

Yeşim İNLAMOĞLU^Güler TANER**

* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Ankara

** Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

⁸⁷Sr/⁸⁶Sr izotop kronostratigrafisi, yöntem ve yorumları

⁸⁷Sr, genellikle ⁸⁷Rb'un β ışınıyla bozunmasından türemiş radyojenik bir izotopdur. Kayaların karbonat kısımlarında daha zengin olarak bulunur ve ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr olarak ifade edilir. Bu izotop oranından faydalanılarak ve elde edilmiş denklemleri kullanarak kronostratigrafik yorumlara gidilebilmektedir. Analiz yapılacak örneklerin seçimi sırasında, bunların diyajenez veya aberasyon geçirip geçirmediği veya ortamı etkileyen diğer faktörlerin ne olduğu iyi bilinmeli ve araştırılmalıdır. Sr kronostratigrafisi daha ziyade diğer verilerle desteklenmeye ve korelasyona ihtiyaç duyan bir yöntemdir. Denizel veya karışık ortamlar için farklı denklemler ve grafikler kullanılmaktadır.

Giriş

Son yıllarda stratigrafik, paleoekolojik ve paleoortamsal çalışmalar şuasında izotop yöntemlerine başvuru giderek artmaktadır, özellikle kronostratigrafik çalışmalarda klasik yöntemlerin yamsıra yeni yöntemler deoecom.ekte ve- be yöntemlerin geçerliliği ispatlanmaya çakışknaktadır. Bunlardan birisi de özellikle biyojenik kalsiyum karbonatlar üzerinde gerçekleştirilen ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr izotop ölçümlerinden yola çıkılarak yapılan çalışmalardır. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr izotop kronostratigrafisi tek basma yaş veren. bir metod olarak düşünülmemelidir. Mutlaka diğer¹ jeolojik verilerle desteklenmeli ve korelasyon yapılarak kullanılmalıdır. Hernekadar filemizde bu .konuyla ilgili çalışmalar laboratuvar imkanlarının yetersizliği nedeniyle yapılamıyorsa da, bu çalışmada konunun, önemine,» yöntemine ve konuyla ilgili, yapılmış çalışmalara dair örneklerle değinilerek» ilgili araştırmacılara, .kaynak: gösterilmesi .amaçlanmıştır.

⁸⁷Sr/⁸⁶Sr izotop denklemi ve jeokronolojide uygulanması

İzotoplar bir elementin proton sayısı aynı, nötron sayısı farklı atomlarıdır. Başka bir deyişle izotoplar bir elementin atom numarası aynı» atomik kütlesi farklı atomlarıdır. Radyoaktif izotoplar (Duraysız izotoplar) radyoaktif bozuşma (ajffi ışınları, gibi) yoluyla başka bir elemenle dönüşürse bunlara da

radyojenik. izotoplar adı verilir. Jeolojide gerek radyoaktif, gerekse radyojenik izotopların miktarları radyojenik bir elementin dur aylı izotopuna oranlanarak ifade edilir. Çünkü kütle spektrometrilerinde izotopların mutlak değerlerinden çok oranlarının okunması alınabilmektedir (Çağatay ve diğ., 1993).

⁸⁷Sr genellikle ⁸⁷Rb*ın β ışınıyla bozunmasından türemiş radyojenik bir izotopdur. Radyoaktif ⁸⁷Sr kayaların karbonat .kısımlarında zengin, olmakla birlikte karbonat olmayan bölümlerinde de bulunmaktadır (Veizer, 1983). Bu bozuşma denklemi şu şekilde ifade edilebilir¹ (Çağatay ve diğ., 1993):

Bozuşma denklemi	Bozuşma sabiti(λ) (1/yıl)	Yan ömür' (yıl)	Referans izotop
«Rb^Sr-tß	1.42.10-11	48J.109	⁸⁶ Sr

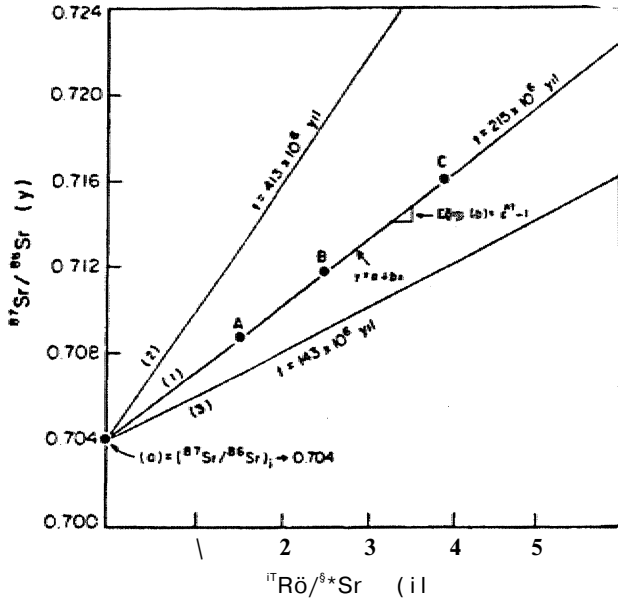
"Sr/^Sr izotop oranının basit olarak jeokronolojide uygulanması şu denklemle olur:

Bu denklem, görüldüğü üzere, $y = a + bx$ şeklinde ifade edilebilen bir doğru denklemidir. "a" parametresi, sistemin radyoaktif bozuşma başlamadan önceki ilksel izotop bileşimidir. "y" ve * Y* ise sistemin güncel, izotop bileşimidir. Bu da jeolojik malzemeler üzerindeki ölçümlerden, elde edilir. "AT bozuşma sabiti, "f ise radyoaktif bozuşmanın başlamasından itibaren geçen, süredir. Eş kökenli, ve eş yaşlı oldukları diğer jeolojik veriler ile belirlenen iki ya da daha çok sayıdaki kayaç, mineral veya kavkı üzerinde ölçülen. (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) izotop oranlan,, ⁸⁷Rb/⁸⁶Sr izotop oranlarına karşı çizildiğinde elde edilecek noktalardan geçen izokron doğrusunun **y** eksenini kestiği nokta (a) kayacffi oluştuğu zamanki ilksel izotop bileşimidir (Çağatay ve diğ., 1993; Şekil 1).

Doğrunun eğimi (eAM)'dir. Dolayısıyla sözkonesu doğrunun eğiminden kayacın/kavkının oluşum yaşı (t) hesaplanabilir:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{C(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})}{C(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})} + 1 \right)$$

Burada ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr sabiti atom çekirdeğinin bir özelliği olup, jeolojik zamanlar boyunca sıcaklık.» basınç, kimyasal bileşim gibi, parametrelerden etkilenmediği varsayılmıştır (Çağatay ve

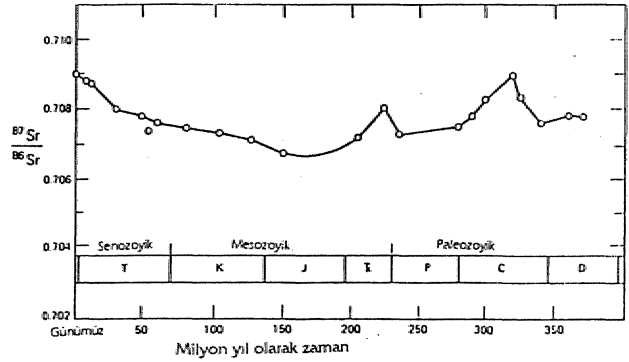


Şekil 1* RbSr izokronhri. A, B, C noktaları aynı magmatik kütlelerden alınan 3 ayrı kayalık örneğinin izotop bileşimini göstermektedir. (1)no'lu izokronun "y" eksenini kestiği nokta (0.704) ilksel izotop bileşimini, doğrunun eğimi ise 215 milyon yıl yaşuunu vermektedir. Aynı ilksel izotop bileşimine sahip daha yaşlı kayalar için izokronun eğimi daha büyük (2) no'lu izokron, daha genç kayalar için ise eğimi daha küçük (3)no'lu izokron olacaktır (Çağatay ve diğ., 1993).

diğ., 1993). Örneklerin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranlarının belirlenmesi ve izokron diyagramları tizerinde planın çizilmesi sırasında veri noktalarının en iyi gösteren, hattın çizilmesi problemi ortaya çıkar. Veri noktalarının düz bir hat şeklinde çizilmesi hiçbir zaman olanaklı olmamıştır. Bir takım analitik hatalar söz konusu olabilir. Analitik hatanın anlamı ölçülmüş bir değer için gerçek değerinden sapmasıdır. Çizilen izokronlarda böyle hatalar mümkün olduğunca elimine edilmelidir. Buna göre de en basit yöntem, grafik kağıdı üzerinde gözle en iyi hattı seçerek çizmektir (Faure, 1977).

