

HİD481 İzotop Hidrolojisi

2. Hafta Çevresel İzotoplar “Environmental Isotopes”

Prof.Dr. C. Serdar BAYARI, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Hidrojeoloji Anabilim Dalı

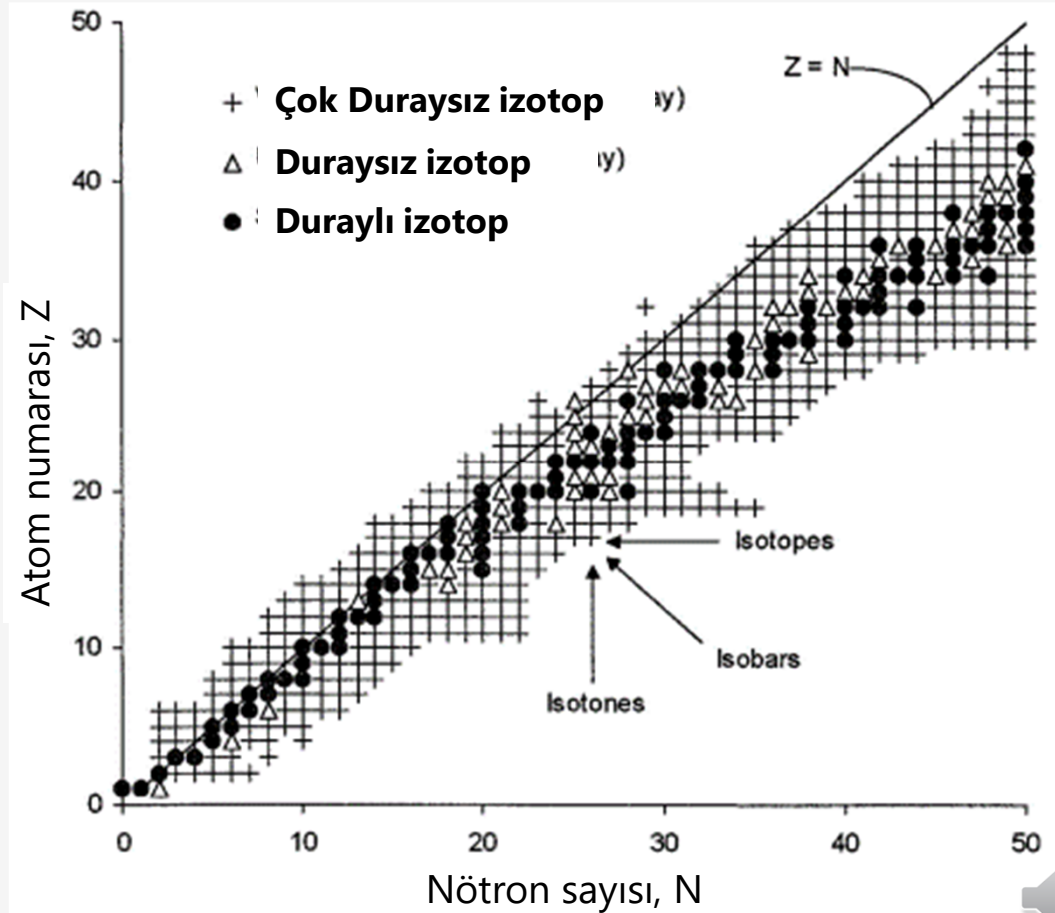


Kaynak kitap: Clark & Fritz, Environmental Isotopes in Hydrology



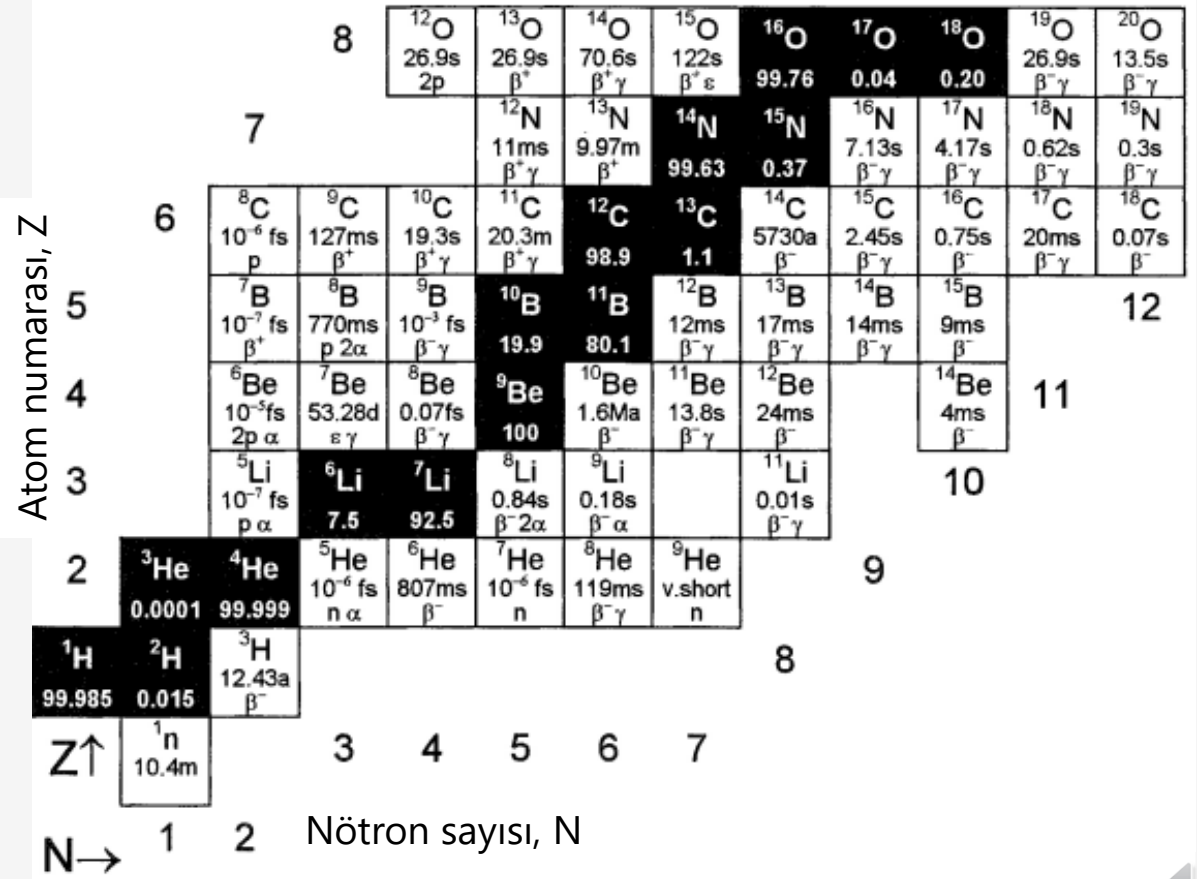
İzotop, atomun duraylı ve duraysız izotopları

- Bir elementin çekirdeğindeki p sayısı sabittir.
- Örneğin Hidrojen elementinde 1, Helyum elementinde 2, Lityum elementinde 3 proton vardır.
- Helyum çekirdeğini ikiye bölüp 2 adet Hidrojen elementi yapabilirsiniz. Bir helyum (2p) ve bir Hidrojen (1p)elementini birleştirip 1 adet Lityum (3p) elementi yapmak ta mümkündür.
- Bir elementin farklı çekirdeklerindeki n sayısı o elementin p sayısından farklılık gösterebilir. Örneğin, çekirdeğinde 1 adet proton içeren hidrojen elementinin a) nötronsuz, b) 1 adet nötronlu ve c) 2 adet nötronlu 3 adet izotopu vardır.
- Sağdaki grafikte 1:1 çizgisi boyunca p ve n sayıları eşittir.
- Bir elementin izotopları duraylı (stable) ya da duraysız (unstable, radioactive) olabilir.



Hidrojeolojide yaygın olarak kullanılan duraylı izotoplar

- Duraylı izotopların çekirdek yapısı zamanla değişmez.
- Duraysız izotopların çekirdek yapısı, çekirdekten salınan enerji ya da kütle sonucu değişir; sonuçta kütle azalır.
