

JEOTERMAL KAYNAK VE SİSTEM NEDİR, NASIL OLUŞUR, ARAMA YÖNTEMLERİ NELERDİR

Dr.Ali KOÇAK
akocakipek@gmail.com

GİRİŞ

1970 li yıllarda oluşan enerji krizi ülkeleri ve bilim adamlarını bu sorunu uzun vadeli çözebilecek araştırmalara yöneltti. Bu düşünceden yola çıkarak yeni ve yenilenebilir enerji arayışları gündeme geldi.

Enerji kaynakları ilk aşamada üç ana sınıfa ayrılabilir.

1. Fosil enerji (organik kökenli, tükenbilir) kaynakları
2. Radyoaktif kaynaklar (inorganik kökenli, tükenibilirancak fosi yakıtlara göre uzun ömürlü olabilir)
3. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları (insan ömrü ile karşılatırmada tükenmez özellikte).

Fosil kaynaklar: Kömür, Petrol, Bitümlü şeyl, Asfaltit, vb. tür yakıtlar.

İnorganik yakıtlar: Radyoaktif minerallerin yakılması ile elde edilen (nükleer) yakıtlar.

Yeni ve yenilenebilir (alternatif) enerji kaynakları; fosil ve nükleer yakıtlardan sonra yakın bir tarihte gündeme girmiş olup, kaynak kullanımında olduğu halde, kaynağın karakterine göre herhangi bir şekilde kendini yenileyerek tüketime cevap verebilecek türdeki kaynaklardır ve aşağıdaki şekilde sınıflandırılmış olup burada jeotermal enerji doğal mineralli sular konusu işlenecektir.

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

1- Jeotermal Enerji

2- Güneş Enerjisi

3- Rüzgar Enerjisi

4- Biomas (Biyokütle)

5- Çöp Yakıtlar

6- Deniz Dalga Enerjisi

7- Hidrojen Enerjisi

8- Küçük Akarsu Gücü gibi

Bundan sonraki bölümlerde jeotermal enerji doğal mineralli suların;

- **Oluşumları**

- **Dünyadaki Dağılımı (Jeotermal enerji)**
- **Jeotermal enerji ve Doğal Mineralli Su Tanımlamalarının İrdelenmesi**
- **Türkiye deki Dağılımı**
- **Birbirleri ile İlgileri**

Üzerinde durulacaktır.

Jeotermal Enerji Oluşumu

Evrenin bir patlama ile oluştuğu bilinen bir gerçektir. Bu patlamadan sonra evrende oluşan birçok galaksi (Şek.:1) ve sistem içerisindeki yıldız ve gezegenler, çarpışma yok olma ve yeni gezegenler oluşturma şeklinde süreklilik göstermektedir. Bu çarpışmalar ve patlamalardan etkin büyüklükte olanlar sonucu büyük miktarlarda nebula adı verilen sıcak gaz ve toz bulutları (Şek.:2) oluşmaktadır. Oluşan bu gaz ve toz bulutları zaman içerisinde madde çekim kuvvetleri nedeniyle yoğunlaşarak yerküremiz gibi gezegenleri oluştururlar(Şek.:3).



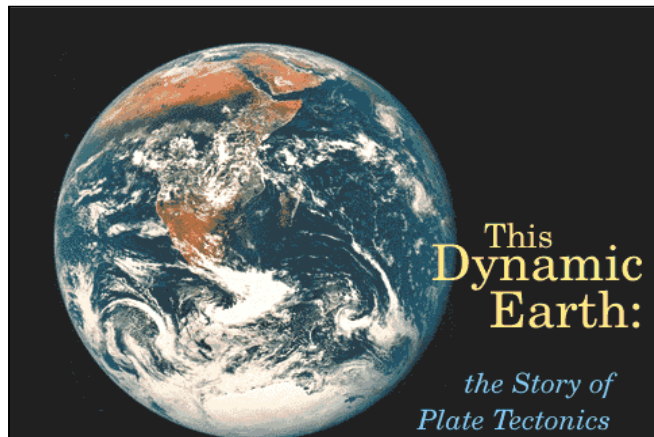
Şekil: 1- Andromeda Galaxy



Şekil: 2-Carina Nebula

Evren de bu tür birçok galaksi, sistem ve gezegen bulunur. Bu gezegenlerden biri olan ve Mavi Gezegen adı verilen yerküremizin iç yapısı incelendiğinde konsantrik yapıda fiziksel ve kimyasal anlamda farklı bölgeler görülür.

YERKÜRE VE İÇ YAPISI



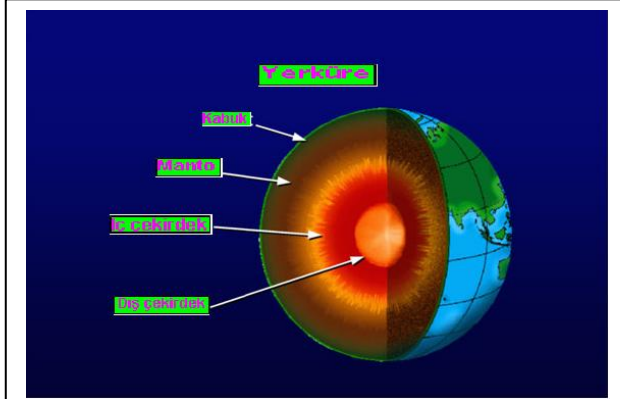
Şekil:3- Mavi Gezegen (This Dynamic Planet'ten)

Yerkürenin iç yapısını inceleyecek olursak, iç içe dört konsantrik yapı göze çarpar. Bu yapılanma kimyasal ve çeşitli jeofizik verilerle ortaya konmuştur ve değişik kalınlıklar ve fiziksel kimyasal farklılıklar gösterir.

Şekil 4 te görüldüğü gibi en dışta ve en ince yapıda olan kısım yerkabuğunu oluşturmaktadır. Onun altında oldukça kalın olan kısım ise manto olarak adlandırılır.

Daha içte ise iki kısım halinde gösterilen dış ve iç çekirdek bulunur.

Bunlardan yerkabuğu ve çekiredek (fiziksel koşullar nedeniyle) katı, manto bölümü ise kısmen akıcı özellik gösterir. Bunu pişmiş bir yumurta gibi düşünürsek yerkabuğu yumurtanın kabuğuna, manto yumurtanın beyazına ve çekirdek ise sarısına karşılık gelir (Şek.4).



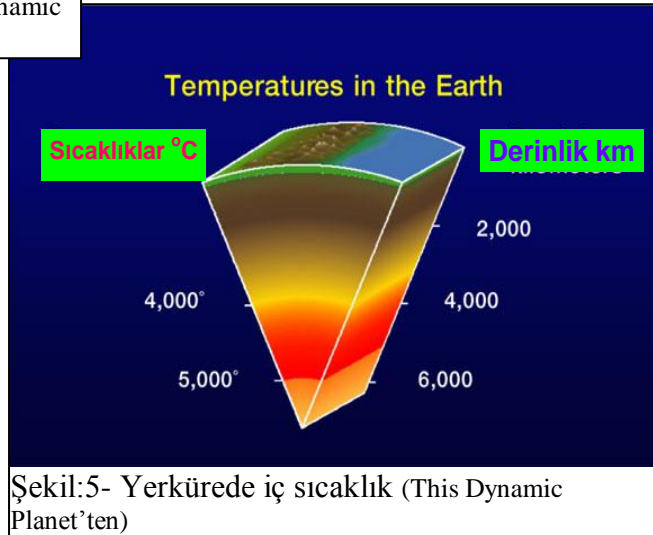
Şekil:4- Yerküreden bir kesit(This Dynamic Planet'ten)

teoriler ileri sürülmektedir, ancak burada sadece başlangıç aşamasında (sıcak gaz ve toz bulutlarından oluştuğu varsayımından yola çıkarak) kazanılmış ısı değeri kabul edilecektir. Şekil 5 te görüldüğü gibi, belirli dilimlerdeki sıcaklık değerleri verilmiştir. Yerkürenin yarıçapı 6378 km olarak kabul edilmektedir ve buradaki sıcaklık değeri ise 5600 °C olarak belirlenmektedir. Ancak bazı araştırmacılar merkezdeki bu sıcaklık değerini 7000 °C ye kadar yükseltmektedir. Hangi değer kabul görse de yerin merkezine doğru çok büyük bir sıcaklık artışının olduğu bir gerçektir.

JEOTERMAL ENERJİ

YER İÇİ SICAKLIĞI

Yerkürenin yapısında anlatıldığı içiçe geçmiş olan kısımlarda yerkürenin merkezine doğru ısı değeri de artmaktadır. Bu ısı değerinin oluşumu hakkında değişik



Şekil:5- Yerkürede iç sıcaklık (This Dynamic Planet'ten)

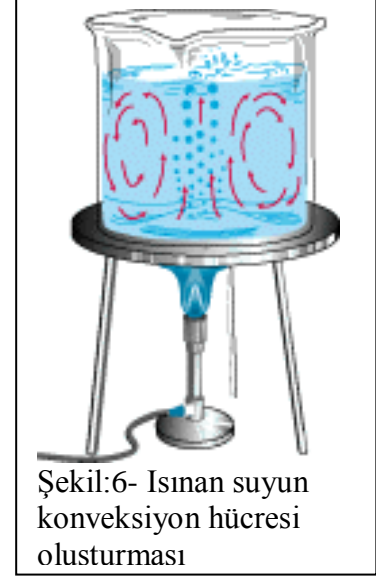
YERKÜRENİN İÇ DİNAMİĞİ VE ISININ YERYÜZEYİNE ULAŞMASI

Yerküre içerisinde bulunan bu ısı yeryüzü ve yer merkezindeki büyük ısı farkı nedeniyle yeryüzüne doğru normal bir ısı gradyanı ile akmaktadır. Normal ısı gradyanı 1 °C /33 m. olarak kabul edilmektedir.

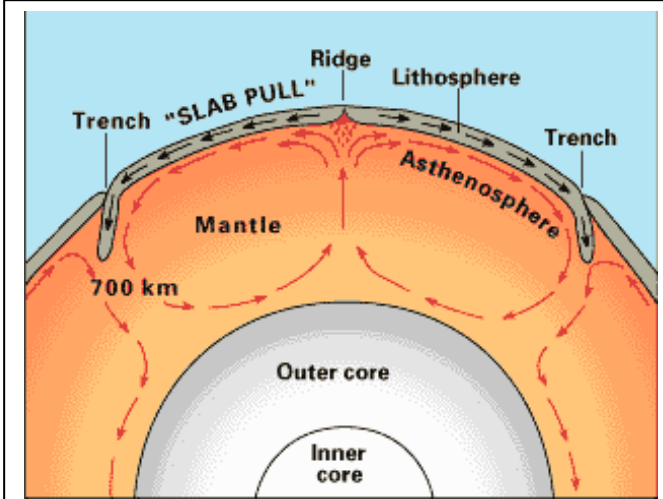
Ancak , normal ısı gradyanı yanında birçok alanda anomali oluşturan ısı akıları da vardır. Bunlar özellikle, şekil 8 daki haritada görüldüğü gibi levha kenarlarını tektonik hatlarla sınırlayan bölgelerde görülmektedir. Sonraki bölümde bu hareketi ve ısı akısındaki bu anormalliği yaratan konu ele alınacaktır.

