

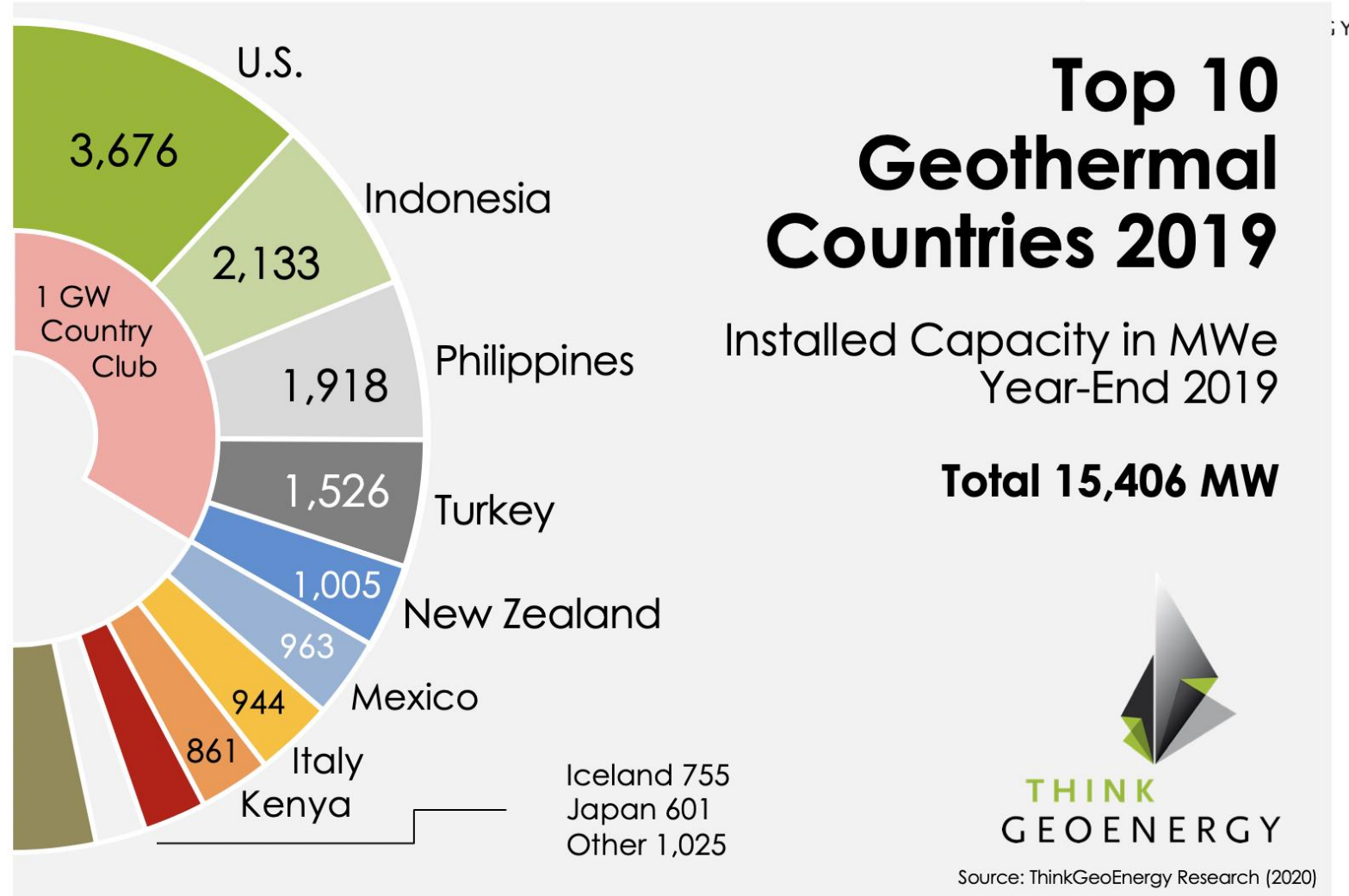
JEOTERMAL SİSTEMLER

Jeotermal, İngilizcede “yer” anlamına gelen “geo” ve “ısı” anlamına gelen “thermal” kelimelerinin bir araya gelmesiyle ortaya çıkan bir terimdir. **Jeotermal’in** Türkçedeki karşılığı yer ısı/yer enerjisi olarak ifade edilebilir. Bilimsel anlamda ise, yeraltındaki kayalar içinde birikmiş olan ısı enerjisinin akışkanlarca taşınarak rezervuarlarda depolanması ile oluşmuş sıcak su, buhar ve kuru buhara jeotermal kaynak denilir.