- Bu olaya ışıma (radyasyon) ya da radyoaktif bozunma denir.
- Bir çekirdeğin bozunması çok yavaş ya da hızlı olabilir.
- Bozunma hızı yarı-ömür (half-life) ile tanımlanır.
- Yarı-ömür t_0 anındaki radyoaktif izotop sayısının bozunarak yarıya inmesi için geçen süredir. $T_{1/2}$ ile gösterilir.
- Bazı radyoaktif izotopların yarı-ömrü femto saniye mertebesinde iken bazılarında bu değer, dakika, yıl, yüz-milyon yıl mertebesinde dir.
- Sağdaki şekilde siyah kutular duraylı izotoplardır.
- Duraysız izotoplar duraylı izotopların sağında ve solunda yer almaktadırlar.
- Nötron sayısı soldan sağa doğru artmaktadır.



Hidrojeolojide yaygın olarak kullanılan duraylı izotoplar

- Sağdaki şekilde izotopların altında yer alan sayılar yüzde bolluk miktarlarıdır.
- Örneğin Hidrojen elementinin % 99.985'i Hidrojen-1, % 0.015'i Hidrojen-2 izotopundan oluşur.
- Bir elementin kütlesi izotoplarının bolluk oranları ile ağırlıklandırılmış kütledir.
- Duraysız bir izotop olan Hidrojen-3'ün bolluğu % 0.001'den azdır.
- Hidrojeolojik araştırmalarda suyun (H₂O) yapısında doğal olarak bulunmaları nedeniyle en çok H ve O elementlerinin izotopları kullanılır.
- İkinci derecede sıklıkla Karbon izotopları kullanılır.
- Diğerleri ile birlikte lityum, berilyum, bor, sulfur ve helium izotopları genellikle –başta jeotermal hidrojeoloji olmak üzere- ileri düzey araştırmalarda kullanılmaktadır.

