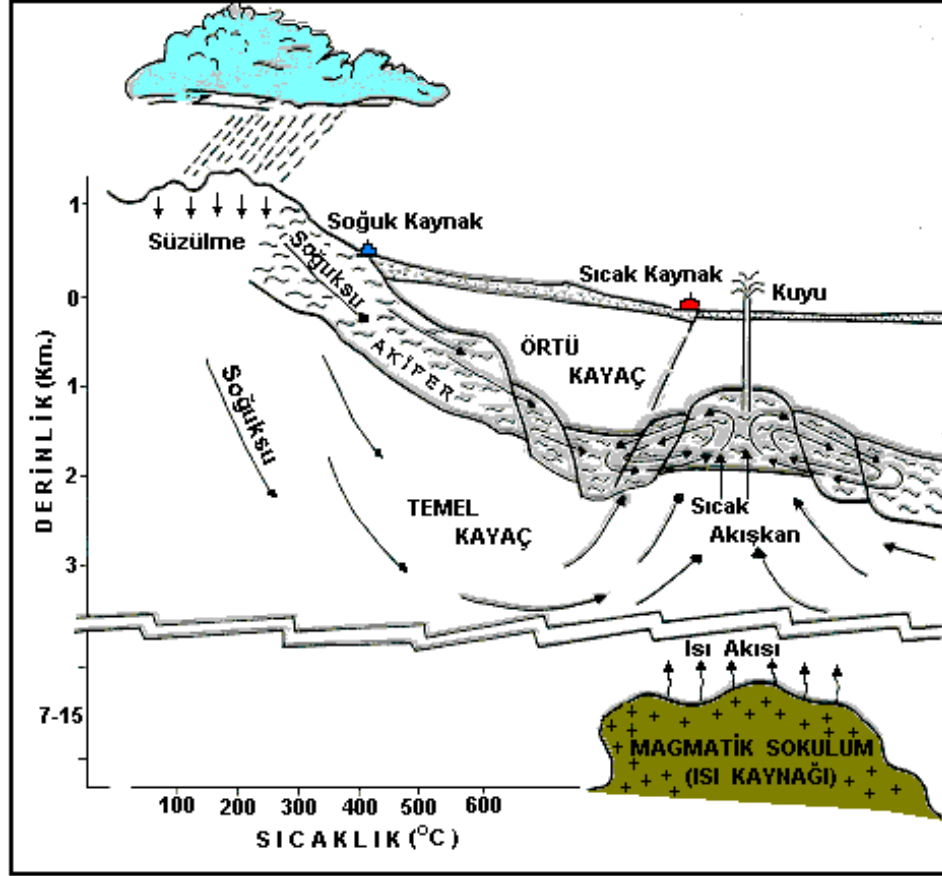


# UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMİ

## 1.GİRİŞ

Jeotermal enerji; yerkabuğunun değişik derinliklerinde oluşmuş sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen ısısından yararlanılan yerin derinliklerindeki Sıcak Kuru Kayalarda Jeotermal enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir.



Şekil:1.Jeotermal Enerji Oluşumu

Oluşum biçimi Şekil:1. de verilen yüksek enerjili bu gücün, etkin olarak bulunduğu ortamlarda ve bunların bitişik seviyelerinde, bağlantı yollarında bazı fiziksel ve kimyasal değişiklikler oluşuracağı tabidir. Bunlar;

- 1-Sıcaklık ayrılığı
- 2-İletkenlik ayrılığı
- 3-Basınç ayrılığı
- 4-Yoğunluk ayrılığı
- 5-Mineralizasyon ayrılığı
- 6-Akışkanlık ayrılığı
- 7-Potansiyel ayrılığı

Jeotermal aktivitelerin oluşturduğu bu ayrılıkların yer içinde ve yeryüzünde meydana getirdiği anomaliler; çeşitli Jeofizik yöntemlerle ölçülen değişkenlerin değerlendirilmesi, haritalanması ve yorumlanması ile saptanırlar. Sahaların Jeolojik ve topografik yapısına, büyüklüğüne ve amaca göre çok sayıda Jeofizik araştırma yöntemi uygulanmaktadır. Bunların başlıcaları ve kuramları hakkında kısa bilgiler konu içinde verilmiştir.

Jeotermal enerji yer kabuğunun derinliklerinde bulunan bir magma odağı tarafından ısıtılan, çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş madde içeren sıcak su ve buharın taşıdığı ısı enerjisi olarak tanımlanabilir.

Yerkabuğunun derinliklerinde varolan ısı kaynağı, henüz soğumasını tamamlamamış bir magma kütlesi veya genç bir volkanizma ile ilgilidir. Yüzeiden kırık ve çatlaklar aracılığı ile derinlere süzölen meteorik kökenli sular değişik derinliklerde yer alan ve geçirimsiz örtü kayalarla kontrol edilmiş olan gözenekli veya ikincil permeabiliteli rezervuar kayalarda birikerek söz konusu ısı kaynağı vasıtasıyla ısıtılır ve mineralce zenginleşirler. Yerkabuğunun derinliklerinde ısınan bu meteorik sular kırık ve çatlak sistemlerinin oluşturduğu yollarla yeryüzüne ulaştıklarında sıcak su kaynakları olarak belirirler. Kırık ve çatlaklara bağılı olarak yeraltında dolaşan, normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş madde içeren jeotermal akışkan, sondajlar yoluyla yeryüzüne aktarılabilirdiğinde sıcak su veya buhar egemen hidrotermal sistemler ortaya çıkar. Söz konusu hidrotermal sistemlerin rezervuar sıcaklığı 150 °C' yi aşılırsa (yüksek entalpili sistem) elektrik üretimi gerçekleştirilebilir. Bu sıcaklığın altındaki (30-150 °C) hidrotermal sistemler (orta-düşük entalpili sistem) ise doğrudan veya ısı değıştiriciler yardımıyla ısıtmacılık ve çeşitli endüstri dallarının yanı sıra kaplıcılıkta da kullanılır.

Yerkabuğı için doğal sıcak su dolaşımına olanak sağlayabilecek sıklıkta kırık ve çatlakların mevcut olmamasına karşın, buralarda olağıandışı ısı birikimi varsa, oluşturulacak yapay kırıklar vasıtasıyla yer kabuğunun derinliklerine gönderilerek oralarda dolaştırılan meteorik kökenli sularla da enerji üretimi mümkün olabilir. Bu tür sistemler 'Kızgın Kuru Kaya' tipi jeotermal sistemler olarak adlandırılır.

