

HİD481 İzotop Hidrolojisi

10. Hafta Yeraltısuyu Radyokarbon Yaşı Hesabı

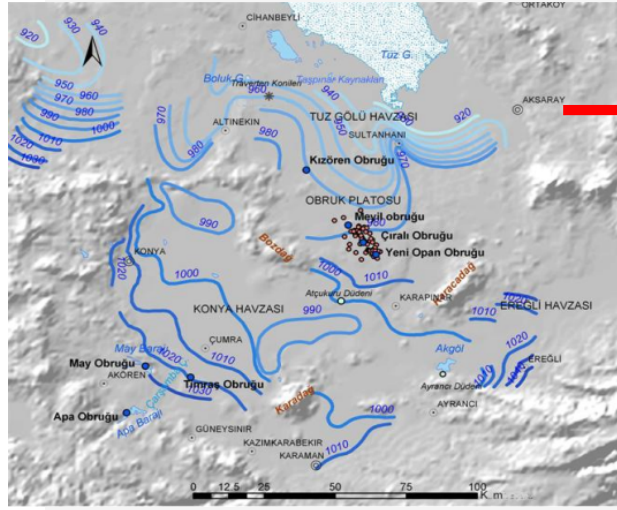
Prof.Dr. C. Serdar BAYARI, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Hidrojeoloji Anabilim Dalı



Kaynak kitap: Clark & Fritz, Environmental Isotopes in Hydrology

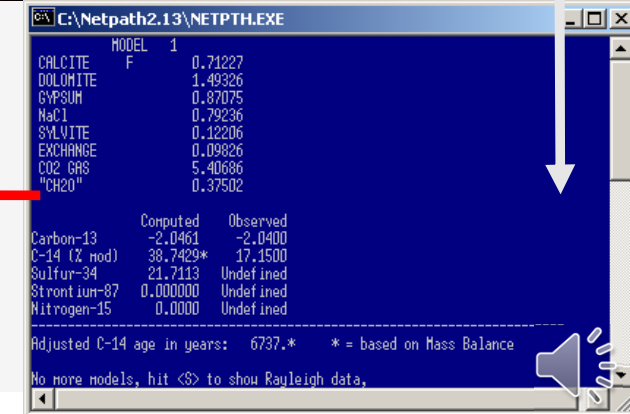
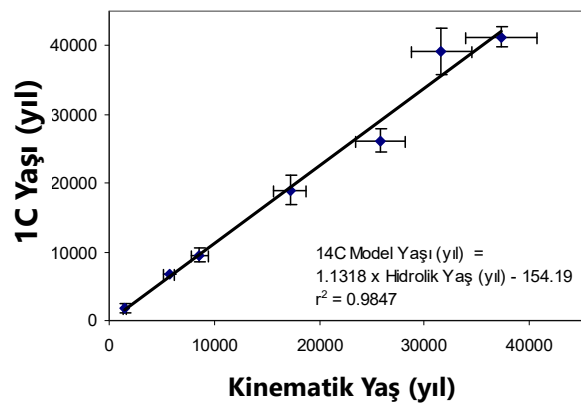


YERALTISUYUNDA RADYOKARBON (^{14}C , KARBON-14) YAŞ TAYİNİ



Yeraltısuyu Karbon-14 Yaş Tayininde Adımlar:

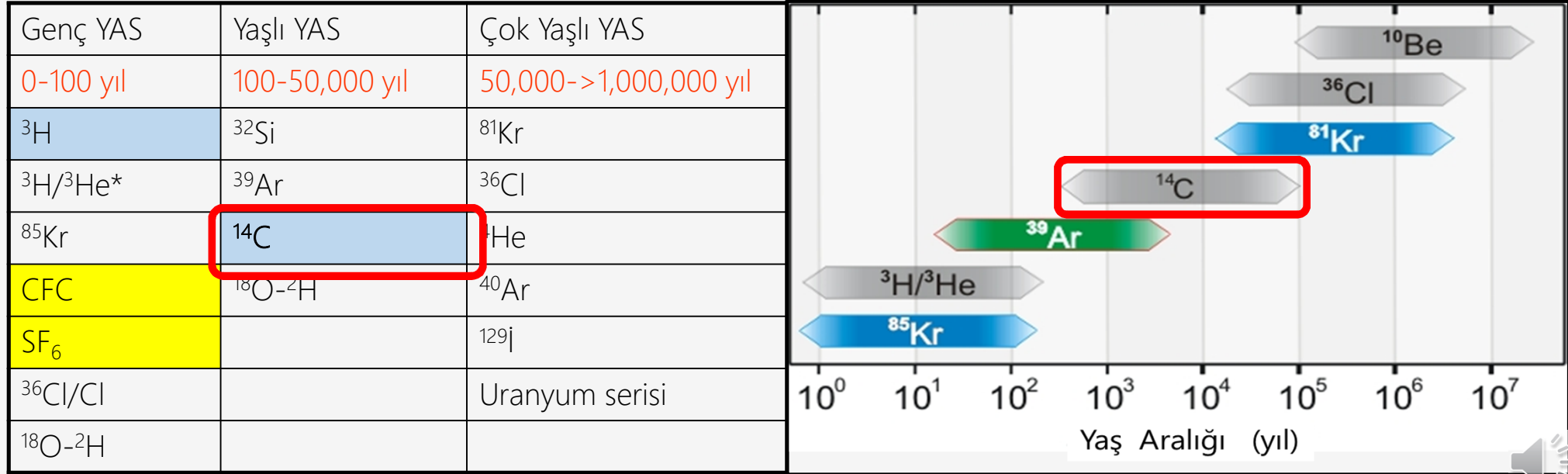
- 1) Kavramsal hidrojeolojik model
- 2) Örneklem noktası seçimi
- 3) Örneklem ve ölçümler
- 4) Analiz
- 5) Hidrojeokimyasal modelleme
- 6) Radyokarbon yaşları
- 7) Yaşların bağımsız kontrolü



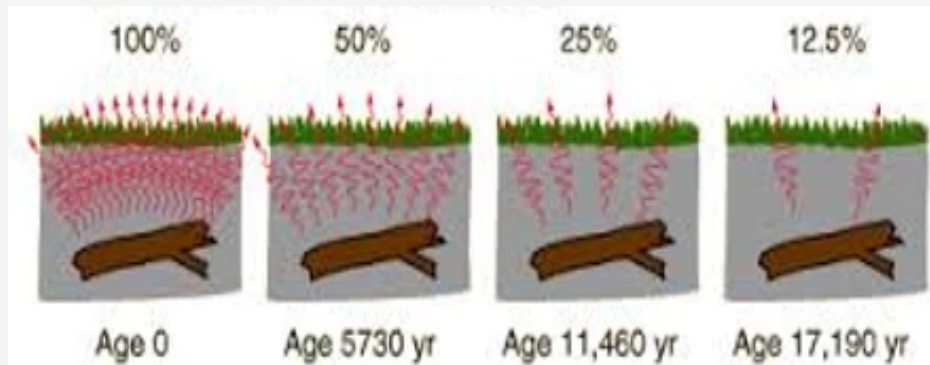
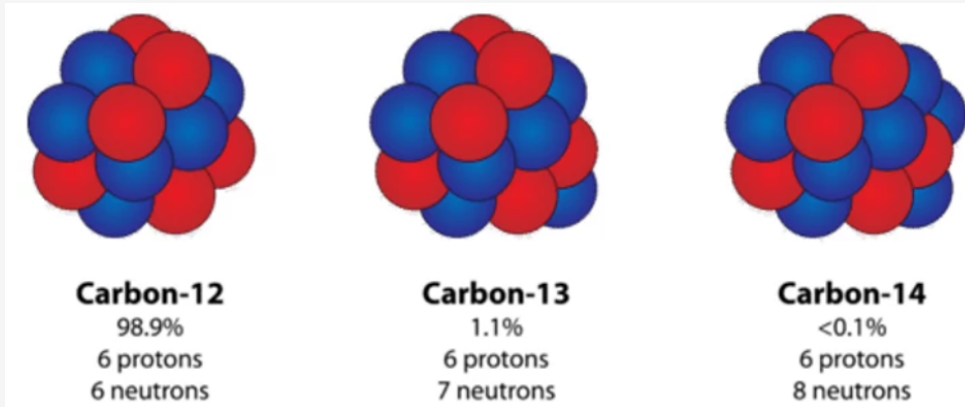
YERALTISUYU KÜTLELERİNDE YAŞIN BELİRLENMESİ (2 Nicel Yaklaşımlar)

a) İzleyici Kullanımı (izotoplar, çözünmüş gazlar)

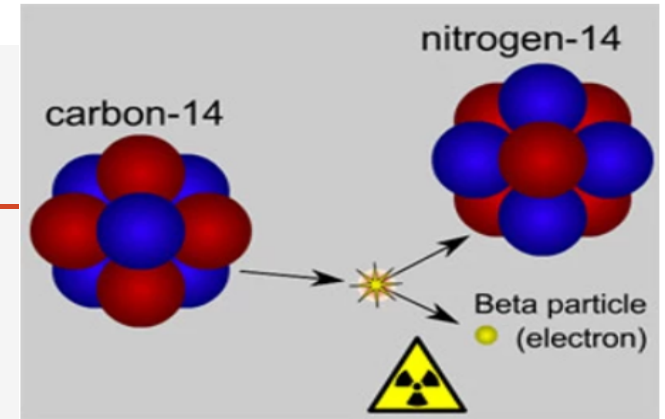
Aşağıdaki çizelgede yeraltısuyu (YAS) yaş tayininde kullanılan başlıca izotoplar gösterilmiştir. Bunlardan Helyum (He), Kripton (Kr), Argon (Ar) suda çözünmüş asal gaz, CFC (Klorofluorokarbon) ve SF₆ (Sülfür hegza florür) inert gaz diğerleri ise suda çözünmüş iyon formundadırlar. Hidrojen ve oksijen izotopları su molekülünün bileşenleridir. YAS yaş tayininde Mavi fonlu izleyiciler daha yaygın kullanılmaktadır. Sarı fonlu izleyicilerin kullanımı ikinci derece yaygınlığa sahiptir. Diğer izleyiciler akademik araştırma amaçlı kullanılmaktadır.



Karbon-14 İzotopu



Kaynak: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu



Kaynak: windows2universe.org



Kaynak: theconversation.com

YERALTISUYU KÜTLELERİNDE YAŞIN BELİRLENMESİ (2 Nicel Yaklaşımlar)

2) Nicel Yaklaşımlar

a) İzleyici Kullanımı (izotoplar, çözünmüş gazlar)

i) Ci zamanda sabit (Radyoaktif bozunma yasası, ^{14}C)

Sisteme giren izleyici derişimi zamanda sabit olduğunda bu derişime sadece kimyasal ve/veya radyoaktif bozunma düzeltmesi uygulanır. Sonuç $C_i(t)$ derişimi (= A_o) örnek derişimi (A_t) ile kıyaslanarak YAS yaşı belirlenir.

