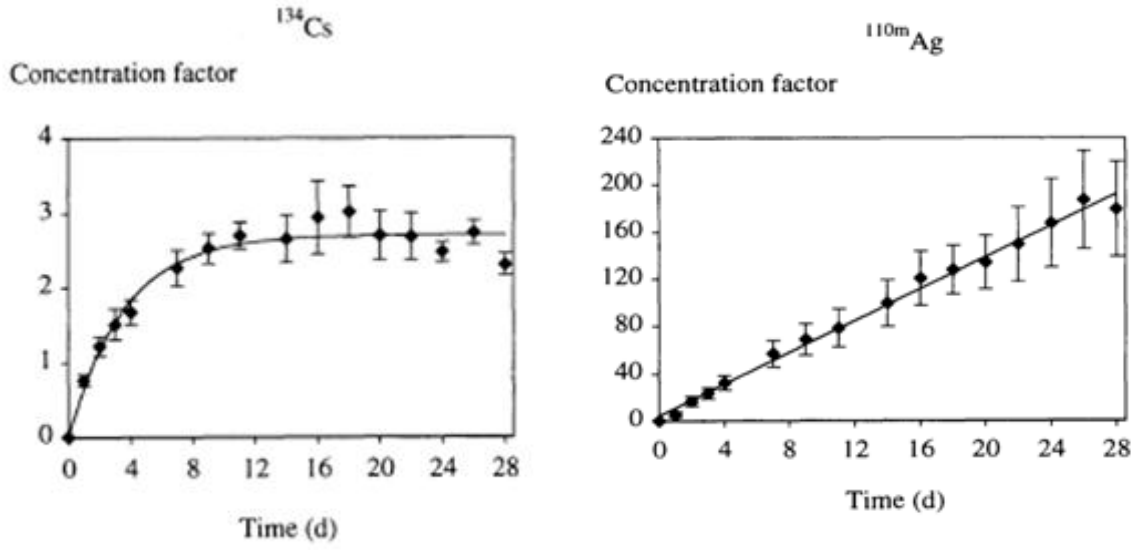


Biyobirikim

Organizmalar içinde yaşadıkları ortamdan radyonüklidleri sudan, besinden veya hem su ve hem de besinden biriktirmektedirler. Bazı organizmalar radyonüklidleri sudaki konsantrasyonuna göre 10, 100, 1000, 10000 kere daha fazla biriktirebilmektedir. Biyobirikim olayı birçok çevresel ve biyolojik faktör (radyonüklidin fiziksel ve kimyasal formu, tuzluluk, sıcaklık, diğer elementlerle olan ilişki, organizmanın büyüklüğü, fizyolojisi, yeme alışkanlığı v.b) tarafından kontrol edilmektedir. Organizma tarafından biriktirilmiş olan radyonüklidler, konsantre oldukları canlıda toksik etki yaratmasa bile, besin zinciri vasıtasıyla insana ulaşabilmektedir.

Denizlerde hayat genelde plankton, nekton ve bentos olarak üç kategoriye ayrılır. Plankton suda pasif olarak yüzen veya çok az hareket edebilen organizmalar grubudur. Nekton aktif olarak yüzücü canlıları, bentos ise deniz dibinde sessiz olarak yaşayan, çok ağır hareket edebilen ve sürünerek yer değiştiren canlıları ifade etmektedir. Birçok türün büyüklüğü mikrondan küçüktür (örneğin pikoplankton, bakteri gibi), bazılarının büyüklüğü cm'den büyüktür (makroplankton ve mikronekton gibi). Daha büyük organizmalar nekton grubunu oluşturur. Mikroplankton, zooplankton ve bazı ufak nektonik türler denizel biyomasta en büyük kütleli oluşturur.