KONVEKSİYON HÜCRELERİ

Bu durumu açıklamak için Şekil 6 deki deneye göz atmak yetecektir. Burada su konmuş bir kabı alttan ısıtırsak ısınan suyun yüzeye yükseldiğini ve alttan sürekli ısınmış su gelmesi ile de daha önce yükselmiş ve bir miktar soğumuş olan suyun tekrar aşağı doğru yönelmesi ile konveksiyon hücreleri oluşur. Aynı mantıkla yerçekirdeğindeki ısı da kendisini çevreleyen ve daha önce belirli oranda akışkan özelliğe sahip olduğundan söz edilen manto kesimini ısıtacak ve yerkürenin kabuk altına doğru yükselmesini sağlayacaktır (Şek.7). Mantodaki bu konveksiyon hücresi akımları, yerkabuğunu kendi akımları yönünde hareket etmeye zorlayacaktır. Bu zorlama sonucu levhalar bazı zonlarda birbirinden uzaklaşan yönlerde, okyanus ortası sırtları, bazı zonlarda ise birbirine yaklaşan yönlerde, levha çarpışmaları ve dalma-batma zonları, hareket edeceklerdir. Yerkürenin iç



Şekil:6- Isınan suyun konveksiyon hücresi oluşturması

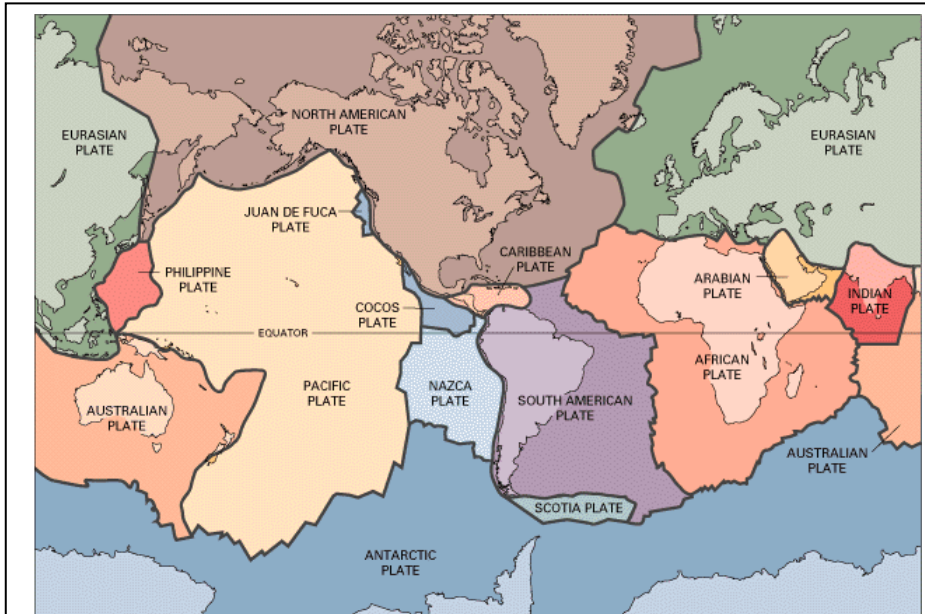


Şekil:7- Manto içerisinde olduğu varsayılan konveksiyon hücrelerinin kavramsal modeli(This Dynamic Planet'ten)

dinamiği nedeniyle oluşan bu hareketler yerkabuğu levhalarında tektonik sınırlar oluştururlar (Şek.8). Isı anomalileri de sözü edilen levha kenarlarında normal ısı gradyanının oluşturduğu anomaliden çok daha fazladır.

Okyanus ortası sırt yarıklarından manto kaynaklı bazık karaktere sahip çok yüksek sıcaklıklı lavlar çıkarak ortamda yüksek ısı anomalisi oluşturmanın yanı sıra yeni kabuk oluştururlar.

Diğer taraftan birbirine yaklaşan, çarpışan levha kenarlarında ise, okyanusal levha ile kıtasal kabuk çarpışmış ise okyanusal levha kıtasal kabuk altına dalmakta, kıta-kıta kabuğu çarpışmış ise sıkışma ve doğrultu atımlı tektonik zonlar oluşmaktadır.

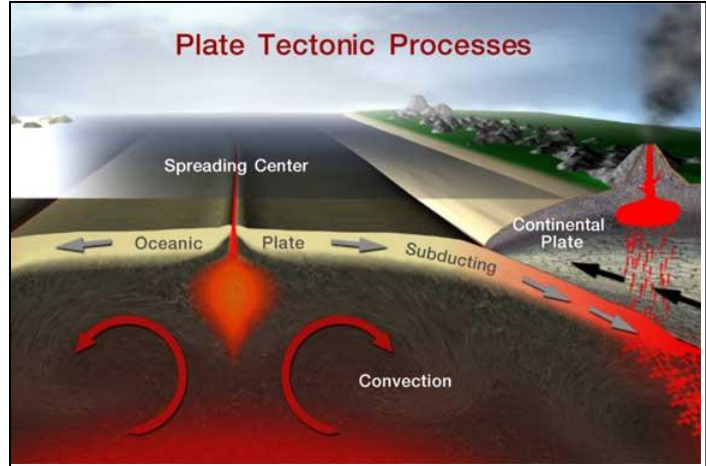


Şekil:8- Kıtalar, Levhalar ve bunları sınırlayan ve birbirine göre göreceli olarak hareket halinde olan tektonik hatlar(This Dynamic

Şekil 8 de yerkürenin en dışındaki kabukta oluşan levha kenarlarından Kuzey ve Güney Amerika levhasının batı, Asya, Avustralya levhasının doğu kenarını oluşturan dalma-batma zonu ile Avrasya ve Afrika, Arap,

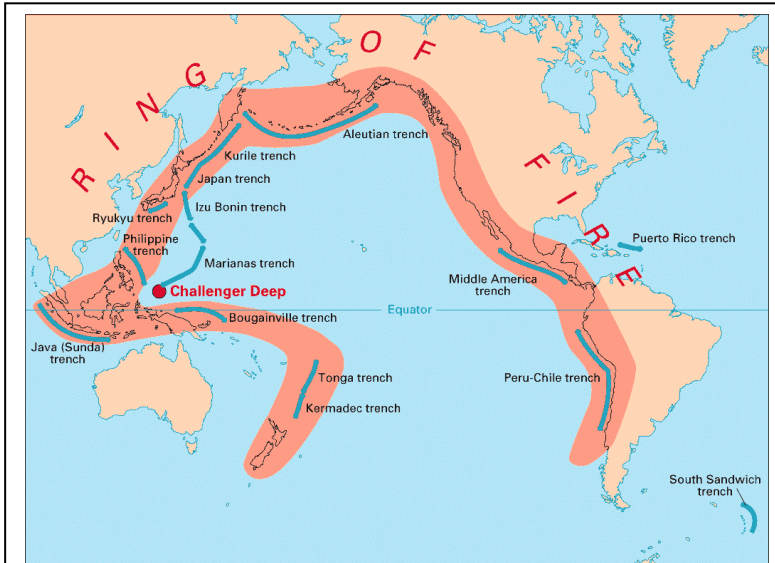
Avustralya levhalarının çarpışma kenarı olan bölgeler jeotermal anlamda enyüksek ısı anomalileri oluşturan alanlardır.

Çarpışan ve ayrılan levha sınırlarına daha yakından bakacak olursak, okyanus ortası sırtlar ve kıtasal rift(yarık) zonlarında yeni kabuk oluşur. Bir okyanus levhası ile kıtasal levha karşılaştığı zaman okyanus levhası kıtasal levha altına dalar ve dalan bu levha 100 km. derinliklere ulaştığında özelliklerini kaybederek yumuşar, ergir ve bu ortamda oluşan magma şekil 9 da görüldüğü gibi dalan levha kenarının oluşturduğu hendeğe paralel olarak, kıta levhası içinde yer yer magma sokulumları ve volkanizma oluşturur. Okyanus ortası yarıklardan çıkan lavlar bazik karakterli olmasına karşın dalma-batma zonlarında volkanizmayı oluşturan lavlarda, ortaç ve asit karakter hakimdir.



Şekil:9- Okyanus ortası sırtlar ve dalma-batma zonlarını oluşturan konveksiyon hücreleri ve magma sokulumları (This Dynamic Planet'ten)

Dalma-batma zonlarının en önemlilerinden biri olduğu belirtilen Asya-Avustralya levhası doğusu ile Kuzey-Güney Amerika levhasının batısı, volkanik yay ve okyanus hendakleri olarak Pasifik Okyanus havzasının büyük bir kısmını çevreler (Şek. 10). Bu zon yerbilimcilerce "Ateş Çemberi" olarak adlandırılır ve bu kuşakta sık sık depremler ve volkanik püskürmeler oluşur. Bu bölgede oluşan hendekler mavimsi yeşil kalın çizgilerle gösterilmiştir. Haritada gösterilmemiş olsa da volkanik ada yayları hendeklere paralel ve hendeklerin kara tarafında yer alırlar. Örneğin, Aleutian Hendeğiyle ilgili adayı, Aleutian adalarını oluşturan uzun bir volkanlar zinciri ile temsil edilmiştir.



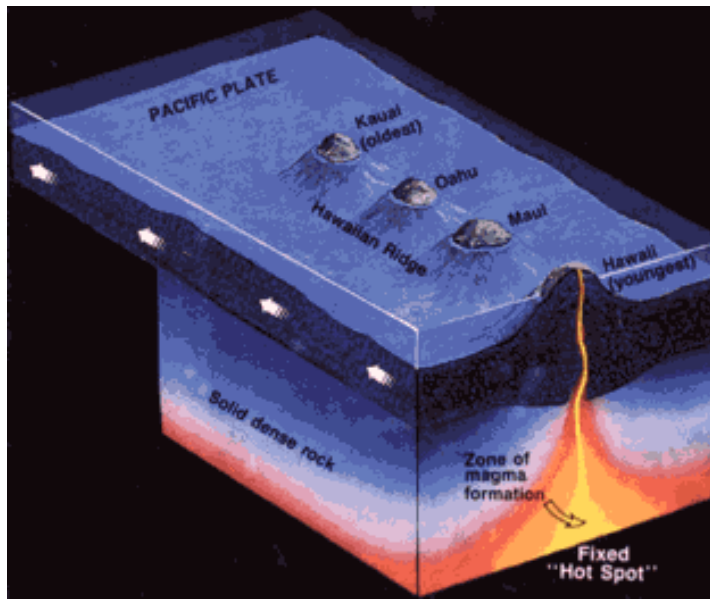
Şekil:10- Pasifiği kısmen çevreleyen aktif volkanlardan oluşan ateş çemberi(This Dynamic Planet'ten)

Diger yandan, okyanus ortası yarık ve sırtları ile kıta içlerindeki riftlerde jeotermal anlamda önemli alanları oluştururlar.

Birçok alanda kabul edilebilir değerde jeotermal kaynaklar (rezervuarlar) bulunabilir, özellikle pasifik çevresindeki "Ateş Çemberi" olarak adlandırılan bölge ülkelerinde, okyanus ortası sırtlarında bazı merkezlerde, kıtasal rift zonlarında ve "Hot Spot" adı verilen sıcak noktalarda (Şek.11ve 12).

Afrika Levhasının iki parçasıdır (Nubian ve Somalian).

Jeotermal anlamda bir diğer önemli bölge ise Sıcak Noktalar (Hot Spots) dır.