Arkeolojik buluntuda ^{14}C aktivitesi: 0.25 pmc

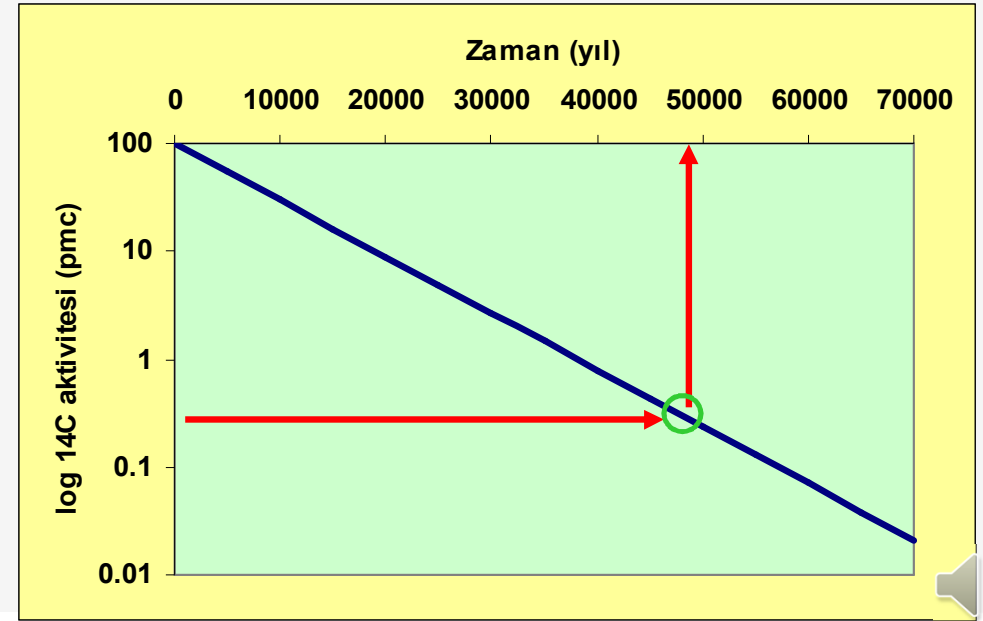
Radyoaktif bozunma eşitliği

$$A_t = A_o * \exp(-\lambda * t), \lambda = \ln(2)/T_{1/2}$$

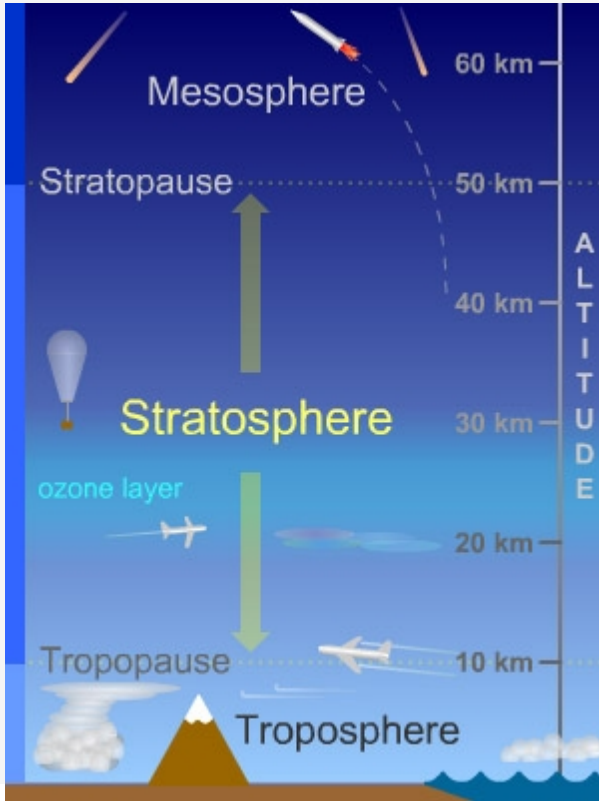
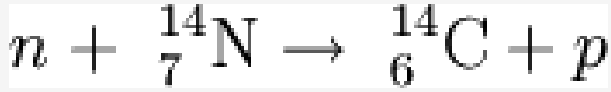
$$A_o = 100 \text{ pmc}, T_{1/2} = 5730 \text{ yıl}$$

$$t (\text{yıl}) = \{\ln (A_t/A_o)\} / -\lambda$$

$$t (\text{yıl}) = \{\ln (0.25/100)\} / -0.000121 = 49,529 \text{ yıl}$$



Karbon-14'ün Kaynağı



Radyokarbon, doğal olarak oluşan radyoaktif bir karbon izotopudur. Dünyadaki ana kaynağı karbon-14 kaynağı, atmosferdeki nitrojen atomlarının kozmik nötronlarla çarpışması sonucunda oluşur.

Ancak, 1955 ile 1980 arasındaki atmosfere açık termo-nükleer bomba testleri de radyokarbon oluşumuna katkıda bulunmuştur.

Kozmojenik üretimin sabit olduğu varsayılabilir. Antropojenik üretim güncel bir katkı olduğundan yaş tayini hesaplamaları üzerinde bir etkisi yoktur.

Stratosferde oluşan karbon-14 oksijenle birleşerek ${}^{14}\text{CO}_2$ gazı olarak atmosferik dolaşıma katılır. Solunma yoluyla canlıların, difüzyon yoluyla su kütlelerinin bünyesine geçer. Atmosferik ${}^{14}\text{CO}_2$ gaz bolluğu ile canlıların ve su kütlelerinin ${}^{14}\text{C}$ bollukları arasında doğal bir denge (İng. secular equilibrium) vardır. Canlıların ölümü ile bu denge bozulur ve radyoaktif bozunma ile ölü bünyedeki ${}^{14}\text{C}$ miktarı azalmaya başlar.

Yeraltısuyuna radyokarbon kök zonundaki reaksiyonlar sonucu oluşan ${}^{14}\text{CO}_2$ gazının suda çözünmesi sonucu geçer. Su kök zonunu terk ettikten sonra ${}^{14}\text{CO}_2$ kaynağından uzaklaştığı için doğal denge korunamaz, başlangıçtaki ${}^{14}\text{C}$ miktarı radyoaktif bozunma sonucu azalmaya başlar.

Radyokarbon atomları, biraz daha ağır olmaları ve ortalama 5700 yıl sonra azota bozunmaları dışında, kimyasal reaksiyonlarda diğer karbon atomları ile aynı şekilde davranır.



Karbon-14 ile Yaş Tayini

- Atmosferik $^{14}\text{CO}_2$ aktivitesinin 1950 yılı itibariyle 100 pmc (percent modern carbon) olduğu kabul edilmektedir.
- Atmosferik $^{14}\text{CO}_2$ ile dengede olan canlı bünyesindeki ^{14}C içeriği de 100 pmc'dir.
- Ölüm sonrasında bünyedeki ^{14}C aktivitesi radyoaktif bozunma yasasına uygun olarak, eksponansiyel biçimde azalmaya başlar.

➤ " $A_t = A_0 e^{-(\lambda \cdot t)}$ "

➤ A_t : t zamanındaki aktivite (pmc)

➤ A_0 : başlangıçtaki aktivite (pmc)

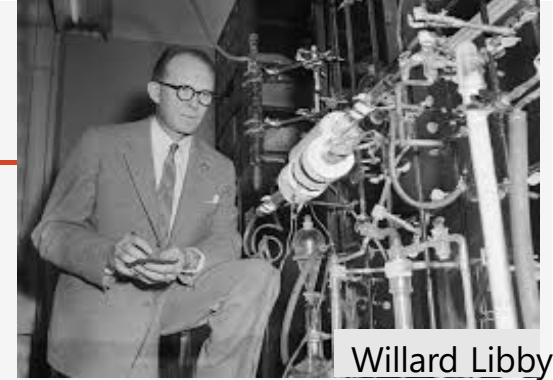
➤ t: başlangıçtan itibaren geçen zaman (yıl)

➤ λ : bozunma hızı $\{\ln(2) / t_{1/2} = 0.693/5730 = 0.000121 \text{ yıl}^{-1}\}$

➤ $t_{1/2}$: bozunma yarı ömrü (yıl^{-1})

(a) 5730 ± 40 yıl, Cambridge yarıömrü

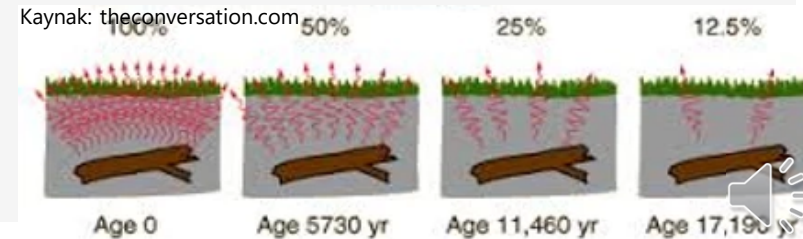
(b) 5568 ± 30 yıl, Libby yarıömrü, Nobel ödülü)



Willard Libby



Kaynak: theconversation.com



Kaynak: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu

Yeraltısuyunda Karbon-14 ile Yaş Tayini: Örnekleme

Hızlandırıcılı Kütle Spektrometresi
Accelerator Mass Spectrometer

1 Litre örnek yeterlidir. Özel işlem gerekmez.
En fazla 10 dakika sürer.



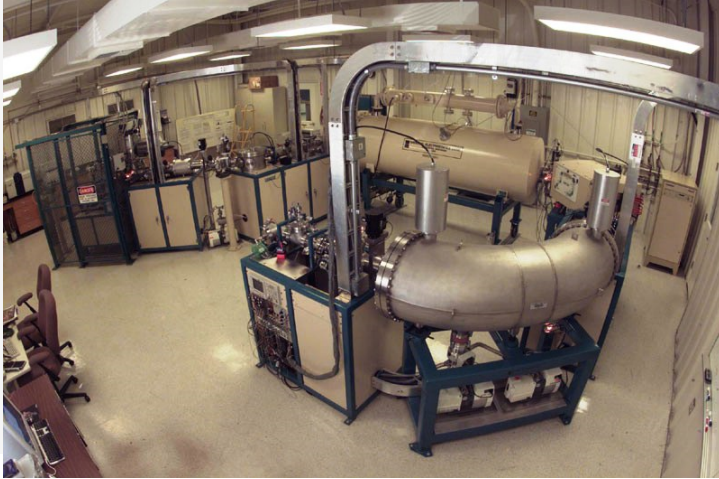
Çok Düşük Fon Değerli Sıvı Parıldama Sayıcı
Ultra Low Background Liquid Scintillation Counter
Suyun kimyasına bağlı olarak 200 ila 400 Litre sudan 3 gram
karbon çöktürmek gerekir.
Ortalama 45-60 dakika sürer.



Yeraltısuyunda Karbon-14 ile Yaş Tayini: Analiz

Ölçüm Tekniği	Hızlandırıcı Kütle Spektrometresi Accelerator Mass Spectrometer	Çok Düşük Fon Değerli Sıvı Parıldama Sayıcı Ultra Low Background Liquid Scintillation Counter
Analiz Süresi	1 Hafta (örnek hazırlama kolay)	2 Hafta (örnek hazırlama zor)
Analiz Ücreti	550 \$	350 \$
Saptama Sınırı	0.1 pmc	1 pmc
Örnek Miktarı	0.01 gram ya da 1 Litre	3 gram ya da 300 Litre
Yaş Tayin Sınırı	75,000 yıl	50,000 yıl

Hızlandırıcı Kütle Spektrometresi



Benzen Sentez Sistemi

Sıvı Parıldama Sayıcı



Arkeolojik Örneklerde Karbon-14 ile Yaş Tayini

Uygulama:

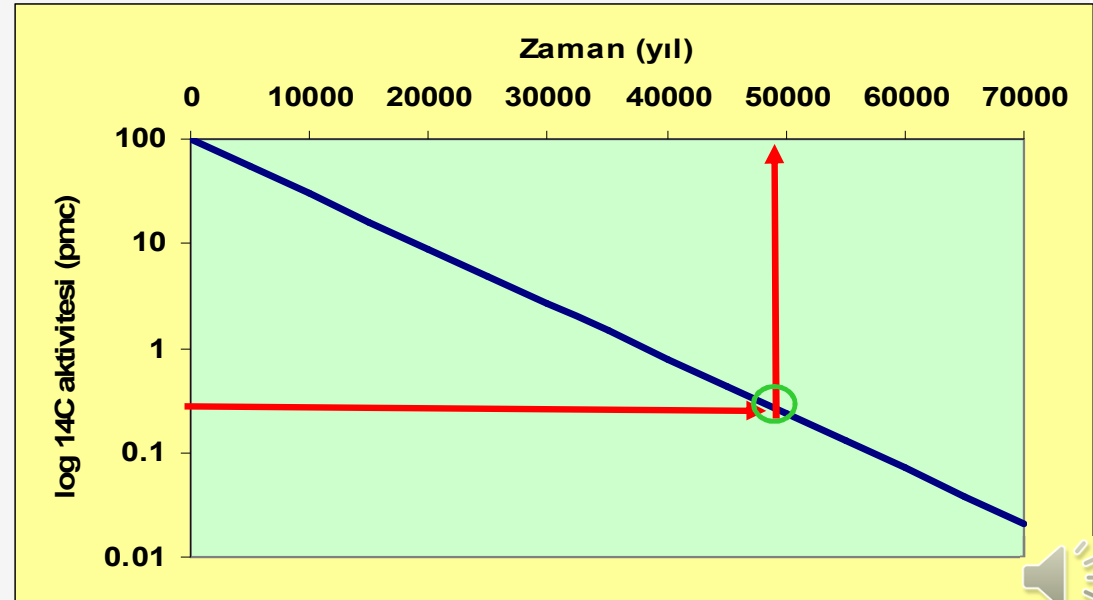
Arkeolojik çömlek/kemik buluntusu

Buluntu ^{14}C aktivitesi: $A_t = 0.25 \text{ pmc}$
Başlangıç ^{14}C aktivitesi: $A_o = 100 \text{ pmc}$

$$t (\text{yıl}) = \{\ln (A_t/A_o)\} / -\lambda$$

$$t (\text{yıl}) = \{\ln (0.25/100)\} / -0.000121$$

$$t (\text{yıl}) = 49,529 \text{ yıl}$$



Yeraltısuyunda Karbon-14 ile Yaş Tayini

Sorun: A_t ölçülebiliyor ama, Hidrojeokimyasal reaksiyonlar A_o 'ın ilksel değerini değiştiriyor.