		8		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
				26.9s		26.9s		70.6s		122s		99.76		0.04		0.20		26.9s		13.5s	
				2p		β^+		$\beta^+\gamma$		$\beta^+\epsilon$								$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$	
		7		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
				11ms		9.97m		99.63		0.37		7.13s		4.17s		0.62s		0.3s			
				$\beta^-\gamma$		β^+						$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$	
		6		8		9		10		11		12		13		14		15		16	
				10 ⁻⁶ fs		127ms		19.3s		20.3m		98.9		1.1		5730a		2.45s		0.75s	
				p		β^+		$\beta^+\gamma$		$\beta^+\gamma$		β^-		$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$	
		5		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
				10 ⁻⁷ fs		770ms		10 ⁻³ fs		19.9		80.1		12ms		17ms		14ms		9ms	
				β^+		β^+		$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$	
		4		6		7		8		9		10		11		12		13		14	
				10 ⁻⁵ fs		53.28d		0.07fs		100		1.6Ma		13.8s		24ms				4ms	
				2p α		$\epsilon\gamma$		$\beta^-\gamma$		β^-		$\beta^-\gamma$		$\beta^-\gamma$		β^-		β^-		β^-	
		3		5		6		7		8		9		10		11		12		13	
				10 ⁻⁷ fs		7.5		92.5		0.84s		0.18s				0.01s					
				p α		β^-		$\beta^-2\alpha$		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-	
		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
				10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short									
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				0.0001		99.999															
				3He		4He		5He		6He		7He		8He		9He					
				0.0001		99.999		10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short					
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				10 ⁻⁷ fs		7.5		92.5		0.84s		0.18s				0.01s					
				p α		β^-		$\beta^-2\alpha$		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-	
		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
				10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short									
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				0.0001		99.999															
				3He		4He		5He		6He		7He		8He		9He					
				0.0001		99.999		10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short					
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				10 ⁻⁷ fs		7.5		92.5		0.84s		0.18s				0.01s					
				p α		β^-		$\beta^-2\alpha$		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-	
		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
				10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short									
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				0.0001		99.999															
				3He		4He		5He		6He		7He		8He		9He					
				0.0001		99.999		10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short					
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				10 ⁻⁷ fs		7.5		92.5		0.84s		0.18s				0.01s					
				p α		β^-		$\beta^-2\alpha$		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-	
		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
				10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short									
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				0.0001		99.999															
				3He		4He		5He		6He		7He		8He		9He					
				0.0001		99.999		10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short					
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				10 ⁻⁷ fs		7.5		92.5		0.84s		0.18s				0.01s					
				p α		β^-		$\beta^-2\alpha$		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-	
		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
				10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short									
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				0.0001		99.999															
				3He		4He		5He		6He		7He		8He		9He					
				0.0001		99.999		10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short					
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				10 ⁻⁷ fs		7.5		92.5		0.84s		0.18s				0.01s					
				p α		β^-		$\beta^-2\alpha$		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-	
		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
				10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short									
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				0.0001		99.999															
				3He		4He		5He		6He		7He		8He		9He					
				0.0001		99.999		10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short					
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				10 ⁻⁷ fs		7.5		92.5		0.84s		0.18s				0.01s					
				p α		β^-		$\beta^-2\alpha$		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-	
		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
				10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short									
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				0.0001		99.999															
				3He		4He		5He		6He		7He		8He		9He					
				0.0001		99.999		10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short					
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				10 ⁻⁷ fs		7.5		92.5		0.84s		0.18s				0.01s					
				p α		β^-		$\beta^-2\alpha$		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-	
		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
				10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short									
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				0.0001		99.999															
				3He		4He		5He		6He		7He		8He		9He					
				0.0001		99.999		10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short					
				n α		β^-		n		$\beta^-\gamma$		n									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
				10 ⁻⁷ fs		7.5		92.5		0.84s		0.18s				0.01s					
				p α		β^-		$\beta^-2\alpha$		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-		β^-	
		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
				10 ⁻⁶ fs		807ms		10 ⁻⁶ fs		119ms		v.short									

Hidrojeolojide yaygın olarak kullanılan **duraylı** ve **duraysız** izotoplar

Hidrojeolojide yaygın kullanılan duraylı izotoplar H, O ve C elementlerinin izotoplarıdır:

