

## Sedimentlerde Radyoizotopik Yöntemlerle Yaş Tayini

Hasan N. ERTEN

*Kimya Bölümü, Bilkent Üniversitesi,  
06533, Bilkent, Ankara - TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 01.04.2001

### Özet

Sedimentlerde yaş tayini, sediment boyunca kimyasal element dağılımı ile birlikte ele alınca doğal ve kültürel olayların çevresel etkilerinin belirlenmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Doğal  $^{238}\text{U}$  radyoaktif serisinin bir ürünü olan  $^{210}\text{Pb}$  ( $t_{1/2}= 22.3\text{y}$ ) kullanılarak sedimentlerde son 200 yılı kapsayan bir süre içinde yaş tayini yapmak mümkün olmaktadır. Diğer yandan çevrede yapay olarak bulunan  $^{137}\text{Cs}$  ( $t_{1/2}= 30.1\text{y}$ ) izotopunun sediment boyunca dağılımı incelemelerinden 1954-1963 yıllarındaki yeryüzünde yapılan nükleer silah denemelerinin sonucunda ve 1986 yılındaki Çernobil kazasında çevreye yayılan  $^{137}\text{Cs}$ 'nin dağılım profillerinden söz konusu tarihleri belirlemek mümkün olmaktadır. Bu yöntem  $^{210}\text{Pb}$  ile birlikte kullanıldığı zaman güvenilir sediment çökeltme hızı tayinleri yapılabilmektedir. Diğer yandan bir kozmik ışın ürünü olan  $^7\text{Be}$  ( $t_{1/2}=53.3\text{g}$ ) izotopunun incelenmesi ise sediment örneklerinin kayıpsız elde edilmişlerini belirlemektedir. Radyoizotopik yöntemler klasik yöntem olarak kullanılan katman sayma yöntemi ile karşılaştırılabilir. İsveçre'de Zurich ve Konstans göllerinden Marmara denizi ile Türkiye'nin güney sahillerinden ve Kuzey Kıbrıs sahillerinden alınan sediment örneklerinin yukarıda sözü edilen yöntemlerle yaş tayinleri karşılaştırılmıştır.

## Dating of Sediments Using Radioisotopic Techniques

### Abstract

Dating of lake sediments together with the determination of the distribution of trace elements throughout the depth of sediments, gives us valuable information in the study of the impact of natural and cultural events on the environment. Using  $^{210}\text{Pb}$  ( $t_{1/2}=22.3\text{y}$ ) a member of the natural radioactive  $^{238}\text{U}$  series, it is possible to date sediments within the last 200 years. The fallout nuclide  $^{137}\text{Cs}$  ( $t_{1/2}= 30.1\text{y}$ ) with its known deposition pattern resulting from extensive testing of nuclear weapons in the atmosphere between 1954-1963 and from the nuclear accident in Chernobyl in 1986 provides a complimentary method of sediment dating. The maxima in fall-out corresponding to the 1963 and 1986 are usually well preserved in sediment horizons and they can be used as time markers.  $^7\text{Be}$  ( $t_{1/2}=53.3\text{d}$ ), a cosmic ray produced nuclide is expected to be present only in the uppermost sediment layers. The presence of  $^7\text{Be}$  in the sediments ensures complete core recovery. Sediment cores from Lakes Zurich and Constance from the Sea of Marmara, southern Turkey and northern Cyprus were dated using natural  $^{210}\text{Pb}$ , fallout  $^{137}\text{Cs}$  and cosmic-ray produced  $^7\text{Be}$  radionuclides.

### Giriş

Sedimentlerde polynolojik (polen), stratigrafik (tabaka) ve  $^{14}\text{C}$  gibi konvensiyonel yöntemlerle yaş tayini teknikleri çoğu kez binlerce yıllık tarihsel ortalama değerler vermekte ve bunlara karşılık gelen

metrelerce derinliği olan sedimentler içermektedir.

Doğal ve kültürel olayların sediment kimyasal profillerine etkilerinin incelenmesi, özellikle endüstriyel kirlenmenin belirlenmesi, sedimentlerin son 150 yıl kadarki süreyi kapsayacak şekilde duyarlı

olarak yaşlandırılmasını gerektirmektedir.

