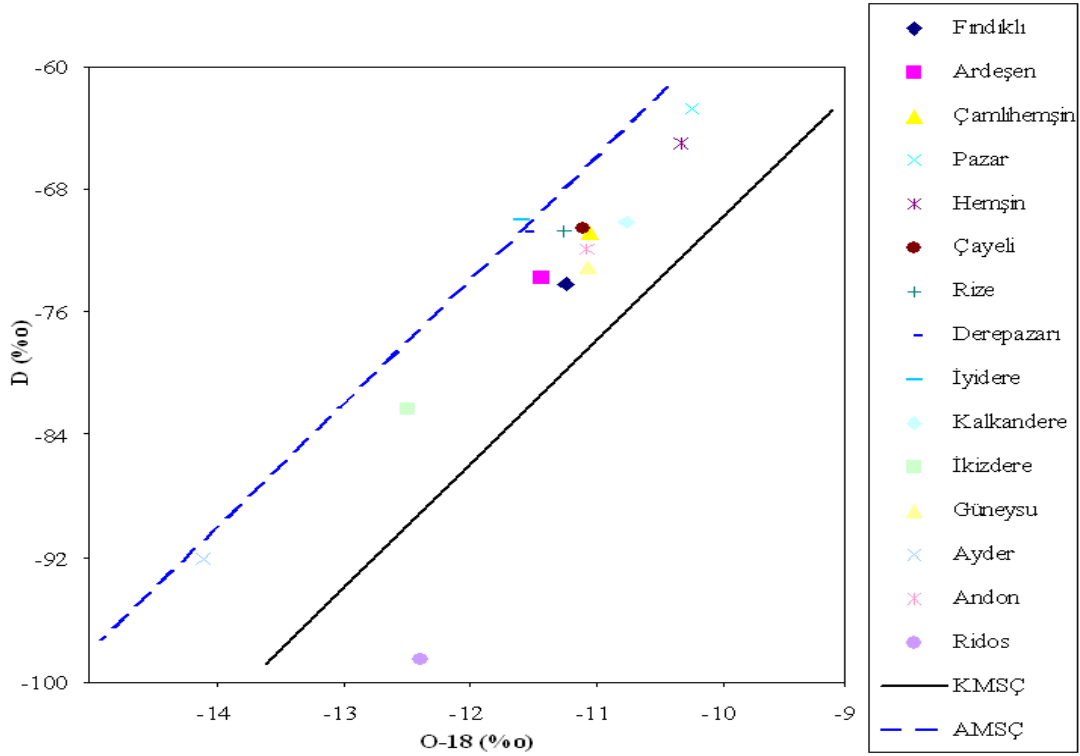
Rize ilinden alınan 1 mineral ve 2 termal su örneğinin d-fazlası değeri 0.46 (Ridos) ve 20.73 (Ayder) aralığında değişmektedir. Rize ili termal sularının ortalama d-fazlası değeri 10.60'tır. Rize ili mineral suyunun d-fazlası değeri ise 16.56'dır.

Döteryum fazlası değerlerine göre, Ayder termal su örneğinde diğer su örneklerinden daha yüksek buharlaşma olduğu ve özellikle bu suyun Akdeniz kaynaklı yağışlardan beslendiği, Ridos termal su örneğinin ise yüksek rakımlı yerden alındığı ve karasal kökenli yağışlardan beslendiği söylenebilir.

4. TARTIŞMA

Yapılan analizler sonucunda elde edilen değerlere göre, Rize ili ve Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme, termal ve mineral su örneklerinin $\delta D - \delta^{18}O$, $\delta^{18}O$ – Tritiyum ve Tritiyum – δD ilişkilerini gösteren grafikler çizilip gerekli yorumlar yapılmıştır. Ayrıca, değişik yerlerdeki çeşitli su örneklerinin ortalama $\delta^{18}O$, δD ve trityum değerleri tablolar halinde karşılaştırılmıştır.

Rize ili ve Fındıklı, Ardeşen, Çamlıhemşin, Pazar, Hemşin, Çayeli, Derepazarı, İyidere, Kalkandere, İkizdere ve Güneysu ilçelerinden alınan 12 adet içme suyu örneği, Andon'dan alınan 1 adet mineral su örneği ve Ayder ve Ridos'tan alınan 2 adet termal su örneğinin $\delta D - \delta^{18}O$ ilişkisini gösteren grafik Şekil 32'de gösterilmektedir.

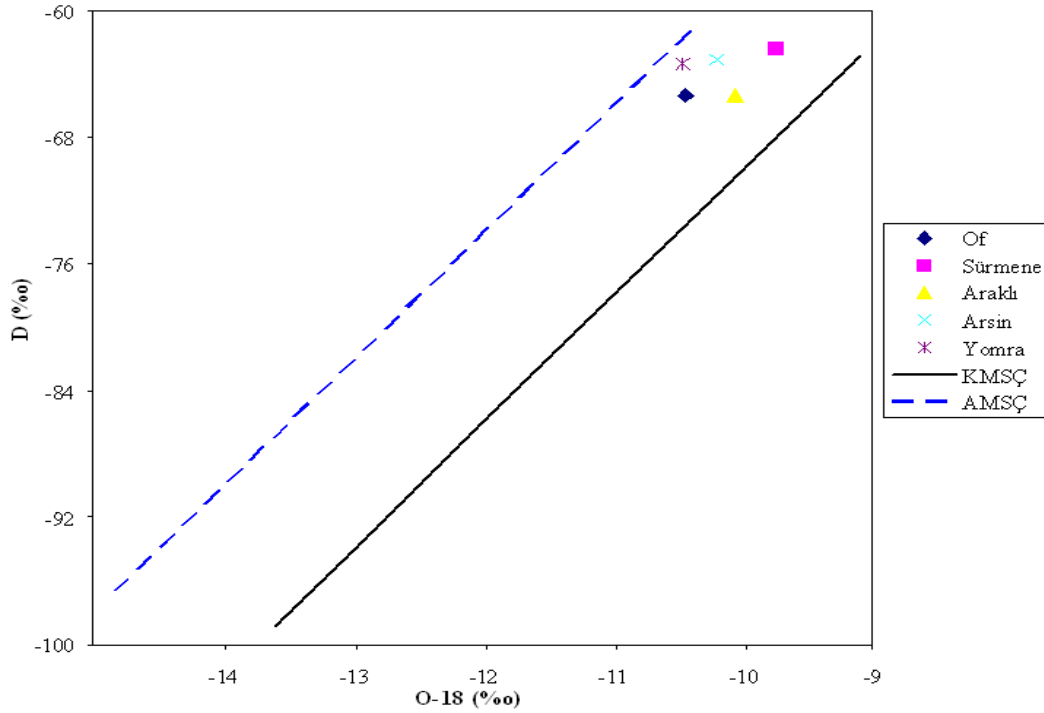


Şekil 32. Rize ili içme, termal ve mineral su örneklerinin $\delta D - \delta^{18}O$ ilişkisi