Jeotermal enerji tükenmeyen ve yenilenebilen bir alternatif enerji kaynağıdır. Jeotermal akışkanı oluşturan sular meteorik kökenli oldukları için yeraltındaki rezervuar kayaları sürekli beslemekte, beslenmenin üzerinde kullanım olmadıkça bu kaynakların tükenmesi söz konusu olmamaktadır.

## 2. JEOTERMAL ARAMALARI

Bu bölümde anlatılan jeoloji ve jeokimya bilgilerin bir kısmı( Koçak,A. 2003)ve ( Burçak,M.2003) eğitim ders notlarından derlenmiştir. Yer kabuğunun derinliklerinde anomali yaratacak şekilde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları bölgenin atmosferik sıcaklığının üzerinde olan ve çevresindeki sulara göre daha fazla erimiş mineral, tuz ve gazlar içeren sıcak sulara denir.

Jeotermal sistemlerin oluştuğı elemanlar şöyle sıralanabilir.

1. Isı kaynağı
2. Isıyı taşıyan akışkanlar (Meteorik su kaynağı)
3. Tektonik yapı
4. Permabilite ve poroziteli rezervuar
5. Örtü kayacı

## 2.1. Isı Kaynağı

Sıcaklık artışıdaki değişime ısı gradyanı denmektedir. Yerin derinliklerine doğru her 33 m'de 1°C lik ısı artışı oluşmaktadır. Bu normal ısı gradyanıdır.

Bu gradyan artışı bazı bölgelerde normal değerlerinin üzerinde seyir etmektedir. Örnek 33 m de 3-20 °C arasında değişen ısılar gibi. Bu tür alanlar levha sınırlarında, genç volkanik faaliyetlerinin olduğu alanlar kıta içi radyoaktif bozunmalardan kaynaklanan ısı artışlarıdır. Bazı kayaçlar uzun süre ısılarını muhafaza ederken bazı kayaçlar ısılarını muhafaza edemezler. Örnek asit karakterli magmatik kayaçlar (granit) ısını uzun süre korurlar. Bazik karakterli magmatik (bazalt) kayaçlar ısılarını çabuk kaybederler (Asidik veya bazik oluşu içindeki silise oranına bağlıdır).

Jeolojik olaylar neticesinden anomali oluşturan bu alanlar hidrotermal ve sıcak kuru kaya enerji alanları oluştururlar. Yerkürenin merkezinden yüzeye doğru konveksiyon veya radyasyon yolu ile ısı yayılımı olmaktadır. Isı yayılımı kayacın özelliğine bağlı olarak her yerde farklı yayılmaktadır. Bu yayılım göstergesi Isı Akısı olarak ifade edilmektedir. Ve şu formülle verilmektedir.

$$q=K.dT/dZ$$

$$q = \text{ısı akısı (mW/m}^2\text{)}$$

K= kayaçların ısı iletkenliği katsayısı

T= sıcaklık (°C)

Z= derinlik (m)

Jeotermal sahaların sınıflandırılması kabaca şu şekilde olur.

a. Sıcaklığa göre,

Düşük sıcaklıklı sahalər (20-70°C)

Orta sıcaklıklı sahalər ( 70-150°C)

Yüksek sıcaklıklı sahalər (150°C den yüksek)

b. Su veya buhar durumuna göre. c. Kimyasal bileşimine göre,

## 3. JEOTERMAL ARAŞTIRMALARDA UYGULANAN SİSTAMATİKLER

Literatür tarama

Uzaktan algılama, fotojeoloji ve jeoloji

jeokimya

Hidrojeoloji

Jeofizik

Sondaj

#### 4.UZAKTAN ALGILAMA

Termal Görüntüler incelenerek Jeotermal Suların çıkış yerleri belirlenebilir.

<b>Görüntü Uyduları</b>		
<b>LANDSAT</b>	<b>1972</b>	<b>ABD</b>
<b>SPOT</b>	<b>1986</b>	<b>Fransa</b>
<b>SPOT5</b>	<b>2002</b>	<b>Fransa</b>
<b>ERS</b>	<b>1991</b>	<b>Avrupa</b>
<b>RADARSAT-1</b>	<b>1995</b>	<b>Kanada</b>
<b>RADARSAT-2</b>	<b>2003</b>	<b>Kanada</b>
<b>IRS</b>	<b>1995</b>	<b>Hindistan</b>
<b>JERS</b>	<b>1992-1999</b>	<b>Japonya</b>
<b>TERRA-ASTER</b>	<b>1999</b>	<b>ABD-Japonya</b>

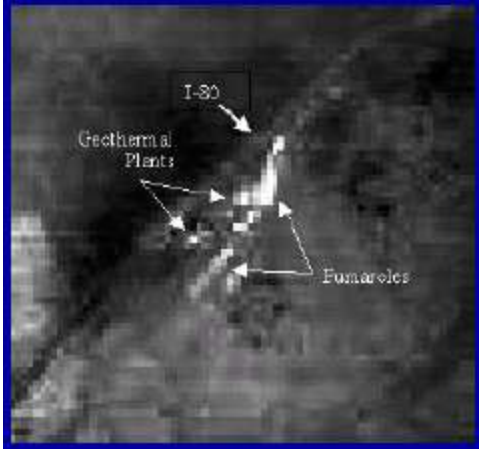
Şekil:2.Uydular (MTA)

## Landsat TM

BAND	KULLANIMI
1 (Mavi)	Bitki ve toprak arasındaki farklılıkları, ormanlık alanları ve kıyı çizgisinin haritalanması
2 (Yeşil)	Canlı bitkilerin yeşil bölümleri
3 (Kırmızı)	Farklı bitki türlerinin tespiti, litoloji ve toprak arasındaki sınırın saptanmasında
4 (Yakın IR)	Bitkilerin miktarını saptamada, litolojilerin tanımlanmasında, toprak/litoloji ve kara/su arasındaki kontrastlığı gösterir
5 (Kısa Dalga IR)	Kurak alanlar, su miktarı, kar ve buz arasındaki farkın bulunmasında
6 (Termal IR)	Sıcaklık miktarı, bitkiler, termal kirliliğin ve jeotermal alanların belirlenmesinde
7 (Kısa Dalga IR)	Litoloji ve toprak arasındaki sınırın belirlenmesinde, toprak ve bitkilerdeki su miktarının saptanmasında