Doğal  $^{210}\text{Pb}$  ( $t_{1/2}=22.34\text{y}$ ) radyoizotopu kullanarak sedimentlerde yaş tayini yöntemini ilk kez Goldberg önermiştir. Daha sonraları ise yöntem birçok araştırmacı tarafından geliştirilerek kullanılmıştır. <sup>2,3,4,5,6,7,8,9</sup>. Bu çalışmada doğal  $^{210}\text{Pb}$ , fisyon ürünü  $^{137}\text{Cs}$ ( $t_{1/2}=30.1\text{y}$ ) kozmik ışınlarında bulunan  $^7\text{Be}$ ( $t_{1/2}=53.3\text{g}$ ) radyoizotopları kullanılarak göllerde ve denizlerde yaş tayini yöntemi anlatılmakta ve uygulamalardan örnekler verilmektedir.

## Yöntem

### $^{210}\text{Pb}$ Metodu

$^{210}\text{Pb}$  metodunun kaynağı  $^{238}\text{U}$  doğal radyoaktif serisidir. (Şekil 1). Bu serinin bir ürünü olan  $^{222}\text{Rn}$  gazı litosferden atmosfere geçmektedir.  $^{222}\text{Rn}$  gazı tamamen bozununcaya kadar atmosferde kalır. Oluşan bozunma ürünleri arasında en uzun ömürlü olan  $^{210}\text{Pb}$  atmosferdeki aerosol'lara yapışarak yağmurla, karla veya kendiliğinden çökelmeyle kara ve su yüzeylerine sabit bir akıyla ulaşmaktadır. Su yüzeylerindeki  $^{210}\text{Pb}$  sudaki partiküllere yapışarak dipteki sedimentlerde toplanmaktadır. Sedimentlerde havadan gelen  $^{210}\text{Pb}$  kaynağından başka,  $^{238}\text{U}$  serisinden toprak aşınmasıyla gelen başka bir  $^{210}\text{Pb}$  kaynağı da bulunmaktadır. Havadan gelen  $^{210}\text{Pb}$  zamanla kendi yarı ömrüne göre bozunmakta, topraktan gelen ve  $^{238}\text{U}$  ile denge halinde bulunan  $^{210}\text{Pb}$  aktivitesi ise kararlı bir denge hali oluşturduğu için sabit kalmaktadır. Buna göre sediment yüzeyine ulaştıktan t zaman sonra  $^{210}\text{Pb}$  aktivitesi için şu ifade yazılabilir.

$$A(t) = A_o e^{-\lambda t} + A_u \quad (1)$$

Burada;

$A_o$  = Sediment yüzeyine ulaşan  $^{210}\text{Pb}$  t=0 daki aktivitesi ( $\text{dpm.g}^{-1}$ )

$A(t)$  = sedimentteki t zamanında toplam  $^{210}\text{Pb}$  aktivitesi ( $\text{dpm.g}^{-1}$ )

$A_u$  =  $^{238}\text{U}$  serisinden gelen ve sabit olan  $^{210}\text{Pb}$  aktivitesi ( $\text{dpm.g}^{-1}$ )

$\lambda$  =  $^{210}\text{Pb}$  bozunma sabiti,  $0.0311\text{y}^{-1}$

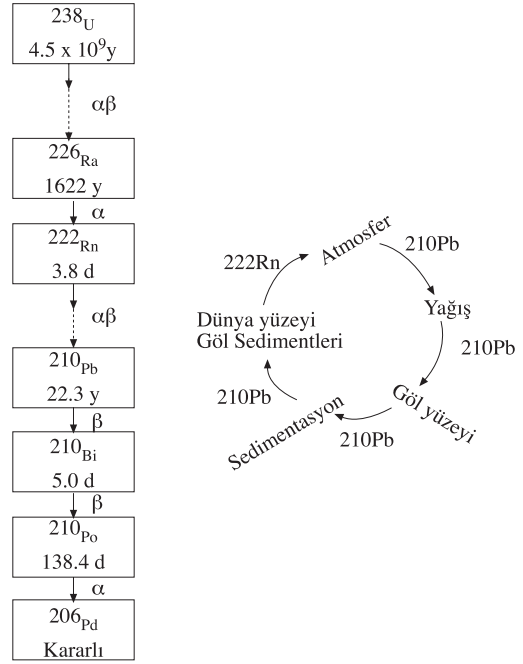
t zamanındaki toplam  $^{210}\text{Pb}$  aktivitesi A(t) den sabit olan  $A_u$  çıkarılırsa,  $A(t) - A_u = A_h(t)$ , ve

$$A_h(t) = A_o e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Burada  $A_h(t)$  havadan gelen t zamanında sedimentte bulunan  $^{210}\text{Pb}$  aktivitesidir.