Durum 1: $A_o = 100$ pmc ise

$A_t = {}^{14}\text{C}$ aktivitesi: 0.25 pmc

$$t (\text{yıl}) = \{\ln (A_t/A_o)\} / -\lambda$$

$$t (\text{yıl}) = \{\ln (0.25/100)\} / -0.000121$$

$$t (\text{yıl}) = 49,529 \text{ yıl}$$

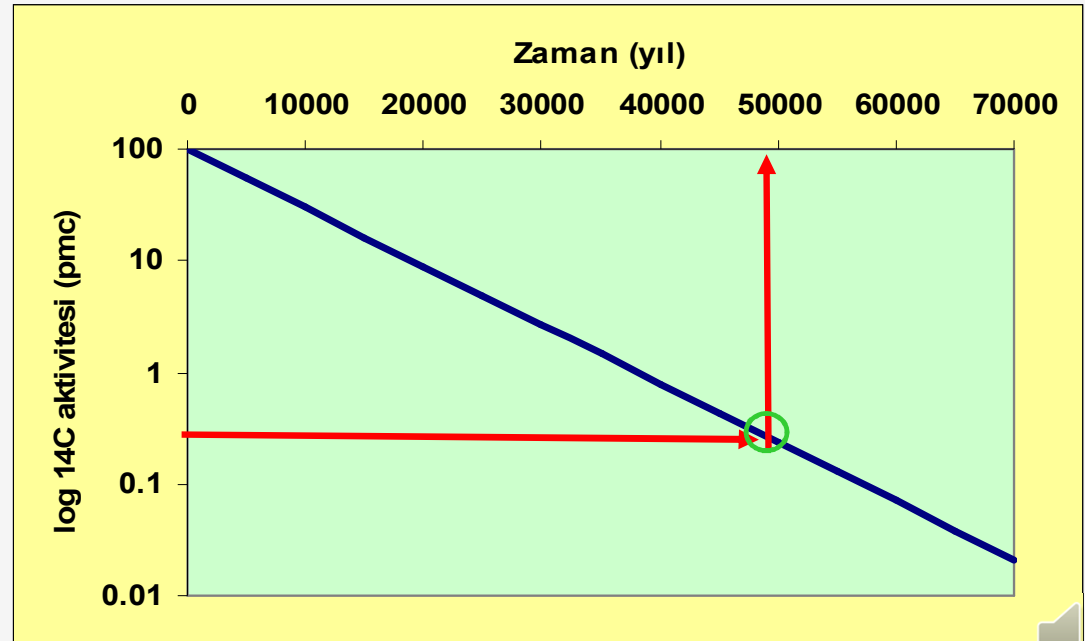
Durum 2: $A_o = 10$ pmc ise

$A_t = {}^{14}\text{C}$ aktivitesi: 0.25 pmc

$$t (\text{yıl}) = \{\ln (A_t/A_o)\} / -\lambda$$

$$t (\text{yıl}) = \{\ln (0.25/10)\} / -0.000121$$

$$t (\text{yıl}) = 30,486 \text{ yıl}$$



Yeraltısuyunda Radyokarbon Yaş Tayini

Sorun: **At** ölçülebiliyor ama, Hidrojeokimyasal reaksiyonlar **Ao**'ın ilksel değerini değiştiriyor.

Durum:

Eğer, yeraltısuyundaki karbon elementi (TİK, toplam İnorganik Karbon) içeriğini sadece atmosferik ve/veya kök zonu CO₂ oluştursa idi (¹⁴C= 100 pmc) yeraltısuyu radyokarbon yaş tayini arkeolojik örneklerdeki yaş tayini gibi basit olurdu. Yeraltısuyunun Toplam İnorganik Karbon içeriği akım yolu boyunca çeşitli kaynaklar (İng. Source) ve kayıplar (İng. Sink) içerir. Yeraltısuyu Radyokarbon Yaş Tayininde kaynak ve kayıpların yeraltısuyunun ¹⁴C içeriği üzerindeki etkisinin bilinmesi ve düzeltilmesi gerekir.

Kaynaklar:

- Atmosferik CO₂ girdisi (¹⁴C= 100 pmc, $\delta^{13}\text{C}$ = -7 permil)
- Jeojenik CO₂ girdisi (¹⁴C= 0 pmc, $\delta^{13}\text{C}$ = 0 permil)
- Kök zonu atmosferi CO₂ girdisi (C3, CAM ve C4 türü bitkiler, (¹⁴C= 100 pmc, $\delta^{13}\text{C}$ = -24 ila -11 permil))
- Genç karbonatların çözünmesi (50 bin yıldan genç çökeller (¹⁴C > 0 pmc, $\delta^{13}\text{C}$ = +5 ila -5 permil))
- Redoks reaksiyonları ile CO₂ üretimi (GENÇ organik madde oksidasyonu, (¹⁴C= 100 pmc, $\delta^{13}\text{C}$ = -24 ila -11 permil))

Kayıplar:

- Yeraltısuyundan karbonat çökmesi (kırık-çatlak dolguları) (¹⁴C= 0-100 pmc, $\delta^{13}\text{C}$ = -24 ila + 5 permil)
- Yeraltısuyundan CO₂ salınması (¹⁴C= 0-100 pmc, $\delta^{13}\text{C}$ = -24 ila + 5 permil)



Yeraltısuyunda Radyokarbon Yaş Tayini

Çözümü zorlu ☹, sonucu keyifli bir sorular zinciri ☺

Çözüm:

Yeraltısuyu karbon element içeriğine etkiyen tüm kaynak (source) ve kayıp (sink) süreçleri kesin biçimde tanımlanır.

Bu süreçlerden dolayı yeraltısuyuna giren ve çıkan ^{14}C (ve $\delta^{13}\text{C}$) belirlenir.

Bitki kök zonu atmosferindeki başlangıç (A_0) $^{14}\text{CO}_2$ (= 100 pmc) aktivitesi giren ve çıkan ^{14}C kaynaklarına göre düzeltilir.

Radyokarbon yaşı hesabı düzeltilmiş A_0 değeri kullanılarak yapılır.

Yapılan düzeltmelerin doğruluğundan nasıl emin olabiliriz? Hesaplamalarda ^{14}C 'ün yanı sıra duraylı bir izotop olan ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$) bütçesini de aynı şekilde hesaplanır. Hesaplanan $\delta^{13}\text{C}$ değeri ile örnekte ölçülen $\delta^{13}\text{C}$ değeri uyuşursa, hesaplamaların doğru olduğunu kabul edilir.

Yeraltısuyu Toplam İnorganik Karbon (TİK) İçeriği

$$\text{TİK} = \text{CO}_2 + \text{HCO}_3 + \text{CO}_3$$

Kaynaklar (^{14}C , $\delta^{13}\text{C}$)

Kayıplar (^{14}C , $\delta^{13}\text{C}$)



Kaynak / Kayıp	^{14}C (pmc)	^{13}C (permil VPDB)
Kök zonu	100	-24 ile -10
Atmosfer	100	-7
Organik Madde	0-100	-14 ile -10
Jeojenik	0	0
Kalsit	0-100	-5 ile +5



Yeraltısuyu TİK İçeriği Kaynak ve Kayıplarının ^{14}C İçeriği Üzerindeki Etkisi Nasıl Düzeltilir?

Kavramsal Hidrojeolojik Modelin Oluşturulması

- Jeolojik yapı
- Akifer, akiklöd, akifüj
- Genel beslenim, boşalım alanları
- Yeraltısuyu yük dağılımı, bölgesel akım yönü

Örnekleme (su-gaz-kayaç) ve Analiz

- Örnekleme noktalarının seçimi (bölgesel akım yolu !)
- Yerinde ölçümler (Sıcaklık, ÖEİ, pH, ÇO, Eh vb)
- Örnekleme (majör iyonlar, besin tuzları, iz elementler, Fe-Mn, H_2S , CH_4 gibi redoks türleri)
- Örnekleme (toprak CO_2 , YAS CO_2 , H_2S , CH_4 vb)
- Örnekleme (suda ^{18}O , ^2H , ^3H , ^{13}C , ^{14}C , ^{15}N , ^{34}S izotopları)
- Örnekleme (kayaç ve çatlak dolgularında ^{13}C , ^{34}S izotopları)

•Hidrojeokimyasal Modelleme

•Sonuçların Bağımsız Yaklaşımlarla Kontrolü



Uygulama:

Konya Kapalı Havzası Yeraltısuyunun Radyokarbon Yaşları

Radiocarbon age distribution of groundwater in the Konya Closed Basin, central Anatolia, Turkey

Özet

Türkiye'nin ortasındaki 53.000 km²'lik Konya Kapalı Havzasında yıllık 2,6 milyar m³ yeraltı suyunun çekilmesi, son birkaç on yılda 1 m / yıl'dan hızlı bir düşüşe neden olmuştur. Bu nedenle, yarı kurak bir iklimdeki bu büyük kapalı havzanın hidrojeolojisini anlamak, sürdürülebilir kaynak yönetimi açısından önemlidir. Bu amaçla, bölgesel yeraltısuyu akış yolu üzerinde, 150 km'lik bir kesit boyunca yeraltısuyunun radyokarbon yaş dağılımı incelenmiştir. Sonuçlar, yeraltı sularının yaşlarının güneyde ana besleme bölgesi olan ki Toros Dağları'nın eteklerinden güncelden, kuzeydeki Tuz Gölü terminal gölü çevresinde yaklaşık 40.000 yıla kadar değiştiğini göstermektedir. Radyokarbon yaşları ana beslenme alanından uzaklaştıkça doğrusal olarak artmakta olup, hidrolik yaşlarla uyum içindedir. Bölgesel yeraltı suyu akışının ortalama hızı (3 m / yıl), Tuz Gölü'ne olan bölgesel yeraltısuyu boşalımına belirlenmektedir. Kalsit çözünmesi, dedolomitizasyon ve jeojenik karbondioksit akışı, bölgesel akış yolu boyunca karbon izotop bileşimini belirleyen baskın jeokimyasal süreçlerdir. Yeraltı suyunun oksijen-18 içeriği, daha nemli ve daha soğuk bir paleobeslenimi göstermektedir. Geçmişteki yeraltısuyu beslenme sıcaklığı günümüzdekenden 5 °C daha düşüktür.

Radiocarbon age distribution of groundwater in the Konya Closed Basin, central Anatolia, Turkey

C. Serdar Bayarı · N. Nur Ozyurt · Susan Kilani

Abstract Annual abstraction of 2.6×10^9 m³ of groundwater in the 53,000 km² Konya Closed Basin of central Turkey has caused a head decline of 1 m/year over the last few decades. Therefore, understanding the hydrogeology of this large endorheic basin, in a semi-arid climate, is important to sustainable resource management. For this purpose, the groundwater's radiocarbon age distribution has been investigated along a 150-km transect parallel to regional flow. Results show that the groundwater ranges in age from Recent at the main recharge area of the Taurus Mountains in the south, to about 40,000 years around the terminal Salt Lake located in the north. In this predominantly confined flow system, radiocarbon ages increase linearly by distance from the main recharge area and are in agreement with the hydraulic ages. The mean velocity of regional groundwater flow (3 m/year) is determined by the rate of regional groundwater discharge into the Salt Lake. Calcite dissolution, dedolomitization and geogenic carbon dioxide influx appear to be the dominant geochemical

processes that determine the carbon isotope composition along the regional flow path. The groundwater's oxygen-18 content indicates more humid and cooler paleorecharge. A maximum drop of 5°C is inferred for the past recharge temperature.

Keywords Konya Closed Basin · Radiocarbon · Salt lake · Groundwater age · Turkey

Introduction

Understanding the hydrogeology of large endorheic basins in semi-arid areas is important to sustainable resource management particularly if most of the existing reserves are comprised of palaeowaters. One way to gather information on such aquifers is the analysis of groundwater's age distribution and its palaeoclimate signal along the regional flow path. When combined with the available hydrogeologic information, age and palaeoclimate data provide an invaluable insight into the entire flow domain.