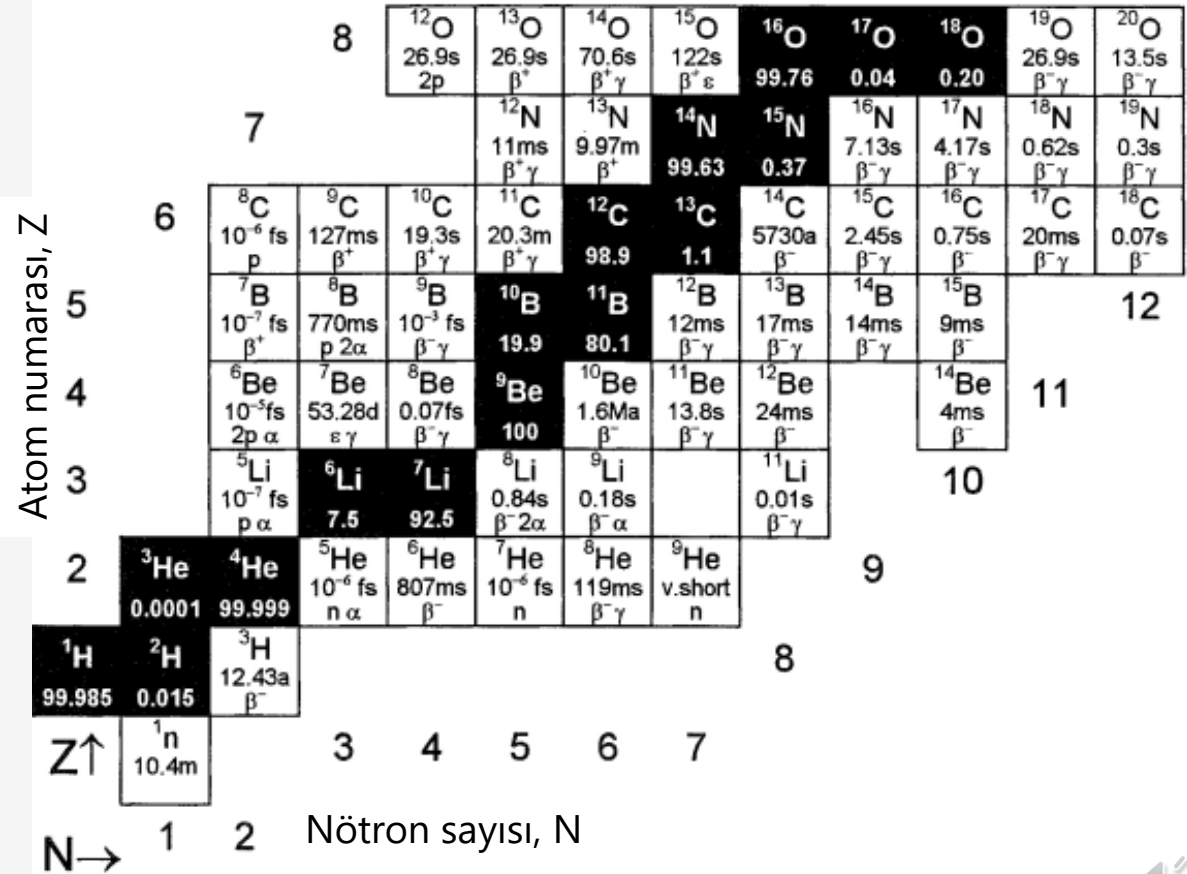
- Hidrojen'in iki duraylı izotopu vardır:
- Hidrojen-1 (protonyum, %99.985)
- Hidrojen-2 (döteryum, % 0.015)
- Oksijen'in 3 duraylı izotopu vardır:
- Oksijen-16 (%99.76)
- Oksijen-17 (% 0.04)
- Oksijen-18 (% 0.20)

Hidrojen ve oksijen izotoplarına su molekülünün yapısında bulunmalarından dolayı "su izotopları" (water isotopes) da denir.

- Karbon'un iki duraylı izotopu vardır:
- Karbon-12 (% 98.9)
- Karbon-13 (% 1.1)

Hidrojeolojide yaygın kullanılan duraysız izotoplar

- Hidrojeolojide yaygın olarak kullanılan radyoaktif (= duraysız) izotoplar şunlardır:
- Hidrojen-3 (tritium, $T_{1/2}$ = 12.32 yıl)
- Karbon-14 (karbon-14, $T_{1/2}$ = 5400 yıl)



Duraylı izotop içeriği (oranı) "del" (δ) notasyonu ile ifade edilir

İzotopların derişiminin ölçmek –özellikle bollukları az izotoplar açısından- oldukça güçtür.

Buna karşın, bir örnekteki izotopların birbirlerine göre bolluklarının oranlanması daha kolaydır.

Örneğimizdeki izotop bolluk oranını (a/b) ölçmek için ilgilendiğimiz izotopun sayısı (a) o elementin en bol bulunan izotopunun sayısı ile oranlanır.

Hidrojeolojik araştırmalarda bolluk oranları İzotop Oranı Kütle Spektrometresi (Isotope Ratio Mass Spectrometer, IRMS) tekniği ile ölçülür.

Her ölçümde olduğu gibi izotop oranı bolluk ölçümünde de bir kalibrasyon standardına gerek duyulur.

¹⁶ O	¹⁷ O	¹⁸ O
99.76	0.04	0.20

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{sample}} = \frac{m(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}} - m(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{reference}}}{m(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{reference}}}$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{sample}} = \left(\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{reference}}} - 1 \right) \cdot 1000 \text{‰ VSMOW}$$



Duraylı izotop içeriği (oranı) "del" (δ) notasyonu ile ifade edilir

İzotop bolluk oranı ölçümlerinde sonuç örnekteki bolluk oranının (A) standarttaki bolluk oranından (B) farkının standarttaki bolluk oranına bölünmesi ile ifade edilir.

