

# JEOTERMOMETRE UYGULAMALARI

*Prof. Dr. Nilgün Güleç  
Orta Doęu Teknik Üniversitesi  
Jeoloji Müh. Bölümü*

*Prof. Dr. Halim Mutlu  
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Jeoloji Müh. Bölümü*

# JEOTERMOMETRE UYGULAMALARI

- Jeotermal potansiyelin belirlenmesi
- Jeotermal Kaynakların araştırılması

# JEOTERMOMETRE

- **Kuyu başı ve/veya**
- **Doğal kaynaklardan**

**toplanan akışkan (su ve/veya gaz) örneklerinin**

- **Kimyasal ve/veya**
- **İzotopik**

**bileşimleri kullanılarak,**

**derin rezervuardaki sıcaklığın belirlenmesi**

# JEOTERMOMETRELER

## ■ KİMYASAL JEOTERMOMETRELER

- Suların çözünmüş silika ve/veya katyon içeriklerini baz alan jeotermometreler

## ■ GAZ JEOTERMOMETRELERİ

### (İZOTOPIK JEOTERMOMETRELER)

- Jeotermal sistemlerde (su, gaz, mineral gibi) çeşitli fazlar arasındaki izotop değişim tepkimelerini baz alan jeotermometreler

# JEOTERMOMETRELER

- **KİMYASAL JEOTERMOMETRELER**  
**(Nilgün GÜLEÇ)**
- **GAZ JEOTERMOMETRELERİ**  
**(Halim MUTLU)**

# **KİMYASAL JEOTERMOMETRELER**

**BÖLÜM I. Temel Prensipler**

**BÖLÜM II. Uygulamalar**

# **BÖLÜM I. TEMEL PRENSİPLER**

# TEMEL PRENSİPLER

## Kimyasal jeotermometreler

- Derin rezervuar koşullarında akışkan ve mineral(ler) arasındaki “**sıcaklığa bağlı kimyasal denge**” nin kurulmuş olduğu
- Rezervuar koşullarındaki su bileşiminin suların yüzeye çıkışı sırasında da korunduğu (bozulmadığı)

**varsayımını**

**temel alarak geliştirilmiş jeotermometrelerdir.**



# TEMEL PRENSİPLER

- Dünyanın çeşitli yerlerinde jeotermal sahalardaki su kimyası ve alterasyon mineralojisi üzerine yapılmış olan çalışmalar
    - rezervuar koşullarında akışkan-mineral dengesinin kurulmuş olduğunu ve
    - **denge durumu varsayımının geçerli olduğunu**
- işaret etmektedir.

# TEMEL PRENSİPLER

■ Buna karşın, su kimyasının (yüzeye çıkış sırasındaki) korunumu, her zaman geçerli olan bir durum değildir. Çünkü,

➤ Soğuma

➤ Farklı rezervuarlardan gelen sular ile karışma

gibi yeraltı süreçleri, su kimyasını etkileyebilmektedir.

# TEMEL PRENSİPLER

■ Rezervuardan yüzeye çıkış  
sirasındaki SOĞUMA

➤ **KONDAKTİF SOĞUMA**

➤ **ADYABATİK SOĞUMA**

# TEMEL PRENSİPLER

## KONDAKTİF SOĞUMA

- Suyun, yeraltı dolaşımı sırasında, içinden geçmekte olduğu soğuk kayalara ısı vermesi (iletmesi)

## ADYABATİK SOĞUMA

- Suyun yüzeye doğru çıkışı sırasında, hidrostatik basınç düşmesi ile gelişen kaynama süreci

# TEMEL PRENSİPLER

## ■ Kondaktif soğuma

- Su kimyasını direkt olarak etkileyen bir süreç olmamakla beraber,
- Suyun çeşitli minerallere doygunluk derecesini etkileyebilmekte ve
- Suyun kimyasal bileşimini (*mineral çözünmesi veya mineral çökelimi yoluyla*) dolaylı olarak değiştirebilmektedir.

# TEMEL PRENSİPLER

## ■ **Adyabatik soğuma**

(Kaynama yoluyla soğuma)

➤ **Yüzeye çıkış yapan suyun kimyasını değiştirmektedir.**

➤ **Bu değişimler,**

✓ **Kaynama ile akışkandan gaz fazı ayrılması**

✓ **Gaz kaybına bağlı olarak çözelti derişimindeki artış**

**sonucu gerçekleşmektedir.**

# TEMEL PRENSİPLER

## KARIŞIM

- Kimyasal bileşimi etkilemektedir.
- Çoğu bileşenin sudaki çözünürlüğü sıcaklık arttıkça arttığından, **soğuk sularla karışım jeotermal suyun seyrelmesine yol açmaktadır.**

- Jeotermometre uygulamaları, sadece "kimyasal bileşimlere ait değerlerin jeotermometre eşitliklerine yerleştirilerek rezervuar sıcaklığının belirlenmesi" değildir.
- Jeotermometre eşitliklerinden elde edilen sıcaklıklar, jeotermal sistemi etkileyen fiziko-kimyasal süreçlerin sağlıklı bir biçimde değerlendirilmesini gerektirir.
- Jeokimyacının temel görevi, jeotermometrelerin baz aldığı varsayımların geçerli olup olmadığının ortaya çıkarılmasıdır.