Suların çoğunun $\delta D - \delta^{18}O$ değerleri, Şekil 32'de görüldüğü gibi Küresel meteorik su çizgisi (KMSÇ) ile Akdeniz meteorik su çizgisi (AMSÇ) arasında ve Akdeniz meteorik su çizgisine yakındır. Bu, özellikle Ayder, İyidere ve Derepazarı sularının Akdeniz kaynaklı yağışların etkisi altında kaldığını gösterir. Bu ifade, d-fazlası değerlerine göre yapılan

açıklamayı desteklemektedir. Önemli bir buharlaşmanın olmadığı su örnekleri KMSÇ' nin üzerinde yer alırlar. Yüksek miktarda buharlaşmanın olduğu su örnekleri KMSÇ' nin solunda, düşük buharlaşmanın olduğu örnekler ise sağında yer alırlar. Şekil 32' ye göre, örneklerin çoğunun; özellikle İyidere, Derepaşarı ve Ayder sularının yüksek miktarda buharlaşmaya uğradığı, Ridos suyunun ise düşük miktarda buharlaşmaya uğradığı söylenebilir. Bu ifade, d-fazlası değerlerine göre yapılan açıklamayı desteklemektedir.

Trabzon ilinin Of, Sürmene, Araklı, Arsin ve Yomra ilçelerinden alınan 5 içme suyu örneğinin $\delta D - \delta^{18}O$ ilişkisini gösteren grafik Şekil 33'de gösterilmektedir.

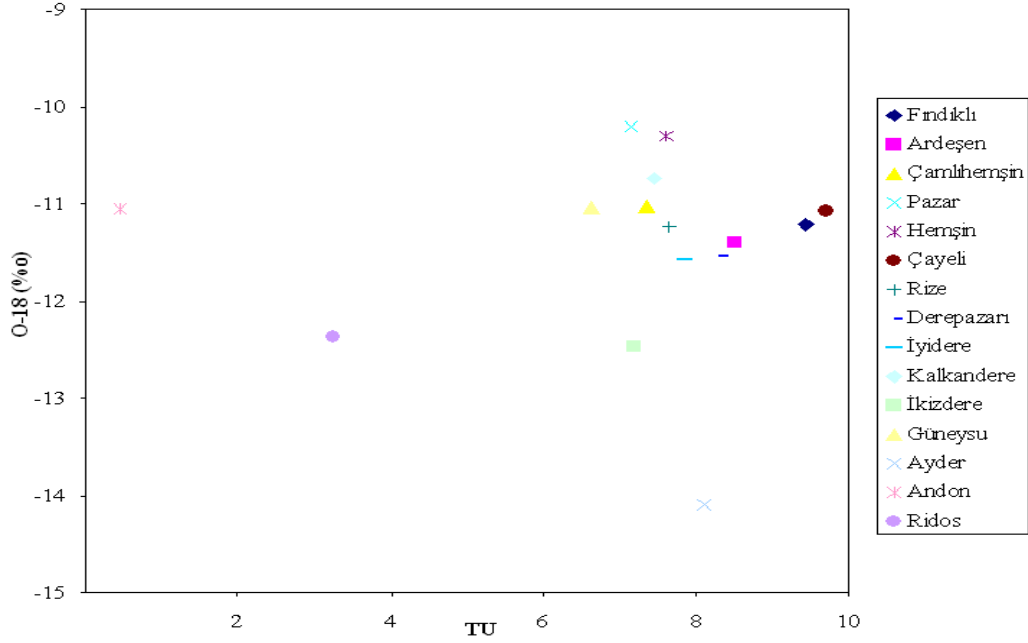


Şekil 33. Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme suyu örneklerinin $\delta D - \delta^{18}O$ ilişkisi

Suların $\delta D - \delta^{18}O$ değerleri Şekil 33'te görüldüğü gibi Küresel meteorik su çizgisi ile Akdeniz meteorik su çizgisi arasındadır. Yomra suyunun izotopik değeri, Akdeniz meteorik su çizgisine yakındır ve Akdeniz kaynaklı yağışların etkisi altında kaldığı söylenebilir. Bu ifade, d-fazlası değerlerine göre yapılan açıklamayı desteklemektedir. Yomra suyunun izotopik değeri diğer su örneklerine göre KMSÇ' nin daha solundadır, bu nedenle özellikle bu suyun daha yüksek miktarda buharlaşmaya uğradığı söylenebilir. Bu ifade, d-fazlası değerlerine göre yapılan açıklamayı desteklemektedir.