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısıya karşılık gelen sıcaklığın yerel atmosferik ortalama sıcaklığının üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş iyon, çeşitli tuzlar ve gaz içerebilen basınç altındaki sıcak su ve buhar (akışkan) yolu ile yüzeye taşınan ısı olarak tanımlanır. Bu enerji, genellikle yer içinden yer yüzüne kadar uzanan çatlak ve kırıkların oluşturduğu zayıf zonları kullanarak yüzeye ulaşan sulardan veya bu amaç için açılan kuyulardan elde edilir.

Jeotermal enerjinin kaynağı su, buhar, sıcak kayalar ve yeryüzüne yakın katmanlardaki magma olarak görülebilir. Isı kaynağının aşırı derecede ısıttığı akışkan, normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içermektedir. Jeotermal enerji, fosil yakıtlara alternatif enerji kaynakları arasında en önemlisi durumundadır. Jeotermal enerji sistemlerinin en önemli elemanlarından biri “**jeotermal akışkandır**”. Yer içindeki ısı, farklı iletim yolları ile (konvektif, kondaktif vb.) kayalar içinde hapsolmuş veya dolaşan akışkanları (sıvı ve gazlar) ısıtır. Bu ısınmış sıvı ya da gazların tümüne jeotermal akışkan denir.