Şekil:14- Hawai Adalarını Oluşturan Sıcak Nokta

Şekilde Pasifik Levhasındaki Hawai Sırtı - İmparator Denizdağları Zinciri'ni oluşturan sabit Sıcak Nokta gösterilmektedir. Şekil 15 te konveksiyon akımları, sıcak nokta ve oluşturduğu volkanik adaların dizi şeklinde ilerlemesi ile konveksiyon akımları nedeniyle hareket eden levha açıklanmasını gösteren kesit ve plan görülmektedir.

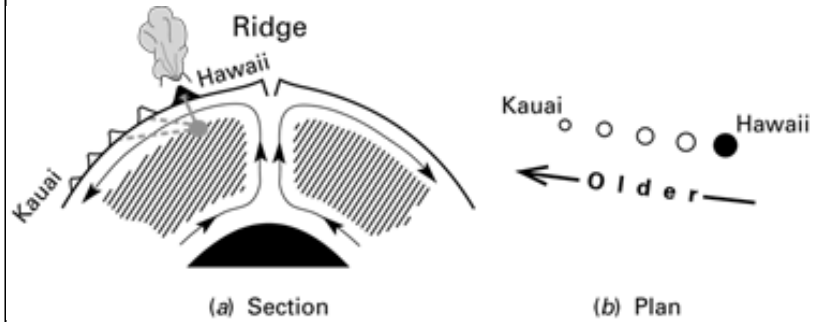
Mantodaki yüksek ısıyı yüzeye taşıyan ve süreklilik gösteren bu bölgeler de jeotermal anlamda önemli bölgeleri oluştururlar.

Şekil 16 da incelenmiş ve etkin bir kırık içeren bir levha, magmanın yüzeye lav olarak çıkmasına izin verir. Fakat bazı durumlarda magma yeryüzüne kadar ulaşamaz ancak yerkabuğunun sığ derinliklerinde büyük alanlarda kayaçları ısıtır.

Buraya kadar yerkürenin yapısı, ısının kaynağı, yerkabuğunun yapısı, yer iç dinamiği ve jeotermal sistemleri oluşturabilecek levha boyutunda yapısal alanlar incelendi.

Aşağıdaki bölümlerde ise daha dar alanlarda, jeotermal sistem oluşturan alanlar ve bazı tanımlamalara yer verilecektir.

Sıcak Nokta teorisi Tuzo Wilson tarafından ilk olarak ortaya atılmıştır ve daha sonra birçok araştırmacı tarafından görüşler ortaya atılmış, teori zamanla geliştirilerek bazı farklı görüşler de ortaya çıkmıştır. Tuzo'nun teorisine göre manto içinde sabit bir sıcak noktadan birkaç on milyon yıllık periyotlarla kabuk içinden geçerek doğrudan yeryüzüne çıkan bazik bileşimdeki lavlar volkanları oluşturmaktadır. Faaliyetin durgunluk anında manto üzerindeki levha olagan hareketini sürdürerek manto içindeki sabit Sıcak Nokta'dan uzaklaşmakta ve dolayısıyla levha üzerinde bulunan volkan da uzaklaşmaktadır. Manto içindeki sıcak noktanın tekrar tekrar faaliyete geçmesi ile aynı doğrultuda ve aynı karakterde bir volkanlar dizisi oluşmaktadır. Bu olayı en iyi yansıtan Hawai adalarını oluşturan sıcak nokta Şekil 14 ve 15 te gösterilmiştir.



Şekil:15- Tuzo Wilson'un orijinal diyagramı (Canadian Journal of Phys.)



Şekil:16- Kilauea Volcano(Hawai Adaları)

JEOTERMAL SİSTEMLER

Günümüzde araştırma konusu olan boyuttaki bu sistemleri tanımak için öncelikle bazı tanımlamalar ve açıklamalardan sonra sistemlerin oluşumu ve görünümü hakkında öz bilgiler verilecektir.

TANIMLAR

- **Jeotermal enerji:** Yerkürenin akkor halindeki çekirdek kısmında bulunan ısının yayılımı ile oluşan ve yerkabuğuna kadar yayılan ısı enerjisidir ve jeotermal gradyanı oluşturur.
Bu ısı enerjisi, zaman zaman kabuk içerisine sokulan ve mantodan kaynaklanan magma intrüzyonları (sokulumları) ve/veya volkanik faaliyetleri oluşturan yine manto kökenli magmatik cepler ile kabuk içerisinde ısı anomalisi yaratırlar.
Derinlere süzülerek bu ısınmış kayaçlar içerisinde dolaşan meteorik sular yardımı ile bu ısı alınabilir
- **Jeotermal enerji kaynağı:** Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde anomali yaratacak şekilde birikmiş ısı(yukarıda tanımı yapılan) ile ısıtılan, 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.
- **Sıcak kuru kaya [Hot Dry Rock (Enhanced Geothermal Systems)]:** Kabuk içerisinde ısı anomalisi oluşturan alanlarda, herhangi bir kırık çatlak ve yeraltısuyu içermemesine rağmen “Sıcak Kuru Kayalar” da jeotermal enerji olarak kabul edilir.
Isınmış ve permeabilitesi zayıf olan bu kayaçlar içerisine sondajla su basılarak tekrar başka bir sondajla alınabilir.
- Son yıllarda **ısı pompaları da (heat pumps)[veya Ground Heat Pumps; Geothermal Heat Pumps (GHP)]** jeotermal enerji olarak kabul edilmektedir.

JEOTERMAL SİSTEMİ OLUŞTURAN ANA PARAMETRELER:

Birincil olanlar

- **Isı kaynağı** (Magma, Radyoaktif min.) Sıcaklık
- **Isıyı taşıyan Akışkan** (Su ve Gaz) Meteorik su ve az miktarda deniz, fosil, juvenil sular
- **Rezervuar zon** Porozite (Boşluklar)
Geçirimsizlik(Su/Buhariçeriği)

İkincil olarak

- **Örtü kayaç** Isının korunması ve basınç
- **Beslenme** Basınç (Hidrolik yük)

Sözü edilen bu parametrelerin de kendi içinde oluşum, konumu ve aktiviteyi kontrol eden faktörler vardır, bunlar aşağıda kısa başlıklar halinde belirtilecektir.

ISI KAYNAĞI

- 1- Magma oluşumunun lokasyonu
- 2- Yerleşimi kontrol eden faktörler
- 3- Yerleşimin yaşı

ISIIYI TAŞIYAN AKIŞKAN

- 1- Meteorik su
- 2- Formasyon suyu (Kapanlanmış)
- 3- Magmatik (Jüvenil)
- 4- Metamorfik su

REZERVUAR ZON

- 1- Kırık zonları,
- 2- Poroziteli ve Permabiliteli Litolojik Birim,
- 3- Karstik ortamlar

ISI KAYNAĞI:

Jeotermal sistem oluşumunda en önemli parametrelerden biridir ve bu kaynağın oluşum mekanizması ile ilgili parametreler aşağıda verilmiştir.

- 1- **Magma oluşumunun lokasyonu**
- 2- **Yerleşimi kontrol eden faktörler**
- 3- **Yerleşimin yaşı**

1- Magma oluşumu ile ilgili (lokasyon)ortam:

- Çarpışan Levha Sınırları (Dalma:Subduction)
- Ayrılan (uzaklaşan, yarılan) Levha Sınırları (Spreading centers – Okyanus ortası sırtı)
- Manto Sokulumu

2- Yerleşimi kontrol eden faktörler

- Tektonik kurgu (yapı)
- Magma sıcaklığı
- Magma bileşimi
 - o Silis içeriği
 - o Su ve Uçucu içeriği

Magmanın katılaşması :

- Riyolit ve granit < 650 oC
- Bazalt < 350 oC (?)

3- Yerleşimin yaşı

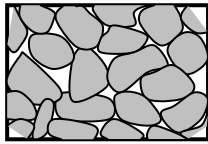
- Birkaç milyon yıllık yerleşim veya daha eski başlangıcı olmasına rağmen sürekli aktif olan yerleşim

ISIYI TAŞIYAN AKIŞKAN

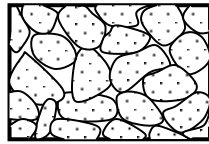
Ağırlıklı olarak meteorik kökenli yağışlar olup, magmatik, metamorfik kökenli sular ihmal edilebilecek düzeyde azdır.

REZERVUAR VE/VEYA ZON

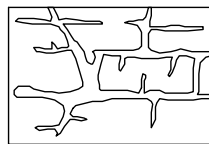
Derinlere süzülüp ısınan akışkan sıcak-soğuk su yoğunluk farkı ve hidrolik basınç nedeniyle yükselmeye başlarlar ve uygun jeolojik ortamlarda birikirler. Bu birikim ortamlarına yönelik şematik kesitler aşağıda gösterilmiştir (Şek.:17).



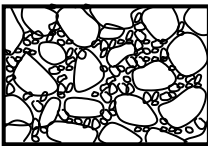
a



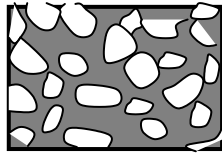
c



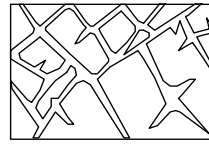
e



b



d



f

Yandaki şekillerde,
a) Taneler aynı büyüklükte
b) Taneler değişik çaplı
c) Taneler aynı büyüklükte ve boşluklu
d) Taneler değişik büyüklükte ve kısmen çimentolu
e) Kütle erime boşluklu
f) Kütle çatlaklı (E. Meinzer'den)

Şekil:17- Gözenek türleri

Jeotermal Sistem,

Jeotermal Alan ve Jeotermal Saha Tanımları

Jeotermal Sistem: Isı kaynağı, ısıyı taşıyan akışkan, beslenme bölgesi, rezervuar kayaç ve/veya zon ile bu son parametreyi tamamen veya kısmen örten örtü kayaç(ların) oluşturduğu bir modeldir.

Jeotermal Alan: Birkaç jeotermal sistemi içinde barındırabilen büyük bir alanı,

Jeotermal Saha: Üzerinde, bilimsel çalışmalar sonucu bir veya birkaç sondaj yapılarak, kabaca, rezervuar varlığı, sıcaklığı, akışkan kimyası ve muhtemel yanal dağılımı belirlenmiş olan sahayı anlatır

SINIFLANDIRILMASI

Ülkelere ve kökenlerine göre değişen ve çeşitli parametrelere dayanan birçok sınıflandırmalar olmasına rağmen jeotermal enerjinin, sınıflamada en fazla kabul göreni rezervuar sıcaklığına bağlı sınıflamadır ve aşağıdaki gibidir.

- 1-Düşük entalpili sistemler (20-70 °C)
- 2- Orta entalpili sistemler (70-150 °C)

- 3- Yüksek entalpili sistemler (>150 °C)

Birdiğer sınıflama

- 1-Düşük entalpili sistemler (20-150 °C)
- 2- Yüksek entalpili sistemler (>150 °C)

Sıcaklığın dışında birde rezervuardaki akışkanın içeriğine göre yapılan sınıflama vardır:

- Tek fazlı (su etkin)
- İki fazlı (buhar etkin)
- Kuru Buhar sistemler.

Jeotermal Sistemlerin Jeolojik Ortamı

Yeryüzünde ısının yoğun boşalımı;

- a) aktif kıta kenarları ve okyanus ortası sırtları olarak adlandırılan kuşaklardaki volkanik sistemlerde; zaman zaman yüzey boşalımı veren volkanlar aracılığıyla,
- b) ve sürekli boşalım yapan jeotermal sistemlerin yüzey görüntüsü olan jeotermal sahalarda olur.