Sediment taneciklerine yapışan  $^{210}\text{Pb}$  atomlarının çökeldikten sonra sediment içinde hareket

etmediklerini varsayarak, zaman değişkeni t'yi şu şekilde ifade etmek mümkün olur.



**Şekil 1.** Doğal  $^{238}\text{U}$  serisinin  $^{210}\text{Pb}$  metoduyla yaş tayini için önemli radyoizotoplar ile  $^{210}\text{Pb}$ 'un göl sedimentlerine ulaşmasının şematik yolu.

$$t = \frac{z}{s}$$

burada;

$z$  = sediment derinliği(cm)

$s$  = sedimentasyon hızı( $\text{cm.y}^{-1}$ )

Buna göre bağlantı (2) şu şekli alır;

$$A_h(z) = A_o e^{-\lambda z/s} \quad (3)$$

Eğer sedimentasyon hızı  $s(\text{cm.y}^{-1})$ 'nın da sediment boyunca sabit olduğu varsayılırsa;

$\log A_h(t)$  derinlik  $z'$ 'ye karşı çizilirse eyni  $m = -\frac{\lambda}{2.303s}$  ve  $y$  eksenini  $\log A_o$ 'da kesen bir doğru elde edilir. Sediment boyunca derinlik arttıkça sedimentlerin yoğunluğu da artmaktadır. Buna göre derinlik  $z(\text{cm})$ 'ye de bir düzeltme uygulamak gerekmektedir. Yoğunluğa göre düzeltilmiş derinlik  $z'$  olursa; denklem (3) şu şekli almaktadır.

$$A_h(z') = A_o e^{-\lambda z'/s} \quad (4)$$

Düzeltilmiş derinlik  $z'$  ise  $z$  değerlerinden aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$z' = z + \int_0^z (\rho_z/\rho_0 - 1) dz \quad (5)$$

Burada;

$$\rho_z = z \text{ derinliğindeki sediment yoğunluğu (g.cm}^{-3}\text{)}$$

$$\rho_0 = \text{yüzeydeki sediment yoğunluğu (g.cm}^{-3}\text{)}$$

Yukarıda verilen ifadelerde t=0 zamanında sediment yüzeyindeki aktivitenin  $A_0$  (dpm.g<sup>-1</sup>) sabit kaldığı varsayılmıştır. Buna karşılık gelen <sup>210</sup>Pb konsantrasyonu da sabit olmaktadır. Bu yöntemle yapılan <sup>210</sup>Pb sedimantasyon hızı ve dolayısıyla yaş tayinine "Constant Initial Concentration" veya C.I.C yöntemi denir.

$$A_o = \frac{F}{S.R.} \text{ olarak tanımlanırsa}$$

burada;

$$F = \text{Sediment yüzeyine gelen } ^{210}\text{Pb akısı (dpm.cm}^{-2}\text{.y}^{-1}\text{)}$$

$$S.R. = \text{Kütle sedimantasyon hızı (g.cm}^{-2}\text{.y}^{-1}\text{)}$$

buna göre bağıntı(6) şu şekli almaktadır.

$$A_h(z') = \frac{F}{S.R.} e^{-\lambda z'/s} \quad (6)$$

Linear sedimantasyon hızı s(cm.y<sup>-1</sup>) ile kütle sedimantasyon hızı S.R. (g.cm.<sup>-2</sup>.y<sup>-1</sup>) arasında şu bağıntı bulunmaktadır.

$$S.R. = s(1 - \phi_o)\rho_s \quad (7)$$

Burada;

$$\phi_o = \text{yüzeydeki sediment porositesi}$$

$$\rho_s = \text{sedimentlerin kuru yoğunluğu (g.cm}^{-3}\text{)}$$

C.I.C yönteminde hem sediment akısı F hem de sedimantasyon hızı S.R. veya s'nin sediment boyunca sabit kaldığı kabul edilmektedir. Sediment yüzeyine gelen <sup>210</sup>Pb akısı F'nin sabit kaldığı ancak sedimantasyon hızının değiştiği durumlarda ise "Constant Rate of Supply", C.R.S metodu ile sedimentlerde yaş tayini yapılmaktadır. Bu modele göre sediment içindeki toplam <sup>210</sup>Pb aktivitesi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

$$\sum_{z'=0}^{z'} A(z') = F \int_0^{t'_z} e^{-\lambda t} dt \quad (8)$$

Burada,  $t_{z'}$  = sedimentin  $z'$  derinliğindeki yaşı(y)