Jeotermal enerji üreten başlıca ülkeler

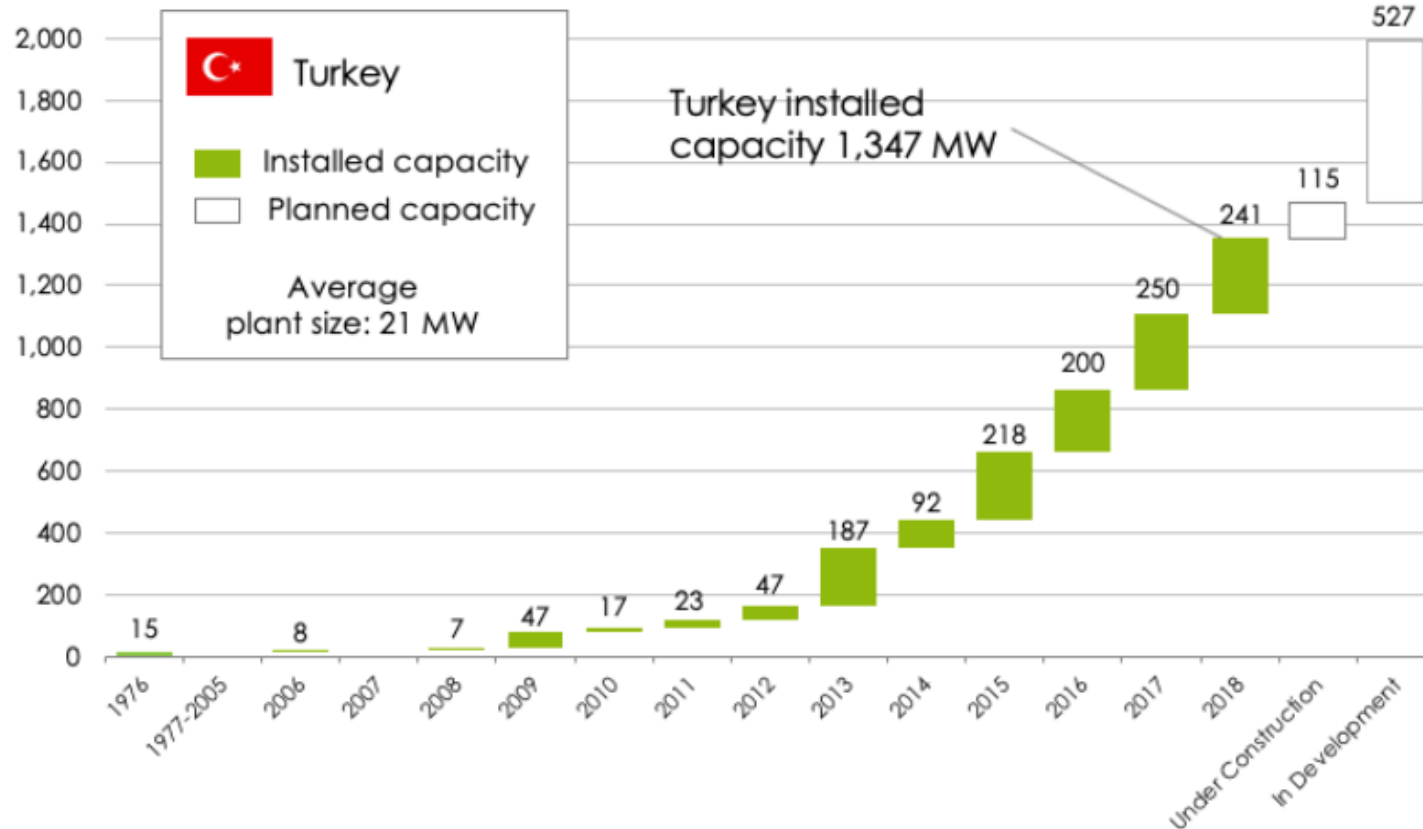


Türkiye'deki jeotermal kaynaklı enerji üretiminin yıllar itibariyle gelişimi

GEOTHERMAL DEVELOPMENT - TURKEY

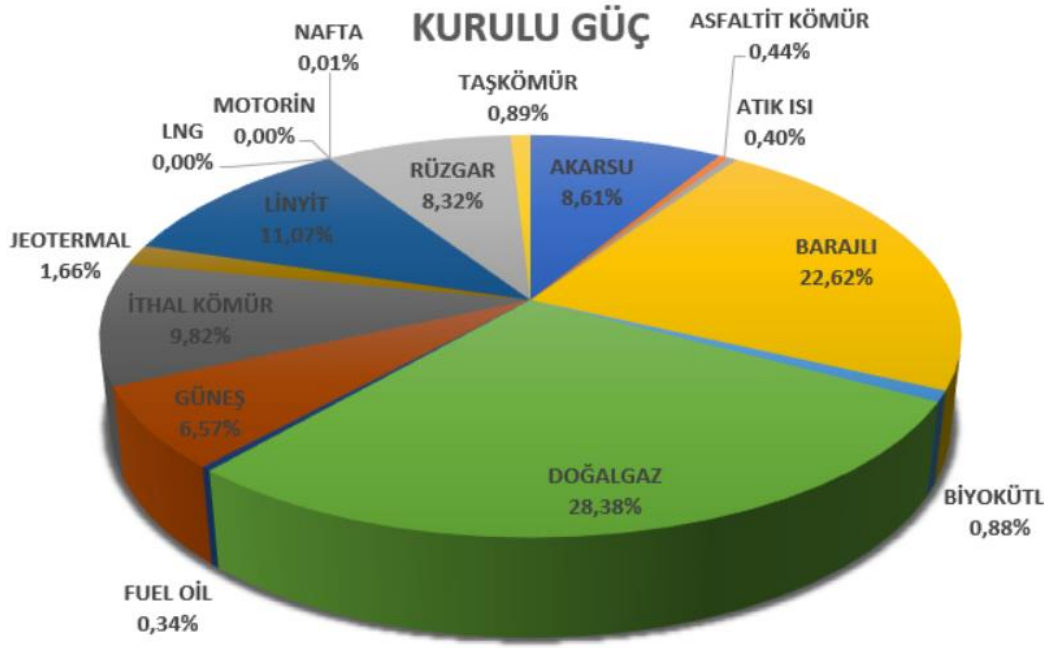
POWER GENERATION CAPACITY ADDITIONS BY YEAR (MW) + PLANNED

STATUS – January 2019



Source: JESDER (2019), TGE Research (2019)