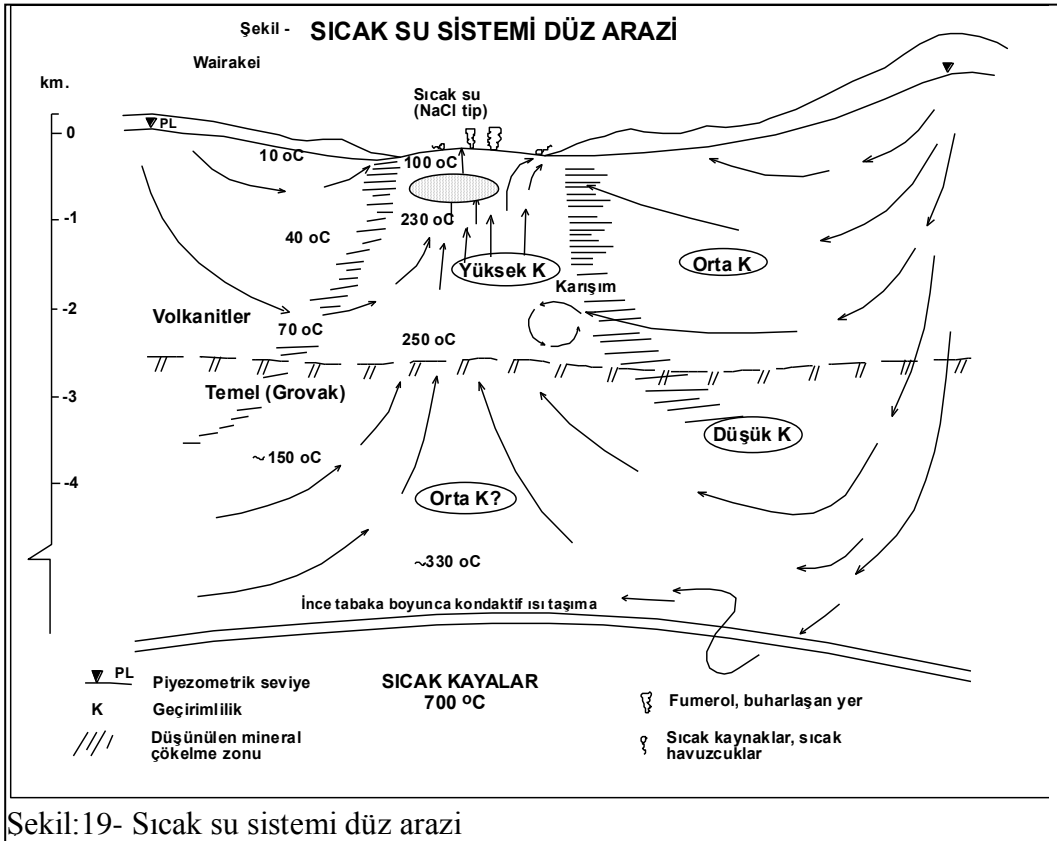
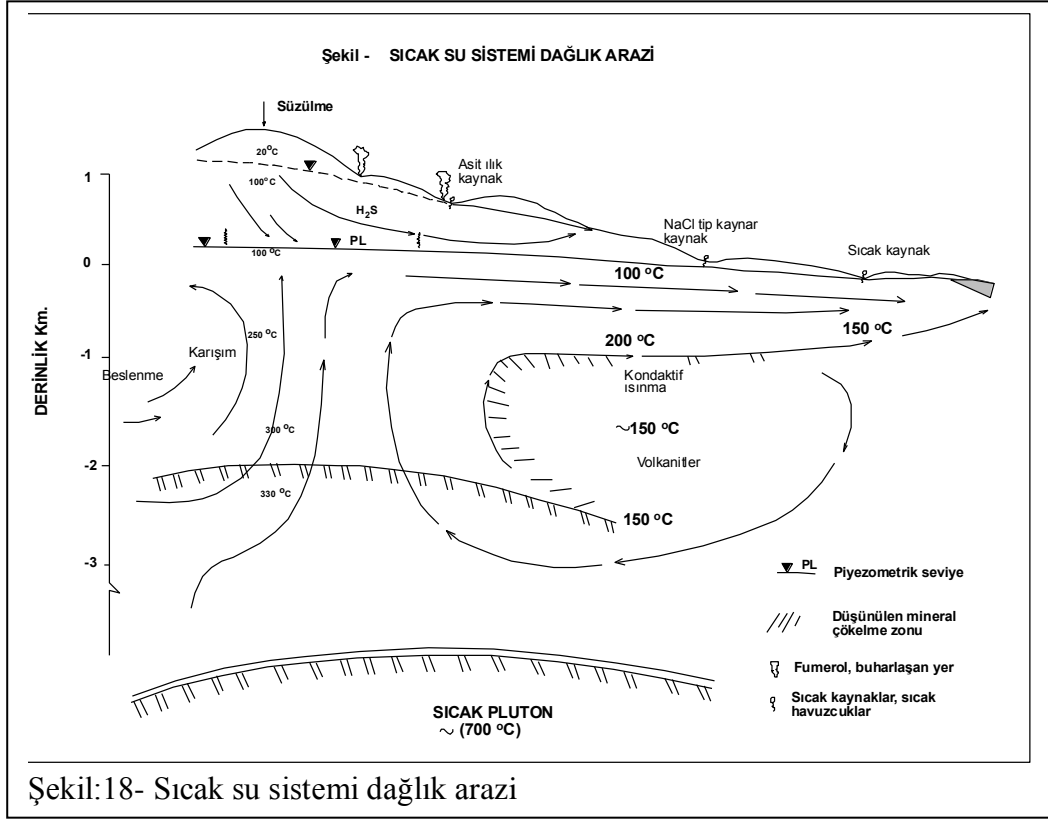
Bu kuşaklarda yavaş hareket halinde olan levhalar (kalınlığı 50-150 km. arasında değişen) bazı düşey hareketlerden dolayıda birbirlerini üstelerler (subduction-obduction) Alta dalan levhadaki kayaçların sıcaklığı, sıcaklık-basınç ilişkisine göre erime noktasına (yaklaşık 1650 °C K, 100 km. derinlikte) yaklaşır. Büyük ölçekte düşey hareketler genellikle üst manto içerisinde kayaçların büyük hacimlerde erimesine neden olur ve yükselme kuvvetleri etkisi altında eriyikler aktif kıta kenarlarında andezitik volkanizma, okyanus ortası sırtlarında ise bazaltik volkanizma oluşturmak üzere yükselirler.

c) Bazı yoğunlaşmış ısı boşalımı da kıtasal riftler üzerinde bulunabilir. Burada anomali oluşturan sıcaklık gradyanı (> 30 oC/km.), rift ortasında bulunan incelmış kabuğun tabanındaki anormal derecedeki sıcaklığın, üst manto kayaçları tarafından getirilmesidir. Ana karalar içerisinde zaman zaman oluşan volkanizmalar da genellikle bu tür riftlerle ilgilidir.

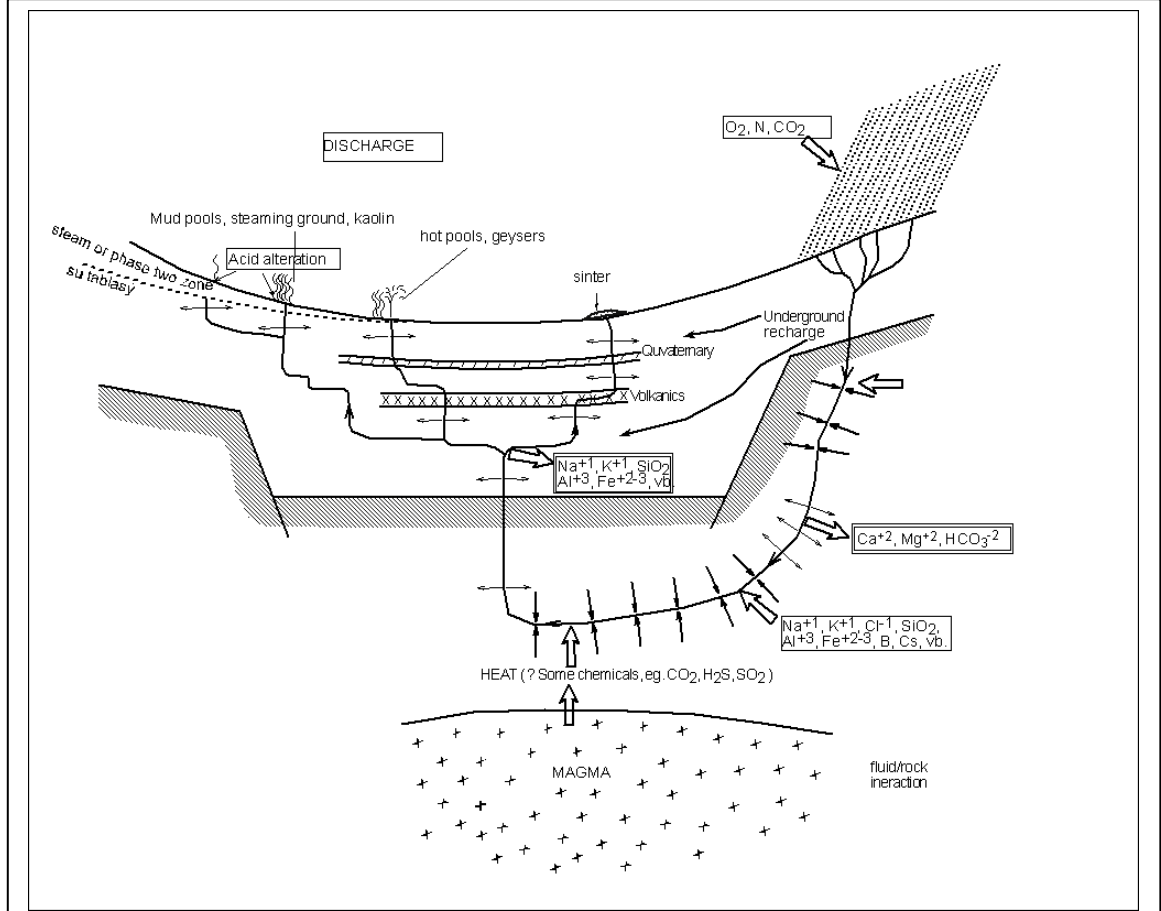
Yeryüzünde ısının normal veya normale yakın boşalımı;

d) **Diger bir ısı boşalımı da(Radyoaktif ısı kaynağı)**, aktif kıta kenarı ve okyanus ortası sırtlardan çok uzaklarda oluşabilir (örneğin sıradağ eteklerinde oluşan ılık kaynaklar). Bu ısı esas olarak kıtaların alt kısmındaki kabuk içinde bulunan radyoaktif (çoğunlukla U238) minerallerin sürekli bozuşmasından oluşan normal veya normalin biraz üzerindeki jeotermal ısı akısından türer.