Biyobirikim, organik kirletici, radyonüklid, işaretlenmiş metal gibi kirleticilerin sucul canlılar tarafından alım, atılım ve dokulardaki dağılımını laboratuvar şartlarında veya arazi şartlarında incelenmesini kapsamaktadır. Kirleticiler deniz organizmaları tarafından su ortamından filtre edilmesiyle, beslenmeyle, vücut yüzeyine tutunma ile alınabilir. Diğer yandan, fekal pellet, deri değiştirme gibi yollarla da vücutlarından kirleticileri uzaklaştırabilirler. Alım ve atılım olarak adlandırılan bu iki durum biyobirikimi ifade etmektedir. Alım süreci; kirleticinin canlı tarafından devamlı olarak alındığı bir süreç şeklinde devam edebilir. Veya önce artan şekilde kirleticinin canlı vücuduna alındığı, belirli bir evre sonra ise, alım ve atılım süreçlerinin birbirine eşitlendiği sürece (steady state) kadar devam edebilir.



Şekil 1. Eksponansiyel birikim (*Paracentrotus lividus*) ve Lineer birikim (*Paracentrotus lividus*)

Biyobirikim **hem adsorbsiyonu hem de absorbsiyonu** içermektedir.

Adsorbsiyon: Yüzeyle tutunma

Absorbsiyon: Emilme (Zara ve zardan içeri nüfuz etme)

Organizmanın yaşadığı ortamda sudan biriktirdiği radyonüklidin denge durumu oluştuğunda **konsantrasyon faktörü** terimi kullanılır. Konsantrasyon faktörü:

$$CF = \frac{\text{Canlıdaki aktivite (YA)} \left(\frac{Bq}{g}\right)}{\text{Deniz suyundaki aktivite} \left(\frac{Bq}{g}\right)}$$

Konsantrasyon faktörü sudan olan biyobirikimlerde kullanılmaktadır. Besinden olan veya diğer şekillerdeki biyobirikimlerde (örneğin, topraktan bitkiye) ise, **transfer faktörü** ifadesi kullanılmaktadır. Biyobirikimde denge durumu (steady state) oluşmamış ise, **konsantrasyon oranı (concentration ratio)** ifadesi kullanılır.

Bir deneyde, organizmada biriken radyonüklid miktarı aynı organizmadan uzaklaşan veya atılan radyonüklid miktarından çok olduğu zaman bu olaya **birikim (uptake)** denir. Belli bir süre sonra organizmaya giren ve çıkan nüklid miktarı eşit olduğunda **denge durumu** meydana gelmektedir. Denge durumundan önce konsantrasyon faktörü ifadesi yerine **konsantrasyon oranı terimi** kullanmak daha doğrudur (Topcuoğlu, 1986).

Tablo 1. Fitoplankton, mikrozooplankton ve makrozooplanktonlarda bazı radyonüklidlerin KF leri

Radyonüklid	Fitoplankton	Mikrozooplankton*	Makrozooplankton**
^{95m} Tc	$\sim 10^0$	10^0-10^1	$\sim 10^0$
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	$9 \times 10^4 - 1 \times 10^5$	5×10^3	1×10^2
²⁴¹ Am	$2 \times 10^4 - 1 \times 10^5$	3×10^3	1×10^3
¹⁴⁴ Ce	9×10^4	1×10^3	-
¹⁰⁶ Ru	1×10^5	3×10^3	-
²³⁸ U	1×10^1	5×10^0	-
²³² Th	2×10^4	2×10^4	-
²³⁰ Th	8×10^3	4×10^3	-
²²⁸ Th	2×10^4	6×10^3	-
²²⁶ Ra	2×10^3	1×10^2	-
²¹⁰ Po	1×10^4	2×10^4	1×10^4