The Konya Closed Basin (KCB), located in central Anatolia (Turkey), is one of the major endorheic basins in the world and includes the southern Konya and northern Salt Lake (Tuz Gölü in Turkish) subbasins (Fig. 1). The 53,000-km² basin is a semi-arid land where groundwater is the only dependable water resource. However, extensive use of groundwater for irrigation since the late 1960s has resulted in a severe head decline rate of about 1 m/year in the KCB. This process has already caused drying up of numerous lakes, wetlands, and springs, many of which used to be critical stopover and nesting sites for bird species migrating between Africa and Europe. The terminal Salt Lake has also reduced considerably in size during the last few decades. Apart from these environmental concerns (e.g., Bayarı et al. 2005), if the present water use practice continues, it is obvious that the entire basin will end up being a largely unproductive piece of land because of the elevated cost of deeper groundwater abstraction. In addition, the deeper groundwater is expected to have a higher salinity because of its greater residence time. Furthermore, decreasing head in the fresh water aquifer may also ease upward migration of deep-saline groundwater through the aquitard that separates the

Received: 25 January 2008 / Accepted: 31 August 2008
Published online: 15 October 2008

© Springer-Verlag 2008

C. S. Bayarı (✉)
International Research and Application Center
For Karst Water Resources,
Hacettepe University,
Ankara, 06800, Turkey
e-mail: serdar@hacettepe.edu.tr
Tel.: +90-312-2977740

N. N. Ozyurt
Department of Geological Engineering,
Hydrogeological Eng. Section,
Hacettepe University,
Ankara, 06800, Turkey

N. Ozyurt
e-mail: nozyurt@hacettepe.edu.tr

S. Kilani
Environmental Isotopes Laboratory,
Water Authority of Jordan, Ministry of Water and Irrigation,
Amman, 11183, Jordan

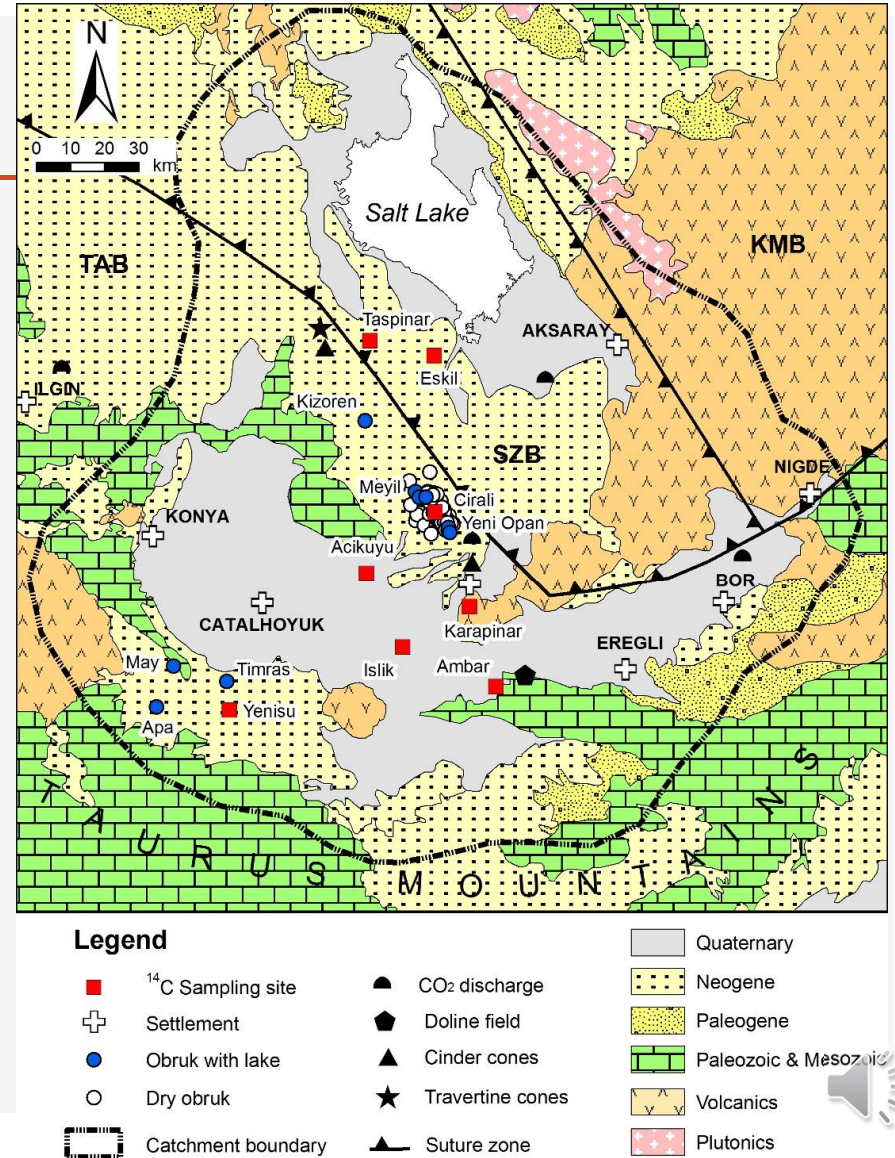
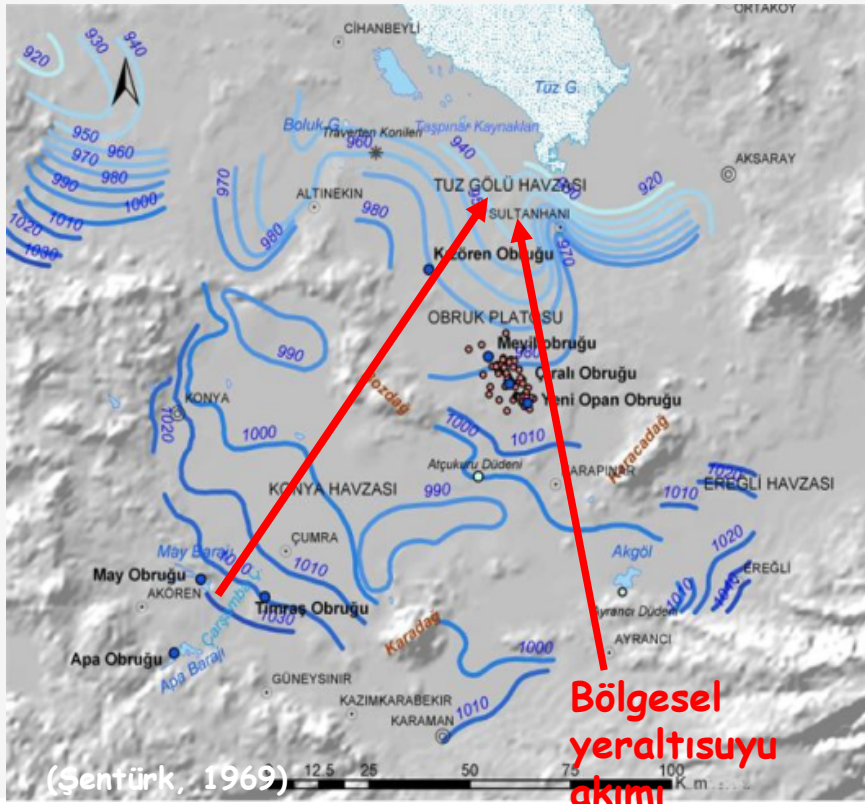
S. Kilani
e-mail: isolab@go.com.jo