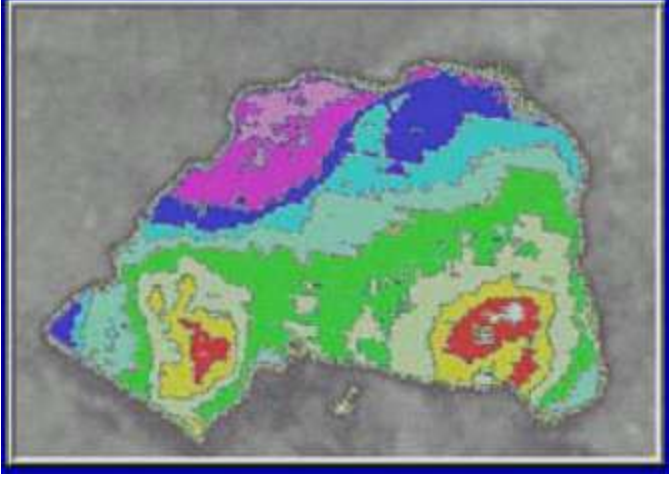
Şekil:3.Landsat TM Uyduyu (MTA)

Aster Uyduyu gece/gündüz görüntü elde edilebilme kapasitesine sahiptir. 5.band termal kızıl ötesi görüntü sağlar. TIR(Termal Kızılötesi) analizlerinde kullanılmaktadır.



Şekil:4.Aster Uyduyu gece görüntüsüdür. (MTA)

Şekil:4'de faya bağlı gelişmiş olan sıcak su çıkışı gösteren termal anomaliyi görmekteyiz. Bu veri sayesinde bölgedeki yüzey suyunun sıcaklığı hakkında yaklaşımda bulunmaktadır.



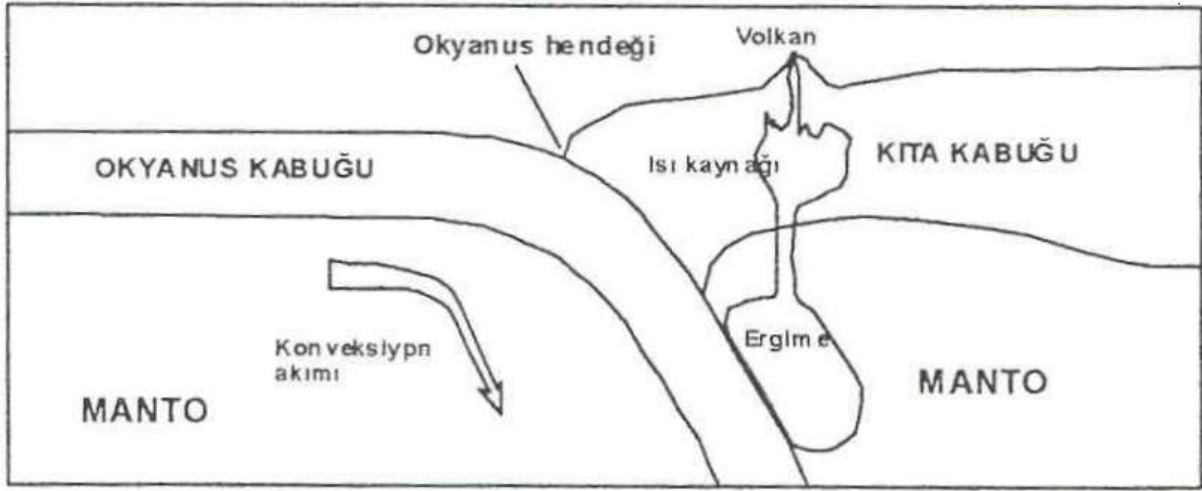
Şekil:5.Landsat TM Termal Görüntü (MTA)

Şekil:5'te Kırmızı ile gösterilen bölge yüksek sıcak su alanlarını göstermektedir (MTA).

## **5.JEOTERMAL SİSTEMLERDE JEOLJİK ETKENLER**

### **5.1.Yeryüzünde Isının Boşalımı**

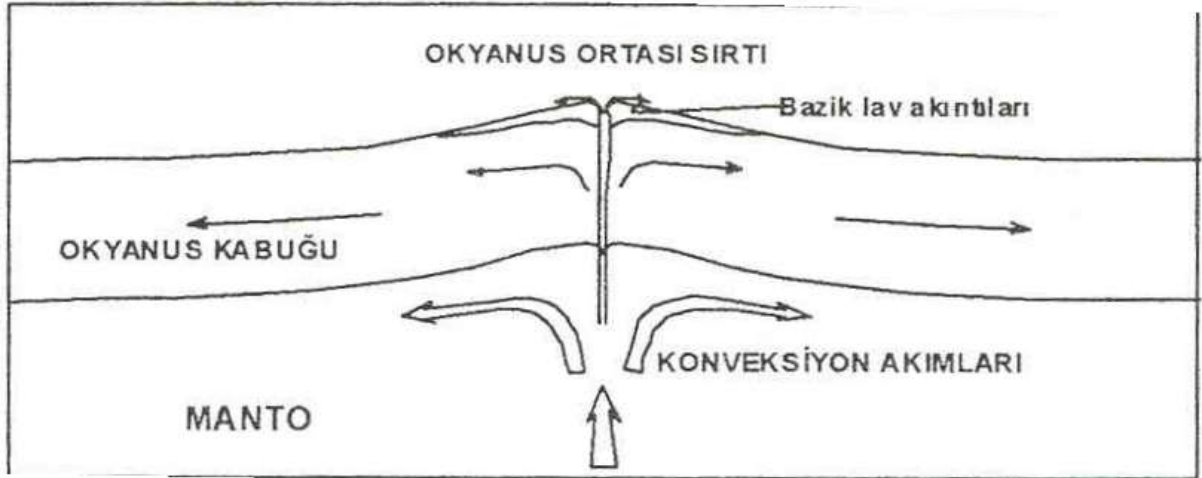
Aktif kıta kenarları ve okyanus ortası sırtlarında yüzeye boşalımı sağlayan volkanlar yardımı ile yüzeye sürekli ısı boşalımı olur. Bu olaylar yavaş hareket eden levhalar düşey hareketlerle birbirinin üzerine binerler. Bu olay levha çarpışması ve dalma-batma olarak adlandırılır. Alta dalan levha sıcaklık ve basınç etkisi ile erime noktasına kadar sıcaklığı artar. Düşey hareketler üst manto kayalarının erimesine neden olur. Bu sırada kıta kenarlarında andezitik volkanizma, okyanus ortası sırtlarında ise bazaltik volkanizma oluşturmak üzere yüzeye doğru yükselirler. Ancak hepsi yüzeylenmez ve kabukta belirli bir derinliğe kadar yükselirler ve kabukta kısmi ergimelere neden olur.