Rize ili ve Fındıklı, Ardeşen, Çamlıhemşin, Pazar, Hemşin, Çayeli, Derepaşarı, İyidere, Kalkandere, İkizdere ve Güneysu ilçelerinden alınan 12 içme suyu örneğiyle,

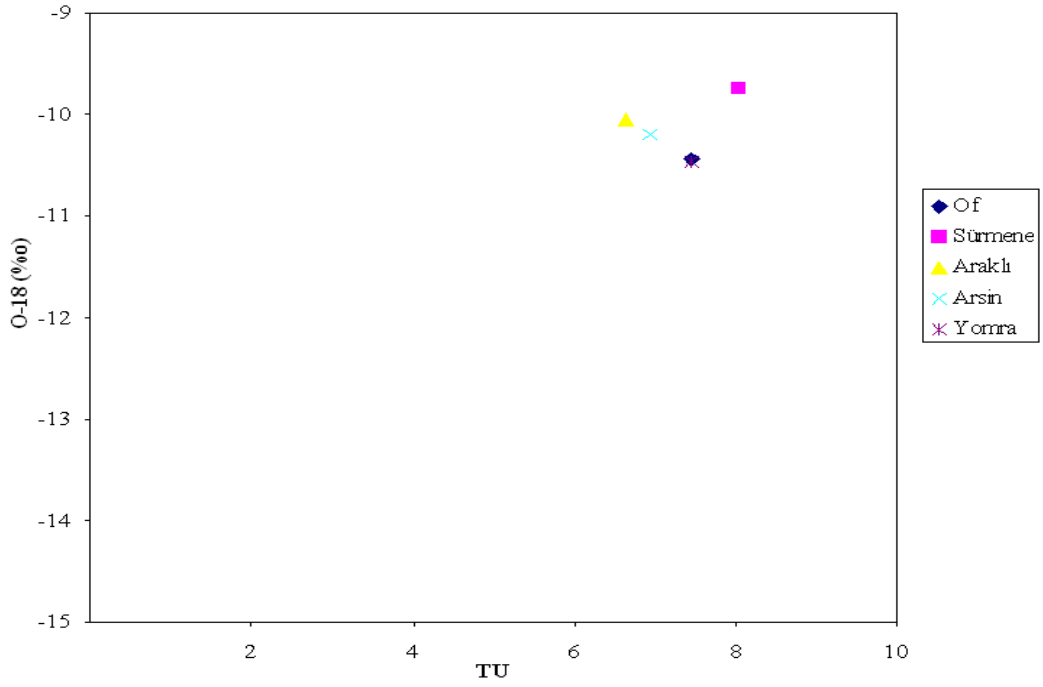
Andon, Ayder ve Ridos'tan alınan 1 mineral ve 2 termal su örneğinin $\delta^{18}\text{O}$ – Trityum ilişkisini gösteren grafik Şekil 34'te gösterilmektedir.



Şekil 34. Rize ili içme, termal ve mineral su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ – Trityum ilişkisi

$\delta^{18}\text{O}$ ve Trityum'daki artış sığ dolaşımdan gelen suları, bu değerlerdeki azalış ta derin dolaşımdan gelen suları temsil eder. $\delta^{18}\text{O}$ değerindeki azalma suların beslenme alanı yükseltisindeki artışı, trityum değerindeki azalma da suların dolaşım süresindeki artışı gösterir. Şekil 34'e göre; $\delta^{18}\text{O}$ değerindeki azalmaya bakılacak olursa; sırasıyla Ayder, İkizdere ve Ridos suları diğer sulara göre rakımı daha yüksek olan yerlerden beslenirler. $\delta^{18}\text{O}$ ve Trityum değerlerindeki azalmaya bakılacak olursa Ridos suyunun derin dolaşım olduğu söylenebilir. Trityum değerlerine göre Ridos suyunun 30–40 yıllık modern su olduğu belirtilmişti. $\delta^{18}\text{O}$ – Trityum ilişkisi bu ifadeyi doğrulamıştır.

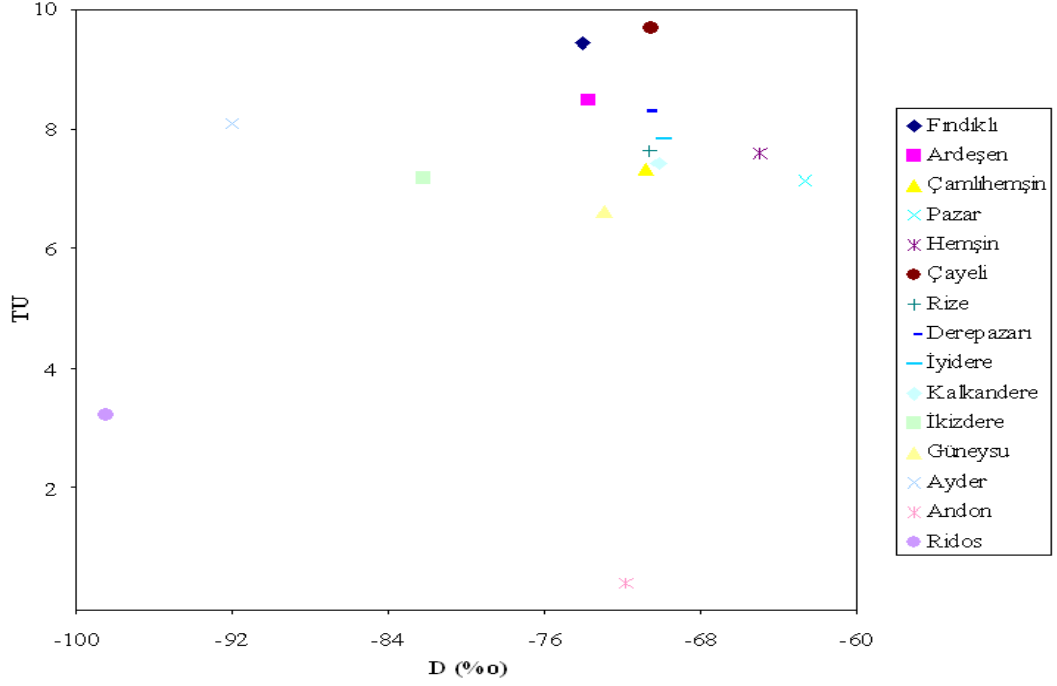
Trabzon ilinin Of, Sürmene, Araklı, Arsin ve Yomra ilçelerinden alınan 5 içme suyu örneğinin $\delta^{18}\text{O}$ – Trityum ilişkisini gösteren grafik Şekil 35'te gösterilmektedir.



Şekil 35. Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme suyu örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ – Tritiyum ilişkisi

$\delta^{18}\text{O}$ ve Tritiyum'daki azalışa göre Araklı suyunun diğer su örneklerine göre daha derin dolaşım olduğu, $\delta^{18}\text{O}$ ve Tritiyum'daki artışa göre de Sürmene suyunun diğer su örneklerine göre daha sığ dolaşım olduğu söylenebilir. $\delta^{18}\text{O}$ değerindeki azalmaya bakılacak olursa; Of ve Yomra sularının diğer sulara göre rakımı daha yüksek olan yerlerden beslendiği söylenebilir.