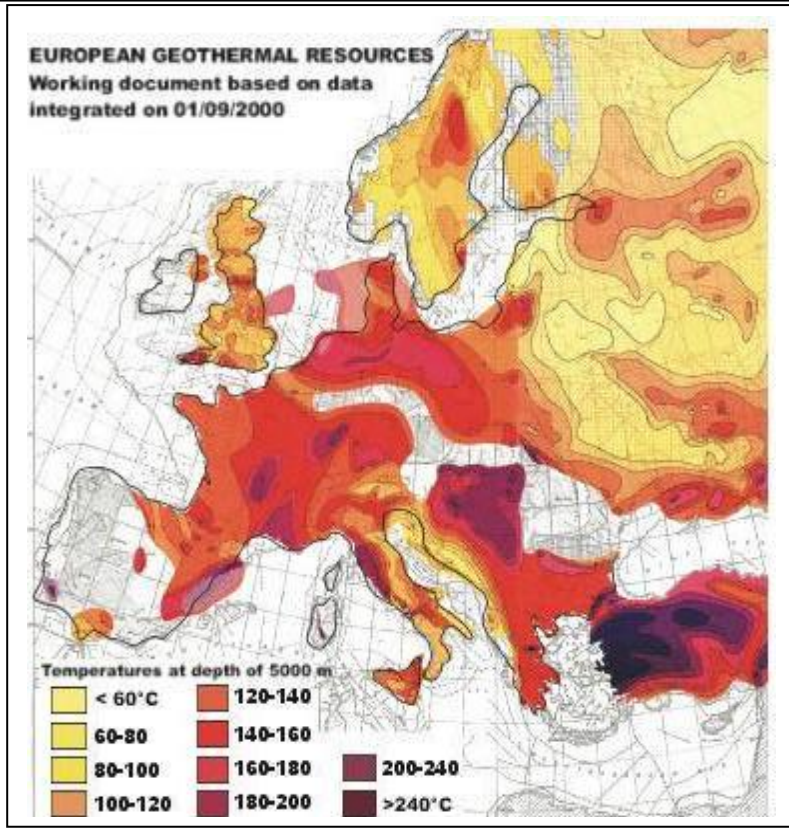
e) **Geopressed sistemler:** Bunlar sürekli çöken ve üzerlerinde sürekli sediman biriken, meteorik suların bu ortamlarda çok derinlere kadar süzülmesi ile bölge ısı gradyanı ile ısınan ve basınçları litostatik basınca yaklaşan sistemlerden olan boşalımlardır.



Yukarıdaki şekillerde (18-19) jeotermal sistemde beslenme, ısınma, yukarı çıkış, dışa akış modeli ve bazı çökeltme ortamları ile oluştuğu pozisyona göre kaynak türleri görülmektedir.



Şekil:20- Bir hidrotermal sistem kesiti ve beslenme su kayaç ilişkisini gösteren şematik diyagram ve iyon alışveriş yönü, kaynak çıkış karakterleri

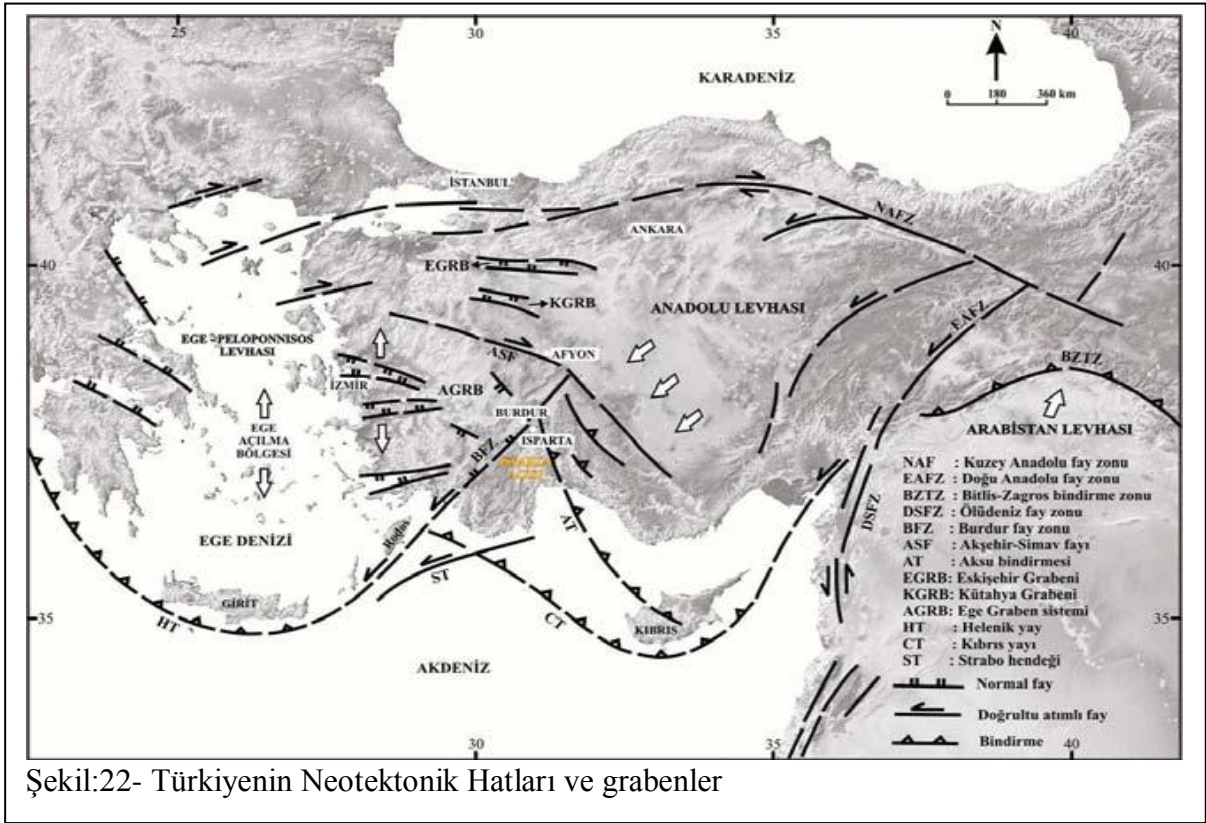


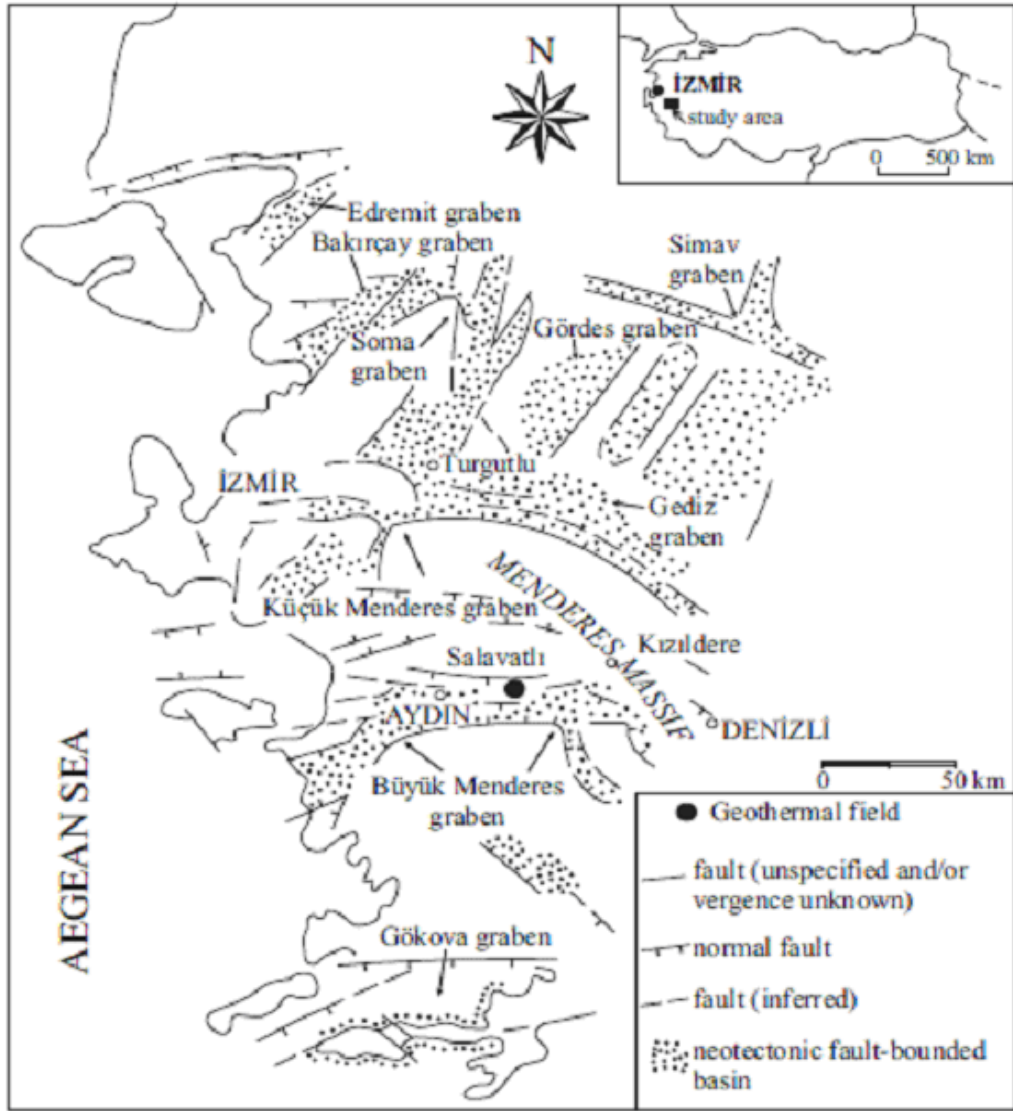
JEOTERMAL
KAYNAKLARIN
TÜRKİYEDE
DAĞILIMI
Şekil: 21
Temperature
distribution at 5000
m depth (source
SHELL)

Batı Anadolu'da diğer
bölgelere göre
sıcaklıkların farklı
derecede yüksek
olduğu Şekil 21

debelirgin bir şekilde görülmektedir.

Şekil 22 de levha hareketleri nedeniyle oluşan ana tektonik hatlar ve batı anadoludaki grabenler (kıtı içi yarıklar) görülmektedir. Bu hatlar ve grabenler ülkede jeotermal sistem oluşumu ve kaynakların çıkışı için önemli alanlardır.