Okyanuslardaki stronsiyumun kökeni ve karbonatların önemi

Okyanuslardaki stronsiyumun izotopik bileşimi her yerde aynı olarak görülür ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotopu = 0.709 olarak ifade edilmektedir. Bu değer stronsiyumun aşağıdaki kaynaklardan çıkan 3 izotopik varyetesinin karışımıyla kontrol edilmektedir: 1) Genç volkanik kayalar = 0.704 ± 0.002 , 2) Kıtasal kabukta- M eski sialik kayalar = 0.720 ± 0.005 , 3) Fanerozoik yaşlı denizel karbonat kayalar = 0.708 ± 0.001 (Faure, 1977). Okyanuslara giren stronsiyumun büyük/bir kısmı denizel, karbonatlı; diyajenez ile veya kimyasal günlenme tarafından denetlenebilir. Böylece, okyanuslardaki stronsiyumun izotopik bileşimi ne kıtasal kabuğun Sr oranını ne de okyanuslardaki stronsiyumun izotopik bileşimi ne kıtasal kabuğun Sr oranını ne de okyanuslarda depolanan detritik sedimanın izotopik M-

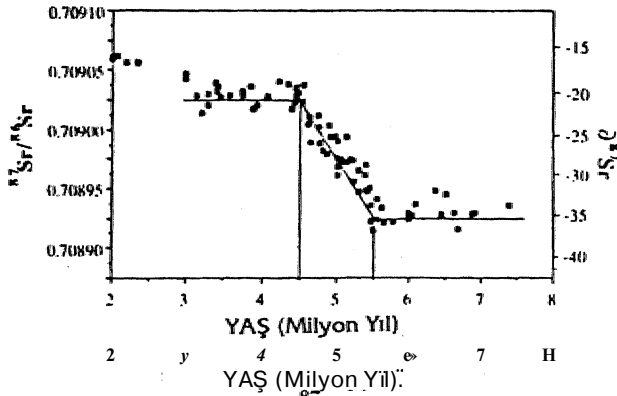


Şekil 2. Fossil kavkularından faydalanarak Fanerozoik zaman süresince okyanuslardaki $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranındaki sistematik varyasyonu gösteren şekil (Peterman ve diğ., 1970).

leşimini temsil etmez. Okyanuslarda $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı kayaların çeşitlerindeki değişikliğe bağlı olarak jeolojik zamanlar süresince değişmiştir (Faure, 1977). Peterman ve diğ. (1970) Fanerozoik çağlardaki, fossil, kavkularında $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarının değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir. Buldukları sonuçları genel geçerlilik daha sonraki araştırmacılar tarafından da kabul görmüştür (Şekil 2).

Şekil 2 incelenecek olursa, Paleozoyik'in sonlarında ortalama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı 0.078 olup, düşük göstermiş ve Erken Jura devrinde oldukça düşük, bir değer olan 0.70675'e varmıştır*. Erken Kretase'nin başlangıcında, bu oran 0.7090 olarak bulunmuş ve yeniden, yükselmiştir. Benzer olarak Hodell ve diğ. (1989) ise Geç Neojen'de (9-2 milyon yıl) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranının değişkenliğini araştırmışlardır. Genel eğilim ne kadar olursa da zaman zaman bızlı veya yavaş gelişen varyasyonlar da mevcuttur. Deniz suyundaki geçici varyasyonlar denizel sekanların, korelasyonu için stratigrafik bir anahtardır ve aynı zamanda, stronsiyumun okyanuslardaki, jeokimyasal çevrimi hakkında da bilgi verir. Hodell ve diğ. (1989), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranlarından eğriler üretmişlerdir (Şekil 3). Çalışmalarını Deep Sea Drifting Projesi kapsamında Caribbean, G. Atlantik ve G.D. Pasifik'teki lokalitelerden elde edilmiş planktonik foraminiferaller üzerinde gerçekleştirmişlerdir.

Stronsiyumun okyanuslarda kalma süresinin (Residence-time) uzun olması sebebiyle stronsiyumun izotopik bileşimindeki değişiklikler milyonlarca yıl boyunca yavaş bir şekilde geliştiği talim edilmektedir. Yine de kısa periyotlarda da zaman zaman değişiklikler görülmüştür. Şekil 3'den görüldüğü üzere 9-5 Ma arası $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop değerleri, yaklaşık sabit olup, 0.708925'tir. 5-4.5 Ma arasında ise bu değer 1.104 oranında artış göstermiştir. 4.5-2.5 Ma arasında ise ortalama 0.709025 değerine ulaşmıştır. Kısa periyotlarda $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranındaki bu ani artışların, okyanuslara Sr girişinin artışı ile doğru orantılı olduğu söylenebilir. Daha önce de değinildi-



Şekil 1. Burada yaklaşık 3 çizgisel kaş görülmektedir.. 8-5.5 milyon yd arasında ortalama- $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı 0.709025'dir. 5.5-2.5 milyon yıla kadar her milyon yâ için 10^{-4} oranında eğim artışı söz konusudur. 45.-2.5 milyon yâ arasında ise eğim tekrar sıfıra yakındır ve ortalama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop değeri 0.709025'dir (Hodell ve diğ., 1989),

gibi okyanuslara stronsiyum girişi başlıca nehirler vasıtasıyla, hidrotermal çözeltilerle karbonat çözülmesi, kıtaların kimyasal günlenmesi vb. gibi jeokimyasal proseslerle gerçekleşmektedir.

Okyanuslarda biriken sedimanlardaki stronsiyumun izotopik bileşimi ve konsantrasyonu başlıca iki bileşenin varlığıyla kontrol edilir: 1) ötijenik bileşenler (karbonat, silikat, sülfat ve silfit), 2) Alojenik bileşenler (okyanuslara, detritik parçalar olarak geçen ve çeşitli ötijenik; mineraller olarak çökelen). Alojenik mineral partiküllerinin içediği stronsiyumun izotopik bileşimi onların yaşlarına ve Rb/Sr oranlarına bağlıdır. Okyanuslardaki ötijenik bileşenler arasında karbonatlar en bol olan ve sedimanda stronsiyumun büyük bir bölümünü kapsayan gruptur. Silikatlar, oksitler ve sülfatlar bazı tip sedimanlarda önemli oranlarda olabilirler; fakat genelde az miktarda stronsiyum içerirler. Ötijenik bileşenlerde karbonat fraksiyonu, kalsit ve aragonit biçiminde çökelmiş materyal olduğu, gibi biyojenik iskeletsel kalsiyum, karbonatlar şeklinde de olabilir. Bu yüzden $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop çalışmalarında karbonatların büyük bir yeri vardır (Kaufman ve diğ., 1993).

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotopu ile yaş tahmininin önemi

Bir denizel karbonatın Sr-izotopik bileşimi, direkt olarak ilksel kronometrik bilgiyi vermez. Buna karşın bu teknik bağımsız olarak tarihlendirilmiş denizel stratigrafik sekanslarla korelasyon için uygundur. Bir örneğin yaşını tanımlayan prosedürde, onun $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranının ölçümüyle bağımsız olarak tarihlendirilmiş bir $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotopundan elde edilmiş deniz suyu eğrisi karşılaştırılmalıdır. Yaş belirleniminin doğruluğu şunlara bağlıdır: 1) İlgilenilen zaman, periyodu boyunca $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranındaki değişiklikleri izleyebilmeye, 2) İzotopik ölçümlerin kesinliğine, 3) Hem zaman hem de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotopundan elde edilen kalibrasyon eğrisinin doğruluğuna bağlıdır (Kam&nan, 1993).

Sr-izotoplarının kronostratigrafik kullanımı esnasında tahminsel yaklaşımlar doğaldır. Çtokü. okyanuslardaki, stronsiyumun kalış zamanı (residence time = $4 \cdot 10^6$ yıl), okyanuslara kahşımı zamanyla karşılaştıldığında (yaklaşık 103 yıl) uzundur (Broecker ve Peng, 1982). Denk suyunun stronsiyum izotop bileşimi, herhangi bir zamanda dünya ölçeğinde homojen ve sabittir (Hodell ve diğ., 1989; Kaufman ve diğ., 1993), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotopu ile yaş. tatar Meri* yaş verebilecek mikrofosilletin bulunmadığı veya volkanik kül tabakalarının olmadığı zamanlarda çoğunlukla en iyi jeokronolojik veridir. Denizel stronsiyumun belirli izotopik homojenliği sebebiyle, sedimantar veya biyojenik karbonatlardaki $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları ile ölçüt olarak kullanılarak denizel ve denizel olmayan ortamlar arasında bir ayırım yapılabilir (Faure, 1977)... örneğin Faure ve Bainett (1973)'in bir çalışmasında Transantartik dağların Beacon, süper grubundaki Devonyen-Geç Triyas yaşlı, denizel olmayan kayalar, onunla eş zamanlı olan ve denizel orijinli olan kayalarla karşılaştırılmıştır. Burada denizel olmayanların oldukça belirgin bir şekilde radyojenik stronsiyum açısından zengin olduğu anlaşılmıştır. Be ölçüt herhangi bir yerde uygulanabilir ve denizel olmayan karbonat sekanslardaki çalışmalar için faydalı olabilir. Yine Sr-Kronostratigrafi çalışmaları denizel karbonat ortamlarından şığ su (shallow water), yakın kıyı (near shore), denk kenan (marginal marine) veya akarsu (fluvial) ortamlarında veyahutta bu gibi ortamların birarada olduğu durumlarda da kullanılabilir, özellikle yakın kıyı/deniz, kenarı ortamlarındaki karbonatlar denizel olmayan detritiklerle kirlenme için büyük bir potansiyeldir. Detritikler içindeki patiklerdeki Sr-izotop bileşimi, o lokalitelerdeki deniz suyunun Sr-izotop bileşimini etkileyebilir, Yine bu bölgelerde denizel, regresyon dönemlerinde yan kıyarak ortamlar oluşabilir. Bu aralıklar boyunca karbonatların Sr izotop bileşimleri, yeraltı suyu içindeki stronsiyum ile etkilenebilir, Böyle değişiklikler sonucu ortamda deniz suyundakinden oldukça farklı bir Sr izotop bileşimi gelişecektir (Kaufman ve diğ., 1993). Deniz kenarı ortamlarına bir akarsu etkisi söz konusu olduğunda ise, ilk önce ortamdaki canlıların, örneğin mollusklerin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları etkilenecektir (Bryant ve diğ., 1995). Bu şekilde Sr-kronostratigrafisi yorumlan için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Genetik denizel ortamlar için doğru, denklemleri uygulanırken katışık ortamlar için iki bileşeni denklemler ve hiperbolik eğriler kullanılmaktadır (Faure, 1977 ve Bryant ve diğ., 1995),

Biyojenik iskeletsel kalsiyum karbonatlardaki $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı ile yapılan kronostratigrafik çalışmalar

Çeşitli araştırmacılar tarafından şimdiye kadar nannoplanktonlar, planktonik foraminiferler, omurgalılar ve omurgasızlar (özellikle molluskler) gibi yapılarında CaCO_3 bulunan organizmalar üzerinde $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop ölçümleri yapılmış ve