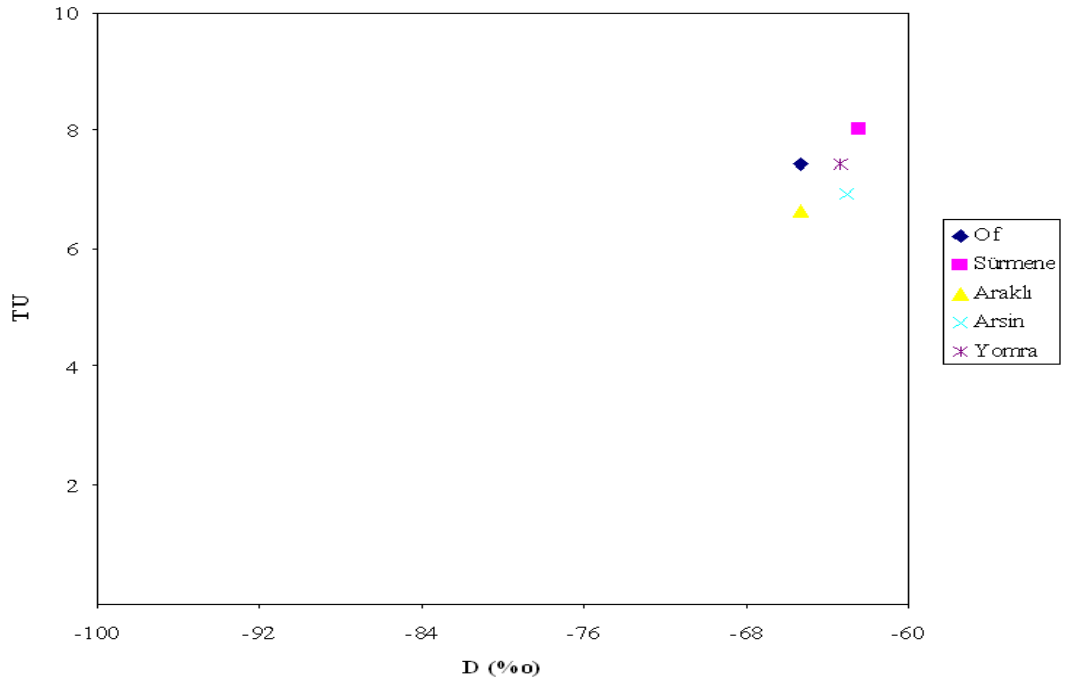
Rize ili ve Fındıklı, Ardeşen, Çamlıhemşin, Pazar, Hemşin, Çayeli, Derepazarı, İyidere, Kalkandere, İkizdere ve Güneysu ilçelerinden alınan 12 içme suyu örneğiyle, Andon, Ayder ve Ridos'tan alınan 1 mineral ve 2 termal su örneğinin Tritiyum – δD ilişkisini gösteren grafik Şekil 36'da gösterilmektedir.



Şekil 36. Rize ili içme, termal ve mineral su örneklerinin Tritiyum – δD ilişkisi

Tritiyum ve δD 'daki artış sığ dolaşımdan gelen suları, bu değerlerdeki azalış ta derin dolaşımdan gelen suları temsil eder. Tritiyum değeri, suların dolaşım yolu uzadıkça bozunmadan dolayı azalmaya uğrar. δD 'daki azalma ise beslenme alanı yükseltisindeki artışı göstermektedir. Şekil 36'e göre; Tritiyum ve δD seviyelerindeki azalmalar göz önüne alınırsa; Ridos suyunun derin dolaşıma sahip sular olduğu söylenebilir. Bu ifade tritiyum değerlerine ve $\delta^{18}O$ – Tritiyum ilişkisine göre yapılan açıklamayı desteklemektedir. Ayrıca, δD değerlerindeki azalmaya göre; Ridos, Ayder ve İkizdere rakımı yüksek olan yerlerden beslenirler. Bu ifade de $\delta^{18}O$ 'e göre yapılan açıklamayı desteklemektedir.

Trabzon ilinin Of, Sürmene, Araklı, Arsin ve Yomra ilçelerinden alınan 5 içme suyu örneğinin Tritiyum – δD ilişkisini gösteren grafik Şekil 37'de gösterilmektedir.



Şekil 37. Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme suyu örneklerinin Trityum – δD ilişkisi

Trityum ve δD 'daki azalışa göre Araklı suyunun diğer su örneklerine göre daha derin dolaşımli olduğu, Trityum ve δD 'daki artışa göre de Sürmene suyunun diğer su örneklerine göre daha sığ dolaşımli olduğu söylenebilir. Bu ifade, $\delta^{18}O$ -Trityum ilişkisine göre yapılan açıklamayı desteklemektedir. δD değerindeki azalmaya bakılacak olursa; Of ve Araklı sularının diğer sulara göre rakımı daha yüksek olan yerlerden beslendiği söylenebilir.

Daha önceki yapılan çalışmalardan alınan ortalama trityum değerleri Tablo 12’de gösterilmektedir.

Tablo 12. Değişik yerlerdeki çeşitli su örneklerinin ortalama trityum değerlerinin karşılaştırılması

Su Tipleri	Alınan Yerler	Ortalama TU	Referans
İçme	İspanya	2.46	Villa and Manjon, 2004
	Eskişehir	4.47	Top, 2008
	Kayseri	5.71	Değirmenci ve ark., 2008
	Rize	7.56	Bu çalışma
	Trabzon	7.31	Bu çalışma
Mineral	İspanya (Girona)	<0.68	Palomo ve ark., 2007
	Niğde	1.00	Temel, 2007
	Kayseri	1.44	Özel, 2005
	Ankara	5.50	Özgüm ve ark., 2003
	Rize	0.45	Bu çalışma
Termal	Batı Suriye (Figh)	4.26	Al-Charideh, 2011
	Fas	5.50	Dindane ve ark., 2003
	Doğu Hindistan	1.23	Majumdara ve ark., 2005
	Batı Suriye (Al-sin)	2.98	Al-Charideh, 2011
	Rize	5.68	Bu çalışma

Tablo 12’deki trityum değerleri değişik bölgelerdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldı. İçme sularından elde edilen ortalama trityum değerleri; İspanya’da, Eskişehir ve Kayseri’de gözlenen trityum değerlerinden yüksektir. Mineral suyundan elde edilen ortalama trityum değeri; İspanya, Niğde, Kayseri ve Ankara’da gözlenen trityum değerlerinden düşüktür. Termal sulardan elde edilen ortalama trityum değeri, Figh, Fas, Doğu Hindistan ve Al-sin’de gözlenen trityum değerlerinden düşüktür.