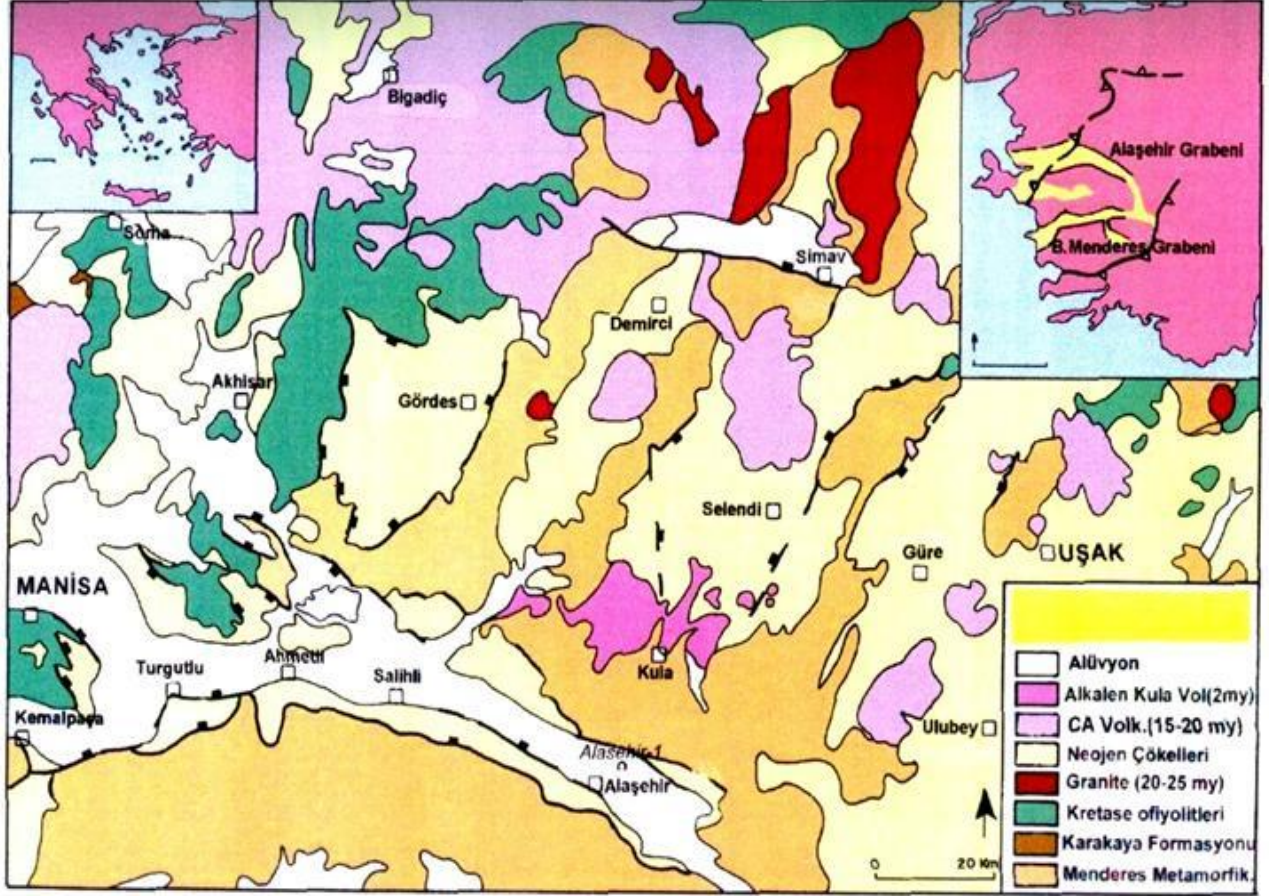


Şekil:23- Batı Anadolu'da gelişen graben sistemleri

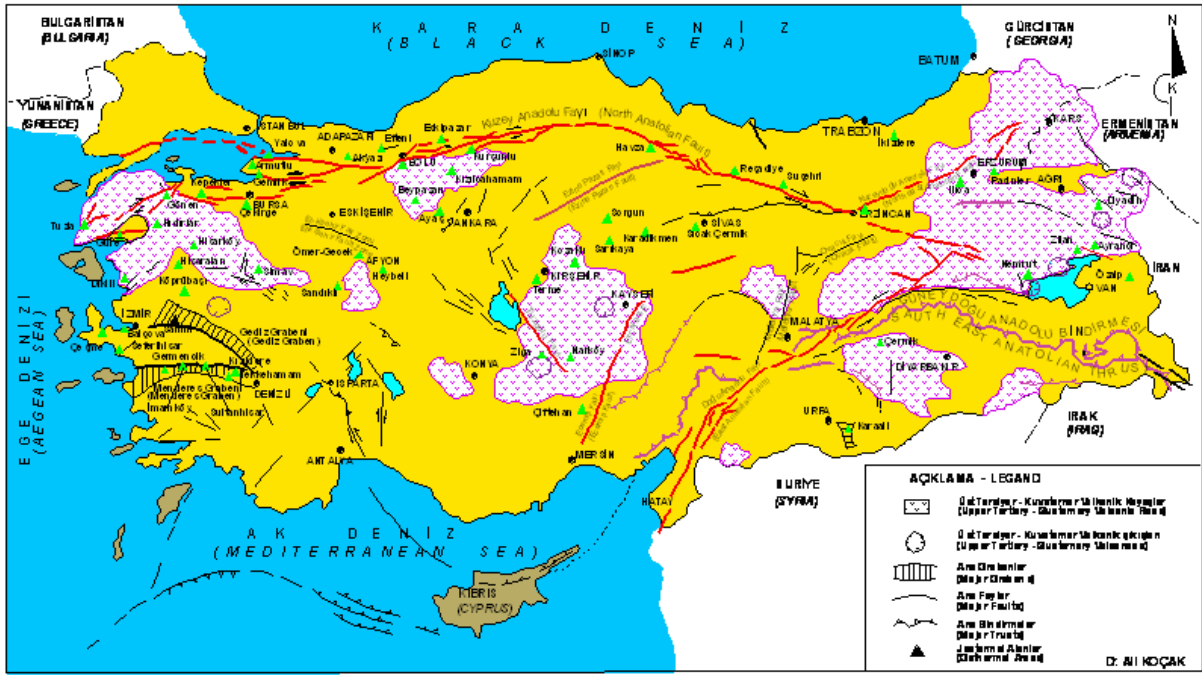
Şekil 23 de gösterilen graben sistemlerinde oluşan jeotermal alanlar:

- **Büyük Menderes Graben** Jeo. Sist:Aydın-Germencik, Aydın-Yılmazköy-İmamköy, Serçeköy-Umurlu, Aydın-Salavatlı, Pamukören, Denizli-Kızıldere, Yenice, Gölemezli jeotermal sistemler
- **Gediz Grabeni** Manisa-Salihli-Kurşunlu, Manisa-Salihli-Caferbeyli, Manisa-Sart, Manisa-Turgutlu-Urganlı, Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere jeotermal sistemler.
- **Dikili-Bergama Graben:** Dikili-Kaynarca and Bergama jeotermal sistemler. and
- **Simav Graben.:**Kütahya-Simav, Şaphane and Kütahya-Gediz-Abide jeotermal sistemler
- **Çürüksu Graben** Gölemezli, Karahayıt and Denizli-Pamukkale jeotermal sistemler.

GEDİZ GRABENİ JEOLJİSİ



Şekil:24- Bir jeotermal bölgenin genel jeoljik görünümü (GEDİZ GRABENİ)

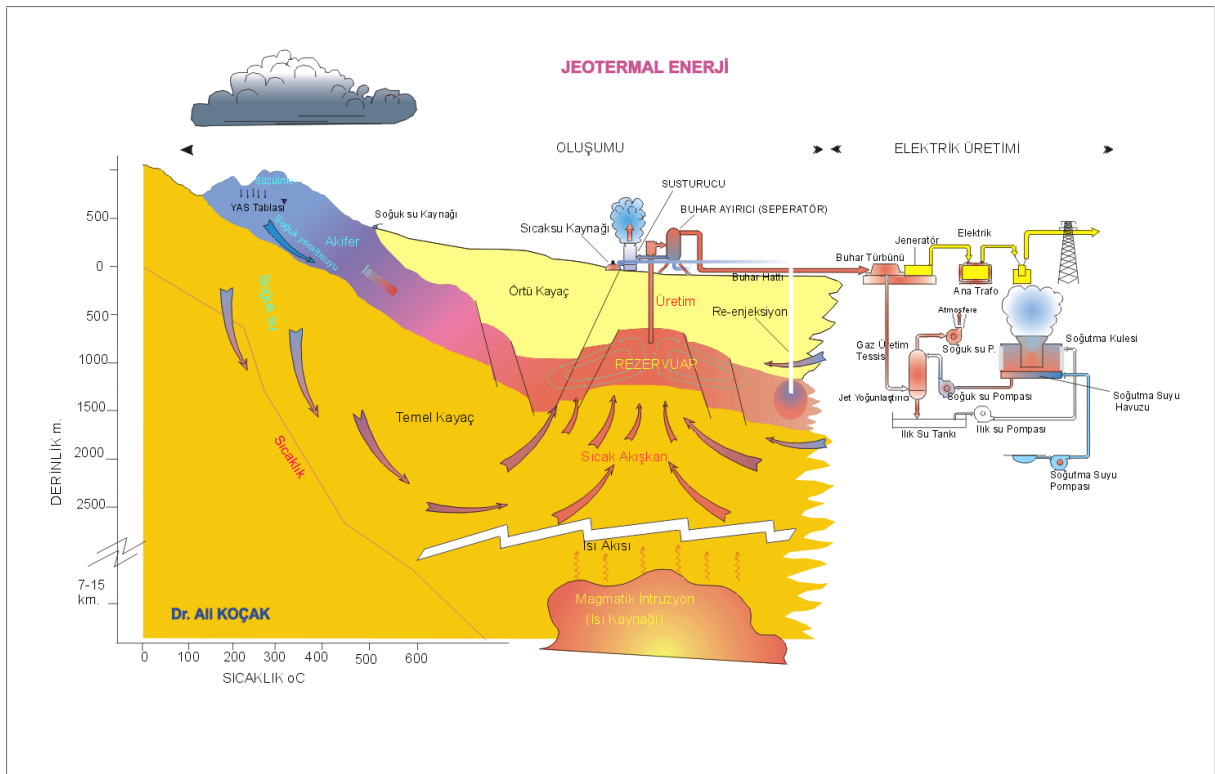


Şekil:25- Türkiye'nin neotektoniği-volkanik etkinliği ve önemli jeotermal alanları

Tarihi dönemlerde jeotermal kaynaklardan yararlanma yöntemi: yiyecek pişirme



Tarihte jeotermal enerjiden elektrik üreten ilk santral; tek ampul



Andezitik - dasitik bileşimli tipik bir aktif adayayı volkanizması ile ilgili muhtemel hidrotermal-jeotermal sistemin genel şeması (Henley ve Ellisten – 1983revize edilmiştir).

Dünyada ve Türkiye’de Jeotermal Kaynaklar

- Genel Dağılımı, Farklı Özellikleri, Kullanım Tarzları
- **Isı ve Yeryuvarında Isı,**
- Kökeni, Dağılımı, Akısı, Anomalileri, Türkiye Yerkabuğunda Isı Akısı Dağılımı

DOĞAL MİNERALLİ SU

- **Yasadaki Tanım:** Yerkabuğunun farklı derinliklerinde, uygun jeolojik şartlarda doğal olarak oluşan bir veya daha fazla kaynaktan yeryüzüne kendiliğinden çıkan yada çıkartıla, mineral içeriği ve diğer bileşenleri ile tanımlanan; tedavi, şifa amaçlarıyla da kullanılan içmece suyu, şifalı su ve benzeri adlarla anılan soğuk ve sıcak doğal suları ifade eder.
- **Bilimsel Tanım:** Jeolojik koşullarda doğal olarak oluşan, içerisinde doğal yolla çözünmüş iyonlar ve gazlar bulunan bir kaynak ve/veya kaynaklar grubundan yeryüzüne kendiliğinden çıkan yada çıkartılan, soğuk ve sıcak sular şeklinde tanımlanabilir.
- **Sağlık Amaçlı Tanım:** Jeolojik koşullarda doğal olarak oluşan, içerisinde doğal yolla çözünmüş iyonlar ve bu iyonlardan insan sağlığına zararlı olanların uzmanlarca belirlenen üst sınırların altında, yararlı olanların ise yine uzmanlarca belirlenmiş aralıkta bulunan bir kaynak ve/veya kaynaklar grubundan yeryüzüne kendiliğinden çıkan yada çıkartılan, soğuk ve sıcak doğal suları ifade eder.
- Aslında bu tür sulara iyonlar içeren su veya çözünmüş maddeler içeren sular denmesi gerekir, çünkü içerdiği şey mineral veya maden değil çözünmüş maddelerin iyon halidir. Ancak halk arasında ve ticari anlamda bu ifadeyi yerleştirmek mümkün olmayabilir.