Bu ifade biçimine del (δ) notasyonu (gösterimi) denir.

$$\delta = (A-B)/B$$

"Delta " Δ " = (A-B) iken "del" δ = (A-B)/B dir.

Ölçümde oranlama işlemi "az bulunan/en çok bulunan" şeklinde yapılır. Bir element için "en çok bulunan" izotop bellidir. "Az bulunan" olarak ölçümü kolay olan az bulunan izotoplardan birisi kullanılır. Suyun oksijen izotopları açısından seçilen "az bulunan izotop" O-18, "en çok bulunan izotop" ise O-16'dır.

δ (del) ölçümünde çıkan sonuç çok küçük olduğundan elde edilen kullanım kolaylığı sağlamak için 1000 ile çarpılır.

^{16}O	^{17}O	^{18}O
99.76	0.04	0.20

^1H	^2H
99.985	0.015

Su molekülünün Hidrojen izotop oranının ölçümünde Hidrojen-1 ve Hidrojen-2 izotopları kullanılmaktadır.

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{sample}} = \frac{m(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}} - m(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{reference}}}{m(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{reference}}}$$



Duraylı izotop içeriği ölçüm standartları

Her tür ölçümde ölçüm sonuçlarının kıyaslanması için bir standart (= ölçek) kullanılır.

Örneğin uluslararası uzunluk ölçeği metredir (m). Bütün uzunluklar bu standarda göre ifade edilir.

Duraylı su izotoplarının ölçümünden VSMOW standard kullanılır.

VSMOW "Vienna Standard Mean Ocean Water" sözcüklerinin baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır. İzotop oranı ölçümlerinin ilk yapıldığı yıllarda bol bulunduğu ve izotopik açıdan oldukça homojen olduğu düşünülen Kuzey Atlantik Okyanus Suyu'nun izotopik bileşimi (SMOW) ölçüm standardı olarak kabul edilmiştir. Ölçümlerde kullanılan bu standardın zamanla tükenmesi sonucunda bu standarda oldukça benzer yeni bir standart merkezi Viyana'da (Vienna) bulunan Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından hazırlanmıştır. Günümüzdeki ölçümlerde VSMOW olarak anılan bu standart kullanılmaktadır.

¹⁶ O	¹⁷ O	¹⁸ O
99.76	0.04	0.20

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{sample}} = \left(\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{reference}}} - 1 \right) \cdot 1000 \text{‰ VSMOW}$$



Hidrojeolojide kullanılan duraylı izotop standartları

Simge	Oran	Standart	Ölçüldüğü Malzemeler
^2H	$^2\text{H}/^1\text{H}$	VSMOW	H_2O , CH_2O , CH_4 , H_2 , OH^- mineraller
^3He	$^3\text{He}/^4\text{He}$	Atmosferik He	Su, gaz, kabuksal sıvılar, bazalt
^6Li	$^6\text{Li}/^7\text{Li}$	L-SVEC	Tuzlu sular, kayalar
^{11}B	$^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$	NBS 951	Salamuralar, killeri, borat, kayalar
^{13}C	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	VPDB	CO_2 , karbonat, DIC, CH_4 , organikler
^{15}N	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	Atmosferik N_2	N_2 , NH_4^+ , NO_3^- , N-organikler
^{18}O	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	VSMOW, VPDB	H_2O , CH_2O , CO_2 , sülfatlar, NO_3^- , karbonatlar, silikatlar, OH^- mineraller
^{34}S	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	CDT	Sülfatlar, sülfidler, H_2S , S-organikler
^{37}Cl	$^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$	SMOC	Tuzlu sular, kayalar, evaporitler, solventler
^{81}Br	$^{81}\text{Br}/^{79}\text{Br}$	SMOB	Tuzlu sular
^{87}Sr	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Mutlak oran ölçülür	Su, karbonatlar, sülfatlar, feldspat