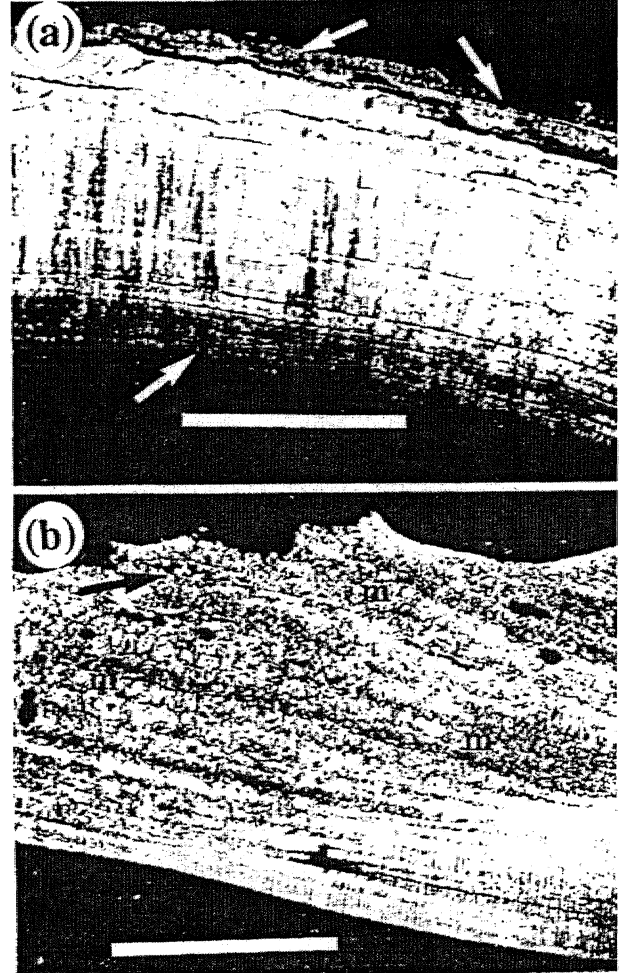
çeşitli kranostatigrafik yorumlara gidilmiştir. Burada yapılan çalışmalardan birkaçı konuyu açıklayıcı olması bakımından örnek olarak seçilmiştir, örneklere geçmeden, önce $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop kranostatigrafisi çalışmalarının amacı ve laboratuvar tekniğine, kısaca değinilecektir.

Uygun örnek, seçimi

Biyolojik materyalin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 5r metoduyla tarihlendirilmesi, uygun örneklerin, seçimiyle başlar. Analiz için seçilen, bireylerin, aynı zamanda oluşmuş olmalarına yani aynı horizontandan almış olmalarına dikkat, edilmelidir. Böylelikle bu örnekler kuramsal olarak aynı ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranına sahiptirler (Faute, 1977). Bu tip bir çalışma için en ideal örnekler mollusidlerdir ve bir çok çalışmada yaygın olarak kullanılmışlardır (Webb ve diğ., 1989; Jones ve diğ., 1991; Bryant ve diğ., 1992; Bryant ve diğ., 1995 ve Kaufman ve diğ., 1993). Bir mollusk kavkısudaki $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı, mevsimsel değişikliklere karşı hassastır (Bryant ve diğ., 1995). Analiz için uygun örneklerin seçimi sırasında, bunların diyajenez veya alterasyon kını. taşımadıklarına emin olmak gerekir. Örneğin Kaufman ve diğ. (1993) çalışmaları sırasında örnek seçiminin önemini, vurgulamışlar ve analiz ettikleri Pliyosen-Pleistosen yaşlı mollusk kavkılarını önce petrografik olarak incelemiştir. Buna göre- ince- kesitlerde alterasyon derecesi kabuktan kabuğa değişmektedir (Şekil 4). ilksel durumlarını koruyamamış kavkılarının $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranlarının eş yaşlı, diğerlerinden belirgin bir biçimde farklı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu da, uygun örnek seçilmemesi durumunda sonuçların hatalı, yorumlara götüreceğini kanıtlamaktadır.

Kaufman ve diğ. (1993), diyajenezin, ilk sinyallerini en genç kavkılarda (Geç Pleistosen.) bulmuşlardır. Diyajenezin, daha ileri, safhalarını gösteren kavkılardaki, mikrit oranı yüksektir ve orjinal mikroyapılarına ait detaylar belirsizdir. İncelenen mikroyapısı bozulmamış kavkılar aragonit, bileşimi! olup, *Hiatella arctica*, *Astarte* ve *Mya* 'ya aittir. Araştırmacılar- diyajenezin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı üzerindeki etkisini daha iyi gözlemleyebilmek, için, böyle- bir kavkının, kalınlığı 'boyunca dıştan içe doğru delmişler; çıkan karot üzerinde' 5 ayrı noktada izotop değerlerini ölçmüşlerdir (Seki 5).

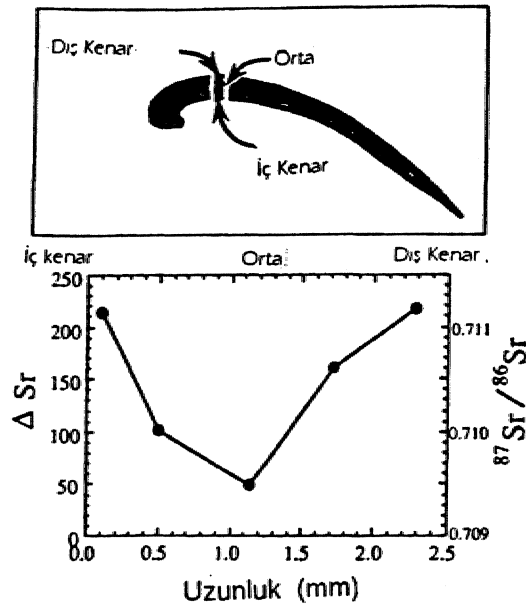
Buna göre kabuk kenarlarına doğru $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı sistematik, olarak artış göstermektedir. Bu sonuç, kabuk büyümesinden sonra kavkının dış kısmından iç kısmına doğru yüksek $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranıyla diyajenezin, etkisini göstermektedir. Kaufman ve diğ. (1993), bazı kavkılarda beklenenden daha yüksek, izotop oranlarının, diyajenez etkisi ve depolanma sonrası alterasyonu temsil, ettiği düşüncesine ulaşmışlardır. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ kronostatigrafisi tekniklerin başarılı bir şekilde: uygulanması, için bu tip değişikliklerden etkilenmemiş kavkılarının seçilmesi gerekmektedir- (Webb ve diğ., 1989; Kaufman, ve diğ., 1993).



Şekil 4. a) İlksel, b) Altere olmuş fosil mollusk kavkısının çapraz nikoldeki ince kesifotografi. İlksel bileşimini koruyabilmiş kavkıda prismaik mikroyapı iyi görülmektedir. Bunlar kavkı kotarma diktir. Büyüme çizgileri ise kavkı katarlarına paralel yönelmiştir, Altere olmuş kavkıda ise (b) kavkı defflüer ve çatlaklar içermektedir. Buralar genellikle karbonat çimentosu tarafından doldurulmuştur (siyah oklarla gösterilen). Prizmatik mikroyapının yerini nadir olarak gözlenen ve yönelmiş mikrokristaller almıştır. Ölçek bar = 1 mm'dir (Kaufman ve diğ., 1993).

Örneklerin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop analizi için hazırlanması

Mollusk kavkıları $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop analizi için hazırlanırken yukarıda belirtildiği, şekilde uygun örnekler- seçildikten sonra, kavkılarının dış tabakası öğütme ile ayrılmalı ve analiz için sadece iç kısım, kullanılmalıdır. Bundan sonra iç kısım pudra, şeklinde öğütülür. Distüe suyla yıkandıktan sonra seyreltilmiş hidroMorik asit içerisinde çözülür. Genellikle 1-2 mg büyüklükteki parçalar analiz için yeterlidir. Bundan sonra, solüsyonda, iyon alışverişiyle stronsiyum ayrı bir yerde toplanır. En son işlemde örnekler kütle spektrometrelerin.de Ölçülecek



Şekil 5* Bir mollusk kavkusundan delinerek akıtan ön-ek üzerinde 5 ayrı noktada yapılmış $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop ölçümleri (Kaufman ve diğ., 1993),

hale getirilir, ölçümler analitik hatalar da gözönünde bulundularak standartlara uygun hale getirilmelidir. (EN-1 modern karbonat sündartı: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.709178$ veya NBS standartı &CO 3 (NBS-987) = 0.710244 gibi; Webb ve diğ., 1989; Bryant, ve diğ., 1992; Kaufman ve diğ., 1993; Bryant ve diğ., 1995).