Buna göre  $z'$  derinliğinde sedimentin yaşı;

$$t_{z'} = -\frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{1 - \sum_{z'=0}^{z'} A(z') \cdot \lambda}{F}\right) \quad (9)$$

ifadesinden elde edilmektedir.

Burada;

$\sum_{z'=0}^{z'} A(z') =$  sediment yüzeyinden  $z'$  derinliğe kadar toplam <sup>210</sup>Pb aktivitesi (dpm.g<sup>-1</sup>)

C.R.S yöntemi ile belli derinlikteki sedimentlerin bağıntı (9)'u kullanarak yaş tayini yapılırken, gerekli olan akı değeri F ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$F = \frac{\sum_{z'=0}^{\infty} A_{\infty} \cdot \lambda}{1 - e^{-\lambda \cdot 200}} \quad (10)$$

Burada;

$\sum_{z'=0}^{\infty} A_{\infty} \cdot \lambda =$  sediment boyunca, 200 yıl yaşa karşılık gelen sediment derinliğine kadar olan toplam <sup>210</sup>Pb aktivitesi(dpm.g<sup>-1</sup>)

Eğer sediment akısı F yanında sedimantasyon hızı S.R. de sabit olursa C.I.C. ve C.R.S modellerinin benzer yaş değerleri vermesi beklenir.

### <sup>137</sup>Cs Metodu

Bir fisyon ürünü olan <sup>137</sup>Cs radyoizotopu nükleer silah denemelerinin yer yüzeyinde en yoğun yapıldığı 1953-54 ile 1963-64 yıllarında atmosfere en fazla salgılandı. Diğer yandan 1986 yılında Çernobil'deki büyük nükleer santral kazasında da çok miktarda <sup>137</sup>Cs izotopu atmosfere ulaştı. Söz konusu yıllara ait <sup>137</sup>Cs aktivite artışları atmosferden değişik çökme yolları ile ulaştığı sedimentlerde de kendini göstermektedir. <sup>137</sup>Cs izotopunun sedimentlere yapıştıktan sonra mobil olmadığı varsayılarak, sediment katmanlarındaki <sup>137</sup>Cs aktivitesi ölçülerek gözlenen pik noktaları bir zaman izi olarak kullanılmaktadır.

### <sup>7</sup>Be Metodu

Bir kozmik ışın ürünü olan <sup>7</sup>Be de atmosferde bulunmaktadır. <sup>210</sup>Pb ve <sup>137</sup>Cs gibi sedimentlere ulaşan <sup>7</sup>Be kısa yarı ömrü ( $t_{1/2}=53.3$ g) nedeniyle sedimentlerin sadece yüzey ve yüzeye yakın katmanlarında bulunması beklenir. Sediment örneklerinde <sup>7</sup>Be ölçümleri örneklerin kayba uğramadan alınıp alınmadıkları hakkında bilgiler vermektedir. Diğer yandan su yüzeyinden değişik derinliklerde toplanan partiküllerdeki <sup>7</sup>Be ölçümlerinden partikül çökme hızları dolayısıyla partiküllerin sudaki ortalama kalış süreleri elde edilebilmektedir.

### Denel

Sediment örnekler bir karışıma uğramamasına özen gösterilerek "gravity corer" veya "box corer" tipi cihazlarla alındıktan sonra 0.5, 1.0 veya 2.0 cm dilimler halinde örneklere bölünürler. Her örneğin

porositesi belirlendikten sonra yaş tayini yapılır.