TÜRKİYE'DE ELEKTRİK ÜRETİMİ



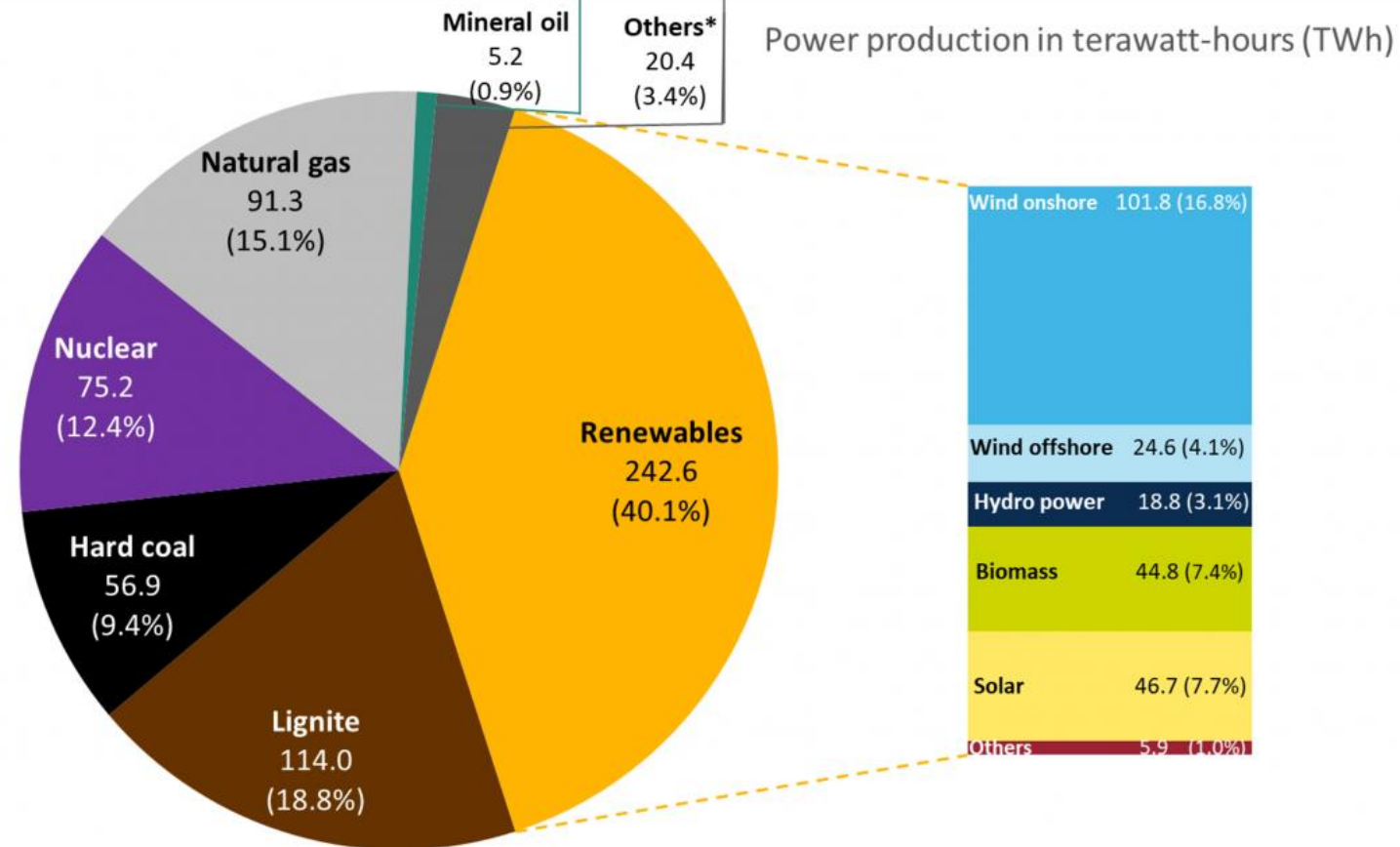
BİRİNCİL KAYNAKLARA GÖRE 2019 ARALIK SONU SANTRAL ADETLERİ VE KURULU GÜÇ			
BİRİNCİL KAYNAK	SANTRAL ADETİ	KURULU GÜÇ (MW)	ORAN
AKARSU	558	7.860,5	8,61%
ASFALTİT KÖMÜR	1	405,0	0,44%
ATIK ISI	82	361,8	0,40%
BARAJLI	124	20.642,5	22,62%
BİYOKÜTLE	181	801,6	0,88%
DOĞALGAZ	332	25.902,3	28,38%
FUEL OİL	11	305,9	0,34%
GÜNEŞ	6.901	5.995,2	6,57%
İTHAL KÖMÜR	15	8.966,9	9,82%
JEOTERMAL	54	1.514,7	1,66%
LİNYİT	48	10.101,0	11,07%
LNG	1	2,0	0,00%
MOTORİN	1	1,0	0,00%
NAFTA	1	4,7	0,01%
RÜZGAR	275	7.591,2	8,32%
TAŞKÖMÜR	4	810,8	0,89%
TOPLAM	8.589	91.267,1	

Tablo 1. 2019 yılı kaynak bazlı kurulu güç

ALMANYA'DA ELEKTRİK ÜRETİMİ

Share of energy sources in gross German power production in 2019.