Denizel ortamlardaki $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotopu ile yaş yorumları

Burada verilecek ilk örnek Doğu Florida'da Bryant ve diğ., (1992)*nin yapmış olduğu bir çalışmadır. Burada Alum Bluff ve Hawthorn grublarının Erken-Orta Miyosen yaşlarının yeni-

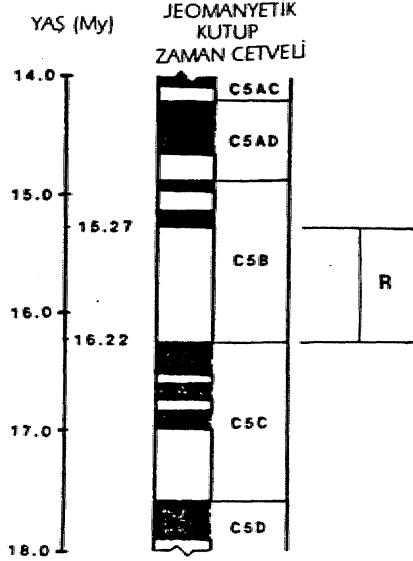
dem kurmak için diğer jeokronolojik metotlarla beraber Sr-ferrostratigrafisinden de faydalanmışlardır. Hawthorn grubuna ait Torreyia formasyonu silisiklastik bileşimli olup, temele, doğru karbonat içeriği artar. Denizel hrakış ve karasal koşulları temsil eden fosilleri içermektedir. Bentik foraminiferlerden *Elphidium* sp. ve *Ammonia* sp. boldur. Denizel mollusk çeşidi ise azdır. Formasyonun karasal üyesinden memelilere göre elde edilmiş yaş "Barstovian"dır. Stronsiyum yaş tahmini için formasyondan denizel mollusklar toplanmıştır. Bunlar, *Osireia* sp. *Crassostrea* sp., *Chlamys nematopleura* ve *Carotiafloridina* kavkılarıdır. *Osireia*, *Crassostrea* ve *Chlamys* cinslerinin temsil ettiği müdem kavkı, mineralojisi kalsit olarak bilinmektedir (Miliman, 1974). *Carotia* ise sönmüş bir cinstir. Fakat bağlı olduğu *Anomifae* familyası üyelerinin çoğunluğu % 83-%95 oranında kalsit bileşimlidir (Müiman, 1974). Kavkaların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop analizine hazırlanması ve elde edilen ölçümlerin değerlendirilmesinden sonra Torreyia formasyonu için yaş tahminleri yapılmıştır. Buna göre formasyonun yaşı 14.7 ile 16.6 Milyon yıl arasındadır; manyetostatigrafik ölçümlere göre ters manyetik kutuplanma gösterir ve muhtemelen C5B-R kronu ile korele edilebilir. Diğer sonuçlarla birlikte değerlendirildiğinde formasyonun yaşı 19-15.3 Milyon yıl olarak yeniden önerilmiştir (Bryant ve diğ., 1992).

Alum Bluff grubuna ait Onpola formasyonunun ise Torreyia formasyonundan daha genç olduğu düşünülmüş ve stratigrafik durumlara ve biyokronolojik farklılık Manna göre N7 ve N8 planktonik foraminifer zonları ile korele edilmiştir. Chipola formasyonu fosilce zengin kumlu kireçtaşından oluşuktur. Çok küçük brakiş etkisiyle bir yatacı kıyı/şelf ortamını temsil etmektedir. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop analizleri, için denizel mollusk örnekleri formasyonun en üstünden toplanmıştır. Analiz edilen örneklerin tümü *Mercenaria longdantk*. *Mercenaria* cinsinin güncel kavkılarının aragonit bileşime sahip oldukları bilin-

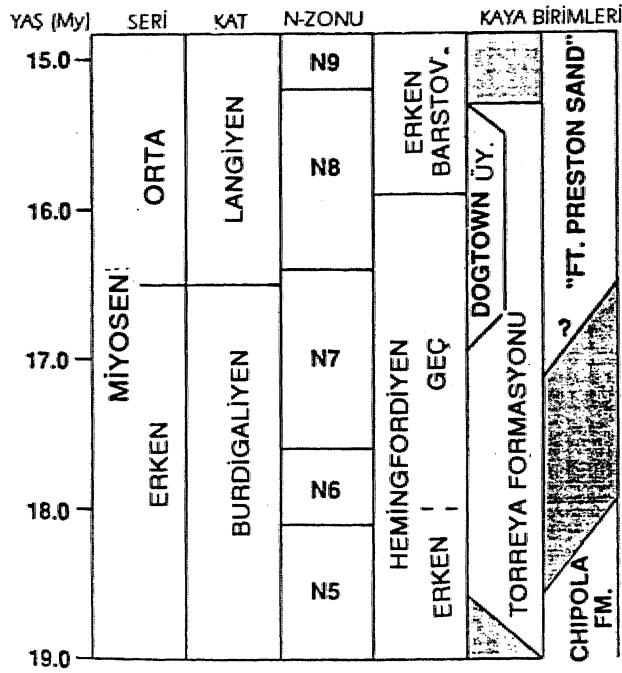
Tablo 1. Torreyia ve Chipola formasyonlarındaki mollusklerin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları, Sr/Ca verileri ve yaş tahminleri (Bryant ve diğ., 1992).

Örnek	Taxa	Sr/Ca $\times 10^{-3}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Model yaşlar		
				(1)	(2)	(3)
SR1	O,C	1.07	0.708906	8.4	8.1	9.1
SR2	O,C	1.26	0.708808	12.6	14.9	15.0
SR3a	Ch	2.31	0.708758	14.7	15.6	15.8
SR3b	Ch	2.67	0.708753	14.9	15.6	15.9
SR4	O,C	1.02	0.708759	14.7	15.6	15.8
SR5	O,C	0.507	0.708882	9.5	9.0	11.0
SR6	Ch	0.723	0.708751	15.0	15.7	15.9
SR7	Ca	1.61	0.708701	16.6	16.3	16.8
SR8	O,C	0.474	0.708590	18.4	17.7	18.6
C1	M	4.02	0.708593	18.4	17.6	18.6
C2	M	4.24	0.708600	18.3	17.5	18.5
C3	M	4.09	0.708563	18.9	18.0	19.1
C4	M	3.74	0.708580	18.6	17.8	18.8

mektedir (Mİlliman, 1974). Toplanan örneklerin, analizi sonuca $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotopu 18.3 ile 18.19 (Erken Miyosen) yaşını vermiştir. Bu yaş formasyon içerisindeki karasal birimden alınan memeli faunası tarafından da desteklenmiştir. Bütün sonuçların, ışığı altında bölgede daha önce staügrafik ilişkileri bilinmeyen bu iki formasyonun dolaylı yoldan ffigkleri kurulmuştur. Tablo-1 Torrey ve Ghipola fotmasyonlanndald mofluskler üye-



Şekil 6. Jeokronolojik verilerin birleştirilmesiyle C5B-R ile yapılan korelasyon (Bryant ve diğ., 1992).



Şekil 7. Torrey ve Çipoklformasyonlarma ait jeokronolojik verilerin düzenlenmesiyle yeniden teklif edilen yaşlar (Bryant ve diğ., 1992).

rinde yapılan $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop ölçüm değerlerini ve yaş tahminlerini, Sr/Ca verilerini göstermektedir. Şekil 6 ise Belgen ve diğ.'nin jeomanyetik kutup zaman cetveli ile korelasyonu göstermektedir. Şekil 7 ise Belgen ve diğ.'nin korelasyonu göstermektedir. Şekil 8 ise Belgen ve diğ.'nin korelasyonu göstermektedir.

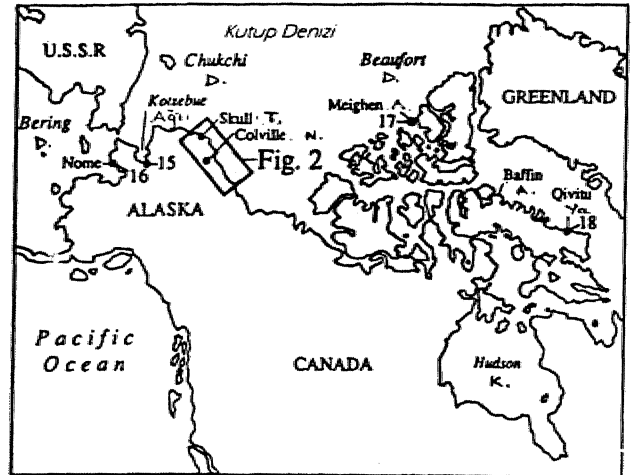
Bir diğer örnek Kanada ve diğ. (1993) tarafından yapılmış bir çalışmadır. K. Amerika kıyısından çevresindeki denizel depolardan, çıkartılan 53- Pliyosen ve Pleistosen kavkılarında $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop ölçümleri gerçekleştirilmiş ve kronostratigrafik amaçlı olarak kullanılıp kullanılmayacağı test edilmiştir. Fossil kavkılarından bazıları, baskın kronolojik yaş tahminleriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte birçok kavkı farklı yaşlar vermiştir. Kaufman ve diğ. (1993)'nin ulaştıkları fikre göre $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotopunun güvenilir bir anahtar olabileceği düşünülmeden önce elde edilen denizel kavkıların izotop bileşimlerini kontrol eden proseslerin iyice anlaşılması gereklidir. Buna göre denizel birim örneği, için önceden bilinen yaşlarıyla, stronsiyum izotoplarıyla elde edilen yaşlar karşılaştırılmıştır. örneklerin küçük bir kısmı. Arktik okyanusunun K. Amerika kıyısı boyunca nehir sırtı (river-bluff) ve denizel kıyı çizgisinden toplanmıştır (Şekil 8 ve 9) örnekler üzerinde daha öncede bahsedildiği gibi, diyajenez etkisinin olup olmadığı ayrıntılı olarak araştırılmıştır (Şekil. 4 ve 5). Daha sonra $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop ölçümleri gerçekleştirilmiş ve grafik üzerinde en uygun eğriler çizilmiştir (Şekil. 10).

Eğrileri yeniden kurabilmek için bir bilgisayar programı uygulanmış ve aşağıdaki denklem kullanılmıştır:

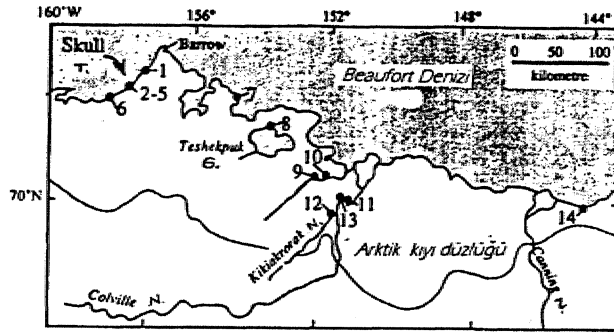
$$A_{\text{Sr}} = \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right)_{\text{B}} - \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right)_{\text{S}} e^{\lambda t} - 10^4$$

$$p \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right)_{\text{B}} = 0.709178 \text{ dk.}$$

Kalibrasyon eğrisinde 5.0 milyon yıldan 3.0 milyon yıla kadar $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranında pek bir artış görülmemektedir. 3.0 milyon yıldan sonra uzun bir dönem 0.3 milyon yıl kadar izo-



Şekil 8. Analiz edilen örneklerin toplandığı lokaliteler (Kaufman ve diğ., 1993).