Şekil:6.Dalma-batma zonunda okyanus kabuğunun yok oluşu ve volkanizma faaliyeti (KOÇAK,A.2003)

### Kıtasal Riftlerde Isı Boşalımı

Okyanus ortası sırtları olduğu gibi karada da kıta kabuğu içinde kırılmalar olabilmekte ve gelecekte okyanusları oluşturabilmektedirler. Açılma sonucu kabuk incelir. Ve üst manto kabuk içine sokulur. Bu da ısı anomalileri oluşturmaktadır. Kıtalar içinde oluşan volkanizmalar genelde bu tür riftlerle olur.



Şekil:7.Okyanus ortası sırtlarında lav çıkışları ve yeni kıta oluşumu (KOÇAK,A.2003)

### 5.3. Radyoaktif Bozunum Isı Boşalımı

Bazen ısı boşalımı kıta kenarı ve okyanus ortası sırtların dışında mesela sıradağların eteklerinde ılık kaynaklar gibi, kıta kabuğu altında bulunan radyoaktif ( $U^{238}$  çoğunlukla) minerallerin bozunumu ile oluşan ısı kaynaklarıdır. Ortalama sıcaklık kıtalar altında 10 km.lik bölümde  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$  C/km olabiliyor.

Jeotermal sistemlerde ısı kaynaklarının en önemlisi yerküre içindeki akkor ve mantodan kaynaklanan ısı olduğu bilinmektedir. Tektonik hareketler boyunca katı yerkabuğu (Litosfer) kırılma ve kırılma oluşur. Mantonun üst kısmındaki magma bu kırıklar içinde yüzeye doğru hareket eder . Böylece magmatik sokulum (indrüzyon) ve volkanizma faaliyetlerine neden olur. Bu hareketlerle yerin derinliklerindeki ısı kabuk içine sığ derinliklere taşınmış olur. Kayaçlar ısınır ve bir ısı anomalisi oluşturur. Bu ısı kondaktif (ısının ışınım yolu ile yayınımlı) veya konvektif (akışkan yolu ile taşınma örnek su) olarak yayılabilir.

Isıyı taşıyan akışkan, yağın meteorik sular, kırık sistemlerle sıcak alanlara iner ve tekrar ısıtılarak yüzeye çıkarlar. Bu tür yayılımlara konvektif ve konveksiyon yayılımı denir.

**Rezervuar Kaya:** Porozitesi ve permabilitesi yüksek litolojik birimler ve seviyeler sıcak suları içine depolar. Buna rezervuar kaya denir.

**Örtü Kaya:** Rezervuarda depolanan ısı ve akışkanın enerjisini ve akışkanın korunmasını sağlayan rezervuarı örten kayadır.

## 6. JEOLojİ

Jeolojik haritalama  
Tektonik amaçlı çalışma  
Termal seviyeleri belirleme  
Sistemin besleme mekanizması  
Volkanizma; volkanizma türü bazik mi, asidik mi?

Diğer taraftan kabuk altına yüksek oranda sürekli bazaltik yerleşim, magma odağı oluşturur. Levha altında magma odağı altındaki sürdürülen bazaltik magma büyük bir jeotermal potansiyelle uzun süreli bir magmatik hidrotermal sistem üretir. Bu sistemler bazalttan itibaren dasit geçişli olarak riyalite kadar değişen eş zamanlı olarak püskürük kayaçlar üreten volkanik bacalarla karakterize edilir. Kula volkanik sahası gibi Bazen yalnızca bazalt ve riyalit gibi iki türde volkanik birlikte bulunabilir. Bunlara magmatik kayaç içeren jeotermal birliği denir. Örneğin; Kaliforniya'daki Cosa volkanik sahası gibi.

Jeotermal alanlar her zaman genç volkanik kayaçlarla ilişkili bir gösterge değildir. Jeotermal sistemler esas olarak kabuğun daha sıcak olan alanlarındaki fay zonları boyunca akışkanların derin doluşımı ile gelişir. Yeryüzü nadiren kırılabilen bazaltik magmalarla ısıtılır.

## 7.STRATİGRAFİK VE YAPISAL YORUMLAMA

Volkanik birimlerle çökel (sedimenter) birimler arasında stratigrafik ilişkinin belirlenmesi ve yerel hidrojeolojik birimlerin birincil porozite ve permabilitesi değerlendirmek için yapılır. Jeotermal kaynaklar genellikle kristalin kayaçlar ve metamorfize olmuş çökeller ve permeabilitesi düşük kayaçlarda rastlanır.

Bu nedenle fay ve kırıklar ile oluşan ikincil olayların haritalanması ve yer altı geometrisinin bulunması hedeflenmektedir. Çökmüş kaldereler genelde geçirimsizdir. Ancak ışınal faylarla sıcak su kaynakları bazen çıkış bulmaktadır. (Kaldera: Kraterlerin çökmesi ile oluşan çukur yapı şekilleridir. (Nemrut kalderası)

Jeotermal sistemlerin bir çoğu sıradağlara paralel büyük normal faylarla bunlara verev gelen yüksek açılı fayların kesim noktalarında gelişmektedir. Jeotermal alanların araştırmalarında hava fotoğrafları ve termal görüntülerden yararlanılır. Bu görüntüler hem tektonik ve hem de termal amaçlı yararlanılan verilerdir.

## **8. JEOKİMYA**

### **8.1.Alterasyon ve Sıcaklık İlişkisi:**

Jeotermal sistemlerde sıcaksu-kayaç etkileşimleri, suyun jeokimyasal bileşiminde ve kayacın mineralojisiyle değişimlere yol açar. Buna hidrotermal alterasyon denir.