Hydrogeology Journal (2009) 17: 347–365

DOI 10.1007/s10040-008-0358-2

Kavramsal Hidrojeolojik Model

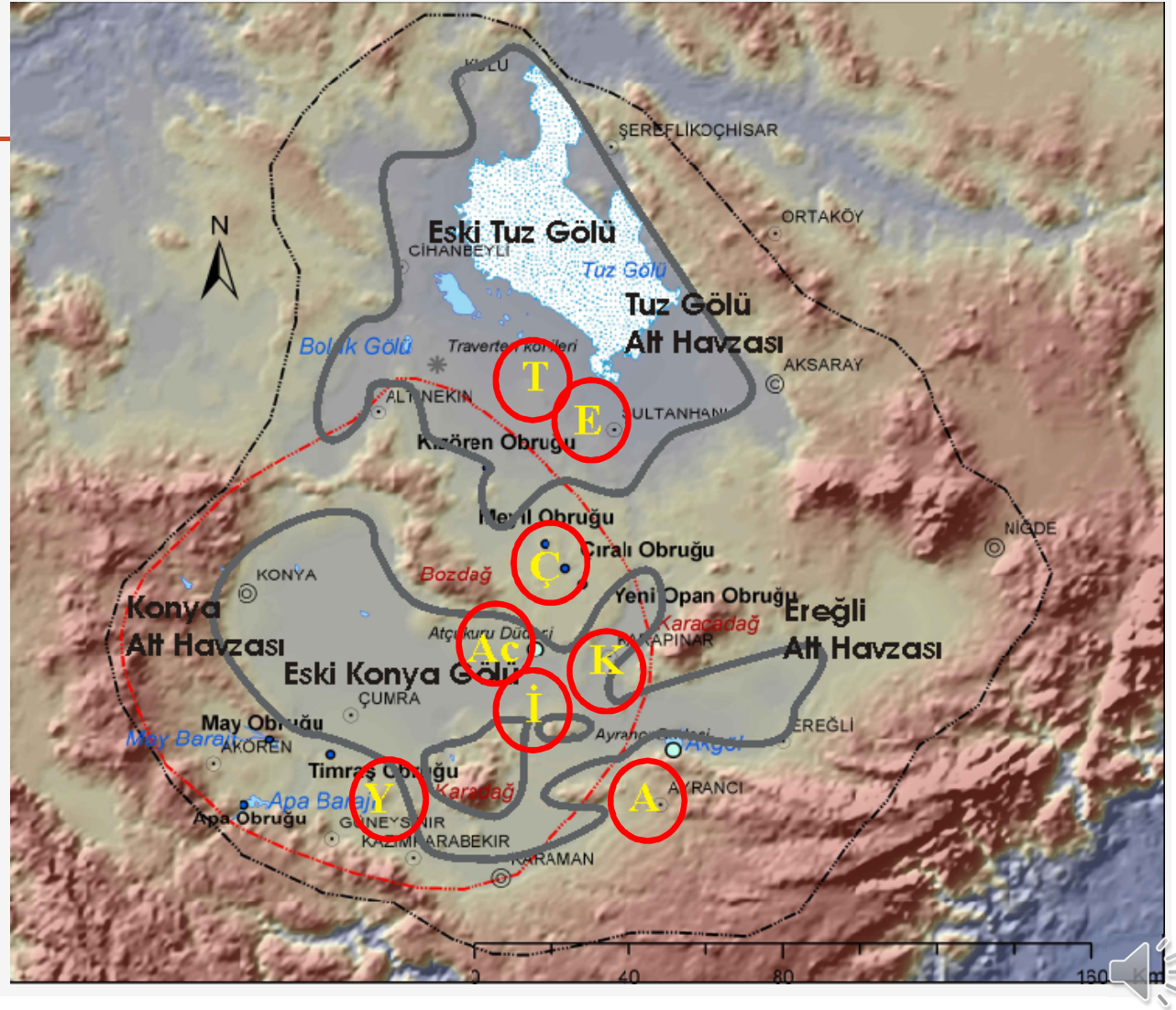
Örnekleme Noktalarının Seçimi



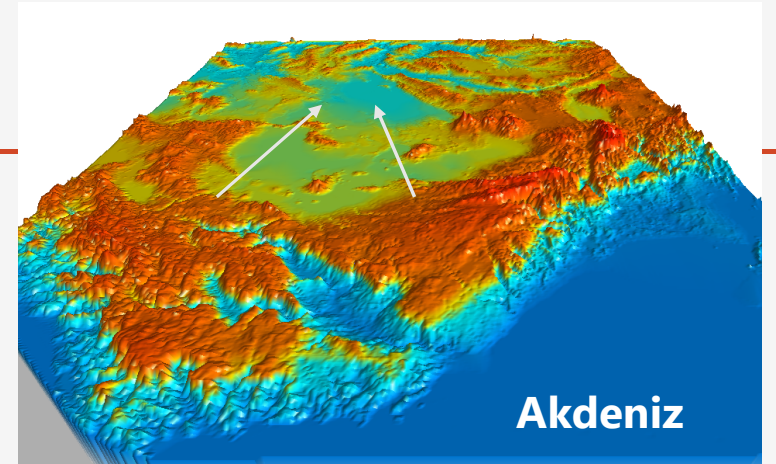
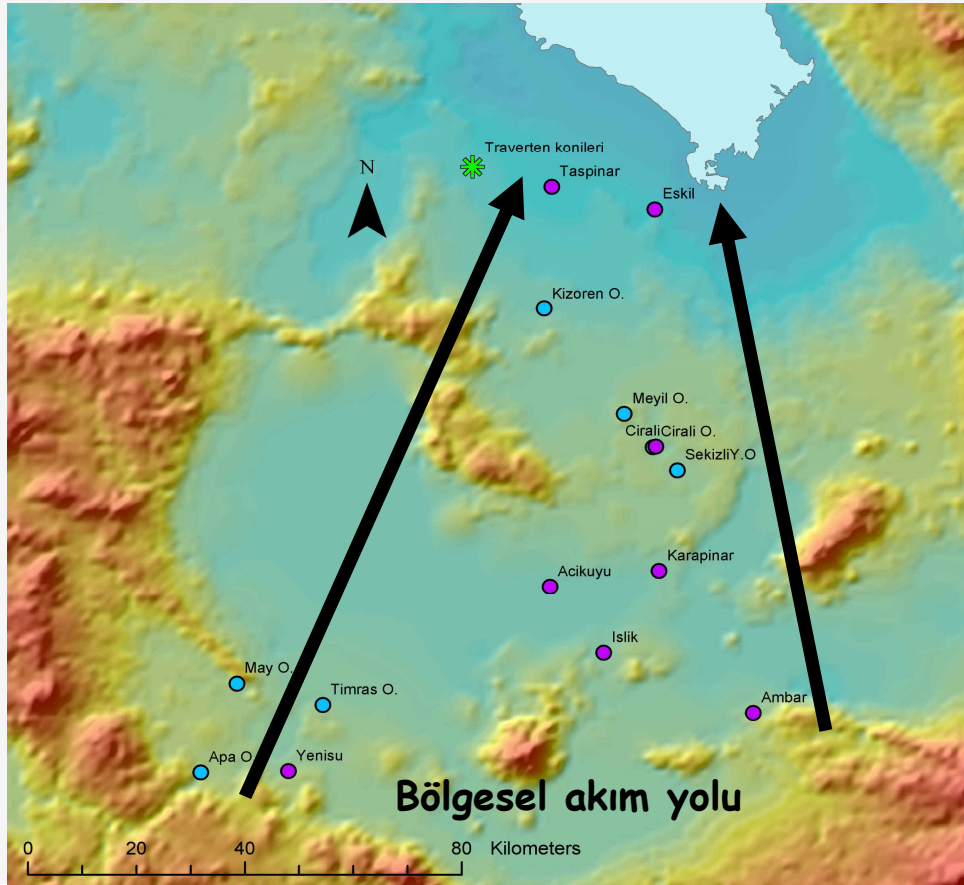
Karbon-14 Örnekleme Noktaları

- A:** Ambar
Ac: Acıkuyu
Ç: Çıralı
E: Eskil
İ: İslık
K: Karapınar
T: Taşpınar
Y: Yenisu,

Kavramsal Hidrojeolojik Model hakkında ayrıntılar için:
Obruks, as giant collapse dolines caused by hypogenic
karstification in central
Anatolia, Turkey: analysis of likely formation processes
C. Serdar Bayarı, Emrah Pekkan & N. Nur Özyurt
Hydrogeology Journal
(DOI 10.1007/s10040-008-0351-9)

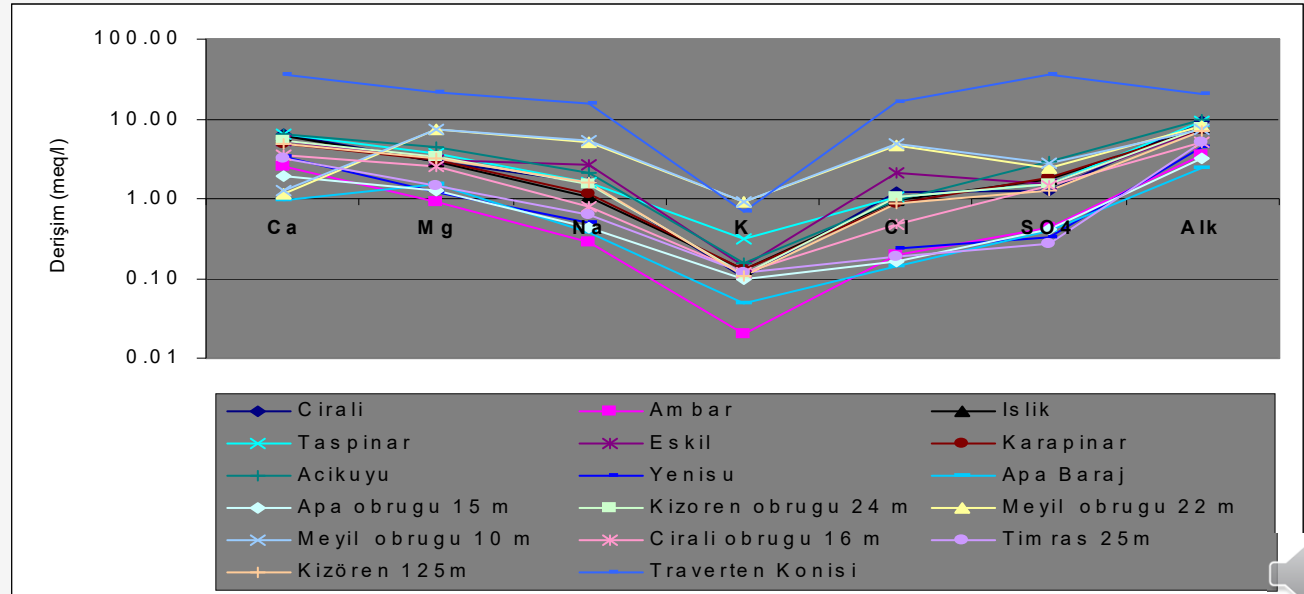
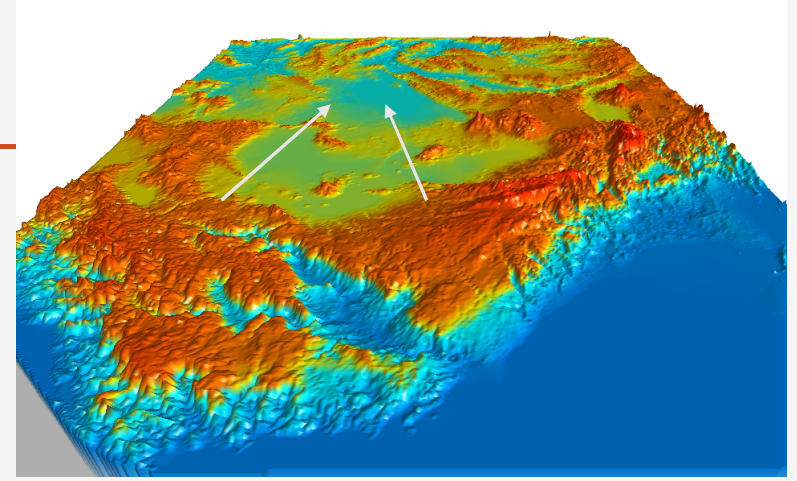


Karbon-14 Örnekleme Noktaları



Bölgesel Akım Yolu Boyunca YAS Kimyası

- CaCO_3 fasiyesi hakim,
- Ağırlıklı Reaksiyonlar:
- Kalsit, Dolomit çözünmesi,
- Kısmi jips, halit, silvit çözünmesi,
- Dedolomitizasyon etkili,
- Genellikle oksik ...