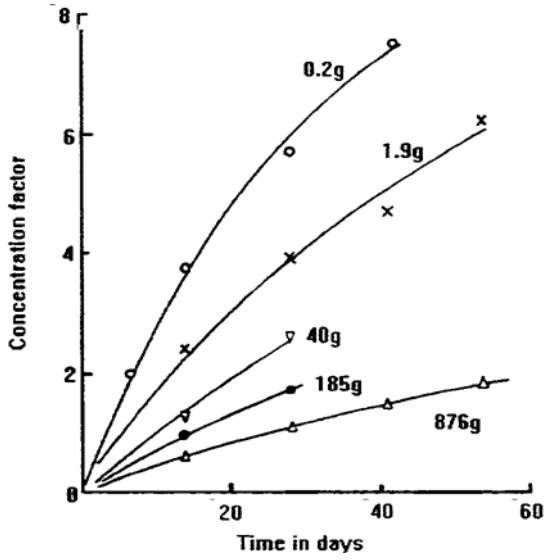
*Kopepod , **Euphausiid

Zooplanktonik organizmalar radyonüklidleri başlıca **iki yoldan biriktirebilmektedirler**. Bunlardan birincisi, vücut yüzeyine olan adsorbsiyondan veya solungaçlarından geçen sudan alınarak. Diğeri ise, yedikleri besin ve detritus'lardan olmaktadır. Yeme yoluyla olan birikimin daha önemli olduğu kabul edilmektedir. Bir görüşe göre de, deniz suyunda fitoplankton konsantrasyonu normal iken zooplanktonik organizmalarda sudan olan birikim besinden olan birikime göre daha fazladır. Eğer, zooplankton organizmalar için sudaki besin miktarı çok fazla ise, o zaman besin yolu ile geçiş daha önemli olmaktadır. Doğal şartlarda, zooplankton türleri radyonüklidleri hem sudan ve hem de besinden beraber biriktirmektedir. Bir euphausiid (*Meganyctiphanes norvegica*) türünde yapılan laboratuvar deneyi, su ve besinden olan ⁷⁵Se radyonüklidinin sadece sudan olan birikime göre konsantrasyon faktörü anlamlı olarak fazla bulunmuştur (Şekil 16). Başka bir görüşte ise zooplankton organizmalar tarafından kullanılan besinde, o radyonüklidin konsantrasyon faktörü üzerinde durulmuştur. Bir zooplankton olan kopepod (*Euterpina sp.*) türünde, ⁶⁵Zn radyonüklid birikimi yapılan deneyde şu sıralamaya göre azalmıştır:

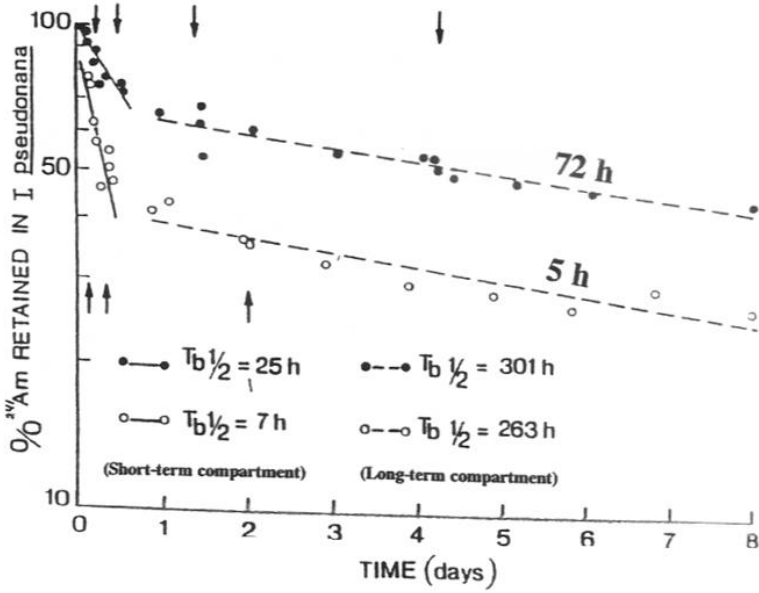
1. Kopepodlar birikimi hem yedikleri besinden ve hem de içinde buldukları aktif sudan almışlardır.
2. Kopepodler radyoaktif fitoplankton yiyorlar içinde buldukları su inaktif.
3. İçinde buldukları su radyoaktif ancak besin inaktif.
4. Yalnızca içinde buldukları su radyoaktif, ancak ortamda besin yok.