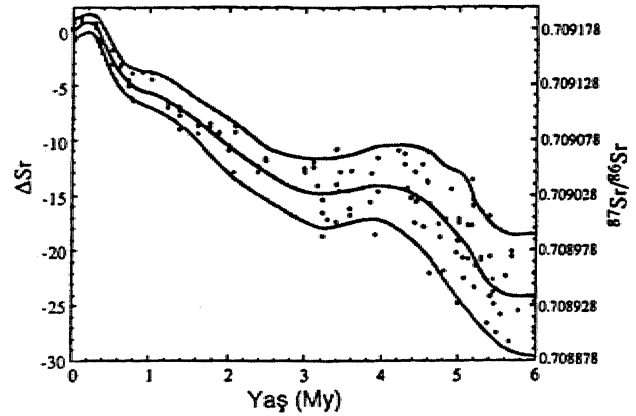
Şekil 9, Alaska Arktik kıyı düzlüğündeki mollusklerin topkavuştu fosilleri (Kaufman ve dig., 1993)..

top oranı düzenli olarak, artar. 0.3 milyon yıldan sonra ise tekrar düşer. Pliyosen ve Pleistosen boyunca tekniğin, zaman olarak kararlılığı 0.4-0.3 milyon yıl arasındadır, Çalışmanın ikinci adımında Beaufort Denizi şelfine ait dipteki sedimanların güncel dört mollusk örneği üzerinde $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları ölçülmüştür (Tablo II). Güncel örnekler üzerinde yapılan çalışmaların geçmişteki olayları aydınlatmaları açısından, önemleri çok büyüktür. Her ne kadar analiz miktarı küçük olsa da, örnekler sığ derinliklerden (7 ve 15 m) ve yaz mevsiminde alınmıştır*. Böylece canlılar herhangi bir nehir soyu girişi veya deniz buzulu erimesine karşı duyarlı olacaklardır. Bugünkü oşinografik koşullar altında Beaufort Denizi'nin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop bileşiminin dünya denizlerindekiyle dengede olduğu sonucuna varılmıştır. Daha sonra Alaska bölgesinde (Şekil 9) arktik kıyı düzlüğünün çeşitli lokalitelerinden alınan fosil molluskler üzerinde analizler yapılmıştır. Bölgede önceki çalışmacılarca 6 transgresif olay bilinmektedir. Bu olaylar Pliyosen-Pleistosen aralığında gerçekleşmiştir. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop ölçümleri toplamı 38 denizel fosil mollusk üzerinde yapılmıştır (Tablo IIH),

Tablo II Alaska-, Beaufort ve Bering denizindeki deniz tabanından toplanan güncel mollusklerin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop analiz sonuçları (Kaufman ve dig., 1993)

Arazi Tanımlama No.	Lokasyon		Su derinliği (m)	[Sr] (ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	ΔSr
	En. (N)	Boy. (W)				
Taban Suyu (Beaufort Denizi)						
89ACr1A	70°24.7'	148°00.0'	7	8	0.709173	-0.5
89ACr1B	70°24.7'	148°00.0'	7	8	0.709173	-0.5
89ACr2A	70°40.0'	150°02.0'	15	8	0.709179	+0.1
89ACr2B	70°40.0'	150°02.0'	15	8	0.709176	-0.2
Astarte (Beaufort Denizi)						
71AJT22	70°35.5'	148°30.0'	20	2097	0.709185	+0.7
71AJT22	70°35.5'	148°30.0'	20	2097	0.709193	+1.5
LACM88	69°59.3'	144°46.8'	9	892	0.709172	-0.6
Macoma (Bering Denizi)						
AH8	64°17'	165°28'	18	5185	0.709178	0.0

$$\Delta\text{Sr} = \left[\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right)_{\text{g}} - \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right)_{\text{s}} \right] \times 10^5$$



Şekil 10. Pliyosen ve Pleistosen süresince $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranının evrimi (Kaufman ve dig., 1993)..

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde:» bölgedeki en eski transgresyon Colvician transgresyonudur. Buraya ait yapılan 9 ölçümden 7'si -3.1 ile -5.8 ASr değerine sahiptir. Ortalama olarak -4.5 değeri kabul edilmiştir (Gösterdiği yaş: 4.8-1.9 milyon yıl arası). Daha sonra Bigbendian transgresyonu için 6 analizden 5'ine göre ASr değeri = -12 J'dur. Bu da yaş olarak yine 4.8-1.9 milyon yıl »asma karşılık gelmektedir ve kalibrasyon eğrisinde 2,4 milyon yılı kesmektedir. Bu yaş bağımsız olarak elde edilmiş 2.48 milyon yıl yaşı ile de uyumludur. Bunun gibi benzer olarak Fishcreekian transgresyonu için izotop değeri -5.4 olup» 1.4 ile 0.6 milyon yıl arasında bir değeri vermektedir. Bu veri de aminoasitlere göre yapılmış yaş tahminleriyle uyumlu» fakat paleontolojik yaşlarla uyumsuzdur. Winwriglition transgresyonu için $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop yaş talimini ise, 0.6 ile 0.4 milyon yıl arasındadır. Bu da yine uranyum ve aminoasit verileriyle uyumludur. Pelukian transgresyonu için

Arazi tanımlama No.	Harita Yeri	Denizel transgresyon veya formasyon	Gen.	Lab. tanımlama No. ^b	alle/ile ^c	[Sr] (ppm)	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	ΔSr ^d
ALASKA (FIG. 2)								
Batı Arktik kıyı düzlüğü								
80AKb214	1	Pelukian	<i>Hiatella</i>	5457A	0.022	1580	0.709178	0.0
81AKb371	2	Wainwrightian	<i>Hiatella</i> (?)	5458A	0.047	3780	0.709148	-3.0
81AKb371	2	Wainwrightian	<i>Hiatella</i> (?)	5459A	0.034	2880	0.709153	-2.5
80AKb100	2	Fishcreekian	<i>Hiatella</i>	5460A	0.100	2090	0.709136	-4.2
80AKb100	2	Fishcreekian	<i>Mya</i>	5461A	0.069	2010	0.709137	-4.1
81AKb410	3	Fishcreekian	<i>Hiatella</i>	5462A	0.089	1540	0.709122	-5.6
81AKb410	3	Fishcreekian	<i>Mya</i>	5463A	0.056	1060	0.709119	-5.9
80AKb137	4	Bigbendian	<i>Hiatella</i> (?)	5464A	0.085	2130	0.709106	-7.2
81AKb432	5	Bigbendian	<i>Mya</i>	5612B	0.127	2600	0.709119	-5.9
80AKb152	6	Colvillian	<i>Hiatella</i>	5613A	0.226	3100	0.709121	-5.7
80AKb152	6	Colvillian	<i>Hiatella</i>	5613C	0.223	2410	0.709120	-5.8
80AKb152	6	Colvillian	<i>Hiatella</i> (?)	5465A	0.240	1790	0.709130	-4.8
Merkezi Arktik kıyı düzlüğü								
87ACR028A1a	7	Simpsonian	<i>Astarte</i>	6122A	0.027	900	0.709179	0.1
87ACR028A1b	7	Simpsonian	<i>Astarte</i>	6122B	0.028	1600	0.709189	1.1
87ACR018A1c	7	Simpsonian	<i>Astarte</i>	6122C	0.022	2810	0.709182	0.4
81ACr008A	8	Pelukian	<i>Hiatella</i>	5946A	0.016	2540	0.709185	0.7
87ACr025	8	Pelukian	<i>Hiatella</i>	5500A	0.016	1610	0.709200	2.2
87ACr025	8	Pelukian	<i>Hiatella</i>	5500B	0.017	1710	0.709198	2.0
78ACrII081b	9	Fishcreekian	<i>Hiatella</i>	3037B	0.086	1570	0.709127	-5.1
78ACrII081c	9	Fishcreekian	<i>Hiatella</i>	3037C	0.086	2040	0.710023	84.5
90ACr024A1a	9	Fishcreekian	<i>Hiatella</i>	6450A	0.066	—	0.709113	-6.5
90ACr024A2a	9	Fishcreekian	<i>Hiatella</i>	6450B	0.086	—	0.709112	-6.6
90ACr024A3a	9	Fishcreekian	<i>Hiatella</i>	6450C	0.056	—	0.709109	-6.9
88ACr87A1	10	Fishcreekian	<i>Hiatella</i>	5616A	0.099	2270	0.709141	-3.7
88ACr87A2	10	Fishcreekian	<i>Hiatella</i>	5617A	0.098	2450	0.709122	-5.6
88ACr87A3	10	Fishcreekian	<i>Hiatella</i>	5945A	0.058	1600	0.709172	-0.6
89ACR003D1e	11	Bigbendian	<i>Hiatella</i>	6124A	0.108	5910	0.709057	-12.1
89ACR003D1f	11	Bigbendian	<i>Hiatella</i>	6124B	0.122	1290	0.709054	-12.4
89ACR003D1g	11	Bigbendian	<i>Hiatella</i>	6124C	0.121	1100	0.709051	-12.7
75ACr25m	11	Bigbendian	<i>Hiatella</i>	5944A	0.135	1520	0.709081	-9.7
86ACr029	11	Bigbendian	<i>Hiatella</i>	5490C	0.103	2200	0.709057	-12.1
83ACr195A	11	Bigbendian	<i>Hiatella</i>	5618A	0.132	2250	0.709048	-13.0
88ACr88A1	12	Colvillian	<i>Hiatella</i>	5614A	0.277	2290	0.709072	-10.6
88ACr88C1	12	Colvillian	<i>Hiatella</i>	5943A	0.248	1490	0.709136	-4.2
89ACr009A1b	12	Colvillian	<i>Hiatella</i>	6125A	0.277	1470	0.709139	-3.9
89ACr009A2b	12	Colvillian	<i>Hiatella</i>	6125B	0.288	1420	0.709147	-3.1
89ACr009A3b	12	Colvillian	<i>Hiatella</i>	6125C	0.244	1250	0.709137	-4.1
88ACr89A1	13	Colvillian	<i>Hiatella</i>	5615A	0.242	3020	0.709951	-12.7
Doğu arktik kıyı düzlüğü								
87ACr017A	14	Sagavanirktok Fm.	<i>Arctica</i>	5392A	0.970	2130	0.708523	-65.5
ALASKA (FIG. 1)								
Doğu Kotzebue ağzı								
87-10D	15	Anvilian	<i>Astarte</i>	5628A	0.073	1640	0.709178	0.0
87-10G	15	Anvilian	<i>Astarte</i>	5629A	0.061	1260	0.709178	0.0
Nome								
DK88-61	16	Anvilian	<i>Mya</i>	5518C	0.100	1370	0.709216	3.8
BH5-9	16	Anvilian	<i>Astarte</i>	5545A	0.110	1830	0.709236	5.8
M1038	16	Beringian III	<i>Hiatella</i>	5738B	0.424	1980	0.709529	35.1
M1038	16	Beringian III	<i>Hiatella</i>	5738E	0.444	1300	0.709163	-1.5
M1248	16	Beringian III	<i>Hiatella</i>	5737A	0.399	1940	0.709497	31.9
M1079	16	Beringian II	<i>Hiatella</i>	5452A	0.567	1220	0.709139	-3.9
M1079	16	Beringian II	<i>Hiatella</i>	5452B	0.550	1380	0.709218	4.0
M1081	16	Beringian II	<i>Hiatella</i>	5450B	0.516	2130	0.709210	3.2
DK88-62	16	Beringian II	<i>Hiatella</i>	5520B	0.594	1550	0.709411	23.3
BH22-9	16	Beringian II	<i>Mya</i>	5622A	0.511	4110	0.709886	70.8
BH22-12	16	Beringian I	<i>Mya</i>	5621A	0.620	3050	0.709201	2.3