Data: AG Energiebilanzen 2019, preliminary.

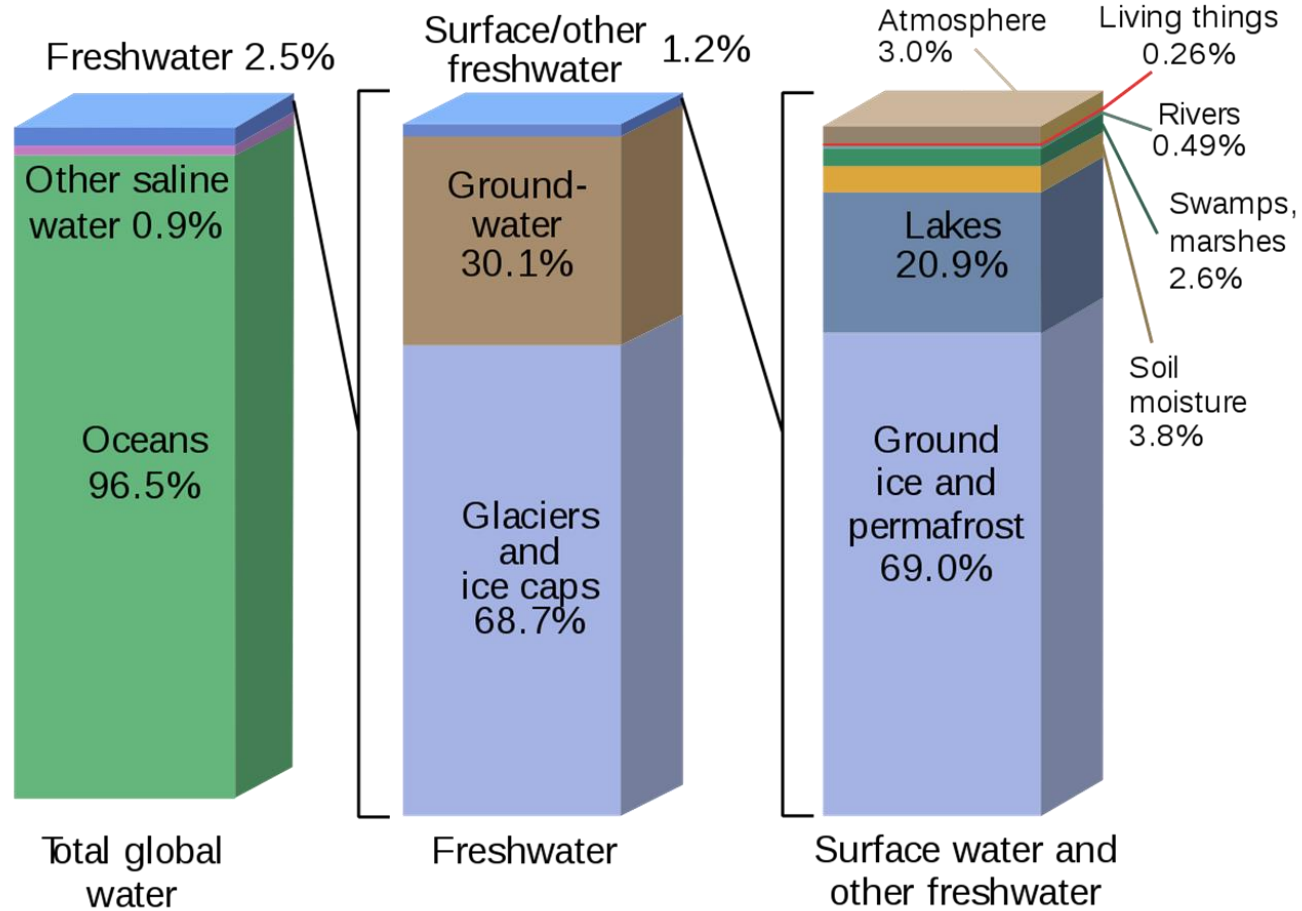


*Without power generation from pumped storage

Note: Government renewables targets are in relation to total power consumption (569 TWh in 2019), not production. Renewables share in gross German power consumption 2019 (without pumped storage): 42.6%.