# KİMYASAL JEOTERMOMETRELER

- **SİLİKA (SiO<sub>2</sub>) Jeotermometreleri**
- **KATYON Jeotermometreleri  
(Alkali Jeotermometreler)**

# SİLİKA JEOTERMOMETRELERİ

- Silikanın ( $\text{SiO}_2$ )suyun içindeki sıcaklığa bağımlı çözünürlüğünü temel almaktadır.
- Silika, jeotermal sahalarda (kuvars, kristobalit, kalsedon, amorf silika gibi) farklı formlarda bulunabildiğinden, değişik araştırmacılar tarafından farklı silika jeotermometreleri geliştirilmiştir.

# SİLİKA (SiO<sub>2</sub>) JEOTERMOMETRE EŞİTLİKLERİ

Jeotermometre	Eşitlik	Kaynak
Kuvars-buhar kaybı yok	$T = 1309 / (5.19 - \log C) - 273.15$	Fournier (1977)
Kuvars-100°C'de Buhar kaybı	$T = 1522 / (5.75 - \log C) - 273.15$	Fournier (1977)
Kuvars	$T = -42.198 + 0.28831C - 3.6686 \times 10^{-4} C^2 + 3.1665 \times 10^{-7} C^3 + 77.034 \log C$	Fournier ve Potter (1982)
Kuvars	$T = -53.500 + 0.11236C - 0.5559 \times 10^{-4} C^2 + 0.1772 \times 10^{-7} C^3 + 88.390 \log C$	Arnorsson (1985) (Potter, 1982 eşitliğini baz almaktadır)
Kalsedon	$T = 1032 / (4.69 - \log C) - 273.15$	Fournier (1977)
Kalsedon	$T = 1112 / (4.91 - \log C) - 273.15$	Arnorsson vd. (1983)
$\alpha$ -kristobalit	$T = 1000 / (4.78 - \log C) - 273.15$	Fournier (1977)
$\beta$ -kristobalit	$T = 781 / (4.51 - \log C) - 273.15$	Fournier (1977)
Amorf silika	$T = 731 / (4.52 - \log C) - 273.15$	Fournier (1977)

C : SiO<sub>2</sub> (ppm); T: °C

# SİLİKA JEOTERMOMETRELERİ

Kullanılırken dikkat edilecek hususlar:

- eşitliklerin geçerli olduğu **sıcaklık aralıkları**
- **buhar kaybı** etkileri
- olası **silika çökelimleri**
  - **örnekleme öncesinde**  
(silikaya aşırı doymun akışkanın yüzeye hareketi sırasında)
  - **Örnekleme sonrasında**  
(örneğin iyi korunamaması nedeniyle)
- Silika doymunluğuna **pH** etkisi
- Soğuk sularla olası **karişım** süreçleri

# SİLİKA JEOTERMOMETRELERİ

## Sıcaklık Aralıkları

- silika jeotermometreleri, **250 °C'yi aşmayan** sıcaklıklar için geçerlidir
- 250°C'nin üzerinde, eşitlikler, deneysel olarak geliştirilmiş çözünürlük eğrilerinden sapma göstermektedir.