Bu çalışma; su numunelerindeki trityum değerlerinin, Dünya Sağlık Örgütü (10.000 Bq/l), ABD Çevre Koruma Ajansı (740 Bq/l), Türk Standartları Enstitüsü (100 Bq/l) ve T.C. Sağlık Bakanlığının (100 Bq/l) belirlediği üst limit değerlerinden çok düşük olduğundan bu su numunelerinin içme suyu olarak kullanılmalarında sakınca olmadığını göstermektedir.

Daha önceki yapılan çalışmalardan alınan ortalama $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerleri Tablo 13' te gösterilmektedir.

Tablo 13. Değişik yerlerdeki çeşitli su örneklerinin ortalama $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerlerinin karşılaştırılması

Su Tipleri	Alınan Yerler	Ortalama $\delta^{18}\text{O}$	Ortalama δD	Ortalama d-fazlası	Referans
İçme	ABD	-8.16	-59.36	-	Bowen ve ark., 2007
	Kayseri	-12.12	-84.57	-	Değirmenci ve ark., 2002
	Rize	-11.15	-71.10	18.11	Bu çalışma
	Trabzon	-10.18	-63.89	18.25	Bu çalışma
Mineral	Niğde	-10.12	-67.19	-	Temel, 2007
	Kayseri	-11.78	-83.21	-	Özel, 2005
	Ankara	-10.08	-69.26	-	Özgüm ve ark., 2003
	Rize	-11.05	-71.84	16.56	Bu çalışma
Termal	Fas	-6.86	-42.05	-	Dindane ve ark., 2003
	Doğu Hindistan	-4.08	-28.04	-	Majumdera ve ark., 2005
	Batı Suriye (Figeş)	-8.91	-50.90	20.10	Al-Charideh, 2011
	Batı Suriye (Al-sin)	-6.49	-31.80	20.10	Al-Charideh, 2011
Yeraltı	Kore	-11.67	-78.00	12.11	Lee and Kim, 2007
	Rize	-13.23	-95.25	10.60	Bu çalışma
	Bangladeş	-4.11	-25.22	-	Mahumder ve ark., 2011
	Tayvan	-6.50	-40.70	-	Lu ve ark., 2006
Göl	Kuzey İtalya	-7.30	-55.00	3.70	Longinelli ve ark., 2008
Irmak	Güneybatı Amerika	-3.36	-31.25	-5.69	Yuan and Miyamoto, 2008
Kuyu	Etiyopya	-0.13	6.26	-	Ayew, 2003

Tablo 13'te görüldüğü gibi; $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerleri değişik bölgelerdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldı.

İçme sularından elde edilen ortalama $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri ABD' de gözlenen değerden düşük, Kayseri'de gözlenen değerden yüksektir. Mineral sudan elde edilen ortalama $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri, Ankara ve Niğde' de gözlenen değerlerden düşük, Kayseri'de gözlenen değerden yüksektir. Termal sulardan elde edilen ortalama $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri; Fas, Doğu Hindistan, Batı Suriye ve Kore' de gözlenen değerden düşüktür. Rize ve Trabzon' daki içme, mineral ve termal sulardan elde edilen ortalama değerler; Bangladeş ve Tayvan yeraltı suyunda, Kuzey İtalya göl suyunda, Güneybatı Amerika Irmak'ında ve Etiyopya Kuyu suyunda gözlenen değerlerden düşüktür.

Termal sulardan elde edilen ortalama d-fazlası değerleri, Batı Suriye ve Kore’ de gözlenen değerlerden düşüktür. Sulardan elde edilen ortalama d-fazlası değerleri, Güneybatı Amerika ve Etiyopya’da gözlenen değerlerden yüksektir.

İzotopik ölçümler arasında çok az bir değişim vardır. Ortalama trityum değerlerinde Rize’den Trabzon’a doğru azalma gözlenirken; ortalama $\delta^{18}\text{O}$, δD ve d-fazlası değerlerinde tam tersi durum söz konusudur. Ortalama trityum değerindeki bu azalma, Rize ili içme sularının Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme sularından daha genç yaşta ve sık dolaşımli sular olduklarını gösterebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Suların çoğunun $\delta D - \delta^{18}O$ değerleri, Küresel meteorik su çizgisi (KMSC) ile Akdeniz meteorik su çizgisi (AMSC) arasında ve Akdeniz meteorik su çizgisine yakındır. Bu özellik suların Akdeniz kaynaklı yağışların etkisi altında kaldığını gösterebilir.

Bu çalışma; su numunelerindeki trityum değerlerinin, Dünya Sağlık Örgütü (10.000 Bq/l), ABD Çevre Koruma Ajansı (740 Bq/l), Türk Standartları Enstitüsü (100 Bq/l) ve T.C. Sağlık Bakanlığı'nın (100 Bq/l) belirlediği üst limit değerlerinden çok düşük olduğundan bu su numunelerinin içme suyu olarak kullanılmalarında sakınca olmadığını göstermektedir.

İzotopik ölçümler arasında çok az bir değişim vardır. Ortalama trityum değerlerinde Rize'den Trabzon'a doğru azalma gözlenirken; ortalama $\delta^{18}O$, δD ve d-fazlası değerlerinde tam tersi durum söz konusudur. Ortalama trityum değerindeki bu azalma, Rize ili içme sularının Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki içme sularından daha genç yaşta ve sık dolaşımli sular olduklarını gösterebilir.