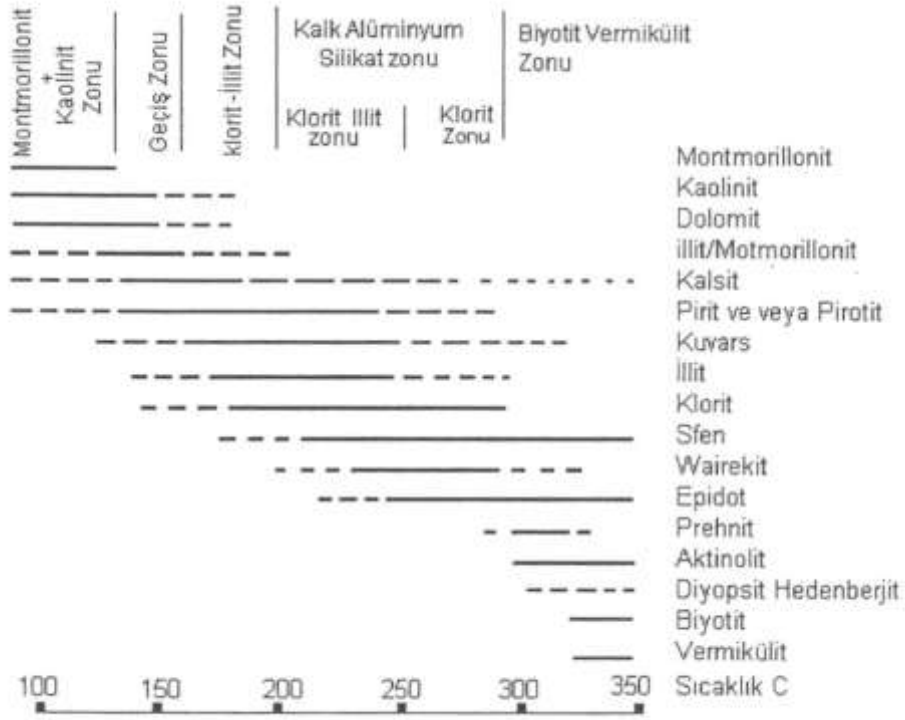
Hidrotermal alterasyonu etkileyen faktörler;

- Su/kayaç oranı
- Permabilite ve porozite
- Su miktarı ve reaksiyon süresi
- Sıcaklık
- PH (asidik,bazik)

Alterasyon derecesi zayıf altere, altere, çok altere şeklinde ifade edilir. Hidrotermal sistemlerde sıcaklık 100°C-350° C arasında değişir. Toplam basınç düşük ve çok düşük (<20 MP<sub>a</sub>) hidrotermal mineral oluşumunda çok az etkindir.

Ana kaya kimyası önemli bir faktör değildir. Benzer sıcaklık ve PH koşullarında benzer mineral toplulukları oluştururlar. Alterasyon sisteminde gaz bileşenlerinin (S<sub>2</sub> , CO<sub>2</sub> , O<sub>2</sub> ) aktivitesi mineral topluluğunu ve duraylılığını önemli oranda kontrol eder. Zaman ve kristal yapısı düşük sahalarda bazen önemli olabiliyor.

Tablo:1. Hidrotermal alterasyon minerallerinin işaret ettiği sıcaklıklar (Burçak,M.2003).



Hidrotermal alterasyonlar, asidik ve alkali olmak üzere ikiye ayrılır. Asidik özellikler düşük ısılara, alkaliler ise yüksek ısıları işaret eder.

## 8.2.Hidrokimya

Soğuk ve sıcak sulardan örnek alınarak kimyasal analizleri yapılır. Su kimyasında araştırılan parametreler ( $t^{\circ}C$ ,  $E_c$ ,  $E_h$ , PH,  $T_{DS}$ , Na, K, Ca, Mg, Cl, )

Alkalinite –  $HCO_3$  olarakta,  $SO_4$ , N,  $N_2$ ,  $NO_2$ ,  $NH_4$ ,  $NO_3$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$ ,  $SiO_2$ , B, F, Al, Fe, Li, Sr, Ba, Br, Mn, P, Pb, Zn, As, Cd, vs.)

Belli başlı minerallerin dolaştıkları sistemlerin özelliğini belirlemeye yarayan mineraller verilmiştir.

Jeokimyasal verilere bağlı su boşalımlarının sınıflandırması şu şekilde yapılabilir;

Rezervuar ve yüzey suların analizleri ve birbiriyle korelasyonu ile karışım analizleri ile kayaç su ilişkisini ortaya koymada önemli bilgiler verir.

## 8.3.Suların Kimyasal Ana Gruplara ve Orijinine Göre Sınıflama

### 8.3.1.Sodyum Klorürlü Sular

Evaporitik değilse ortam derindir.Klorca zengin sular, büyük sıcak su dolaşım sistemlerini temsil eder.  $H^+$  iyonunun silikat minerallerle reaksiyonu neticesinde PH-7 civarında olup nötr özellikler gösterir. Yüzeyde kaynama olursa alkalikleşme olur. Ve  $Cl^-/SO_4^{2-}$  oranı yüksek olur.

### 8.3.2.Asit-Sülfat Klorürlü Sular

Suları asitliği  $Cl^-$  ye ilaveten  $H_2S$  gazlarının oksidasyonu sonucu, oksijen taşıyan meteorik sular tarafından  $SO_4^{2-}$  ye dönüşür.

Bu sular volkanik uçucuların ( $SO_4$  ve  $HCl$ ) çözünümü ile oluşur. Genelde genç andazit volkanizması ile ilgili aktif hidrotermal sistemlerin derin kısımlarında oluşurlar.

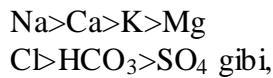
### 8.3.3.Asit Sülfat Sular

PH'ı çok düşük sulardır. Bu sular buharın yoğunlaşması ile oluşur. Yer altı kaynama koşullarını gösterir.Asitliğin göstergesi Çoğunlukla  $H_2S$  ve asitlenme sonucu sülfirik asit reaksiyonundan kaynaklanır.

### 8.3.4.Kalsiyum Bikarbonatlı Sular

Esas anyon  $HCO_3^-$  ve  $CO_2$  silikat mineralleri ile reaksiyonu sonucu oluşur.  $200^\circ C$  altındaki sıcaklıklarda kalsitin çözünürlüğü oldukça yüksektir. Kalsiyum volkanik kayalardan yıkanıp alınır. Bikarbonatlı sular yüzeye çıktıklarında içindeki  $CO_2$  kaybeder ve traverten çökeler. Bu tür sular genelde düşük sıcaklıklı rezervuar gösterir.