DOĞAL MİNERALLİ SULARIN OLUŞUMU

- Yukarıda tanımlaması yapıldığı gibi jeolojik ortamlarda oluşurlar.
- Ancak özgün olarak jeotermal sistemlerin bulunduğu yerlerde jeotermal kaynakların türevi olarak,
- Volkanik alanlarda aktivitelerin son aşaması olan gaz çıkışlarının, sığ yer altı suları içerisinde çözünmesi ile kayalardan daha fazla iyon çözerek
- Magmanın bölgesel anlamda sığ olduğu ve kırık zonlarının aktif olduğu bölgelerde magma zonundan yükselen kimyasal parametrelerin yer altı suyunda çözünmesi ile, ve

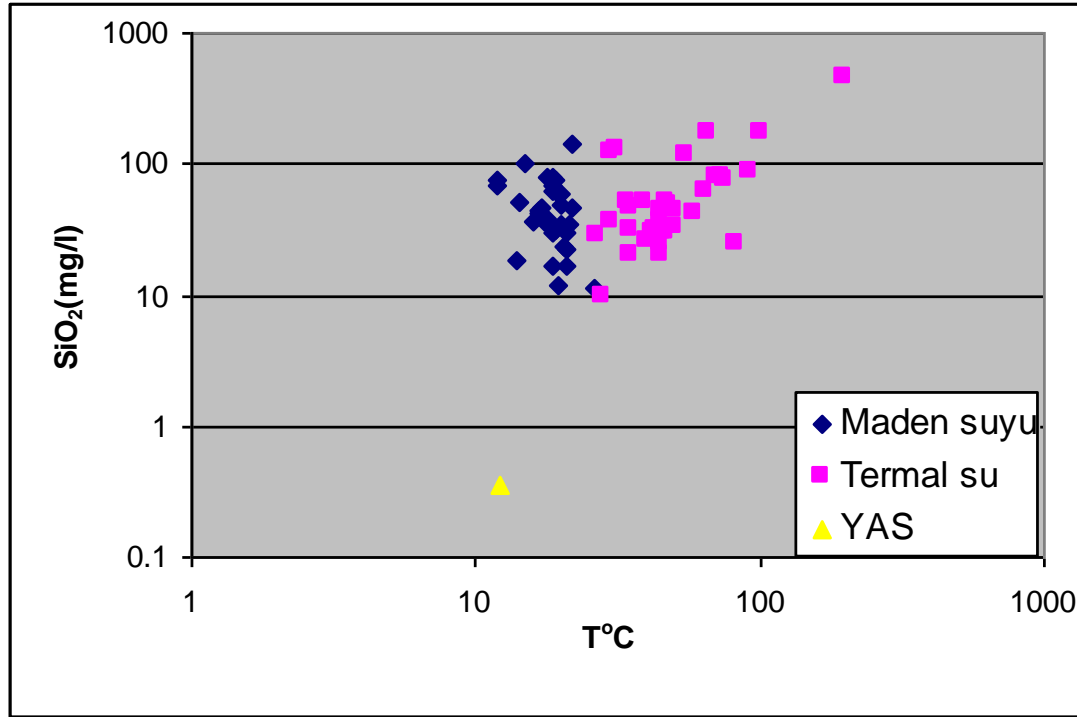
- Herhangi bir jeolojik ortamda organik çürümelerle ortaya çıkan gazların yer altı sularında çözünmesi, dolayısı ile bulunduğu ortamdan daha fazla iyon çözmesi ile de mineralli sular oluşabilir.
- Ancak bunların sağlık ve içme amaçlı kullanılabilmesi için, akışkanın sağlığa zararlı toksik elementler ve zararlı bakterilerden arındırılmış veya Sağlık Bakanlığı'nın belirlediği sınırlar içerisinde ve kokusuz, berrak olması gerekir

JEOTERMAL AKIŞKANIN TÜREVİ OLARAK

- Jeotermal akışkanların kondaktif soğuması
- Jeotermal akışkanların yüzeye çıkışları sırasında sığ yer altı suları ile karışması
- Ve herikisinin birden oluşması ile oluşur

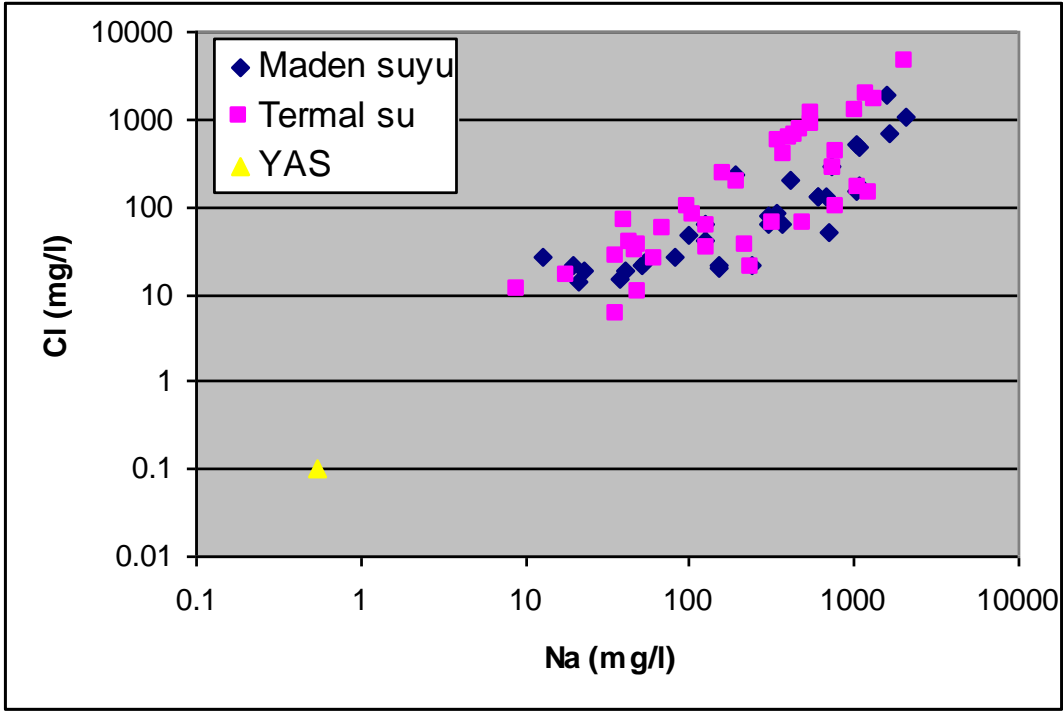
Termal-Doğal mineralli su ve YAS karşılaştırması

İç Anadolu Bölgesi jeotermal akışkanları ile yine İç Anadolu Bölgesi mineralli sularının karşılaştırmalı grafikleri.



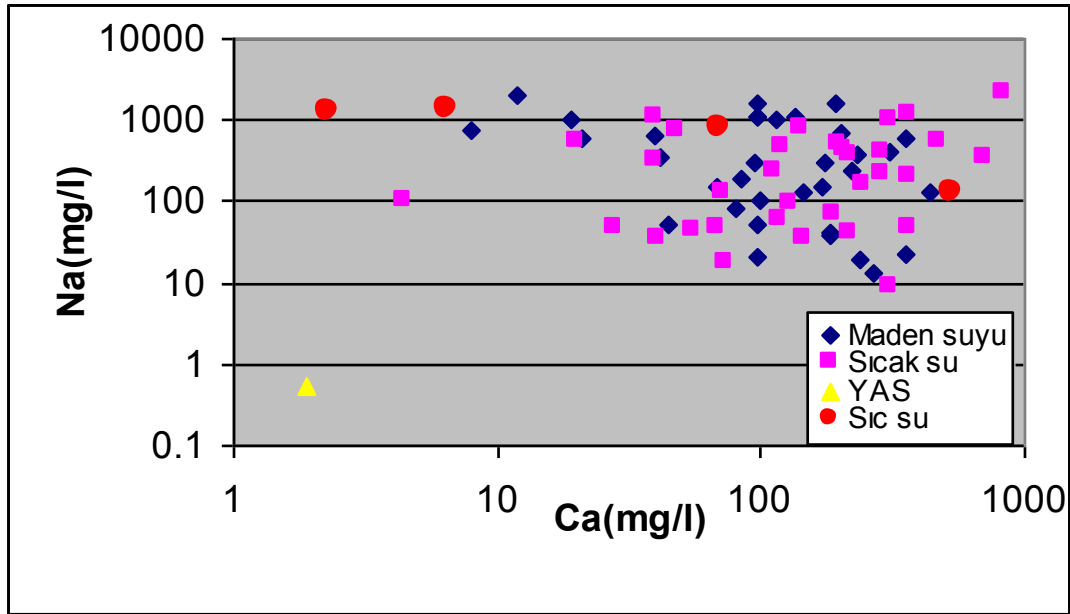
Şekil:26-SiO₂ - T°C karşılaştırması.

Maden suları olarak adlandırılan mineralli sular jeotermal akışkanlardakine yakın oranda SiO₂ içermektedir. Sadece sıcaklık değeri düşüktür ve her iki grupta kendi orijinleri olan yeraltı suyuna doğru yönelmiştir.



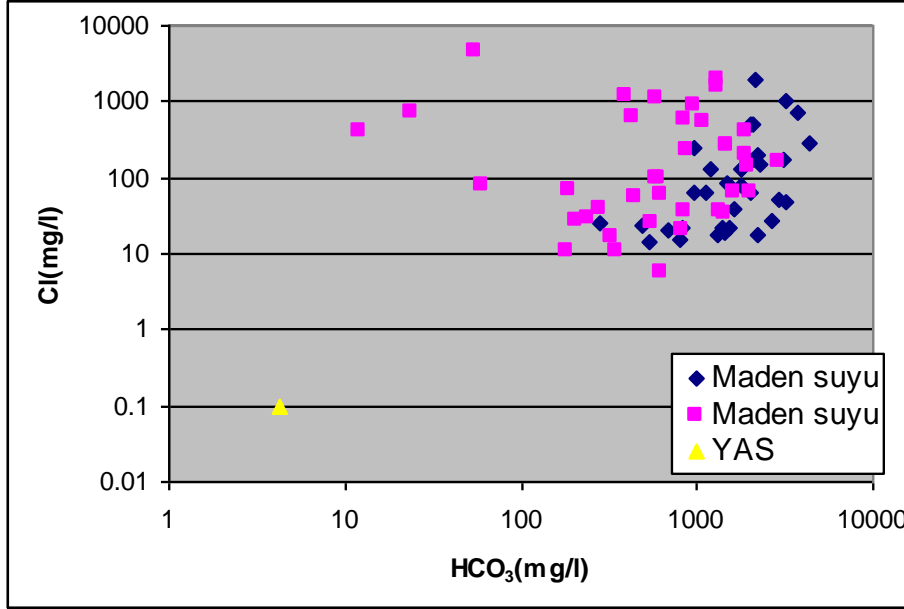
Şekil:27-Cl - Na karşılaştırması.

Heriki grup akışkan hemen hemen aynı oranlarda Na ve Cl içermekteler ancak mineralli suyun sıcaklıkları düşük(yukarıdaki örnek) olup buda mineralli suların elementlerini miktarlarını büyük ölçüde muhafaza ederek kondaktif soğumaya uğradıklarını anlatır. Bu diyagramda yeraltı suyuna yönelim daha bariz gözükmektedir.