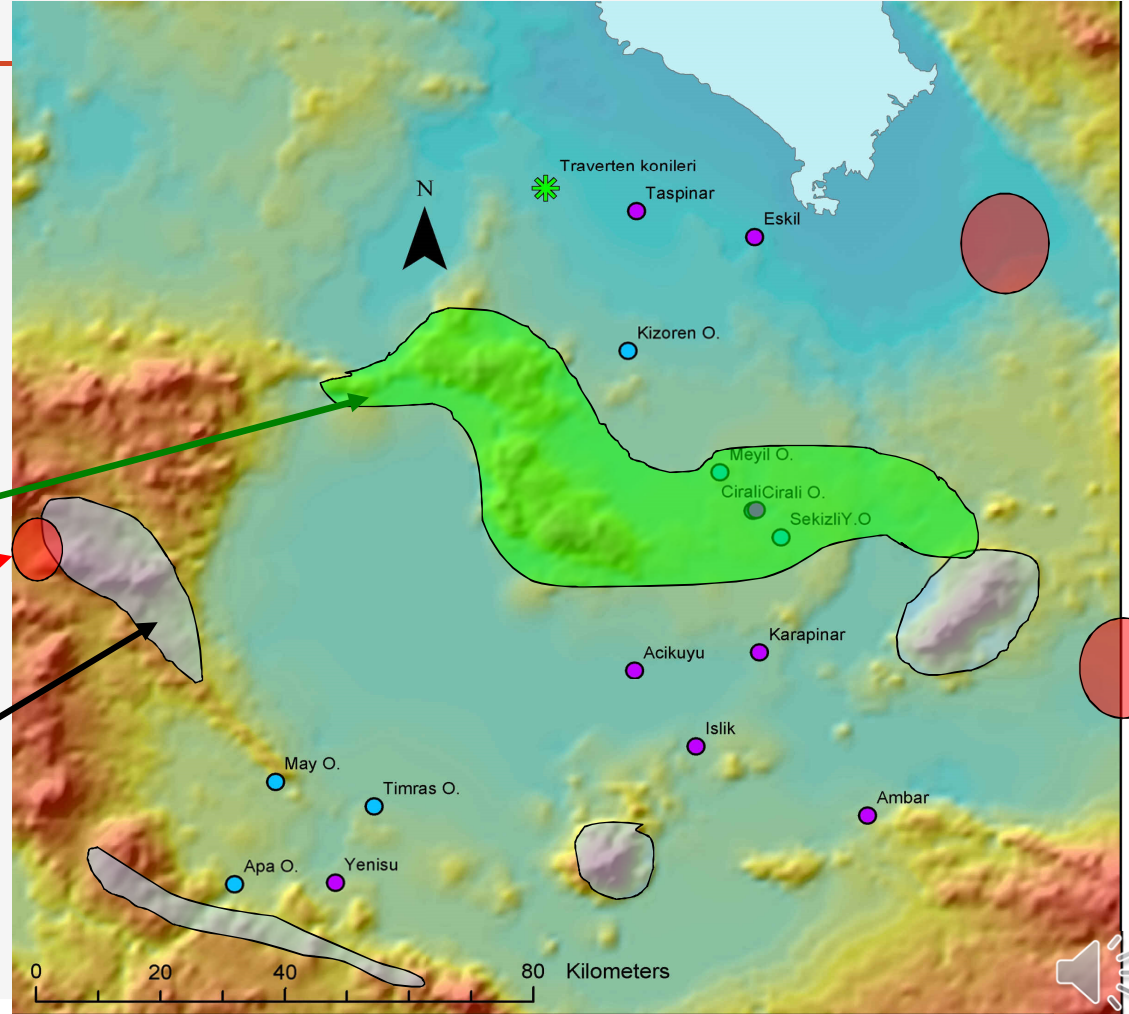


Bölgesel Akım Yolunda Önemli Bölümler

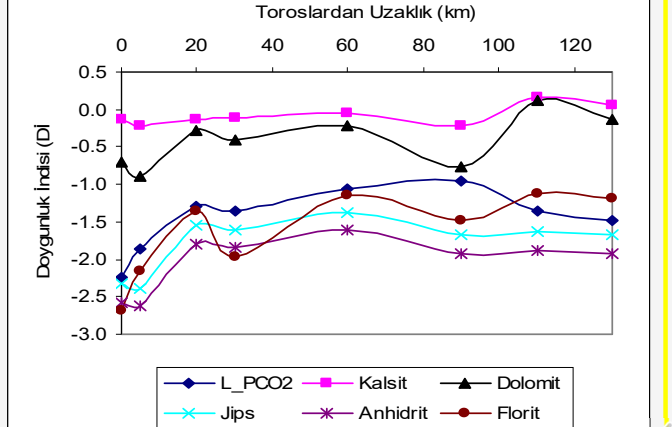
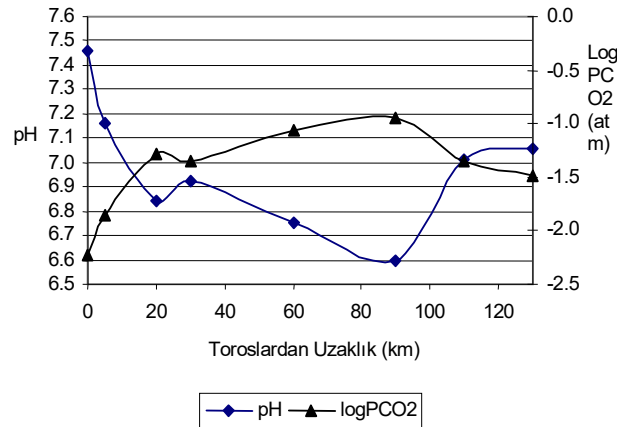
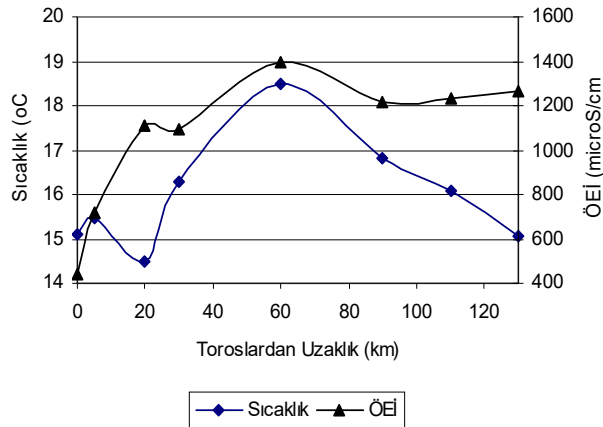
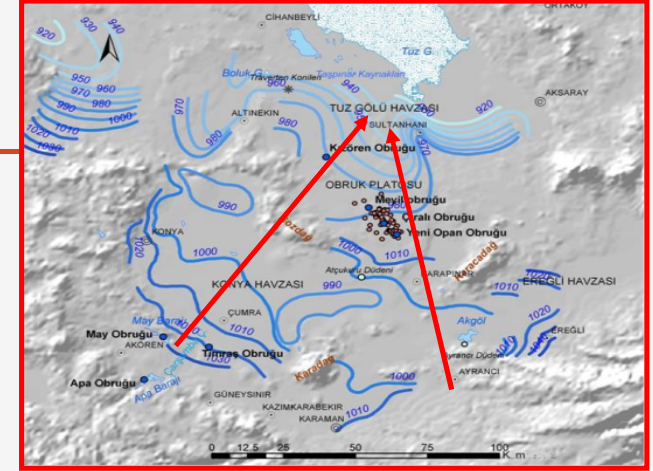
Ara beslenme kuşağı

CO₂ çıkışları

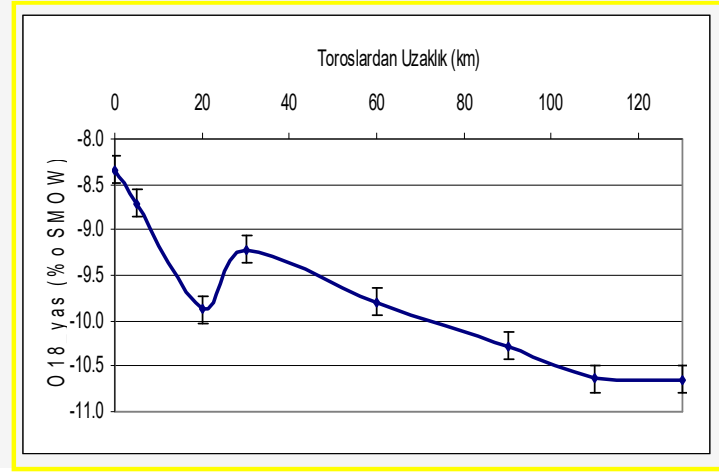
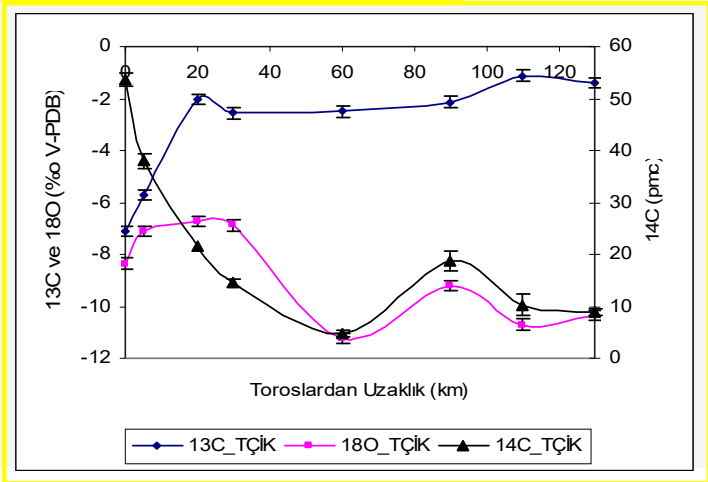
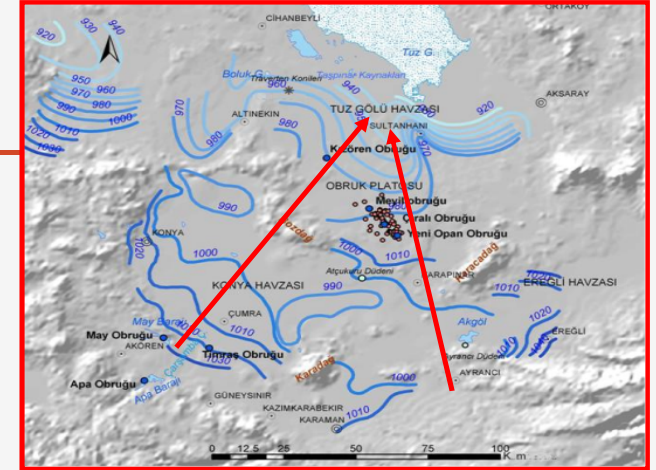
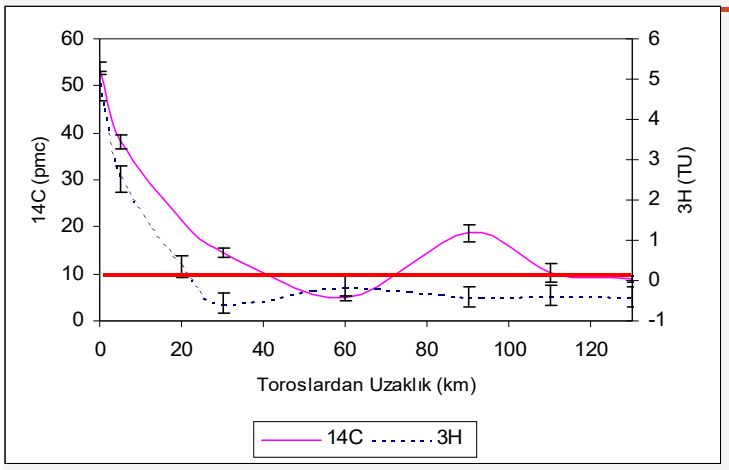
Miyosen-kuvaterner
volkanik kayalar



Bölgesel Akım Yolu Boyunca YAS Kimyası



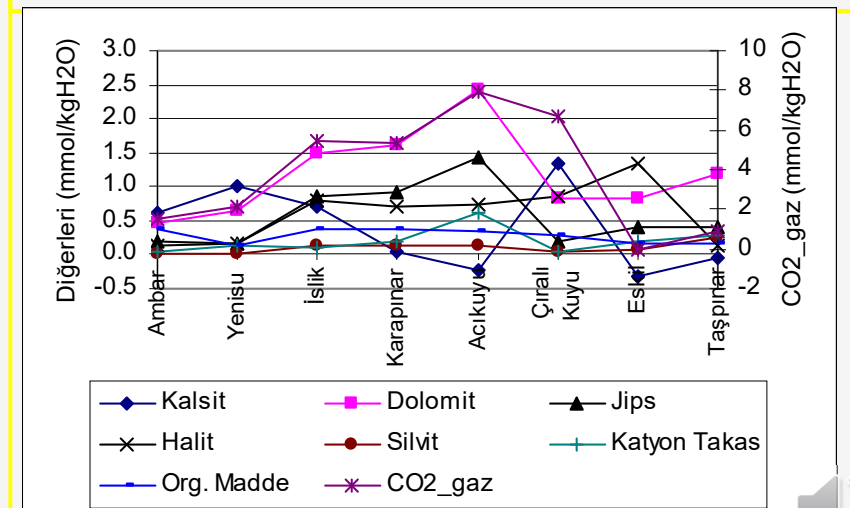
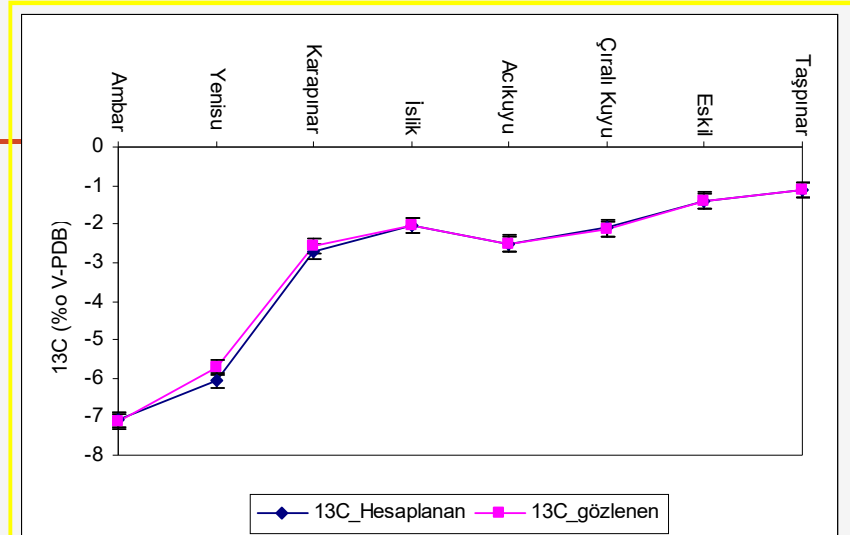
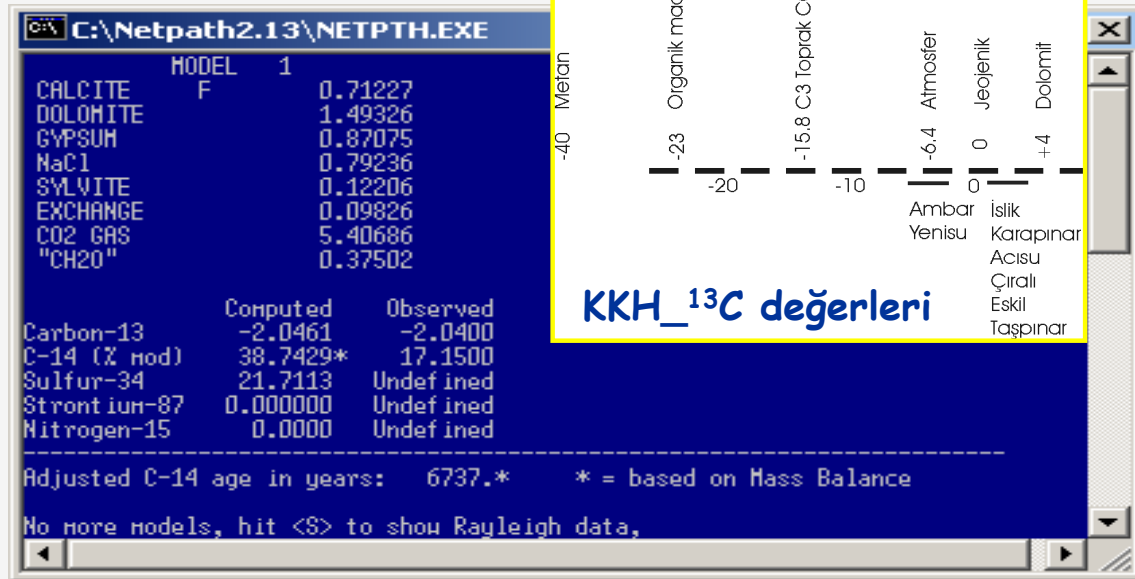
Bölgesel Akım Yolu Boyunca ^3H , ^{14}C ve ^{18}O



^{14}C Model Yaşlarının Hesaplanması

NETPATH, 2.13

Plummer, N.L., Prestemon, E.C., and Parkhurst, D.L., 1991, An Interactive Code (Netpath) For Modeling Net Geochemical Reactions Along A Flow Path, USGS WRI Report 91-4078, USGS, Virginia, 227p.