# SİLİKA JEOTERMOMETRELERİ

## Sıcaklık Aralıkları

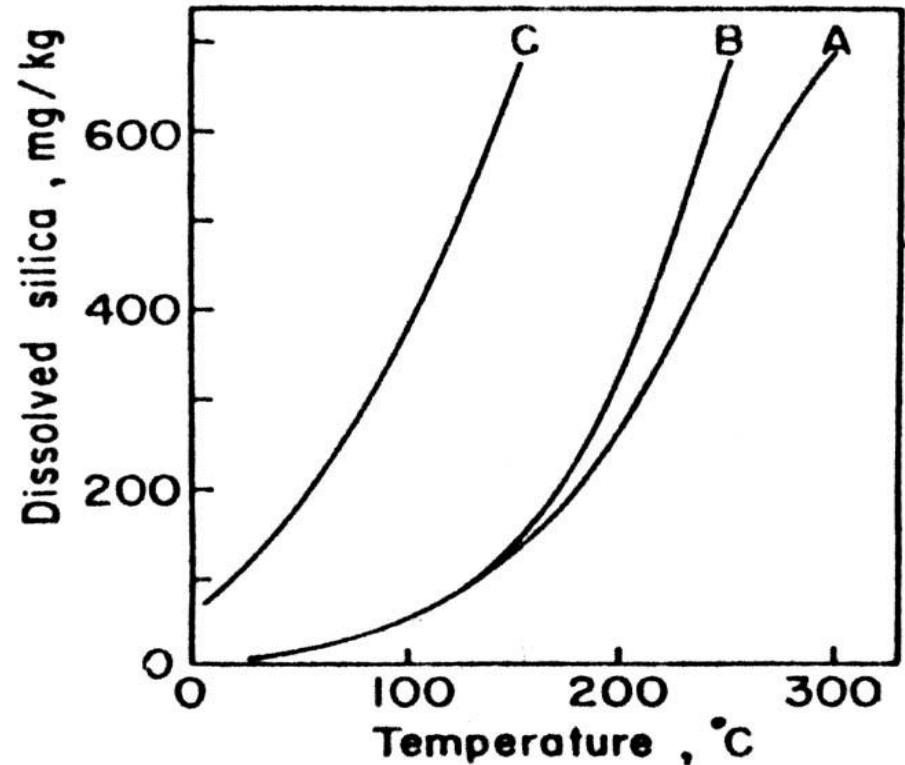
### ŞEKİL 1.

**Kuars (A eğrisi)** ve **amorf silika (C eğrisi)** çözünürlüklerinin sıcaklığı fonksiyonu olarak değişimi.

**B eğrisi**, silikaya-doygun çözeltinin 100 °C'ye kadar adyabatik olarak soğuması (**buhar kaybı**) sonrasında, çözeltideki silika miktarını göstermektedir (Fournier and Rowe, 1966, and Truesdell and Fournier, 1976).

**Düşük sıcaklık (°C) ⇒**  
**kuars çözünürlüğü düşük**  
**amorf silika çözünürlüğü yüksek**

**Silika çözünürlüğü**  
**düşük sıcaklıkta amorf silika**  
**yüksek sıcaklıkta kuars**  
tarafından kontrol edilmektedir.



# SİLİKA JEOTERMOMETRELERİ

## Buhar Kaybı Etkisi

- Kaynama  $\Rightarrow$  Buhar kaybı
- Artık sıvı (çözelti) hacmi  $\searrow$
- Çözeltideki derişim  $\nearrow$
- (hesaplanan) Sıcaklık  $\nearrow$

e.g.

$$T = 1309 / (5.19 - \log C) - 273.15$$

$$C = \text{SiO}_2 \text{ ppm}$$

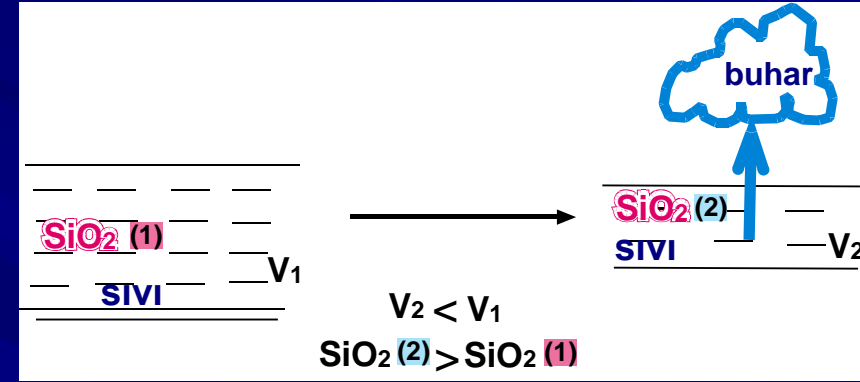
C artışı ( $\text{SiO}_2 \text{ sıvı} > \text{SiO}_2 \text{ rezervuar akışkanı}$ )

Eşitliğin paydasında düşüş

(hesaplanan) sıcaklıkta artış

- ❖ Kaynama gözlenen doğal kaynaklarda :

Buhar kaybı için düzeltilmiş (Kuvars-buhar kaybı) jeotermometreleri



# SİLİKA JEOTERMOMETRELERİ

## Silika Çökelimi

- SiO<sub>2</sub> ↘
- (hesaplanan) sıcaklık ↘

e.g.

$$T = 1309 / (5.19 - \log C) - 273.15$$

$$C = \text{SiO}_2 \text{ ppm}$$

C düşüşü (SiO<sub>2</sub> sıvı < SiO<sub>2</sub> rezervuar akışkanı)

Eşitliğin paydasında artış

(hesaplanan) sıcaklıkta düşüş



# SİLİKA JEOTERMOMETRELERİ

## pH Etkisi

### ŞEKİL 2.

25-300 °C sıcaklık aralığında, **kuvars çözünürlüğüne pH etkisini** gösterir diyagram. Kesikli çizgi, kuvars çözünürlüğünü (pH=7 değerindeki çözünürlüğe oranla) % 10 arttırmak için gerekli pH değerlerini göstermektedir (Fournier, 1981).