$^{210}\text{Pb}$  miktarının belirlenmesi için en uygun yöntem  $^{210}\text{Pb}$  ile karalı denge halinde olan kısa ömürlü  $^{210}\text{Po}$  ( $t_{1/2}= 138.4\text{g}$ )'nun  $\alpha$  -spektroskopisi kullanılarak sayılmasıdır. Bunun için bir gram kadar kuru sediment örneği bir beher içinde, kimyasal verim için kullanılan  $^{208}\text{Po}$  izotopu ile birlikte, polonyum klorür haline dönüştürülür. Daha sonra polonium  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'e destile edilerek küçük bir gümüş diskin tek tarafına kaplanır. Polonyumun diskin tek tarafında toplanmasını sağlamak için diğer yüzü epoksi boya ile inaktif hale getirilir. Yedi saat kadar polonyum çözeltisine daldırılan gümüş diskin üzerine kimyasal verimi % 90'a ulaşan polonyum kaplanır. Kimyasal verim  $^{208}\text{Po}$  izotopunu sayarak belirlenir. Daha sonra gümüş disk yıkanıp kurutularak alfa aktivitesi belirlenir. Ayırma gücü yüksek duyarlı çok kanallı Ge  $\gamma$ - dedektörleri geliştirildikten sonra sediment örneklerindeki  $^{210}\text{Pb}$  ile fisyon ürünü  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^7\text{Be}$  radyoizotopları, hiçbir kimyasal ayırma uygulamadan doğrudan doğruya bir  $\gamma$ - spektrometresi kullanılarak belirlenebilir.

$^{210}\text{Pb}$  için 46.5 keV,  $^{137}\text{Cs}$  için 661.6 keV ve  $^7\text{Be}$  için ise 477.6 keV enerjili piklikleri en uygun olanlardır.

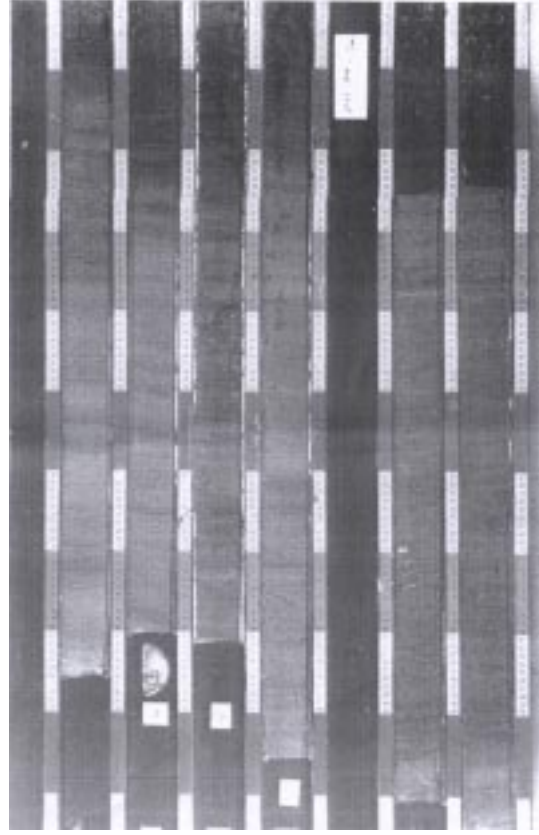
## Sonuçlar ve Tartışma

Şekil 2'de Zurich Gölünün değişik yerlerinden alınan altı adet sediment örneği görülmektedir. Yaz ve kış aylarına karşılık gelen yıllık katmanlar açıkça görülmektedir. Bu katmanların sayımından ve kapladıkları sediment kalınlığından sedimantasyon hızı tayin etmek mümkün olmaktadır. Şekil 3'de Zurich Gölü sediment örneklerinde C.I.C, C.R.S modelleri ile  $^{137}\text{Cs}$  zaman markeri ve yıllık katmanlar kullanılarak elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

C.R.S metodu ile her katman için bağlantı (9) kullanılarak bulunan yaş değeri ile C.I.C metodu ile elde edilen eğrinin çok iyi uyduğu görülmektedir. Bunun yanında yıllık katmanlar sayılarak elde edilen yaş değerleri ile  $^{137}\text{Cs}$  aktivite dağılım profilinden çıkan yaş değerlerinin de  $^{210}\text{Pb}$  yöntemiyle elde edilen sonuçlara uyduğu görülmektedir.