Tablo III. K. Amerika arktik bölgedeki denizel fosil molluskler üzerinde yapılmış ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr izotop analiz sonuçları (Kaufman ve diğ., 1993).

ortalama L2 ASr değeri bulunmuş olup, 0,3-0,1 .milyon yıl yaşını vermiştir. Bu da en son Holosen öncesi İnterglasyal dönemle uyumlu bir sonuçtur. Son. transgresyon ise Simpsonian transgresyonudur. Boradaki ortalama ASr değeri 0,5 olup, 0,4-0,6 Milyon yıl yaşını, vermiştir. Sr-yaş tahminleri toplamı, olarak 14 stratigrafik üniteden 7'inde ve 22. lokaliteden 9'unda bağımsız yaş tahminleriyle uyumludur. Yani orta ve geç Pleistosen depolarındaki kavrılarda ölçülen, hemen, hemen birçok $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları beklenen değerlerle uyumlu olarak bulunmuştur. Daha yaşlı depolarda bu oran düşmektedir (Kauffman ve diğ., 1993),

Bir başka araştırmada Cox ve Faure (1974), Wurm buzlaşmasından sonra Karadeniz'de tatlı sodan denizel ortama geçişte sedimanlardaki karbonat, fazlarında yer alan stronsiyumun izotopu: bileşiminde bir değişiklik olup olmadığını araştırmışlardır. Daha önce de bahsedildiği gibi modern deniz suyundaki $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranının «değeri sabit olup» 0,709'dur. Tatlı Sedaki stronsiyumun izotopik bileşimi ise jeolojik zamanlar ve kayalardaki Rb/Sr oranlarına bağlıdır. Bu sebeple de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları denizlerden oldukça farklı değerlere sahiptir, örneğin, Faure ve diğ. (1963), K Amerika'daki kambriyeo örtüşümlerindeki göller ve nehrerde yaşayan tatlı su molusmerioin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranlarının 0,715 ile 0,726 değerleri, «sında değiştiğini bildirmişlerdir.,

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları bakımından Karadeniz'deki durum da ilginçtir. Yaklaşık 4 metre kalınlığındaki karotlar günlük kalsiyum, karbonatları içermektedir. Postglasyal sediman tabakaları başlıca kolkolitleri (*Emiliana huxleyi* (Lohman))*ı içermektedir. Bahsedilen bu tür, Wtinn buzlaşmasının hemen sonrasında birdenbire ortaya çıkmıştır (Cox ve Faure., 1974), Tabii ki bunun sebebi östatik deniz seviyesi değişiklikleri sonucu, Akdeniz ile Karadeniz'in yeniden bağlantı kurmasıdır. Buna göre *Emiliana huxleyi* türü Karadeniz'deki ortam-

*Tablo IV: Karadeniz'deki- ikikarotkikarbonat fazlannda-
ölcü UhnU⁸⁷Sr⁸⁶Sr izotop oranları (Cox ve Faure., 1974),*

Derinlik (cm)	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$		$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)$
	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$	
Karot 1474P	0	0.1193	0.7098 ± 0.0002
▪	200	0.1194	0.7072 ± 0.0003
▪	400	0.1181	0.7073 ± 0.0004
▪	600	0.1181	0.7074 ± 0.0003
▪	800	0.1190	0.7092 ± 0.0004
▪		0.1187	0.7089 ± 0.0003
▪	1,000	0.1183	0.7069 ± 0.0001
▪	1,158	0.1183	0.7073 ± 0.0006
Karot 1445P	0	0.1180	0.7093 ± 0.0002
▪	81	0.1182	0.7075 ± 0.0002
▪	357	0.1186	0.7074 ± 0.0002
Karadeniz su istasyonu. 1463 (35 m) Dört örneğin ortalaması		0.1188	0.7093 ± 0.0007
Eimer ve Amend standartı. (Lot No. 492327) beş ölçüme dayanmıştır		0.1184	0.7077 ± 0.0005 (1σ)

sal değeri MMerin göstergelerinden, biridir. Adı geçen araştırmacılar, analiz için örneği düzenli aralıklarla almaya özen göstermişlerdir. Uygunladdarı $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop analizleri sonucu elde ettikleri değerler Tablo IV'de verilmiştir.

Karotlardaki sedimanlar litolojik olarak iç bölüm halinde. En üstteki birim yaklaşık 30 cm kalınlığında olup, geniş ölçüde *Emiliana huxleyi* içerir. Orta inite 40 cm kalınlığında olup, organik maddece son derece zengindir. En alttaki birim ise açık ve koyu renkli sedimanlama ardışıldık olarak görüldüğü bk. istiftir. Bunun kalınlığı karot boyunun yetersizliği sebebiyle bilinmemektedir. Bu birimdeki karbonatlar da yine kolkolite zengindir. En üstteki sedimanlı taban ve organik maddece zengin tabakanın tabanı sırasıyla C¹⁴ yöntemine göre 3,090±140 ve 7,090±180 bin. yıl yaşlarını vermiştir. Buna göre üstteki İM birim postglasyal dönemi temsil etmektedir. Altta üçüncü birim ise Wurm buzlaşması süresince oluşmuştur. Analiz sonuçlarına göre en alttaki, birimden alınan örneklerin karbonat, fazlarının $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları, ortalama 0,7073 değerine sahiptir. Organik maddece zengin tabakadan analiz yapılmamıştır. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde açıkça, görülmüştür ki üstteki kalsiyum karbonatçı zengin birimdeki $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı, daha alttaki benzer birimden daha yüksektir. Bu değerler ise sırasıyla 0,7098 ve 0,7093 şeklindedir., Cox ve Faure (1974) sonuçta Winn buzlaşmasının azalan evreleri boyunca Karadeniz'in tatlı sudan denizel ortama geçtiğini belirtmişlerdir.

Karışık (Denizel Akarsu) ortamlarındaki $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop denklemi ve yaş yorumları

Jeolojik, prosesler sonucu farklı $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop bileşimlerine sahip materyaller birbirine karışabilir., BE tip bir karışım. örneğin, denizel veya gölgesel bir ortama nehir suyunun, boşalması şeklinde olabilir. Bu tip bir olayda Sr izotop oranlarının ayırt etmek ve yaş doğru, bk şekilde tesbit etmek için iki bileşeni denklemlerden yola çıkılmaktadır (Faure, 1977). Yani A ve B gibi iki bileşene sahip karışımlarda farklı $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranlarının yanısıra, stronsiyumun farklı konsantrasyonları da değerlendirilir., Bu denklemlerden elde edilen eğriler hiperboler şeklindedir (Şekil 11).