Karadeniz Bölgesinde suda izotopik içeriklere yönelik çalışma oldukça kısıtlı olduğundan, bu alana yönelik yapılacak çok miktardaki çalışma ile Doğu Karadeniz Bölgesi Meteorik Su Çizgisi oluşturulursa; suların kaynakları, beslenmeleri, dolaşımları ve yaşları hakkında daha fazla bilgi sahibi olunabilir. Böylelikle bu konular hakkında daha anlaşılır, açık bilgiler elde edilebilecektir. Rize ili ve Trabzon ilinin bazı ilçelerindeki sulara yönelik yapılan bu izotopik çalışma bu il ve ilçelere ait ilk detaylı çalışmadır.

Bu bölgelerde trityum'un yanı sıra sularda özellikle toplam alfa ve beta seviyeleriyle Radon seviyelerinin ölçülmesine yönelik çok sayıda yapılacak çalışma, sularda radyoaktivite hakkında daha geniş bilgiler verecektir.

Numuneler kısıtlı bir zamanda ve kış mevsiminde alınmıştır. Daha doğru yorumlar ve sonuçlar elde edebilmek için mevsimsel olarak aynı çalışma birkaç kere tekrarlanmalıdır.

Suların iletkenlik değerleri ölçülebilir. İletkenlik değerlerine göre yapılacak yorumların bu çalışmada yapılan yorumları desteklediği görülecektir. Özellikle mineralli ve termal su örnekleri hakkında yapılan yorumlara böylelikle açıklık getirilebilir.

KAYNAKLAR

- Akgün, F., 2006. Ölçüm İstatistiğine Giriş. ÇNAEM Radyoizotop ve Radyofarmasötik Bölümü, İstanbul.
- Al-Charideh, A., 2011. Environmental isotope study of groundwater discharge from the large karst springs in West Syria: a case study of Figeih and Al-sin springs. Environmental Earth Science, 63, 1-10.
- Altay, T. ve Çifter, C., 1996. Trityum Laboratuvarları El Kitabı. DSİ TAKK Daire Başkanlığı Yayın No: İZ – 903, Ankara.
- ASTM (The American Society for Testing and Materials) Standarts, Standart practices for the measurement of radioactivity, 1987, Annual Book of D–3648, 330–356.
- Ayew, T., 2003. Environmental isotope-based integrated hydrogeological study of some Ethiopian rift lakes. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 257, 11–16.
- Bar-Matthews, M., Ayalon, A., Matthews, A., Sass, E. and Halicz, L., 1996. Carbon and oxygen isotope study of the active water-carbonate system in a karstic Mediterranean cave: implications for paleoclimate research in semiarid regions. Geochimica et Cosmochimica Acta, 60, 337–347.
- Bowen, G.J., Ehleringer, J.R., Chesson, L.A., Stange, E. and Cerling, T.E., 2007. Stable isotope ratios of tap water in the contiguous United States. Water Resources Research, 43, 12.
- Cappa, C.D., Hendricks, M.B., DePaolo, D.J. and Cohen, R.C., 2003. Isotopic fractionation of water during evaporation. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 108, 1–10.
- Clark, I.D. and Fritz, P., 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology. Lewis Publishers, Boca Raton Florida, 328.
- Clarke, W.B., Jenkins, W.J. and Top, Z., 1976. Determination of tritium by mass spectrometric measurements. J. Appl. Radioactive Isotopes, 27, 515-522.
- CNSC 0766, 2008. Standards and Guidelines for Tritium in Drinking Water. Canadian Nuclear Safety Commission, Canada.
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133, 1702-1703.
- Çifter, C. ve Sayın, M., İzotopların Hidrolojide Kullanılması, I. Uluslararası Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, 2002. Adana, 9 – 22.

- Çifter, C., 2003. Elektroliz Zenginleştirmesi ve Sıvı Sintilasyon Sayma Sistemi Kullanılarak Su Numunelerinin Trityum İçeriği Üzerindeki Belirsizliklerin Saptanması. DSİ TAKK Daire Başkanlığı, Yayın No: İZ – 903, Ankara.
- Dashek, V.W., 2000. Methods in Plant Electron Microscopy and Cytochemistry. Humana Press, New Jersey.
- Dansgaard, W., 1964. Stable isotopes in precipitation. Tellus, 16, 437–468.
- Dawis, R.M. and Watson, J.E., 1990. Influence of ^{226}Ra concentration in surrounding rock on ^{222}Ra concentration in ground water. Health Physics, 58, 369- 371.
- Değirmenci, M., Ekmekçi, M., Atmaca, E. ve Altın, A., Kayseri Kenti İçme Suyu Havzasındaki Akiferlerin Özelliklerinin İzotop Teknikleri Kullanılarak Belirlenmesi, III. Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, 2008. İstanbul, 271–284.
- Dindane, K., Bouchaou, L., Hsissou, Y. and Krimissa, M., 2003. Hydrochemical and isotopic characteristics of groundwater in the Souss Upstream Basin, southwestern Morocco. Journal of African Earth Sciences, 36, 315–327.
- Gonfiantini, R., 1982. On the isotopic composition of precipitation, translation from a paper presented at the anual meeting of the Societa Italiana di Minerologia a Petrologia, Cetraro (cosenza). Italy.
- Gröning, M., Tanweer, A., Van Duren, M., Jaklitsch, M. and Pölsenstein, L., 2008. Stable Isotope Internal Laboratory Water Standarts: Preparation, Calibration and Storage. IAEA.
- Hammond, D.E., Teng, T.L., Miller, L. and Haraguchi, G., 1981. A search for covariance among seismicity, ground chemistry, and groundwater Radonin Southern California. Geophysical Research Letters, 8, 445–448.
- I.S.P., 2011. Environmental Liquid Scintillation Counting., Brussels.
- Johnson, H. and Tuitah, M., 1983. Radiation is part of your life. Nuclear Information Series, Atomic Energy of Canada Limited Public Affairs.
- Kattan, Z., 2006. Characterization of surface water and groundwater in the Damascus Ghotta basin: hydrochemical and environmental isotopes approaches. Environmental Geology, 51, 173-201.
- Kehinde, M.O., 1993. Preliminary Isotopic Studies in the Bida Basin, Central Nigeria. Environmental Geology, 22, 212–217.
- Knoll, F.G., 1999. Radiation Detection and Measurement. Editor: Robin Factor, Third Edition, USA.
- Krane, S.K. (Edit: Şarer, B.), 2001. Nükleer Fizik 1. Cilt Ders Kitabı, Birinci Baskı, Palme Yayın Dağıtım LTD. ŞTİ., Ankara.