Sıcak su örnek analiz sonuçları, iyon konsantrasyonlarının büyüklük değerine göre sıralanabilirler. Bu işlem meq/lit sonuçlarına göre yapılırsa;



## 8.4.Gaz Boşalmalarının Sınıflandırması

Jeotermal sistemlerde çıkan gazların çoğu su buharı ( $H_2O$ ) iken yoğunlaşmayan gazlarda ( $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $SO_4$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ ) bulunur. Bunların birbirine göre bağıl oranları jeotermal sistemin termal potansiyeli hakkında bilgi verir. Bazen de gazın orijini ile ilişkilendirilerek yorum yapılır.

Gaz analizleri ile şu yorumlara gidilebilir.

- Kristalin magmadan ayrılan gazlar
- Radyoaktif bozunumla çıkan gazlar ( $He$ ,  $Rn$ ,  $C$ )
- Kalsit ve Sülfür içeren kayaların termal metamorfizmasından çıkan gazlar ( $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$ )

d. Ultrabazik kayaçların serpantinasyonu ve bazen organik materyalden çıkan gazlar

e. Oksidasyon ortamlarda kayaç-akışkan reaksiyonu ile açığa çıkan gazlar

Mağmatik intrizyonların ısıttığı jeotermal sularda CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, He ve H<sub>2</sub> gazları biri veya birkaçını içerirler. Bazen magma üzerinde SO<sub>2</sub> gözlenmeyebilir. Bu tür durumlarda hidrotermal sistem derinden çökelmiştir denebilir.

H<sub>2</sub>S-CO<sub>2</sub>'li sular hidrotermal sistem derinden gelen ısı beslemesi ile oluşur. Çok yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemleri işaret eder.

CO<sub>2</sub> genellikle kalsit ve silis mineralleri içeren kayaçların termal metamorfizması sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Ancak her jeotermal sistem için geçerli değildir. Son zamanlarda CO<sub>2</sub> magma içinde yoğunlaşmayan diğer gazlardan ve su buharından daha az çözünmektedir. Ve magmadan direkt gelebiliyor.

CH<sub>4</sub> volkanik çıkışlardan gelebildiği gibi organik maddelerden de açığa çıkabilmektedir. Manto içinde bolca CH<sub>4</sub> bulunmaktadır.

H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> → yüksek ısılar  
CO<sub>2</sub> → düşük sıcaklıklar  
O<sup>18</sup> → enlem ve yükseklik etkileri

#### 8.4.1.He İzotop Oranları

He (Helyum) gazının orijini tespit edilmesi için <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He oranında He.'un orijini tespit edilir. <sup>3</sup>He'un sadece manto kaynaklı olduğu düşünülür. <sup>4</sup>He'un ise kabuktaki U ve Th çözünmesinden oluşur. Bu oran havada normal oranla kıyasına bakılarak yorumlanır.

R/Ra=(<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He)/(<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He) (örnek/hava)

Aktif sıcak noktalarda 14-25, yüksek sıcaklıklı jeotermal alanlarda 8, düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal sistemlerde 0,13-0,17 arasında değişir.

<sup>18</sup>O / <sup>16</sup>O küçük değerler için önemli oranda su meteorik su dolaşımı olan yaşlı jeotermal sistemleri büyük değerlerde ise genç sisteme veya çatlaklarda az su dolaşımı olan jeotermal sistemlere karşılık gelir.

#### 8.5.Eriyik Jeotermometreleri

Jeotermal sistemlerde rezervuar sıcaklığını belirlemeye yarar. Kayaçlardaki mineral bileşimi ile rezervuardaki ısınmış olan suyun kimyasal olarak dengelenmiş olduğu varsayımına dayanır. Önemli göstergeler(indikatör) ve ne anlama geldiğini belirtmekte fayda var. (Burçak,M.2003).

<b>Gösterge (indikatör)</b>	<b>Yorum</b>
SiO <sub>2</sub>	Önemli göstergelerden olup, Kuvarsın yüksek sıcaklıkta dengelendiği şeklindedir (seyrelme ve soğuma ile çökme yoksa)
Na/K	Genelde önem kazandığı değeri 20/1-8/1 (Bazı sistemlerde geçerli değildir.)
Ca ve HCO Konsantrasyonu	Nötre yakın sularda kullanışlıdır. CaCO <sub>3</sub> çözünürlüğü sıcaklıkla ters orantılıdır
Mg/Ca	Düşük değerler yüksek yer altı sıcaklığını gösterir.
Cl	Cl seyrelmesi soğuk su karışımı ile olur. Cl seyrelme oranından rezervuar sıcaklığı bulunabilir. Bunun için soğuk suyun yüksek Cl içeren sıcak suya karışım oranının bilinmesi gerekir.
Na/Ca	Yüksek oranlar yüksek sıcaklığı gösterir.
Cl/HCO <sub>3</sub> + CO <sub>3</sub>	Yüksek oranlar yüksek sıcaklığı gösterir.

### 8.5.1. Silika Jeotermometresi

Silika minerallerinin sıcaklığa bağlı olarak çözünme yeteneklerini ölçen bir termometredir. Belirli bir sıcaklığa kadar ısı arttıkça silika çözünürlüğü de artar. Belirli bir süre sonucunda dengeye ulaşır. Yüzeye çıktığında silika miktarı az oranda çöktüğünde iyi sonuç verir.

### 8.5.2. Katyon Jeotermometresi

Sıcaklığa bağlı iyon değişim reaksiyonuna bağlı bir termometredir. Alkali feldispatlarda var olan sodyum ve potasyum iyonları arasındaki değişimi verir.

Jeotermometreler grafiksel gösterimi de yapılabilir. Bunlardan en çok kullanılanı Giggenbach Na-K-Mg diyagramı kullanılır.

Giggenbach Na K Mg diyagramı rezervuar sıcaklığın hesaplamasında yararlanır. Sıcaklıkla iyon değişimine bakılır. Hesaplamalar katyonların denge durumunda yapıldığında gerçek rezervuar sıcaklıklarına yaklaşılmaktadır.

Suların sınıflandırmasında en çok Piper, Scholler Diyagramı ve Kalsiyum çözünürlüğünde ise, Langelier Kalsiyum Denge Diyagramı kullanılmaktadır.