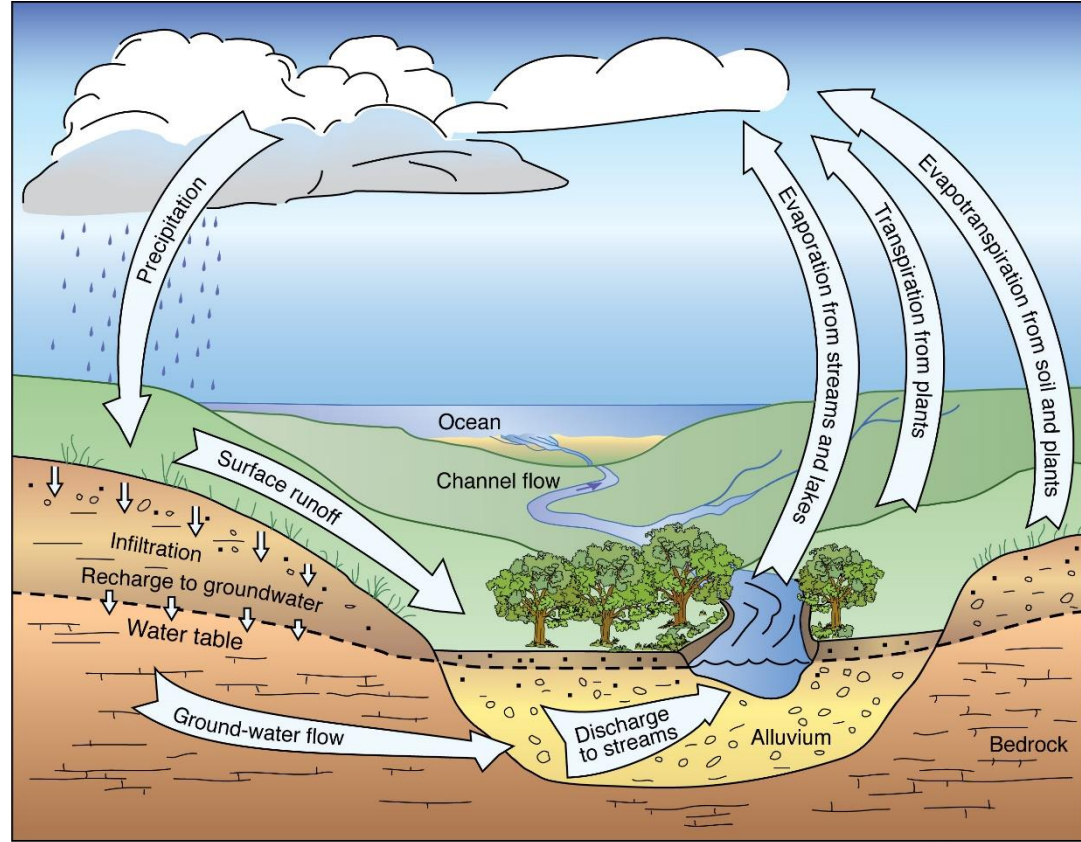
YERYÜZÜNDEKİ SU NEREDE VE NE KADAR?

Yapılan hesaplamalar yeryüzünde yaklaşık 1.35×10^8 metrik ton su bulunduğunu göstermektedir. Bu miktarın yaklaşık %96.5'si okyanus suyu, %0.9'u karalar üzerinde tuzlu su ve geri kalan %1 kadarı da tatlı su olarak bulunur. Canlıların ihtiyacı olan tatlı suyun büyük bir kısmı (~%68.7) buzullar ve buzul örtüleri, %30 kadarı yeraltı suyu ve %1.2'si ise yüzey suyu şeklindedir.



YERKÜREDEKİ SU TIPLERİ

Meteorik su: Yağış kaynaklı sudur (yağmur veya kar). Meteorik su, dolaylı olarak yağıştan beslenen göller, nehirler ve buzullardan eriyen suları kapsar. Yağmur veya buzul sularının büyük bir kısmı akarsular vasıtasıyla denizlere ulaşsa da, meteorik suyun bir bölümü yeraltına süzülür. Sızan bu sular yeraltında doymun zona ulaşarak akiferlerdeki yeraltı suyunu oluştururlar.