Şekil 4'de Marmara Denizi, Zurich (İsviçre) ve Konstans (Almanya) göllerinden alınan sediment örneklerinde havadan gelen  $^{210}\text{Pb}$  aktivitesinin  $A_h(z')$ , sediment kütle derinliğine ( $\text{g.cm}^2$ ) göre değişimini göstermektedir. C.I.C metoduna göre en düşük kareler yöntemiyle sedimantasyon hızları sırasıyla şöyle bulunmuştur.

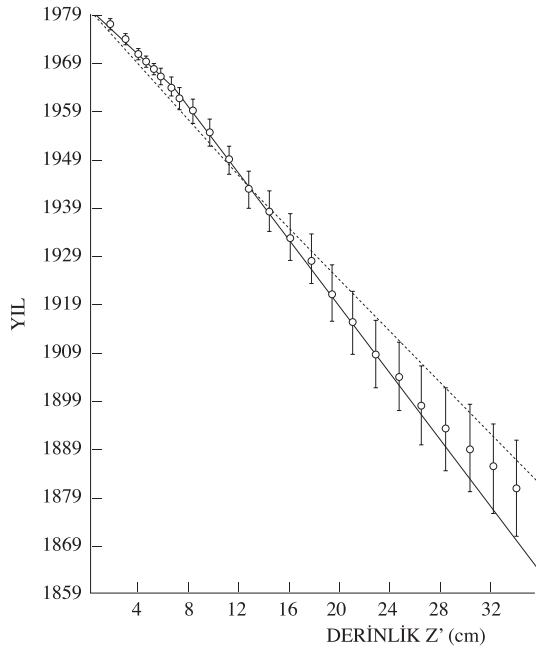
Göl veya Deniz	S.R( $\text{g.cm}^2 .\text{y}^{-1}$ )
Marmara Denizi	0.087 $\Gamma$ 0.012
Zurich Gölü	0.073 $\Gamma$ 0.015
Konstans Gölü	0.11 $\Gamma$ 0.02



Şekil 2. Zurich Gölü'nden Gravity Corer yöntemiyle elde edilen 6 adet sedimentin örneği görülmektedir. Yıllık katmanlar belirgin şekilde görülmektedir.

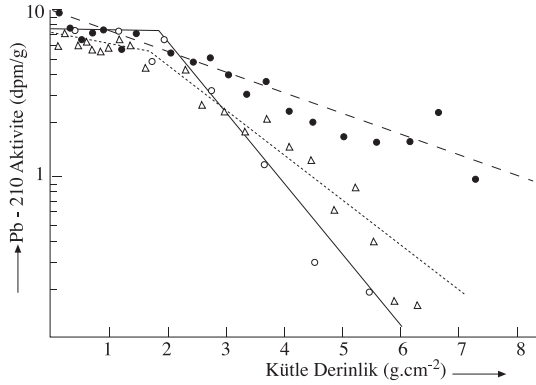
Marmara Denizi ve Zurich Gölü sedimentlerinde gözlenen ilginç bir husus yaklaşık  $2\text{ g.cm}^{-2}$  kütle derinliğine kadar olan bölgede  $^{210}\text{Pb}$  aktivitesinin sabit olmasıdır. Konstans Gölü sedimentlerinde böyle bir sabit bölge gözlenmemiştir. Zurich Gölü sedimentlerinde sabit bölgede yıllık katmanlar gözlenmesi; sediment içinde beklenen toplam  $^{210}\text{Pb}$  aktivitesinin ancak % 50'nin bulunması, bu bölgeye neden olan faktörlerin fiziksel ve biyolojik karıştırmadan ileri gelmeyip, yüzeye yakın sedimentlerdeki  $^{210}\text{Pb}$ ' un tekrar suya geçmesi (resuspansiyon) ile açıklanabilir. Diğer yandan Marmara Denizi sedimentlerinde gözlenen sabit aktivite bölgesi için ise şunlar söylenebilir. Sedimentlerde yıllık katmanlar gözlenmemiştir. ölçülen toplam  $^{210}\text{Pb}$  aktivitesi beklenenin % 90'ından fazla

idi. Ayrıca çok fazla miktarda mikroorganizmalar gözlenmiştir. Bu bulgular buradaki sabit aktivite bölgesinin fiziksel ve biyolojik karıştırmadan ileri geldiğini göstermektedir.