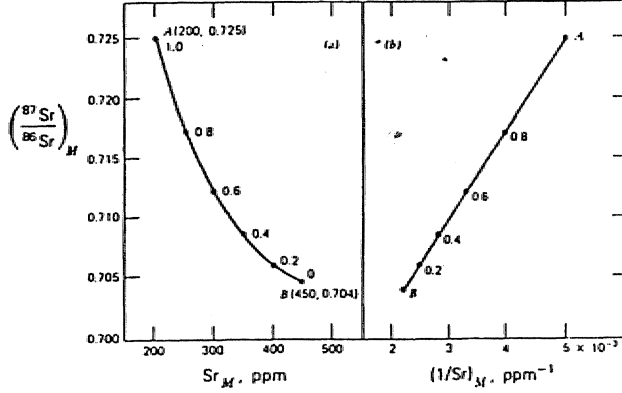
Şekil 11-a'da A ve B gibi iki bileşen tarafından biçimlendirilmiş karışım hiperbol eğrisi görülmektedir., hiperboldeki koordinat noktaları karışım parametresi için seçilen değerleri için şu eşitlikten hesaplanmıştır:

$$\text{Buna göre, } \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right) = 0.725 \text{ Sr A} = 200\text{ppm}$$

$$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right) = 0.704 \quad \text{Sr B} = 450\text{ppm'dir.}$$

Şekil 11-b'de ise stronsiyum konsantrasyonlarının karşılıklı olarak çizilmesiyle hiperbol eğrisi diz bir hat şekline dönüştürülmüştür (Faure, 1977).

iki bileşenli karışım modellerine örnek olarak Bryant ve diğ. (1995)'nin çalışması örnek verilecektir. Bryant ve diğ. (1995), deniz kenarı (marginal marine) ortamını örnek olarak



Şekil 11» a) A ve B bteğenleriyle elde edilmiş kartşm hiperbolü, b) Kortsun eğrisinin düz bir hat şeklinde dönüştürülmesi (Fawcett, 1977).

ele almışlardır. Normalde böyle ortamlardaki mollusk kavkuları normal deniz suyuyla Sr-izotop dengesine sahiptir. Eğer ortama bir tatl su akımı gerçekleşirse, to denge tozutulabilir. Denizel bir ortama tatl su karışımının önemi paleoekolojik (Schmitz ve diğ., 1991) ve kimyasal oşioğrafik çalışmalarla (Müller ve diğ., 1990; Anderson ve diğ., 1992) kamtlanmıştır. Bryant ve diğ. (1995) böyle ortamlarda yaşayan molluskların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları üzerindeki tatl su akımı etkisini araştırmışlar ve kronostratigrafik yorumların nasıl etkilenebileceğini ortaya koymuşlardır. Orantı için de iki bileşeni karışım model denklemini kullanmışlardır. Elde ettikleri tabminsel yaklaşımları daha sonra Mississippi Sound ve Florida körfezindeki güncel mollusk kavkularından elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Bryant ve diğ. (1995)'nin kullandığı iki bileşenli karışım denklemi şöyledir:

$$R_{\text{mix}} = \frac{f_{\text{sw}} C_{\text{sw}} S + f_{\text{f}} C_{\text{f}} (L-s)}{f_{\text{sw}} C_{\text{sw}} + f_{\text{f}} C_{\text{f}} (L-s)}$$

L: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı

C: Sr konsantrasyonu

S: ideal normal, denizel ve tatl su tuzluluğunun (35 ppt ve 0 ppt) bir fraksiyonu olarak hesaplanmış tuzluluk faktörü

sw: Deniz suyu

f: Tatl su (akarsu)

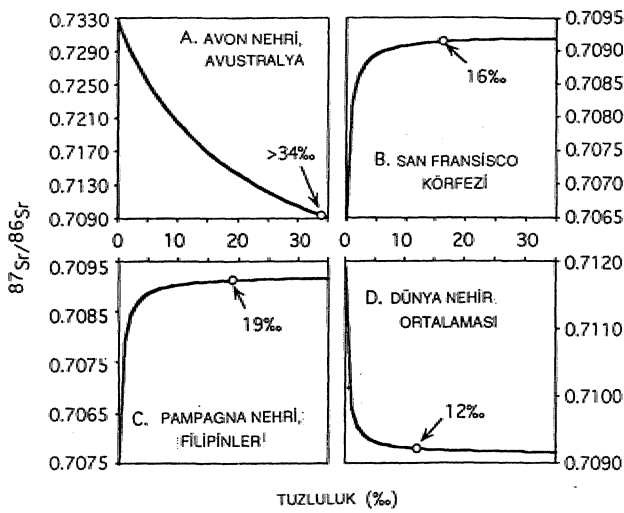
Bryant ve diğ. (1995) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranını etkileme:

noktası olarak 5.10^{-4} olarak tamamlanmıştır. Bir ölçülebilir etki (ME) dünyadaki ortalama bir nehrin belli bir ağırlığı için her binde tuzluluk değerinin 12'sinde oluşur. Nehirlerin denize döküldüğü yerlerde bulunan. Örneklerin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranlarının ölçümlerinde çeşitli sebeplerle sonuçlar değişebilir. Bunlar mevsimsel veya üzen, süreli, jsi değişiklikleri, erozyonlar, drenajı havzalarında yitilek vermiş kaya tipleri, gelgit akımları vb gibi sebeplerdir. Bu tip değişikliklerin etkisini minimuma indireyen en iyi örnek mollusklardır. Bu amaçla Bryant ve diğ. (1995) Mississippi nehri, ağzı ve Florida körfezi, kıyılarından, güncel molluskleri toplamışlardır. Kavkular kavluğu çevreleyen yıllık büyüme çizgilerinin, geniş olduğu alandan, mevsimsel değişimlerden dolayı az görüldüğü yere kadar delinmiştir. Bunun dışında Erken Pleistosen Leisey Shell Pit'den alınmış tatl su bivalvi *Villosa* sp.'nin fosil bireyleri de analiz edilmiştir. Bu bireyler yafan fayı denizel ve tatl su faunasının birlikte görüldüğü depolardan alınmıştır. Dünyadaki büyük nehirlerin yaklaşık olarak % 15; 20 ppt ve daha yüksek tuzluluk oranına sahiptir. Böyle bir tuzluluk ortalama, çeşitli derinlikte omurgasızın yaşayabileceği bir orandır. Buna karşılık istisnai örnekler de vardır, örneğin Avustralya'daki Avon Nehri için ölçülebilir etki 34 ppt'den büyük tuzluluklarda oluşmaktadır. Yine benzer olarak San Francisco Körfezi ve Balık denizi ise sırasıyla 16 ppt ve 18 ppt tuzlulukta ölçülebilir etkilere sahiptir. Palmer ve Edmond'a göre (1989), teorik olarak dünyadaki nehirlerde ortalama 12 ppt Meki bir tuzluktan itibaren bir yoçerak karboraüan $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları etkilenebilir, örnekler üzerinde ölçülen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop değerleri eğriler halinde çizilerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 12). Folluska taxa analizleri, lokaliteler, tuzluluk değerleri ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları Tablo V'de sunulmuştur. Molluskların topladığı yerlerdeki nehir sistemleri için ilk koşullar ve hesaplanmış ölçülebilir etkiler ise Tablo VF'da gösterilmiştir.

Bazen beklenenden farklı uyumsuz değerler elde edilebilir. Bunlar güncel deniz suyundan ve nehir suyundan daha düşük $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop değerleri göstermektedir. Gönce örneklerde, alterasyon söz konusu olmadığına göre, bunun sebebi başka şekilde açüdanmıştır. Bunlar üzerinde aktüdan daha es-

Tablo V. Güncel mollusk örneklerinin örnek numaraları, lokaliteleri ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları (Bryant ve diğ., 1995).

Taxon	UF No	Lokale	Tuzluluk	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Mississippi Nehri ve Ağzı				
<i>Lampsilis teres</i>	UF 193396	Vicksburg (Miss.)	0.0	0.710009
<i>Rangia cuneata</i>	UF 193392	Frenier Plajı (La.)	4.0	0.709243, 0.709252
<i>Polymesoda carolinianum</i>	UF 193389	The Rigolets (La.)	6.3	0.709210, 0.709195
<i>Crassostrea virginica</i>	UF 193390	Shell Plajı (La.)	8.2	0.709171
<i>Ischadium recurvum</i>	UF 193391	Shell Plajı (La.)	8.2	0.709158
<i>Polymesoda duplicatus</i>	UF 193393	Uzun Plajı (Miss.)	15.8	0.709179
Florida nehirleri ve hatları				
<i>Elliptio icterina</i>	UF 21263	Suwannee Nehri	0.0	0.708410
<i>Mercenaria campechiensis</i>	UF 193398	Suwannee Rezifi	19.7	0.709157, 0.709156
<i>Elliptio icterina</i>	UF 64864	Peace Nehri	0.0	0.708239, 0.708213
<i>Mercenaria campechiensis</i>	UF 193397	Charlotte Harbor	22.3	0.709101, 0.709098
Fosil türler				
<i>Villosa</i> sp.		Leisey Shell Pit	0.0	0.707979



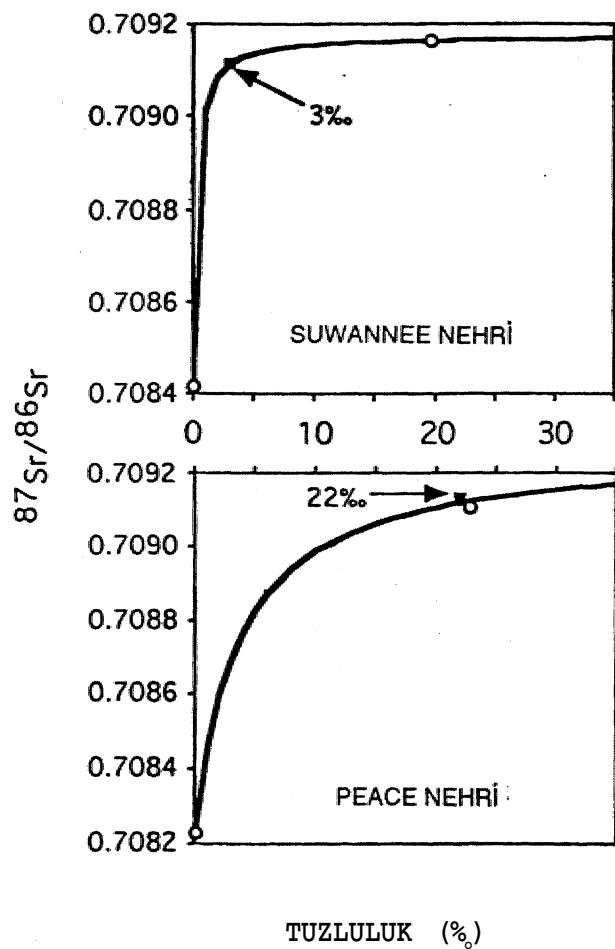
Şekil 12. Seçilmiş bazı nehirler için hesaplanmış karışım eğrileri. Sr konsantrasyonları ve izotop oranları Goldstein ve Jacobsen'den (1987) ve Palmer ve Edmond'dan aktarılmıştır (Bryant ve diğ., 1995).

fa kayalarla karşılıklı olarak etmiş olabilirler. Böyle bir durumda $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları normal deniz suyundan daha aşağı, değerlerde olabilir. O zaman izotop oranlarından elde edilen, eğrilerin içtikeyliği Saisine döner' (Şekil 13, Bryant ve diğ., 1995). Karışık tatlı su-denizel faunanın birarada görüldüğü ortamlarda mümkün olduğunca çok kavkının Sr-izotop oranı test edilmelidir, örneğin yine Bryant ve diğ.'nin (1995) yapmış oldukları çalışmalarında Pleistosen, yaşlı Leisey Shell Pif deki karışık faunanın gattıldığı birimden alınan *Ckione cancellata* (bir açık denizel bivalve) için $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop değeri 0.7090 olarak bulunmuştur. Bu sonuç kesitteki diğer denizel birimlerden ayırtedilemez ve birleştirilmiş jeokimyojik kayıtlarla da uyumludur. Böylelikle tatlı su akımı tesbit edilememiştir. Halbuki aynı yataktan alınan *Villosa* sp. için ölçülen değer 0.707979 olarak bulunmuştur. Bu nedenle, tek bir kabuk örneği tutanağına göre, sonuca gitmek, denizel kıyı ortamları için risklidir;

TaioVL Ölçülebilir etkilerin hesaplanmış tuzluluk değerleri ve deniz, suyu ile nehir suyunun ilksel koşulları (Bryant ve diğ., 1995).