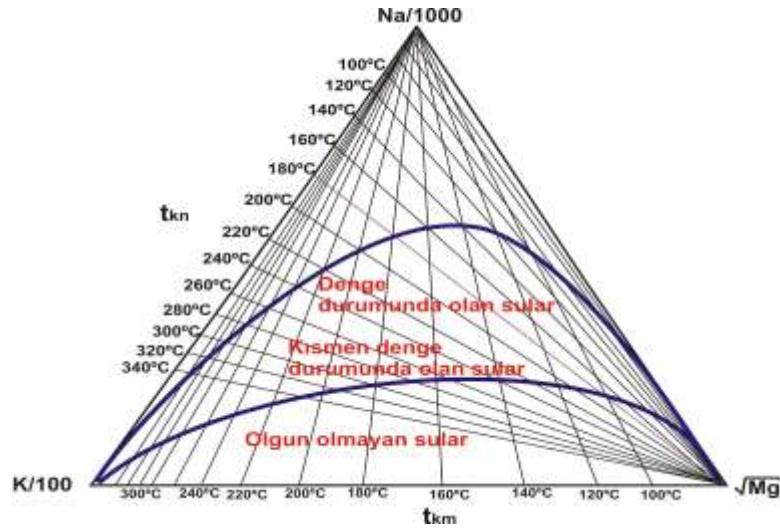
Piper Diyagramı; Bu diyagram suların kökeni hakkında bilgi verir. Sıcak ve soğuk suların ayırımında kullanılır.

Örnek olarak aşağıda diyagramı yorumlayacak olursak (şekil:9) (Altınkale, S.); Burdur ve Eğirdir Gölleri arasında bulunan alanda yer alan yeraltı suları ve sıcak sular Ca-HCO<sub>3</sub> tipi sular olarak tanımlanabilir. Bunun yanında Şifa Maden Suyu Ca-HCO<sub>3</sub> tipi göstermesine karşın İçmeler Kaynağı yüksek Mg<sup>+2</sup> değeri ile kendini belli etmektedir. Eğirdir Gölü suları Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> tipi sular olarak sınıflandırılabilir. Burdur Gölü suları da Na-Mg-(Cl)-(SO<sub>4</sub>)-HCO<sub>3</sub> tipi sular olarak sınıflandırılırlar ve içilemez kalitededir.

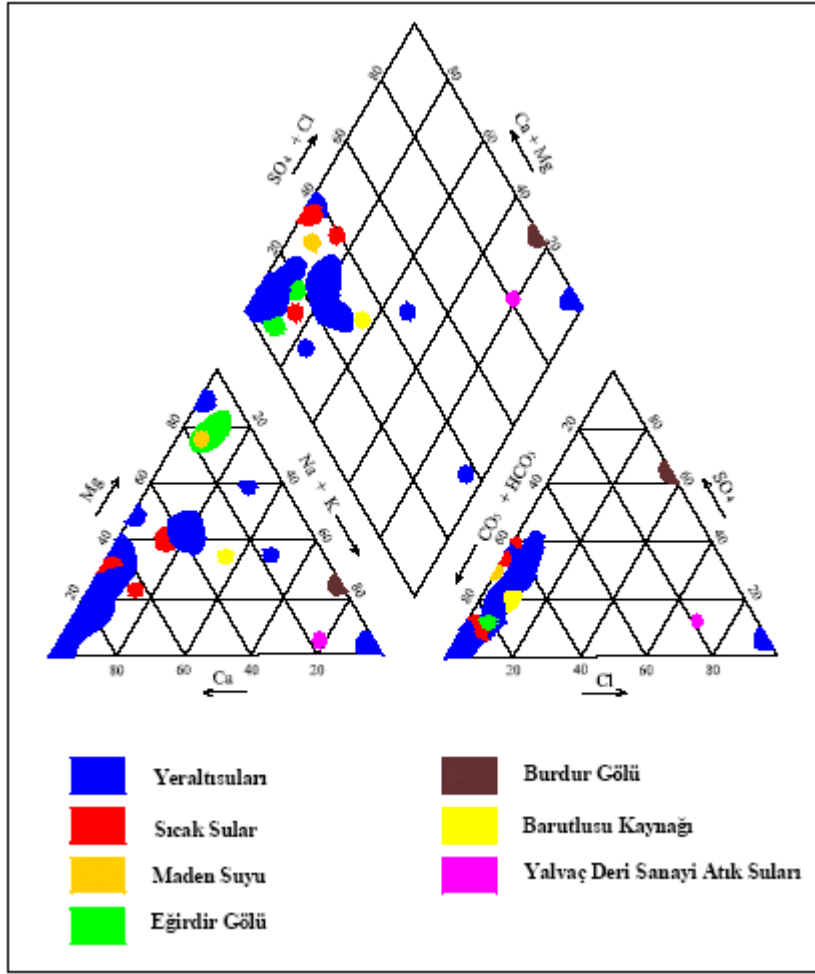
Scholler diyagramı ile Suların kökeni hakkında bilgi edinilir.

Örnek olarak aşağıda diyagramı yorumlayacak olursak(şekil:10); Eğirdir Gölü ve çevresinde yer alan çalışma alanından alınan su örnekleri, yer altı suyu, sıcak su, yüzey suları ve Yalvaç Deri Organize Sanayinin atık sularından (atık sular Eğirdir Gölü'ne verilmektedir) alınan suların tipleri belirlenmiştir. Bu tanımlamada Eğirdir yöresindeki yer altı suları birbirleriyle oldukça yakın özellikler göstermektedir ve içilebilir kalitededir. Bölgedeki yer altı suları Ca-HCO<sub>3</sub> tipi sular olarak sınıflandırılabilir. Eğirdir Gölü suları da yöredeki yer altı suları ile yakın özelliklere sahip olup, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> tipi sular olarak tanımlanabilir. Eğirdir Gölü suları 630 mg/l' ye kadar olan iyon konsantrasyonu nedeni ile iyi kalitede, içilebilir sular sınıfına girmektedir.