- Krane, S.K. (Edit: Şarer, B.), 2002. Nükleer Fizik 2. Cilt Ders Kitabı, Palme Yayıncılık, , Ankara.
- Lawrence, E.P., Wanty, R.B. and Nyberg, P., 1992. Contribution of ^{222}Rn in indoor air in Colorado Homes. Health Physics, 62, 171–177.
- Lee, K.S. and Kim, Y., 2007. Determining the seasonality of groundwater recharge using water isotopes: a case from the upper North Han River basin, Korea. Environmental Geology, 52, 853-859.
- Longinelli, A., Stenni, B., Genoni, L., Flora, O., Defrancesco, C. and Pellegrini, G., 2008. A stable isotope study of the Garda Lake, northern Italy: Its hydrological balance. Journal of Hydrology, 360, 103–116.
- Lu, T.H.Y., Peng, T.R., Liu, T.K., Wang, C.H. and Huang, C.C., 2006. Study of stable isotopes for highly deformed aquifers in the Hsinchu-Miaoli area, Taiwan. Environmental Geol., 50, 885-898.
- Lucas, H.F., 1991. Radium-226 whole-body gama counting and Radon-222 breath analysis. Health Physics, 60, 163-167.
- Majumdera, N., Majumdera, R.K., Mukherjeea, A.L., Bhattacharyab, S.K. and Janib, R.A., 2005. Seasonal variations in the isotopes of oxygen and hydrogen in geothermal waters from Bakreswar and Tantloi, Eastern India: implications for groundwater characterization. Journal of Asian Earth Sciences, 25, 269–278.
- Majumder, R.K., Halim, M.A., Saha, B.B., Ikawa, R., Nakamura, T., Kagabu, M. and J. Shimada, 2011. Groundwater flow system in Bengal Delta, Bangladesh revealed by environmental isotopes. Environmental Earth Science, DOI: 10.1007/s12665-011-0959-2.
- Makhijani, A., Hu, H. and Yih, K., 2000. Nuclear Wastelands. Asco Trade Typesetting Ltd., Hong Kong.
- Mook, W.G., 2000. Environmental isotopes in the hydrological cycle, v.I, 31-45, 167-177.
- Mook, W.G., 2001. Environmental isotopes in the hydrological cycle, UNESCO Paris.
- Mook, W.G., 2002. Environmental isotopes in hydrology cycle principles and applications. Introduction-Theory Methods, Review, Vienna.
- NCRP, 1987. Exposure of the population of the United States and Canada from natural background radiation. Report No. 94, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland.
- Ok, 2007. Kozaklı (Nevşehir) ve Terme (Kırşehir) Sıcak ve Mineralli Sularının Su Kimyası ve İzotopik Yöntemlerle Karşılaştırılması, Tıbbi ve Biyoiklimsel Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

- Özel, Y., 2007. Bayramhacı, Tekgöz ve Yeşilhisar (Kayseri) Sıcak ve Mineralli Sularının Su Kimyası ve İzotopik Yöntemlerle Karşılaştırılması, Tıbbi ve Biyoiklimsel Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Özgüm, C., Gökmenoğlu, O. ve Erduran, B., 2003. Ankara, Beypazarı Doğal Soda (Trona) Sahası İzotop Hidrolojisi Çalışmaları. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 27, 2003.
- Palomo, M., Penãlver, A., Aguilar, C. and Borrull, F., 2007. Tritium activity levels in environmental water samples from different origins. Applied Radiation and Isotopes, 65, 1048–1056.
- Portakal, S., Birol, E., Ünlü, Y., Topçuoğlu, S., Varinlioğlu, A. ve Bayülgen, N., 1988. Trityumun elektrolizle zenginleştirilmesi ve sayım yöntemi. ÇNAEM, A.R- 251.
- Rozanski, K., Aragua's-Aragua's, L. and Gonfiantini, R., 1993. Isotopic patterns in modern global precipitation. In: P.K. Swart, K.L. Lohmann, McKenzie, J.S. (Eds.) Savin, Climate Change in Continental Isotopic Records. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 1–37,
- Stewart, K.M. and Taylor, B.C., 1981. Environmental isotopes in New Zealand hydrology. New Zealand Journal of Science, 24, 295–311.
- Şimşek, Y., 2007. Külçüler (Bayramiç-Çanakkale) Jeotermal Sahasının Hidrojeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- TCSB, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği. Resmi Gazete, 25730 Sayılı Kanun.
- Temel, D., 2007. Çiftehane, Kemerhisar ve Dertalan (Niğde) Sıcak ve Mineralli Sularının Su Kimyası ve İzotopik Yöntemlerle Karşılaştırılması, Tıbbi ve Biyoiklimsel Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Tezcan, L., Hidrolojik Çalışmalarda Kullanılan Yeni İzotoplar ve Kullanım Alanları, I. Uluslararası Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, 2002. Adana, 23 – 32.
- Top, G., 2008. Sıvı Sintilasyon Cihazı ile İçme Sularında Trityum Seviyelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- TS 226, 1965. İçme Suları. T.S.E. Ankara, III. Baskı.
- TS 226, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular. T.S.E. Ankara, 1. Baskı.
- Tsoufanidis, N., 1995. Measurement and detection of radiation. Taylor & Francis, London, p.636.