**Şekil 3.** Zurich gölünden alınan bir sediment örneği kullanılarak değişik metodlarla elde edilen Yaş-Derinlik bağlantıları

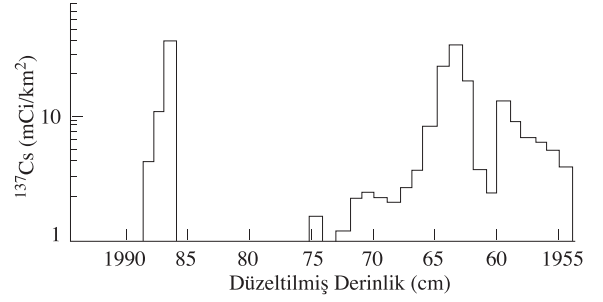
- Φ C.R.S. metodu
- C.I.C. metodu
- .-.-  $^{137}\text{Cs}$  metodu
- - - Yıllık katmanlar metodu



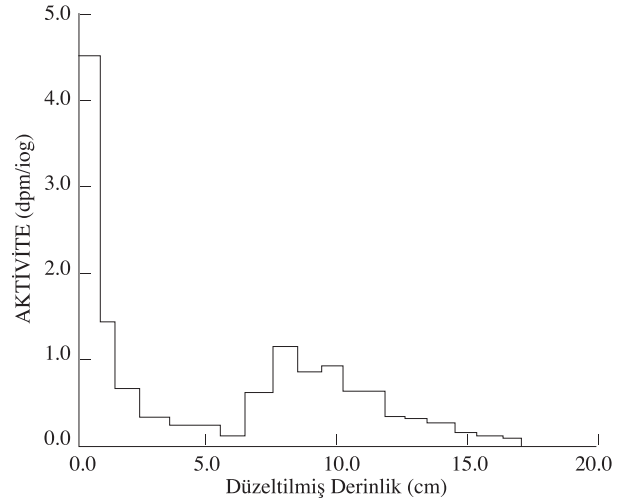
**Şekil 4.** Sediment örneklerinde havadan gelen  $^{210}\text{Pb}$  aktivitesi,  $A_h(z)$ 'nin kütle derinliğine göre değişimi:

- o Marmara Denizi
- Konstans Gölü
- Δ Zurich Gölü

Şekil 5(a) havada bulunan  $^{137}\text{Cs}$  izotopu akısının yıllara göre değişimini göstermektedir. Yeryüzünde en yoğun şekilde gerçekleştirilen nükleer silah denemeleri 1953-54 ve 1963-64 yıllarına ait pikler ile 1986'da meydana gelen Çernobil kazasında havaya ulaşan  $^{137}\text{Cs}$ 'a ait olan pik açıkça görülmektedir. Bu piklere karşılık gelen ve Kıbrısın kuzeyinden 1989 yılında alınan bir sediment örneği boyunca  $^{137}\text{Cs}$  aktivite dağılımı da şekil 5(b)'de gösterilmektedir. En yüzeydeki pik Çernobil kazasından diğeri ise nükleer silah denemelerinden ileri gelmektedir.

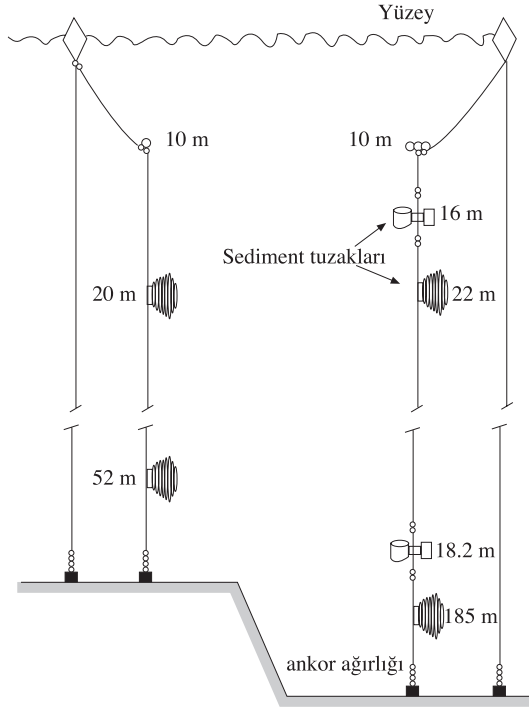


**Şekil 5a.** Havada bulunan  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotop akısının yıllara göre değişimi



**Şekil 5b.** Kıbrıs'ın Kuzeyinden 1989 yılında alınan bir sediment örneği boyunca  $^{137}\text{Cs}$  aktivitesinin değişimi