- pH ↗
- Çözünmüş SiO<sub>2</sub> ↗ (pH>7.6)
- (hesaplanan) Sıcaklık ↗

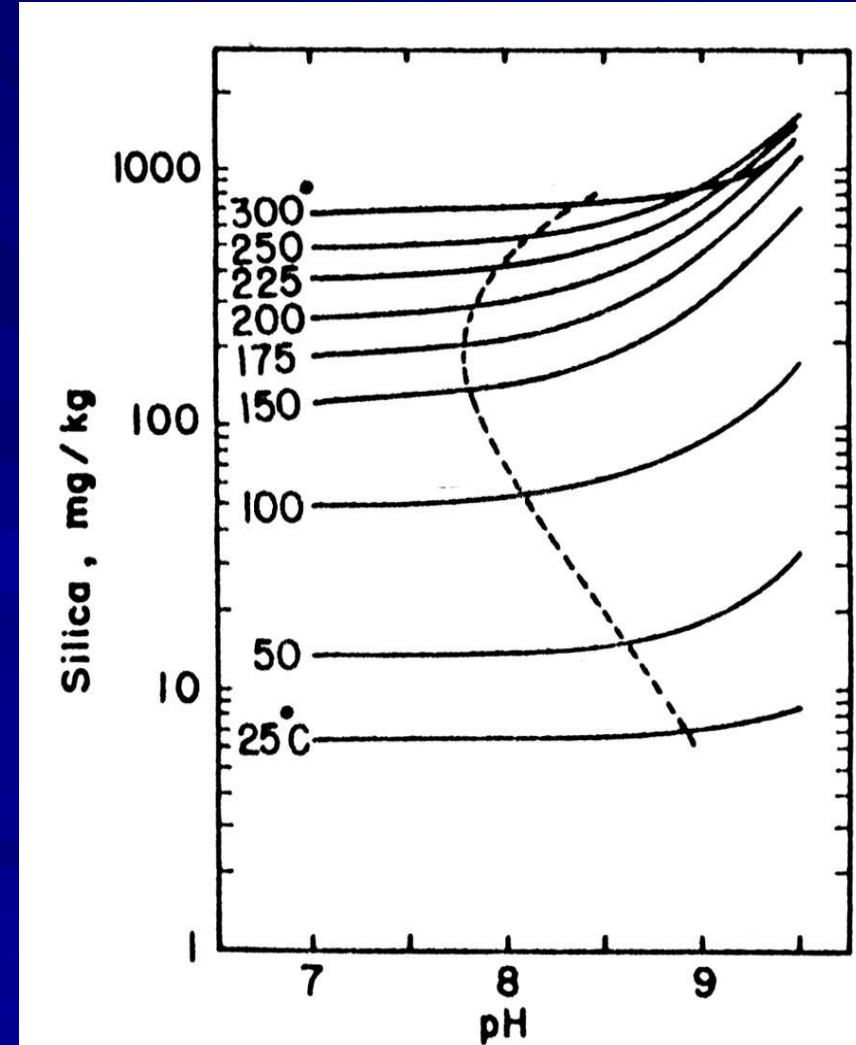
e.g.

$$T = 1309 / (5.19 - \log C) - 273.15$$

$$C = \text{SiO}_2 \text{ ppm}$$

C artışı (SiO<sub>2</sub> sıvı > SiO<sub>2</sub> rezervuar akışkanı)

Eşitliğin paydasında düşüş  
(hesaplanan) sıcaklıkta artış



# SİLİKA JEOTERMOMETRELERİ

## Karışım Etkisi

- Sıcak su  $\Rightarrow$  yüksek SiO<sub>2</sub> içeriği
  - Soğuk su  $\Rightarrow$  düşük SiO<sub>2</sub> içeriği
- (Sıcaklık  $\nearrow$  Silika çözünürlüğü  $\nearrow$ )

- Karışım (sıcak suyun soğuk sular ile karışımı)
- Sıcaklık  $\searrow$
- SiO<sub>2</sub>  $\searrow$
- (hesaplanan) sıcaklık  $\searrow$

e.g.

$$T = 1309 / (5.19 - \log C) - 273.15$$

C = SiO<sub>2</sub> ppm

C düşüşü

Eşitliğin paydasında artış

Sıcaklıkta düşüş

# SİLİKA JEOTERMOMETRELERİ

## Süreç

## Rezervuar sıcaklığı

Buhar kaybı



olması gerekenden yüksek  
(overestimated)

Silika çökelimi



olması gerekenden düşük  
(underestimated)

pH artışı



olması gerekenden yüksek  
(overestimated)

Soğuk su ile karışım



olması gerekenden düşük  
(underestimated)