- UNSCEAR, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation.
- URL-1. http://www.ehs.psu.edu/radprot/LSC_Theory1.pdf (05 Mayis 2011, 14:56).
- USEPA 1980. Prescribed Procedures for Measurement of Radioactivity in Drinking Water. EPA-600/4-80-032. Cincinnati, Ohio.
- USNRC, 2011. Biological Effects of Radiation. United States Nuclear Regulatory Commission, US.
- Villa, M. and Manjon, G., 2004. Low-level measurements of tritium in water. Applied Radiation and Isotopes, 61, 319-323.
- Yuan, F. and Miyamoto, S., 2008. Characteristics of oxygen-18 and deuterium composition in waters from the Pecos River in American Southwest. Chemical Geology, 255, 220-230.
- Watson, J.E., Evans, J.P. and Mabry, A.M., 1993. Analysis of ^{222}Ra concentration in North Caroline household water supplies derived from private wells. Health Physics, 65, 156-160.
- WHO, 2004. Guidelines for Drinking Water Quality, Recommendations. Vol. 1, 3rd Edition, Geneva, Switzerland.
- Xiaolin, H. and Per, R., 2008. Critical comparison of radiometric and mass spectrometric methods for the determination of radionuclides in environmental, biological and nuclear waste samples. Analytica Chimica Acta, 608, 105-139.

EKLER

Ek - 1

Fındıklı Şebeke Numunesine Ait Aktivite Hesabı ve Hatası

Aşağıda Fındıklı Şebekesine ait su numunesinin trityum aktivite hesabı ve hata hesabına ait bir örnek mevcuttur.

Trityum Aktivite Hesabı

Denklem 26 kullanılarak,

$$F = \frac{20109.4170}{334.4918} = 60.119309 \text{ TU / cpm}$$

bulunur.

Denklem 27 kullanılarak Spike 1 ve Spike 2 standartları için “Z” değerleri hesaplanır:

$$Z_1 = \frac{218.30 \times 60.119309 \times \frac{24491.776}{1959.7339}}{20109.4170} = 8.156$$

$$Z_2 = \frac{234.31 \times 60.119309 \times \frac{24491.776}{1959.7339}}{20109.4170} = 8.754$$

Denklem 28 kullanılarak bunların ortalaması hesaplanır:

$$Z_{\text{ort}} = \frac{8.156 + 8.754}{2} = 8.4554004$$

Denklem 29 kullanılarak Spike 1 ve Spike 2 için “P” değerleri hesaplanır:

$$P_1 = \frac{2.977}{690} \times \frac{(250.17 - 21.27) \times \ln(8.4554004)}{\ln\left(\frac{250.17}{21.27}\right)} = 0.8553514$$

$$P_2 = \frac{2.977}{690} \times \frac{(250.60 - 21.83) \times \ln(8.4554004)}{\ln\left(\frac{250.60}{21.83}\right)} = 0.8633667$$

Denklem 30 kullanılarak bu değerlerin ortalaması hesaplanır:

$$P_{\text{ort}} = \frac{0.8553514 + 0.8633667}{2} = 0.859359$$

P_{ort} , W_i ve W_f değerleri Denklem 31’de yerine yazılarak numune için “Z” değeri,

$$Z = e^{\frac{0.859359 \times 690}{(251.21 - 21.72) \times 2.977} \times \ln \frac{251.21}{21.72}} = 8.3705838$$

şeklinde bulunur.

Son adım olarak bulunan “Z” ve “F” değerleri ile bilinen “N” değeri denklem 32’de yerine yazılarak,

$$A = \frac{1.01 \times 60.119309}{8.3705838} = 7.269490005 \text{ TU}$$

olarak hesaplanır. Bulunan bu değer numunenin ölçüm yapıldığı tarihteki trityum aktivitesidir. Denklem 33 kullanılarak numunenin alındığı andaki trityum aktivitesi,

$$A_0 = (7.269490005) \times e^{\frac{0.693}{12.35 \times 365.25} \times 97} = 7.38 \text{ TU}$$

şeklinde hesaplanır.

Trityum Hata Hesabı

Denklem 35 yardımıyla Denklem 34’ten “ $\sigma_{\%F}$ ” aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\sigma_{\%F} = \sqrt{\left(\frac{0.8395}{334.4918} \times 100\right)^2 + 1} = 1.031$$

Denklem 34 ve 26 yardımıyla “ σ_F ” Denklem 39’daki gibi hesaplanır:

$$\sigma_F = \frac{60.119309 \times 1.031}{100} = 0.620$$

Denklem 29 ve 30 yardımıyla “ σ_Z ” Denklem 40’teki gibi hesaplanır:

$$\sigma_Z = \sqrt{\frac{(0.8553514 - 0.859359)^2 + (0.8633667 - 0.859359)^2}{1}} = 0.006$$

Denklem 37 ve 38 yardımıyla, “ $\sigma_{N(\text{num})}$ ” Denklem 36 gibi hesaplanır:

$$\sigma_{N(\text{num})} = \sqrt{(0.06)^2 + (0.0514)^2} = 0.08$$

Bulunan $\sigma_{\%F}$, σ_F , $\sigma_{N(\text{num})}$ ve σ_Z ifadeleri Denklem 41’de yerine yazılarak aşağıdaki gibi “ σ_A ” ifadesi bulunmuş olur:

$$\sigma_A = \sqrt{\left(\frac{1.031}{8.3705838}\right)^2 \times (0.08)^2 + \left(\frac{1.90}{8.3705838}\right)^2 \times (0.620)^2 + \left(\frac{1.01 \times 60.119309}{(8.3705838)^2}\right)^2 \times (0.006)^2} = 0.14$$

Bulunan bu ifade numunenin ölçüm anındaki hata değeridir. Numunenin alındığı andaki hata değerini bulmak için Denklem 42 kullanılır:

$$\sigma_{A0} = (0.14) \times e^{\frac{0.693}{12.35 \times 365.25} \times 97} = 0.14$$

Aktivitenin Hatayla Beraber Verilmesi

Tüm bu işlemler sonucu tam trityum konsantrasyonu değeri aşağıdaki gibi verilir:

$$A_{R3} = (7.38 \pm 0.14) \text{ TU}$$

ÖZGEÇMİŞ

02.07.1985 tarihinde Arhavi’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Arhavi’de tamamladı. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Milli Piyango Eğitim Merkezinde 1 sene İngilizce hazırlık eğitimi gördükten sonra 2005 yılında aynı üniversitenin Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 2009 yılında bölüm ikincisi olarak lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Rize Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Halen daha yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.