Biyobirikimde bazı önemli hususlara değinmede yarar vardır. *Tapes decustatus* gibi bazı midye türleri doğal şartlar altında sediment içinde yaşadığından bu organizmalar için yapılan deneylerde, deney tankları içine dip çamuru ilave etmek gerekir ve böylece bu organizmalar normal ekolojik şartlar altında tutulmuş olurlar. Diğer taraftan bilinmektedirki, kum, mil gibi birçok litojenik ve organik materyallerden oluştuğu için deney ortamında bulunan radyonüklidin bazı fiziko-kimyasal formları için competition (rekabet) meydana gelir. Sonuçta organizmada biyobirikim azalabilir. Farklı fiziko-kimyasal formlardaki radyonüklidlerin, organizmalardaki birikim mekanizmaları da farklılıklar göstermektedir. Biyobirikim deneylerinde, organizma sayısını, içine konulacak olan deney suyunun hacmi ve bu radyoaktif deney suyunu sık değiştirmeyi göz önüne almak deneyin doğruluğu açısından önemlidir. Ayrıca kullanılan deney organizmasının üreme mevsiminde olmaması ve aynı boy ve ağırlıklarda seçilmeleri de gereklidir.

Balıklarla yapılan bir biyobirikim çalışmasında ¹³⁴Cs radyonüklidinin konsantrasyon faktörü balığın ağırlığı ile bağıntılı olduğu saptanmıştır (Şekil 18). Ufak balık büyük balığa göre bu radyonüklidi hem fazla ve hem de hızlı biriktirmiştir (Pentreath, 1975). Yapılan bir başka araştırmada, kaya balığındakızıl kanat ve turna balığına göre ⁶⁵Zn'in konsantrasyon faktörü daha büyük bulunmuştur. Ayrıca tuzluluk, sıcaklık gibi birçok çevre parametreleri balıklarda da bazı radyonüklidlerin birikimine de etki etmektedir. Diğer taraftan yapılan bir araştırmada, deterjan mevcudiyetinde kaya balığındaki ⁶⁵Zn'in konsantrasyon faktörü anlamlı olarak artmıştır. Çünkü deterjan balıkların regülasyon metabolizmasını bozmuştur. Bu bulgu da, denizel ortamların kimyasal kirliliğinin radyoaktif kirlenmeyi de artırdığını ortaya koymuştur. Besin zincirinde en alt trofik seviyede bulunan canlılardan en üstteki canlıya doğru kirleticilerin konsantre olarak biriktiği yani **biomagnifikasyona** uğraması söz konusudur. Ancak, birçok durumda bu varsayım doğru değildir. Çünkü farklı organizmalardan oluşan birçok besin zincirinde radyonüklidlerin veya elementin konsantrasyon faktörü veya konsantrasyonu üst seviyelere doğru azalmaktadır. Diğer taraftan Hg'nin en üst halkada arttığına genelde inanılmaktadır. Metil-Hg için bu yaklaşım doğrudur.



Şekil 2. Farklı ağırlıklardaki pisi balığında ^{134}Cs için saptanan konsantrasyon faktörleri



Şekil 3. 5 ve 72 saat süreyle ^{241}Am radyonüklidini biriktiren diatomelerde, bu radyonüklidin kaybı

Organizmadan atılan nüklid miktarı giren nüklid miktarından çok olduğunda, bu olaya **kayıp veya biyoatılım** denir.

Fitoplanktonik organizmalardan radyonüklidlerin kaybı genelde iki fazda gözükmektedir. Başlangıçtaki hızlı bir kayıp (loss) kontamine olmuş türün yüzeyinden desorpsiyonla oluşur. Bu fazı daha yavaş bir fazla ikinci komponent takip eder. Bu ağır komponent biyobirikim fazından genelde daha yavaş oluşur. Zooplanktonlarda radyonüklid depurasyonu yani biyoatılımı hem partiküler formda feçesler ile hem de solüsyon olarak ifraz edilerek veya molt çıkararak yada yumurtlamak suretiyle meydana gelmektedir.