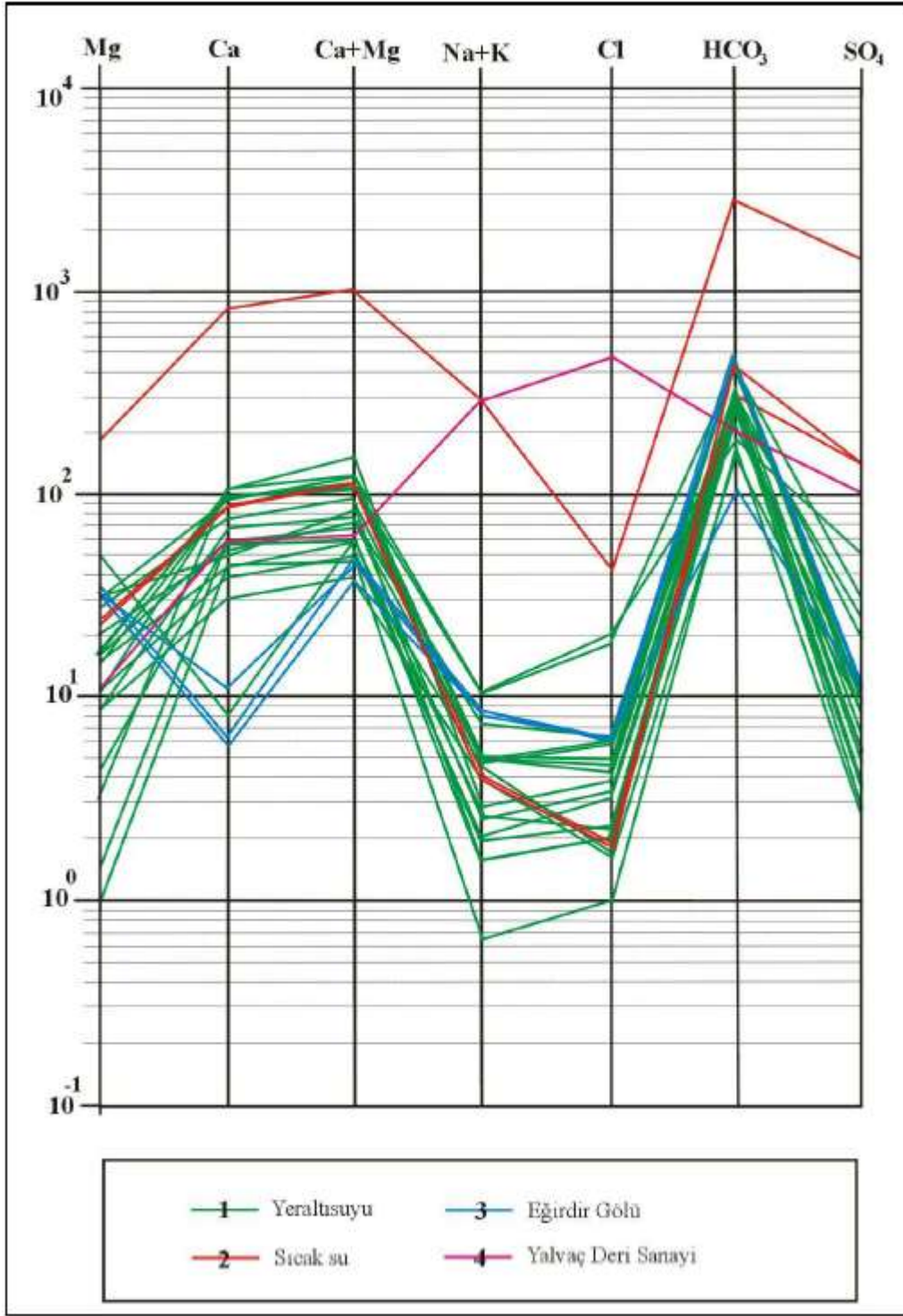
Langerlier Kalsiyum denge diyagramı ile bu sulardaki kalsiyumun çözünürlüğü ve suların kökeni hakkında bilgi edinilir.



Şekil:8. Giggenbach Na-K-Mg diyagramı ( Koçak, A. 1997)

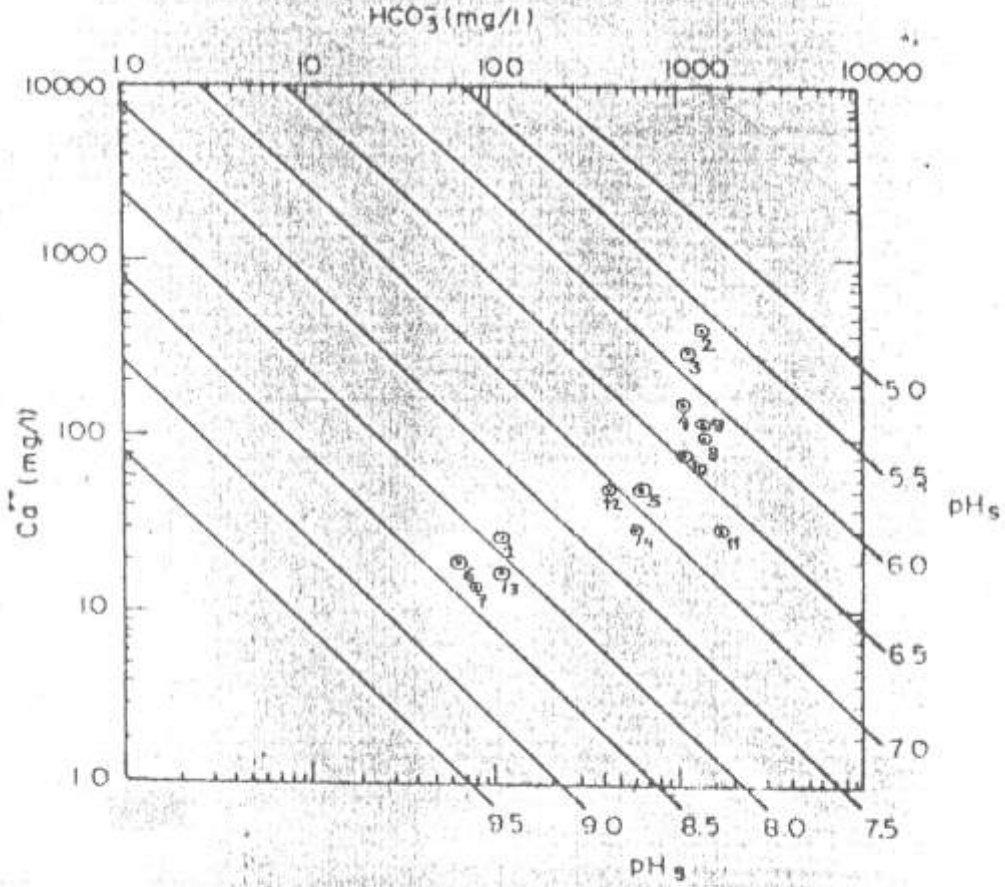


Şekil:9.Piper Diyagramı (Altınkale,S, 2001)



Şekil:10.Scholler Diyagramı (Altınkale,S, 2001)

## LANGELIER KALSİYUM DENGE DİYAGRAMI



Şekil:11.Langelier Kalsiyum Denge Diyagramı (Murat,A. Üçer,A.2004)