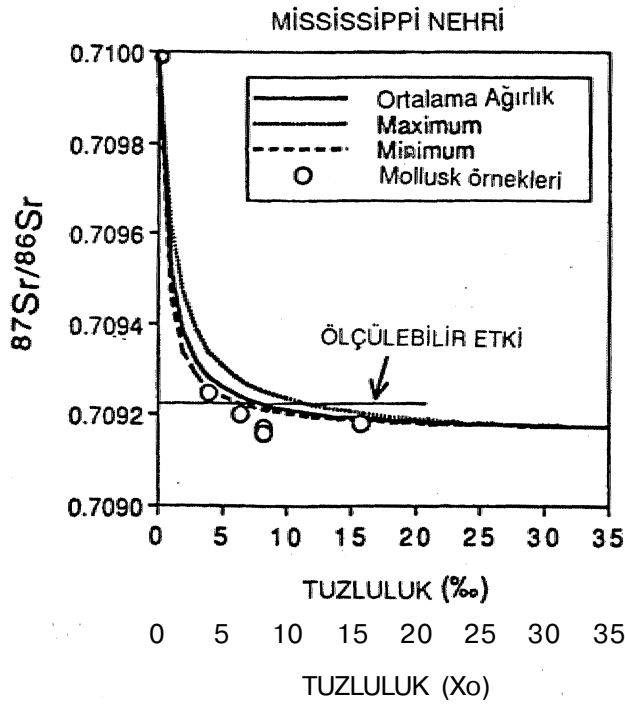
	Sr (ppm)*	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	ME (ppt)
Deniz suyu	7.89	0.709172	
Mississippi Nehri			
Minimum Sr	0.12	0.710009	6
Ortalama Sr	0.16	0.710009	8
Maximum Sr	0.26	0.710009	12
Suwannee Nehri	0.06	0.708410	3
Peace Nehri	0.75	0.708226	22

Bryant ve diğ.'nin (1995) varmış oldukları sonuca göre, molluskler için $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop kronostratigrafisine başvurulurken benzer ortamlarda yaşayan güncel mollusklerin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranlarını da çalışmak faydalıdır (Şekil 14). Analiz sonuçları göstermektedir ki, çoğu deniz kenar sistem-



Şekil 13* Flonda'daki nehirler için hesaplanmış karışım eğrileri. İlk koşullar mollusk kavkılarının analizine dayalıdır (Tablo V, VI). Mollusk emekleri açık dairelerle, ölçülebilir etkilerle doldurulmuş karelerle gösterilmiştir (Bryant ve diğ., 1995).

ler tatlı su akımları ile elde edilmiş çok düşük tuzluluk değerine kadar (10 ppt veya daha az) ölçülebilir bir etkiye sahip değildir. Hırçok denizel mollusk, böyle dışık bir tuzlulukta yaşayamaz. Rueim sonucunda fauna farakış ve tatlı su tükleri tarafından baskın olacaktır. Eğer denizel fauna ortalama çeşilteyse, kıyı yakını ortamlardaki, denizel mollusklerin Sr izotop oranları, ters olarak edilenecek Leisey Shell Pif deki Pleistosen yaşlı karışık fauna içeren birimlerdeki *Villosa* sp ve *Chione* sp. türleriyle de karşılaştığı gibi, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranlarındaki büyük farklılıklar, aynı mostrada korunmuş denizel ve tatlı su türleri arasında görülebilir ve tek bir ömlele yaklaşım şüpheli durumdadır. Haliç seferindeki karbonat çökeli. daima global ölçekte denizel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop değerine yansıtılabılır. Bu sebeple karışık faunanın görüldüğü ortamlarda $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop kronostratigrafisini kullanırken oldukça dikkatli olmak gerekir.



Şekil 14, Hesaplanmış karışım eğrileri ve Mississippi Nehri'ndeki MoBusüerin ölçülmüş $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değerleri. Akarsuyun ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları mollusk kavranın anaizine dayandırılmıştır (Tablo VI), fakat Sr konsantrasyonları USGS su kalitesi verilerindeki minimum, maximum ve ortalama değerler arasındadır. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları $\pm 1.5 \cdot 10^{-4}$ (yaklaşık olarak veri noktaları eoyutimda) ve $\pm 3 \cdot 10^{-4}$ veya daha azdır (Bryant ve diğ., 1995).

Değinilen Belgeler

- Anderson, P.S., Wasserburg, G J. ve Ingri., J., 1992* The sources and transport of Sr and Nd isotopes in the Baltic Sea. Earth and Planetary Science Letters, 113,459-472.
- Bergsæ, W.A., Kent, D.V., Fiyim, J J. ve Van Cowering, I.A., 1985» Cenozoic geochronology; Geological Soc. of America Bull., v. 96» 1407-1418.
- Böecker, W.S. ve Peng» T.H., 1982, Tracers, in the- sea. Eldigio- Press,, New York,
- Bryant, J.D., MacFadden, B J. ve Mueller, P.A.» 1992., Improved chronologic resolution of Au Hawthorn and Alum Bluff Groups in northern Florida: Implications for Miocene chronostratigraphy. Geol. Soc. of America Bull., 104.208-218.
- Bryant, J.D., Jones, D.S. ve Mueller, P.A., 1995, Influença of freshwater flux on $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ chfonostmitigjaphy in marginal marine environments and dating of vertebrate and invertebrate faunas» J. PaleomL, 69(1), 1-6,
- Cox., J.F. ve Faire, G., 1974, Isotope composition of strontium in carbonate phase of two cores Black. Sea» The Black Sea-Geology, Chemistry and- Biology» the: American, assoc. of pet. geologists.
- Çağatay, N., Erler, A., Güleç, N., Savaşçın, Y. ve Tokel, S.» 1993, Jeokimya: Temel Kavramlar ve İlkeler, JMO Yayınları» No: 32, Ankara.
- Faure, G., Hurley, P.M. ve Fairbairn» H.W., 1963, AB estimate of the Precambrian shield of North America: Jour., Geophys. Research., 68, 2323-2329.
- GoMsteeii, S J. ve Jacobsen, S.B., 1987, The Nd and Sr isotopic systematics of över water dissolved, material; Implications for the sources of Nd and Sr in seawater, Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), 66,245-272...
- Hodell, D.A., Mueller, P.J.L., Mckemzie, I.A. ve Mead, G.A., 1989, Strontium isotope stratigraphy and geochemistry of late Neogene ocean, Earth and Planetary Science Letters, 92,165-178.
- Jones, D.S., MacFadden, B.J., Webb, S.D., Mueller» P.A., Hodell., D.A. ve Ciomin, T.M., 1991, Integrated geochronology of a classic Pleistocene fossil site in Florida: linking marine and terrestrial biochronologies. Journal of Geology, 99,, 637-648.
- Kaufman, D., Garter, D.L., Miller, G.H., Farmer, G.L. ve Budd, D.A., 1993, Strontium isotopic composition of Pliocene and Pleistocene mollusk from emerged marine deposits, North American Arctic» Can. J. Earth Sci., 30,519-534...
- Miliman, J.D., 1974., Recent sedimentary carbonates, Part 1. Marine carbonates: Berlin., Germany» Springer-Verlag., 375 p.
- Müller, D.W. McKenzie., LA. ve Moeller, P.A.» 1990, Abu Dhabi Sabhka, Gulf., revisited: application of strontium isotopes to test an early dolomitization model. Geology, 18,618-621.
- Palmer, M.A. ve Edmond, X.M., 1989, The strontium isotope budget of the modern ocean., Earth and Planetary science letters, 92,11-26.
- Palmer., M.J.L. ve Edmond, J.M., 1992, Controls over the strontium isotope composition of river water.. Geochimica et Cosmochimica Acta, 56,2099-2111.
- Peterman, Z.M., Hedge, C.E. YÜ Touitlot, H.A., 1970, Isotopic composition of strontium in sea water throughout Phanerozoic time. Geochim., Cosmochim. Acta, 34,105-120;
- Schiffman, B., Aberg, G., Weidelin, L., Förey, P. ve Bemdix-Almgren, S., 1991, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Na, Fr, Sr ve La in skeletal fish debris as a measure of the paleosalinity of fossil-fish habitats. Geol. Soc. of Am. Bull., 103,786-794.
- Veizer., J., 1983, Stable isotopes in sedimentary geology: 'Chapter 3: 'Chemical diagenesis of carbonates: theory and application of trace element technique, SEFM skort ouise» No; 10.
- Webb, S.J., Morgan, G-S., Hulbert, R.C., Jones, D.S., MacFadden, B J. ve Mueller, P.A., 1989, Geochronology of a rich early Pleistocene vertebrate fauna., Leisey Shell Pit, Tampa, Bay., Florida; Quaternary Research, 32-, 96-110.