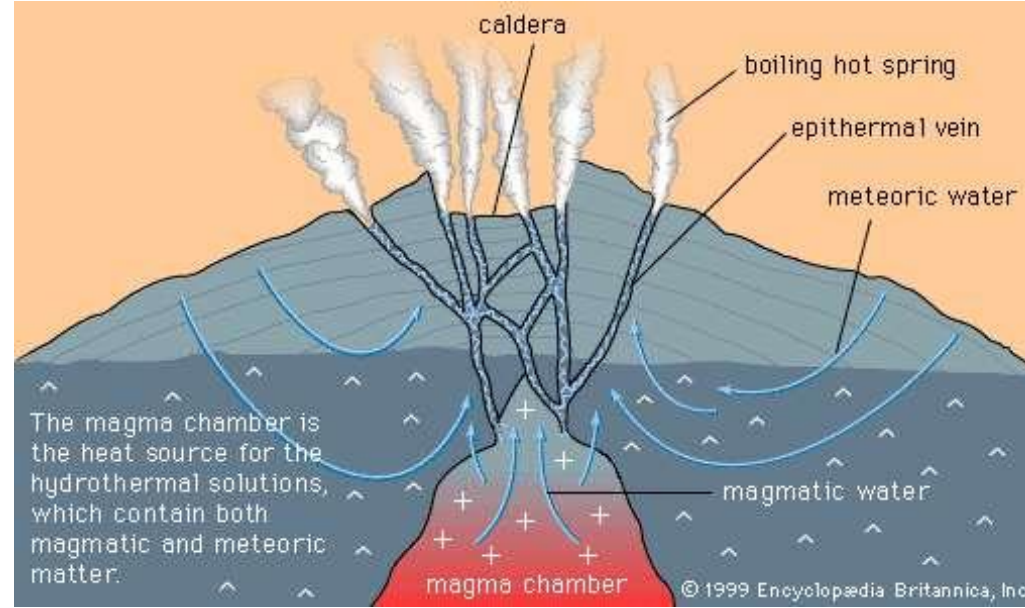


THE HYDROLOGIC CYCLE

Whittemore and Schoneweis

YERKÜREDEKİ SU TIPLERİ

Magmatik veya jüvenil su: magma içinde magma ile denge halinde olan su, veya magmadan türeyen uçucu bakımından zengin akışkanlar. Magmatik su, volkanik püskürme sırasında atmosfere karışır. Magmatik su, magmatik kristalleşmenin veya katılaşmanın son safhalarında hidrotermal akışkanlar şeklinde de açığa çıkabilir. Katılaşmış magmatik kayaç bünyesindeki magmatik suyun bir bölümü hidroksil içeren amfibol ve mika minerallerinde bulunur. Magmatik suyun asıl kaynağı, dalma-batma sırasında eriyen kayalardaki su ve hidroksil grubu mineraller ile mantonun derin kısımlarından kabuğa aktarılan primer (ilksel) sudur.

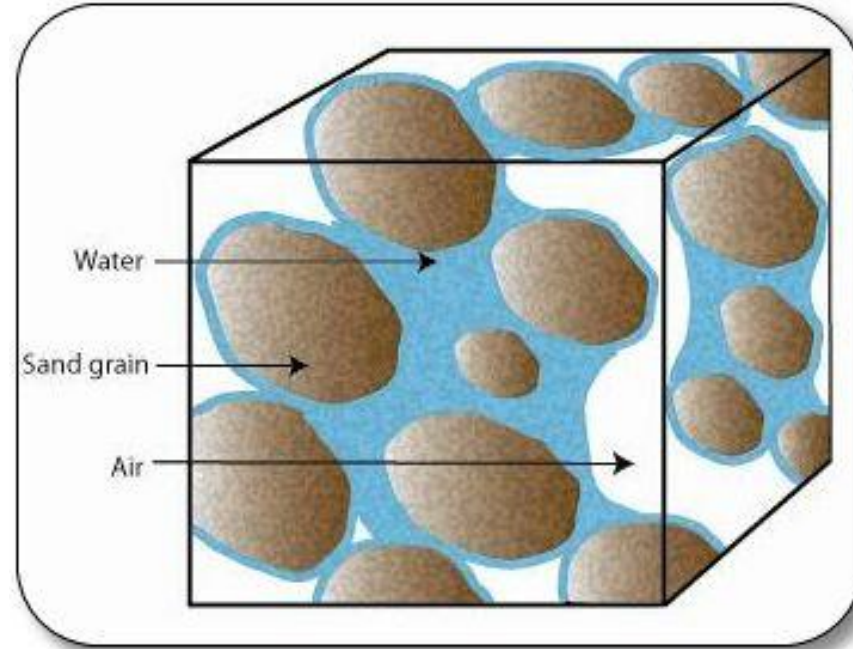


Fosil su (paleo su): binlerce veya on binlerce yıldır örselenmemiş bir ortamda bulunan eski su kütlesi. Bir akifer (rezervuar) içindeki yeraltı suyu veya Antarktika'daki Vostok gölü gibi buzulaltı göllerdeki sular da bu kapsamdadır.