^{14}C Model Yaşlarının Hesaplanması (NETPATH)

```
Initial Well 1 : Cirali
Initial Well 2 : Bozdag1107
Final well     : IASPINAR
```

	Final	Initial 1	Initial 2
S	0.7528	0.6276	0.0116
CA	3.1719	3.2819	0.0173
MG	1.8797	1.4398	0.0049
NA	1.5941	1.5811	0.0632
CL	1.0703	1.2221	0.0530
C	10.9599	13.7545	0.1041
I8	-10.6400	-10.2800	-11.0700
RS	48.4819	58.9083	1.9858
K	0.3096	0.1017	0.0092

Başlangıç ve sonuç sulara
ait kimya-izotop verileri

Hit <Q> to quit, or <Enter> to continue

CALCITE	CA	1.0000	C	1.0000	RS	4.0000	I1	4.0000	I2	0.0000
DOLOMITE	CA	1.0000	MG	1.0000	C	2.0000	RS	8.0000	I1	8.0000
	I2	0.0000								
GYP SUM	CA	1.0000	S	1.0000	RS	6.0000	I3	22.0000		
NaCl	NA	1.0000	CL	1.0000						
CO2 GAS	C	1.0000	RS	4.0000	I1	-2.9100	I2	45.5300		
"CH2O"	C	1.0000	I1	-23.0000	I2	0.0000				
EXCHANGE	CA	-0.6279	NA	2.0000	MG	-0.3721				
SYLVITE	K	1.0000	CL	1.0000						

Reaksiyonlara ait kimya-
izotop verileri

Hit <Q> to quit, or <Enter> to continue

←[2J←[H

1 model checked
1 model found

	MODEL	1
Init 1	+ F	0.54430
Init 2	+ F	0.45570
CALCITE	F	-0.04862
DOLOMITE		1.20054
GYP SUM		0.40598
NaCl		0.13083
CO2 GAS		0.91683
"CH2O"	+	0.15664
EXCHANGE		0.28696
SYLVITE		0.25011

Hesaplanan Kütle
Transferleri
+ Çözünme (giren)
- Çökelme (çıkan)

Hit <Enter> to continue



^{14}C model Yaşlarının Hesaplanması (NETPATH)

```
MODEL      1
Init 1      + F      0.54430
Init 2      + F      0.45570
CALCITE     F      -0.04862
DOLOMITE
GYPSUM
NaCl
CO2 GAS
"CH2O"      +      0.15664
EXCHANGE
SYLVITE     0.25011
```

Hesaplanan Kütle
Transferleri
+ Çözünme (giren)
- Çökelme (çıkan)

Gözlenen-hesaplanan
 ^{13}C -TİK değerleri

Hit <Enter> to continue

	Computed	Observed
Carbon-13	-1.2183	-1.1200
C-14 (% mod)	51.9859*	10.2900
Sulfur-34	11.8638	Undefined
Strontium-87	Insufficient data	
Nitrogen-15	0.0000	Undefined

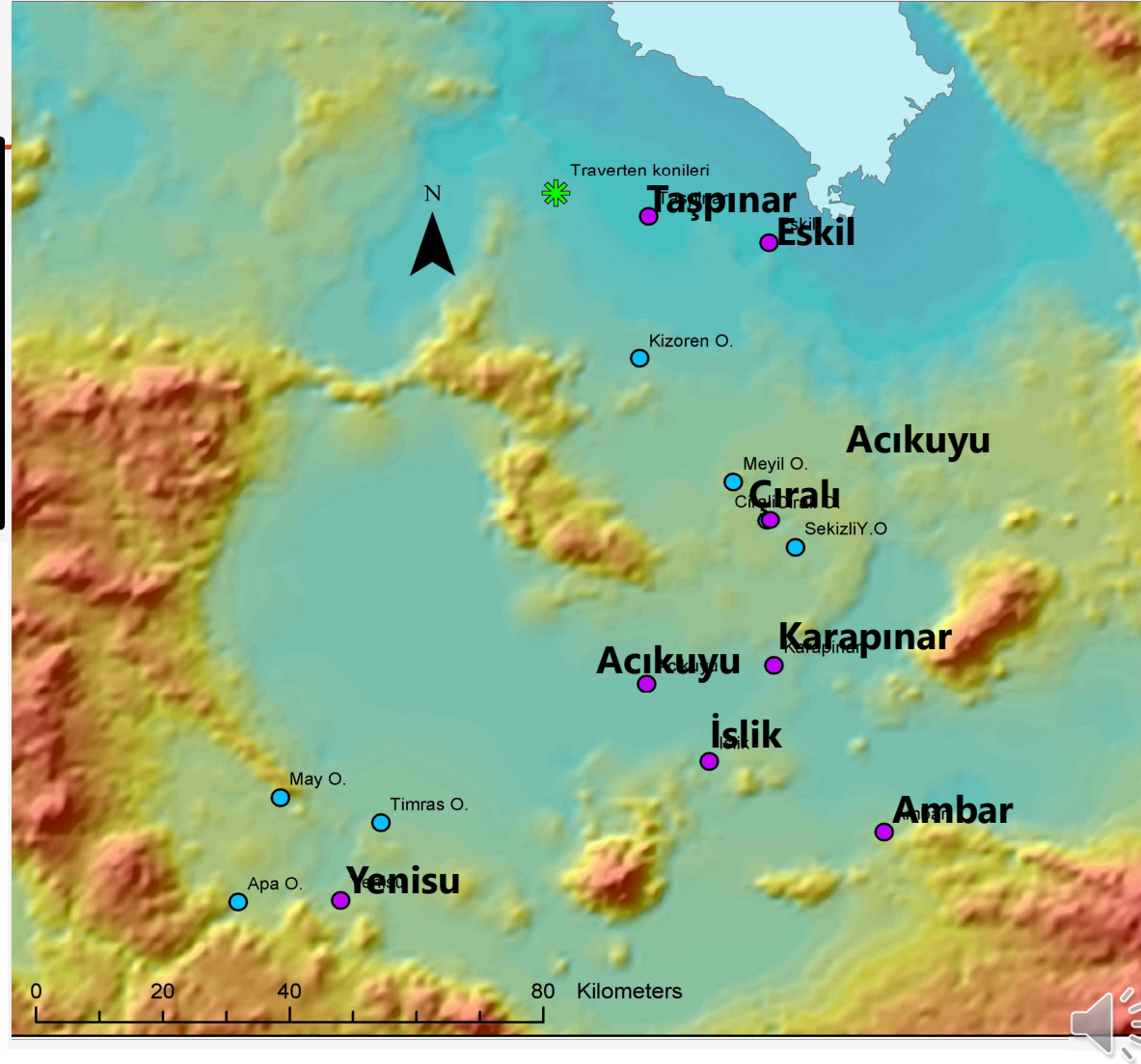
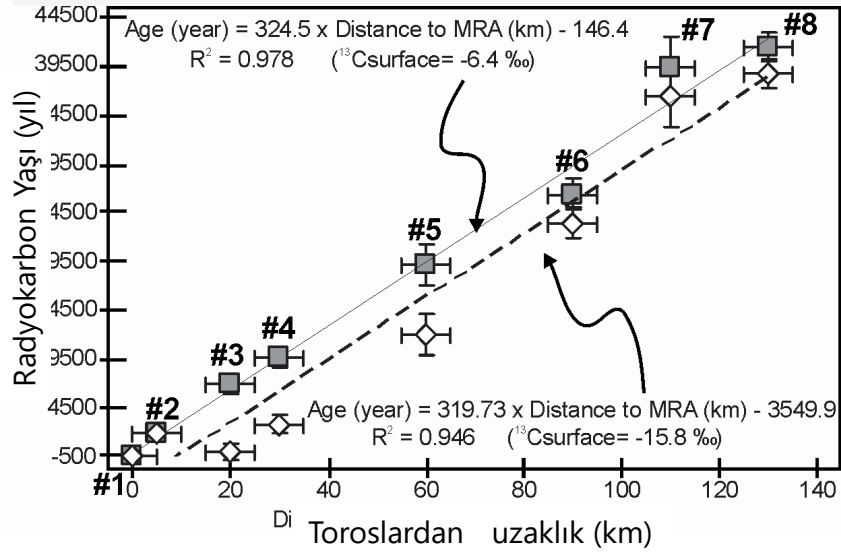
Hesaplanan ^{14}C yaşı

Adjusted C-14 age in years: 13378.* * = based on Mass Balance

No more models, hit <S> to show Rayleigh data,
<C> to run all C-14 models, <E> to explain insufficient data.

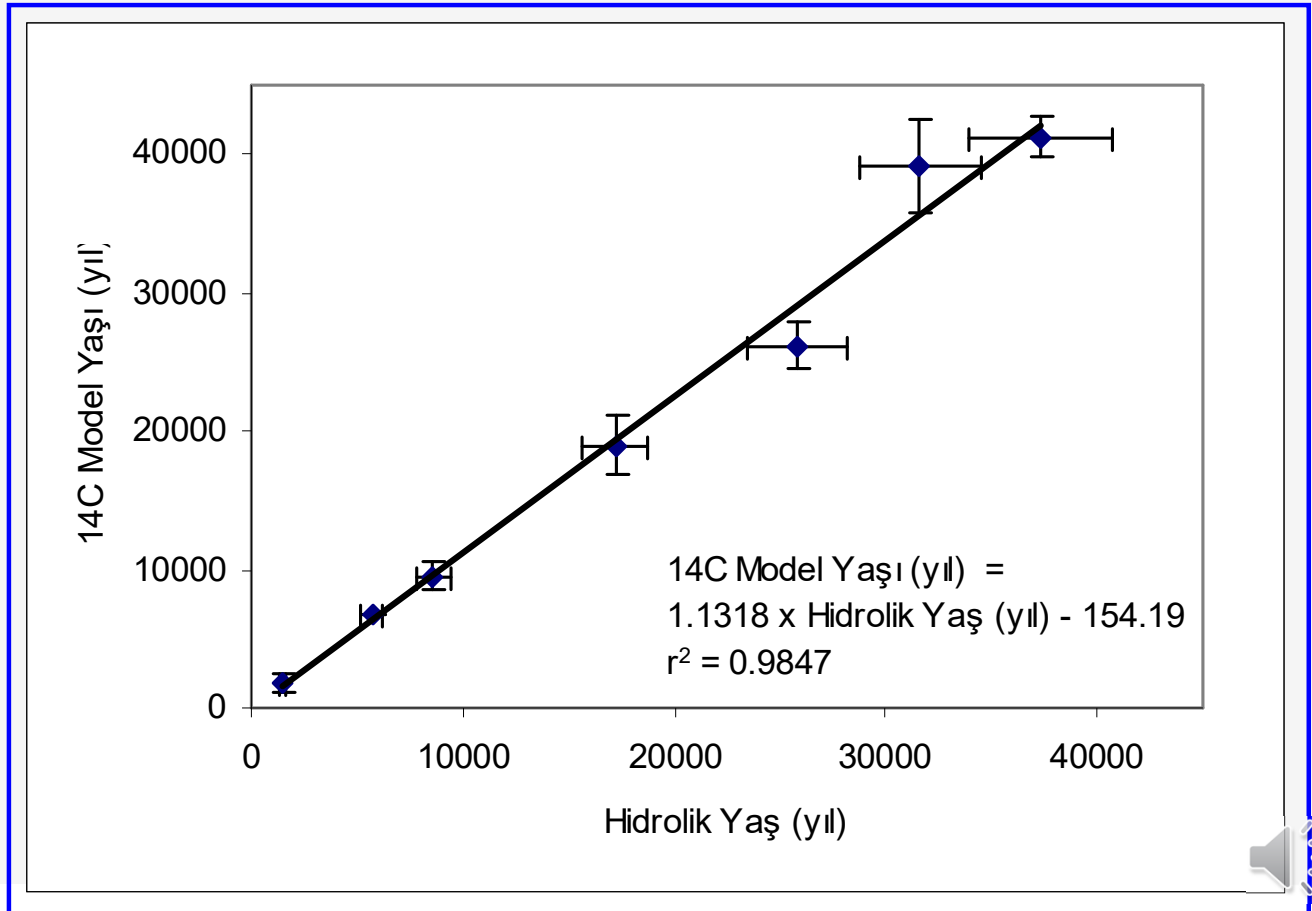
¹⁴C Model Yaşları

	Toroslar'dan uzaklık (km)	Karbon-14 Yaşı (1000 yıl)
Ambar	0	0
Yenisu	5	1749
İslik	20	6737
Karapınar	30	9546
Acıkuyu	60	19009
Çıralı Kuyu	90	26168
Taşpınar	110	39187
Eskil	130	41261