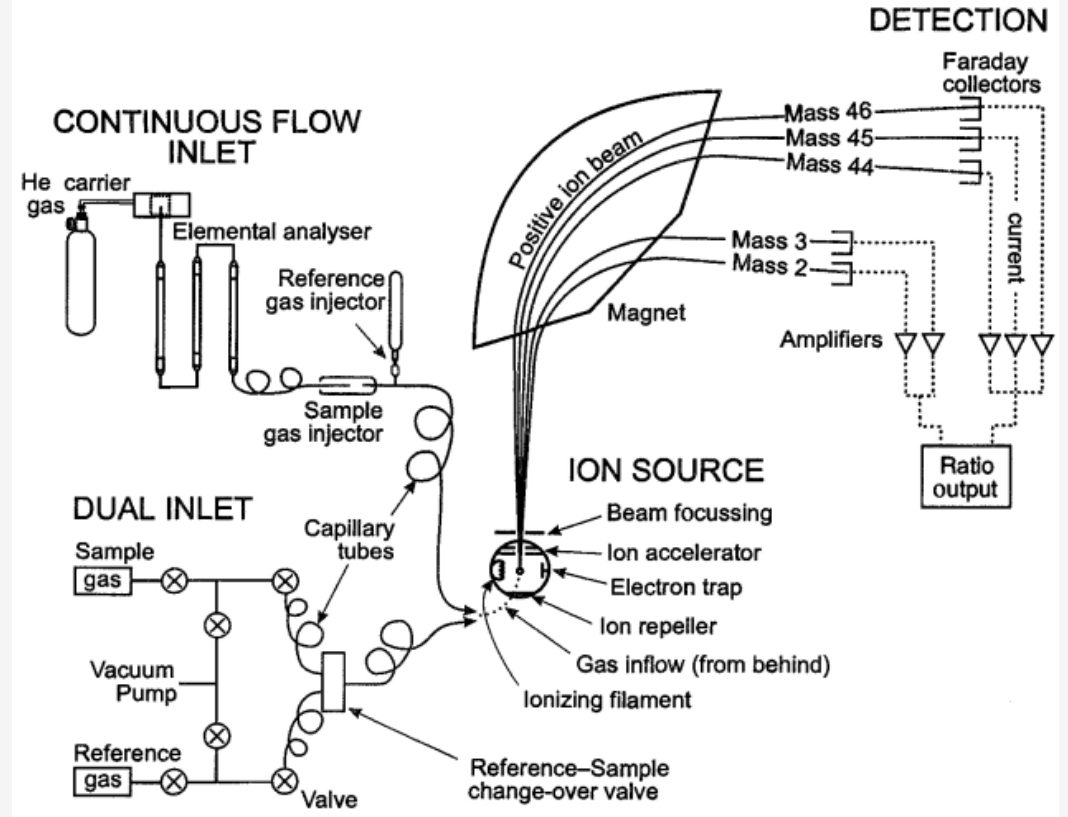
Hidrojeolojide kullanılan duraylı izotop standartlarının açılımı

Simge	Oran	Standart	Standardın açılımı
^2H	$^2\text{H}/^1\text{H}$	VSMOW	Vienna Standrd Mean Ocean Water
^3He	$^3\text{He}/^4\text{He}$	Atmosferik He	Atmosferdeki He izotop oranı
^6Li	$^6\text{Li}/^7\text{Li}$	L-SVEC	Harry Svec tarafından hazırlanmış Li standard
^{11}B	$^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$	NBS 951	National Breau of Standards tarafından hazırlanmış standart
^{13}C	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	VPDB	Vienna Pee Dee Belemnite
^{13}N	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	Atmosferik N_2	Atmosferdeki N izotop oranı
^{18}O	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	VSMOW, VPDB	Vienna Standard Mean Ocean Water ya da Vienna Pee Dee Belemnite
^{34}S	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	CDT	Canon Diablo Triolite (demir meteorit)
^{37}Cl	$^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$	SMOC	Standard Mean Ocean Chloride
^{81}Br	$^{81}\text{Br}/^{79}\text{Br}$	SMOB	Standard Mean Ocean Basalt
^{87}Sr	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Mutlak oran ölçülür	Standart yok.



Duraylı izotop oranının ölçülmesi: İzotop Oranı Kütle Spektrometresi (Isotope Ratio Mass Spectrometer, IRMS)

- Ölçüm tekniği "eğik atış problemi" dayanır.
- Aynı itme/çekme kuvveti uygulandığında hafif izotop ağır izotoptan daha uzağa gider.
- İyonize edilerek pozitif yüklü hale gelen izotop negatif yüklü bir elektrik alana çekilerek hızlandırılır.
- Hız kazanan iyonize izotop bir manyetik alan içine fırlatılır.
- İzotopun manyetik alandaki yörüngesi uygulanan manyetik alan kuvvetine ve izotopun kütlesine bağlıdır. Böylece izotop istenilen yere düşürülür.
- İzotopun düşürüldüğü yerde bir "Faraday Kafesi" bulunur. Faraday Kafesi içinden elektronların (elektrik akımının) geçtiği bir kutudur. Birim zamanda kutudan kaç tane elektron geçtiği (Coulomb/saniye) amper olarak ölçülür. Kafese düşen pozitif yüklü izotop elektron kaparak nötrleşir. Dolayısıyla amperdeki azalma kafese düşen izotop sayısı ile doğru orantılıdır.
- Ölçüm birkaç dakika sürer. Bu süre içinde Standart ve Örnek defalarca arka arkaya okunur.
- Standartın ölçülen ve bilinen izotop oranı dikkate alınarak ölçülen örnek değerlerinde düzeltme yapılır.
- Ölçümde VSMOW'un yanısıra SLAP (Standard Light Atlantic Precipitation) gibi standartlar da kullanılarak kalibrasyon yapılır.