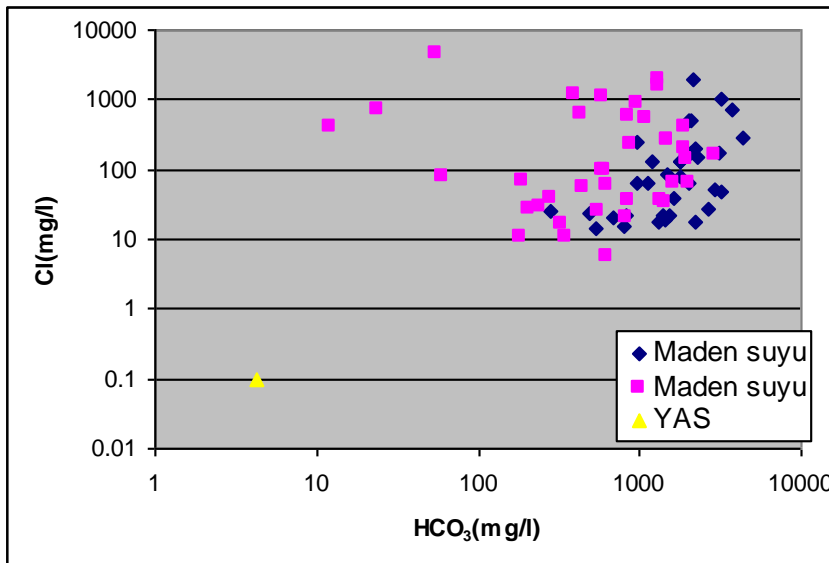
Şekil:27-Ca - Na karşılaştırması.

Bu diyagramda (Şek.:27) daha karmaşık bir görünüm ortaya çıkmaktadır. Yuvarlak kırmızı noktalar elektrik üretecek sıcaklığa sahip akışan noktalarıdır. Görüntü çok az da olsa negatif korelasyon izlenimi vermektedir ve buda sıcaklık arttıkça daha fazla çözünen Na ile sıcaklık artık çözünürlüğü azalan Ca un korelasyonu için normal bir durumdur.



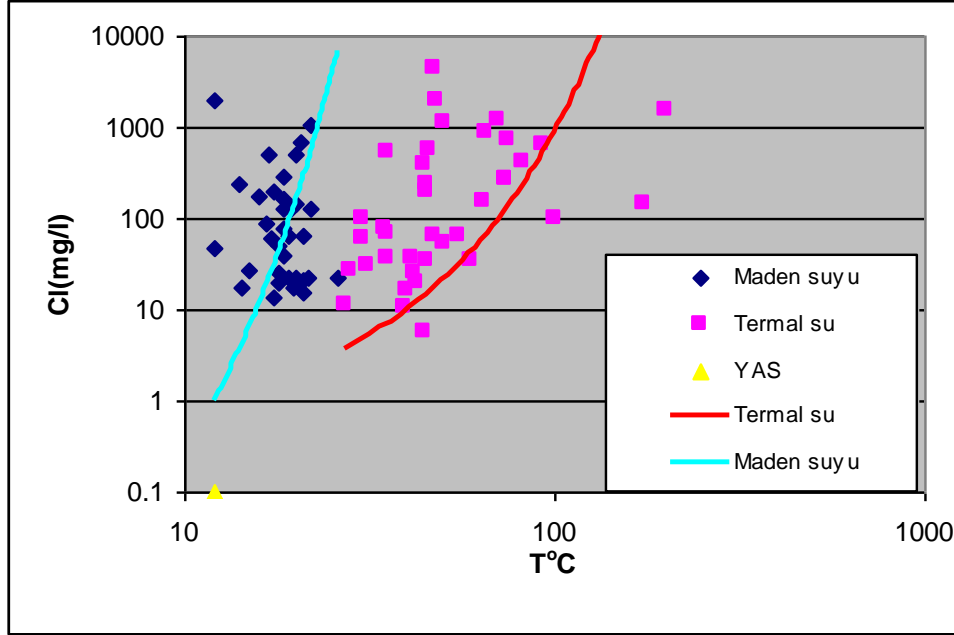
Şekil:27-Ca - Na karşılaştırması.

Bu diyagramda daha karmaşık bir görünüm ortaya çıkmaktadır. Yuvarlak kırmızı noktalar elektrik üretecek sıcaklığa sahip akışan noktalarıdır. Görüntü çok az da olsa negatif korelasyon izlenimi vermektedir ve buda sıcaklık arttıkça daha fazla çözünen Na ile sıcaklık artık çözünürlüğü azalan Ca un korelasyonu için normal bir durumdur.



Şekil:28- Cl – HCO₃ karşılaştırması.

Bu diyagram bir küme oluşturmaya rağmen dikkatli bakılırsa, birkaç sıcak akışkan (elektrik üretmek için kullanılan) hariç birbirine yakın ancak mineralli sulara bir miktar daha fazla HCO_3 içeriği görülebilmektedir.

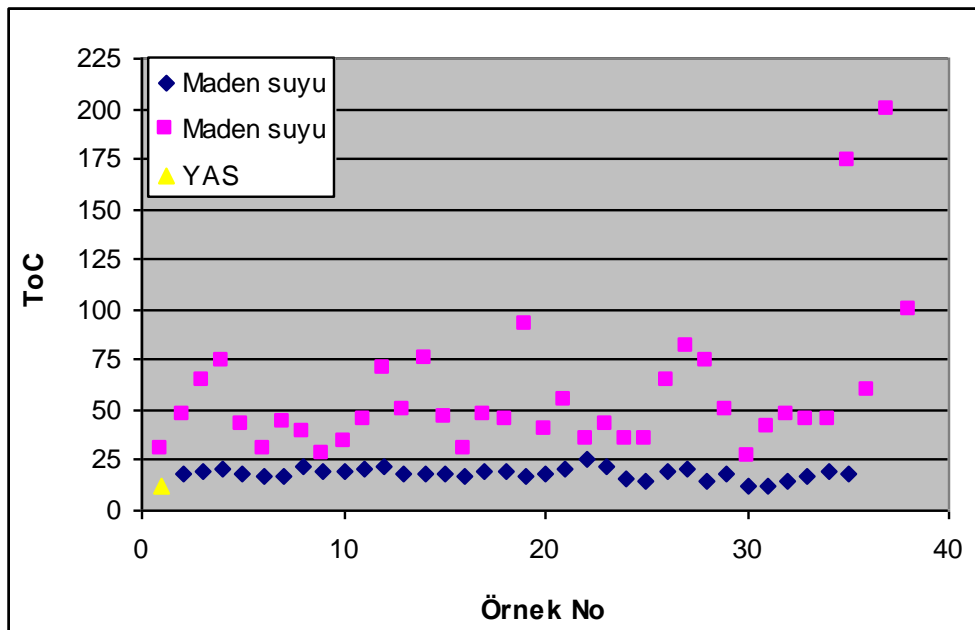


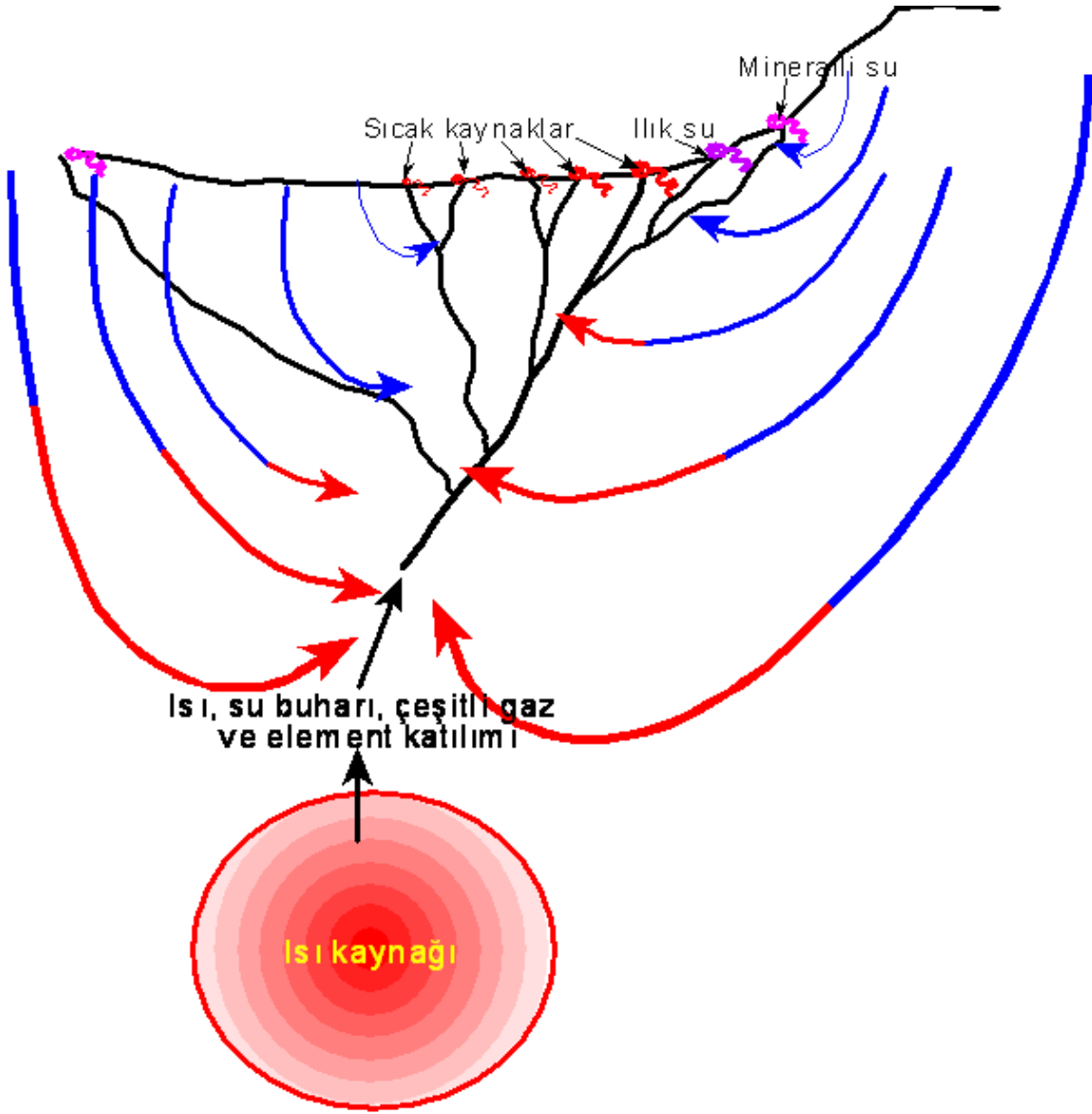
Şekil:29- Cl – sıcaklık karşılaştırması.

Aynı kaynak gruplarının bu diyagramında iaki grup arasındaki sıcaklık farkı daha açık bir şekilde görülebilmektedir ve her ikisinin de yönelimi yine yeraltısuyuna doğrudur

Şekil:29- Akışkan örneklerinin sıcaklık karşılaştırması.

Mineralli suların sıcaklıkları maksimumu 25 °C'ye ulaşabilirken, sıcak sularınki 25 °C'den başlayıp 200 °C'ye kadar çıkabilmektedir





Şekil – 30: Jeotermal akışkan türevli minerali su oluşumu basit şematik görünümü