Şekil 6'da gösterilen sediment tuzakları kullanılarak değişik su derinliklerinde çöktürmekte olan sediment partikülleri toplanabilir. Bu yöntemle de sedimentasyon hızı tayini yapılabilmektedir. Konstans Gölü sedimentleri için bulunan değer  $0.14 \text{ g.cm}^{-2}.\text{y}^{-1}$  değeri  $^{210}\text{Pb}$  metodu ile bulunan

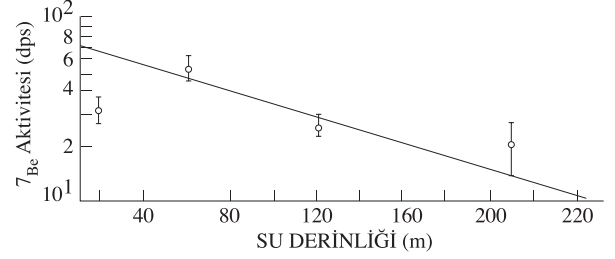


Şekil 6. Sediment tuzaklarının şematik görünümü.

$0.11 \pm 0.02 \text{ g.cm}^{-2}.\text{y}^{-1}$  değerine uymaktadır.

Diğer yandan değişik su derinliklerinden toplanan sedimentlerde yapılan  $^7\text{Be}$  aktivite ölçümlerinden sediment taneciklerinin ortalama

batma hızları bulunabilir. Konstans gölü sedimentleri için Şekil 7’de gösterilen eğriden en düşük kareler yöntemiyle elde edilen batma hızı  $2 \text{ m.g}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Bu değer taneciklerin sediment yüzeyine çökmeden ortalama olarak 125 gün süre ile su içinde kaldıklarını göstermektedir.



Şekil 7. Konstans Gölü’nde sediment tuzaklarından elde edilen Sedimentlerde  $^7\text{Be}$  aktivitesinin su derinliğine göre değişimi

Bu çalışmada sunulan radyoizotopik yöntemlerle sedimentlerde yaş tayini sonuçları şunları göstermektedir.

Kararlı ve oksik şartlarda hem  $^{210}\text{Pb}$  metodu, hem de  $^{137}\text{Cs}$  metodu yaş tayini için kullanılabilir. Ancak  $^{137}\text{Cs}$  metodunda sediment örneğinin hiç kayıpsız alınması büyük önem taşımaktadır. Sedimentlerin kayıpsız alındığını belirlemek için, en üst sediment katmanlarında  $^7\text{Be}$  ölçümleri yapılmalıdır.

## Kaynaklar

E. D. Goldberg, Radioactive Dating, Geochronology with lead-210. IAEA STI/PUB/68, 121, 1963.

S. Krishnaswami, D. Lal, J. M. Martin and M. Meybeck, Geochronology of lake sediments. Earth Planet. Sci. Lett. 11, 407, 1971.

J. A. Robbins and D. Edgington, “Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137”. Geochim Cosmochim Acta, 39, 285, 1975.

P. P. Smith and A. Walton, “Sediment Accumulation Rates and geochronologies measured in the saguenay Fjord using Pb-210 dating method”. Geochim. Cosmochim. Acta, 44, 225, 1980.

H. N. Erten, H. R. von Gunten, E. Rössler and M. Sturm, “Dating of sediments from Lake Zurich”. Schweiz. Z. Hydrol. 47, 5, 1985.

H. R. von Gunten, M. Sturm, H. N. Erten, E. Rössler and F. Wegmüller, “Dating Sediments and Particulate matter from Lake Constance with Pb-210, Cs-137 and Be-7”. Schweiz. Z. Hydrol. 49, 275, 1987.

G. Evans, H. N. Erten, S. A. Alavi, H. R. von Gunten and M. Ergin, “Superficial Deep-Water Sediments of the Eastern Marmara Basin”. Geo-Marine Letters, 9, 27, 1989.

S. Tadjikiand H. N. Erten, J. Radional, “Radiochronology of Sediments from the Mediterranean Sea using natural Pb-210 and fallout Cs-137”. Nucl. Chem. 181, 447, 1994.

H. N. Erten, “Radiochronology of Lake Sediments”. Pure and Appl. Chem. 69, 71, 1997.