Duraysız (radyoaktif) izotopların ölçülmesi:

- Duraysız izotoplardan tritium ($3H$) Sıvı Parıldama (Liquid Scintillation) tekniği ile ölçülür.
- Analiz için 0.25 litre örnek yeterlidir. Olası örnek kayıpları dikkate alındığında örnek hacminin 1 litre olması tercih edilir.
- Örnek önce damıtılır, daha sonra 0.25 litre örnek elektroliz ile 0.025 litre hacime indirgenerek tritium açısından zenginleştirilir.
- Zenginleştirilen örnek tekrar damıtılır, "kokteyl" olarak adlandırılan özel bir kimyasal ile karıştırılarak "Ultra Düşük Fon Radyasyonuna" sahip Sıvı Parıldama Sayıcısında ölçülür.
- Örnek hazırlama süreci ile örneğin ölçülmesi süreci birer hafta sürer.
- Duraysız izotoplardan Karbon-14 Hızlandırıcılı Kütle Spektrometresinde (Accelerator Mass Spectrometer) ölçülür.



Hidrojeolojide kullanılan duraysız (radyoaktif) izotoplar

İzotop	Yarı-ömür (yıl)	Bozunma Şekli	Başlıca Kaynaklar	Ölçüldüğü Fazlar
³ H	12.43	β^-	Kozmojenik, silah denemesi	H ₂ O, CH ₂ O
¹⁴ C	5730	β^-	Kozmojenik, silah denemesi, nükleer reaktörler	DIK, DOK, CO ₂ , CaCO ₃ , CH ₂ O
³⁶ Cl	301,000	β^-	Kozmojenik ve jeolojik	Cl ⁻ , klorür tuzları
³⁹ Ar	269	β^-	Kozmojenik ve jeolojik	Ar
⁸⁵ Kr	10.72	β^-	Nükleer yakıt işleme	Kr
⁸¹ Kr	210,000	ec	Kozmojenik ve jeolojik	Kr
¹²⁹ I	$1.6 \cdot 10^7$	β^-	Kozmojenik, jeolojik, nükleer reaktörler	I ⁻ ve organiklerdeki iyot
²²² Rn	3.8 gün	α	²³⁸ U bozunma serisinde ²²⁶ Ra'nın Annesi	Rn gazı
²²⁶ Ra	1600	α	²³⁸ U bozunma serisinde ²³⁰ Th'un Annesi	Ra ²⁺ , karbonat, killer
²³⁰ Th	75,400	α	²³⁸ U bozunma serisinde ²³⁴ U'ün Annesi	Karbonat, Organikler
²³⁴ U	246,000	α	²³⁸ U bozunma serisinde ²³⁴ Pa'ün Annesi	UO ₂ ²⁺ , Karbonat, organikler
²³⁸ U	$4.47 \cdot 10^9$	α	Primordiyal	UO ₂ ²⁺ , Karbonat, organikler

β^- beta (elektron) ışıması, α alfa (He²⁺) ışıması, ec, electron yakalama



Hidrojeolojide kullanılan duraysız (radyoaktif) izotopların kullanım alanları

İzotop	Yarı-ömür (yıl)	Bozunma Şekli	Kullanıldığı Alan
³H	12.43	β⁻	Yeraltısuyu yaş tayini (yaygın, 0-150 yıl) 350 \$, 1 ay
¹⁴C	5730	β⁻	Yeraltısuyu yaş tayini (yaygın, 0-50,000 yıl) 350 \$, 1 ay
³⁶Cl	301,000	β⁻	Yeraltısuyu yaş tayini (deneysel, milyon yıl)
³⁹Ar	269	β⁻	Yeraltısuyu yaş tayini (deneysel, onbin yıl)
⁸⁵Kr	10.72	β⁻	Yeraltısuyu yaş tayini (yaygın, 0-50 yıl)
⁸¹Kr	210,000	ec	Yeraltısuyu yaş tayini (deneysel, milyon yıl)
¹²⁹I	1.6 • 10⁷	β⁻	Nükleer kazalar
²²²Rn	3.8 gün	α	Yeraltısuyu yaş tayini ve radyoaktivite içeriği (Radon Raporu)
²²⁶Ra	1600	α	Yeraltısuyu yaş tayini ve radyoaktivite içeriği
²³⁰Th	75,400	α	Yeraltısuyu yaş tayini (deneysel, yüzbin yıl)
²³⁴U	246,000	α	Yeraltısuyu yaş tayini ve radyoaktivite içeriği
²³⁸U	4.47* 10⁹	α	Kayaçlarda yaş tayini