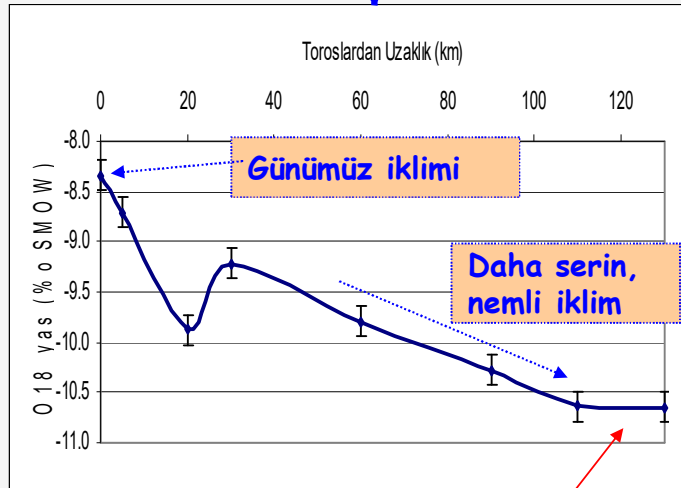
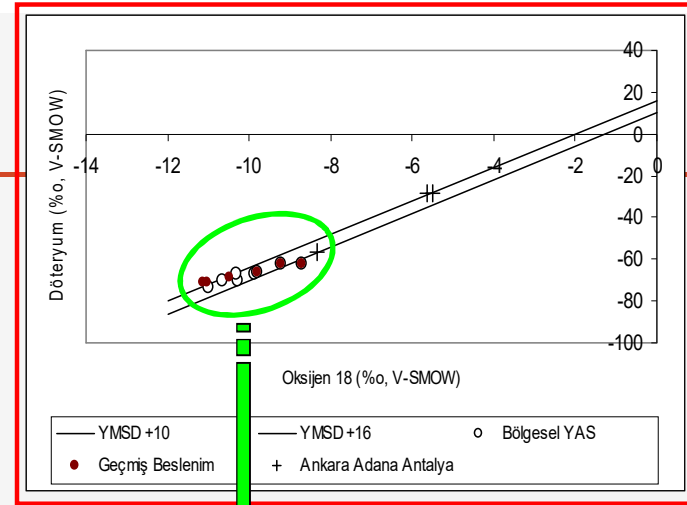
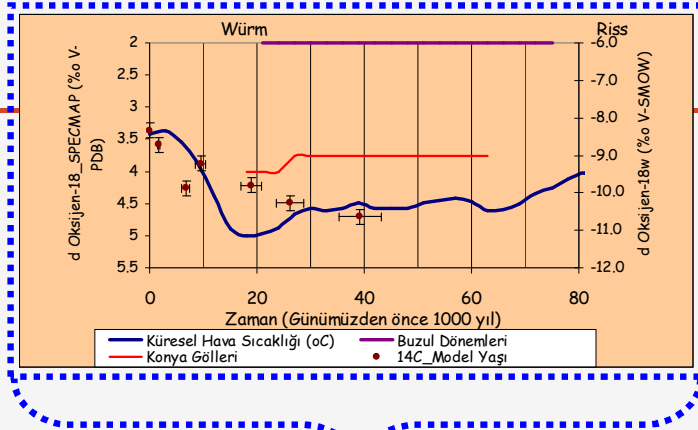


^{14}C Model Yaşlarının Hidrolik (Kinematik) Yaşlarla Karşılaştırılması (Darcy !)

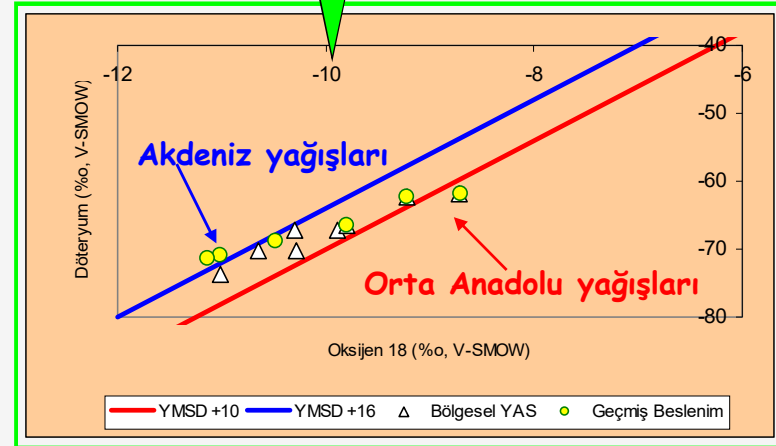
	Toroslar'dan uzaklık (km)	Karbon-14 Yaşı (1000 yıl)	Hidrolik Yaş (1000 yıl)
Ambar	0	0	0
Yenisu	5	1749	1437
İslik	20	6737	5748
Karapınar	30	9546	8622
Acıkuyu	60	19009	17243
Çıralı Kuyu	90	26168	25865
Taşpınar	110	39187	31612
Eskil	130	41261	37360



¹⁴C Model Yaşları ve Paleo-iklim



Ortalama yıllık hava sıcaklığında 6°C'ye varan azalma...

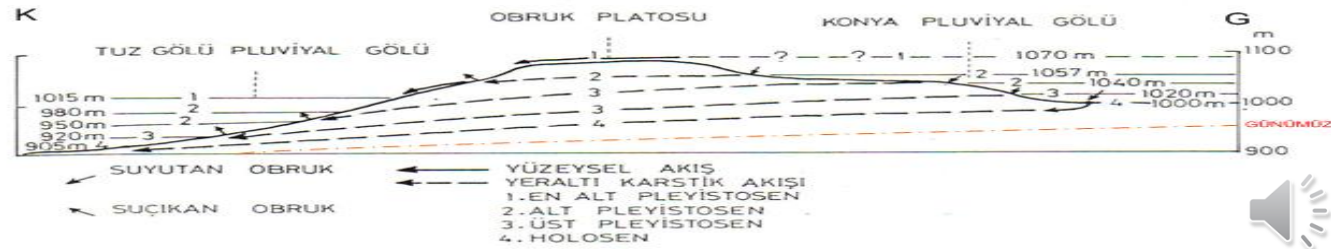
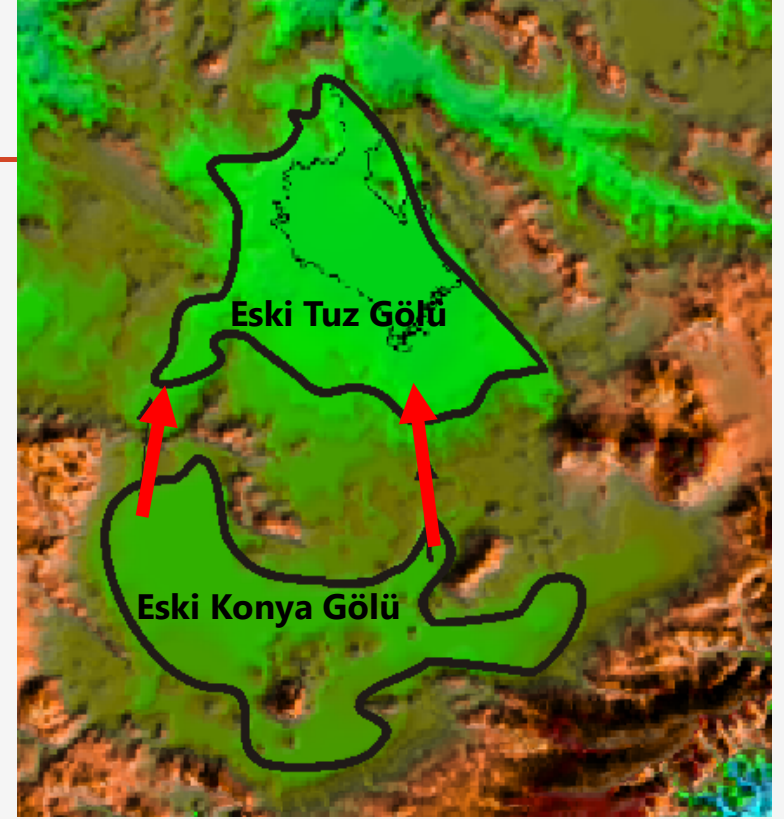
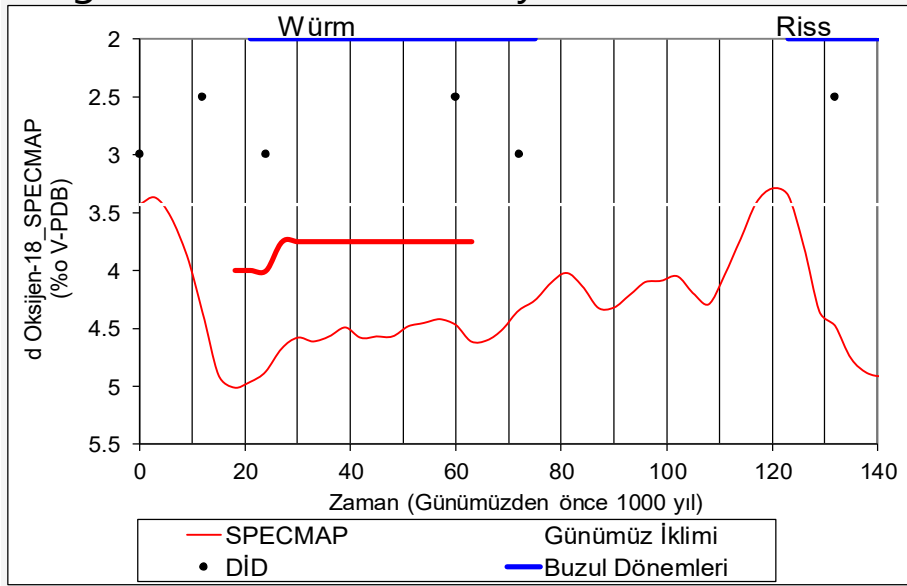


Geçmişe doğru Akdeniz kökenli yağışlara doğru kayma ...

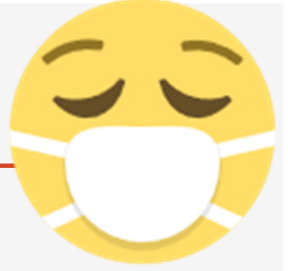
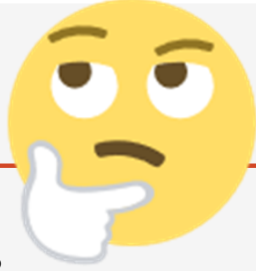


İklim Değişimi:

Eski Konya Gölü, Eski Tuz Gölü seviye değişimleri
"günümüzden 6-60 bin yıl öncesi"



Neler öğrendik ?



- Radyokarbon nedir?
- Radyokarbon izleyici girdi serisi zamanda değişken midir?
- Radyokarbon kaynakları nelerdir?
- Arkeolojik örneklerde radyokarbon yaşı nasıl belirlenir?
- Yeraltısuyu örneklerinde radyokarbon yaşı ne gibi zorluklar içerir?
- Yeraltısuyunda radyokarbon örnekleme ve analizi nasıl yapılır?
- Radyokarbon örnekleme noktaları nasıl seçilir?
- Radyokarbon yaşı amaçlı örneklemede sahada hangi ölçümler yapılır, hangi örnekler alınır?
- Yeraltısuyu radyokarbon yaşı hangi model programı ile belirlenir?
- Yeraltısuyu radyokarbon yaşı çalışmasının adımları nelerdir ?
- Kavramsal hidrojeolojik model nedir, ne işe yarar?
- Konya Kapalı Havzasında bölgesel akım yolu boyunca YAS hidrojeokimyası nasıl değişir, neden?
- Konya Kapalı Havzası yeraltısuyu radyokarbon yaşları Toroslardan uzaklıkla nasıl değişir?
- Darcy hızı nedir?
- Gerçek YAS akış hızı nasıl hesaplanır?
- Hidrolik (Kinematik) yaş nasıl hesaplanır?