β⁻ beta (elektron) ışıması, α alfa (He²⁺) ışıması, ec, electron yakalama



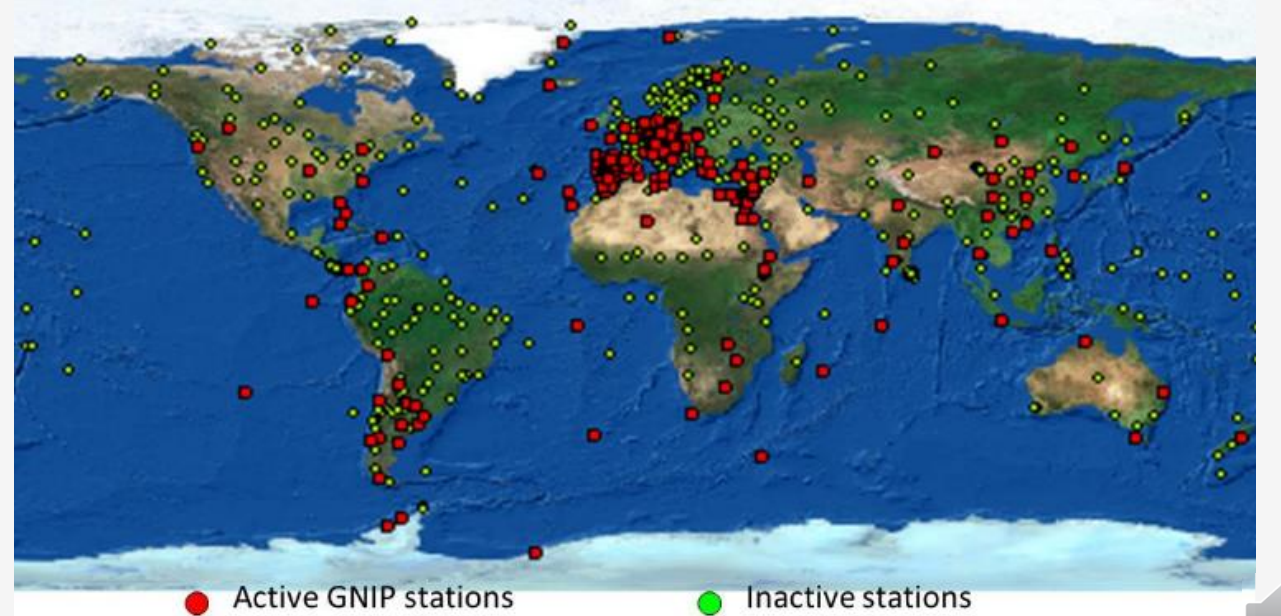
Hidrojeolojide izotop analizi amaçlı örnekleme

- Hidrojeolojide izotop analizi amaçlı örnekleme kimyasal analiz amaçlı örnekleme ile hemen hemen aynıdır.
- Örnekleme yeri doğru seçilmeli, ilgilenin suyu temsil etmelidir.
- Polietilen, tıpalı ve vidalı kapaklı şişeler kullanılır.
- Örnek kodları şişe ıslatılmadan şişenin üzerine yazılır.
- Dolu şişede hava kabarcığı kalmamasına dikkat edilir. Bunun için mümkünse bir kova su ile doldurulup şişe kovaya daldırılarak doldurulur ve tıpa su altında takılır.
- Yağış suyundan izotopik amaçlı örnekleme genellikle meteoroloji istasyonlarında ölçülen günlük yağış suyu kullanılarak yapılır. Günlük yağış hacmi ölçüldükten sonra su atılmaz, bir bidon da biriktirilir. Bidon suyun buharlaşmayacağı bir ortamda tutulur. Her ay sonundaki bidondaki sudan uygun hacimdeki örnek plastik şişelere doldurulur.
- Yağış suyunu örneklemek için yıl içinde kuruyan kaynak suları da kullanılabilir.
- Karın izotop içeriğini belirlemek için yol yarmalarındaki kar kesitiden, tüm kesiti temsil edecek şekilde kar toplanır. Kar buharlaşmasına izin vermeyecek kadar sıcak olmayan bir ortamda eridikten sonra su örnek şişelerine alınır.

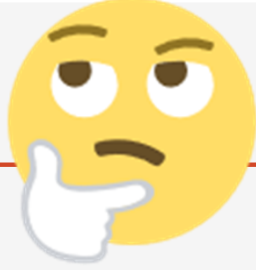


GNIP (Global Network of Isotopes in Precipitation) istasyonları Yağış izotopları küresel gözlem ağı

- Gözlem ağı, her ikisi de Birleşmiş Milletler kurumu olan Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO, örnekleri toplar) ile Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA, analizleri düzenler) tarafında işletilmektedir.
- Gözlemler 1963 yılında başlamıştır.
- Türkiye 3 istasyon (Ankara, Adana, Antalya) ile en yoğun ve en uzun gözlem tarihçesine sahip ülkelerden birisidir.
- Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve DSİ Genel Müdürlüğü işbirliği ile 2012 yılından itibaren gözlem şebekesini oldukça genişletmiştir.



Sorular?



- İzotop nedir?
- Hidrojeolojide kullanılan duraylı izotoplar ?
- Duraylı izotop ölçüm standartları?
- del notasyonu nedir?
- Hidrojeolojide kullanılan radyoaktif izotoplar ?
- İzotop analizi amaçlı örnekleme?
- GNIP nedir?
- GNIP-Türkiye istasyonları?