YERKÜREDEKİ SU TIPLERİ

Metamorfik su: Pekişme sırasında kayaçlar bünyelerindeki yüksek-Cl içerikli suyu kaybederler, bununla birlikte artan metamorfizma ile %1-5 arasında bir miktarda su kaybedilir. Kayaçlardan atılan bu su metamorfik su olarak bilinir. Artan basınç ve geçirgenlik ile birlikte metamorfik su yüzeye doğru hareket eder ve meteorik ve fosil sularla karışır.

Gözenek (connate) suyu: Sedimanter kayaçların çökelmeleri sırasında gözeneklerinde tutulan sulara gözenek suyu denir. Büyük ölçüde sudan meydana gelen bu akışkanlar çözeltide iyon şeklinde mineral bileşenleri de içerir.



Jeotermal sistem

Jeotermal sistem, yeraltındaki hidrojeolojik düzeni bütün unsurları ile (beslenme alanı, yeryüzüne çıkış noktaları ve yeraltındaki kısımları gibi) tanımlar. Isının bir ısı kaynağından bir akışkan vasıtasıyla yeryüzüne aktarıldığı yer kabuğundaki belirli bir hacim içindeki doğal ısı transfer mekanizmaları ile ilgilidir.

Bir jeotermal sistemin çok sayıda önemli bileşeni vardır:

1. Isı kaynağı: jeotermal sistemi ısıtan kaynak.

jeotermal gradyan: Yer sıcaklığının derinlikle artma hızına Jeotermal Gradyan (Geothermal gradient) denir. Normal yer kabuğu şartlarında her 33 m'de sıcaklık 1°C artar. Yer kabuğunun kalın olduğu bölgelerde (sıkışma-orojenez) jeotermal gradyan düşük, açılma rejiminin görüldüğü yerlerde (graben havzaları) ise yüksektir.

Magmatik aktivite: Yeraltında soğumakta olan bir magma (yüzeyde volkanik eşleniği olması şart değil). Magmanın yeraltında soğuması birkaç on bin yıl ile birkaç milyon yıl arasında gerçekleşir. Yüksek sıcaklık mineralleri daha erken soğurken magma kristalleşmesinin son safhalarında oluşanlar ise düşük sıcaklıkta soğurlar. Aradaki sıcaklık farkı yaklaşık 300°C olabilir. Örneğin, hornblent (önce) ve K-feldispat (sonra) mineralleri arasındaki soğuma zaman farkı 5-8 milyon yıl arasındadır.

2. Akışkanın yeraltında depolanmasına elverişli kayaç (rezervuar): Isınan akışkanın depolanması/birikmesi için yeterli geçirgenliğe sahip kayaç (taneli kayaçlar, sedimanter, magmatik veya metamorfik olabilir)

3. Örtü kayaç (cap rock): yeraltındaki ısının (rezervuar kayaçta tutulan) yalıtımını sağlamak üzere rezervuar kayacın üzerindeki geçirimsiz birimlerden oluşan litoloji.

4. Akışkan: yeraltında depolanan ısının yüzeye ulaşmasını sağlayan sıvı veya buhar (gaz) veya bu ikisinin karışımından oluşan likit.

Jeotermal alanlarda sıcak kayaç ve yüksek yeraltısuyu sıcaklığı normal alanlara göre daha sığ seviyelerden elde edilir. Bunun başlıca nedenleri:

- Magmanın kabuğa doğru yükselmesi ve dolayısıyla ısı taşınması
- Kabuğun ince olduğu bölgelerde yüksek sıcaklık farkı sonucunda oluşan ısı akışı (Termodinamiğin 2. kanunu)

Jeotermal Saha: Yeryüzünde bir jeotermal etkinliği gösteren coğrafik bir tanımdır. Eğer yeryüzünde herhangi bir doğal jeotermal çıkış (sıcak su kaynağı) yoksa, yeraltındaki jeotermal rezervuarın üstündeki alanı tanımlamakta kullanılır.

Jeotermal Rezervuar: İşletilmekte olan jeotermal sistemin sıcak ve geçirgen kısmını tanımlar.

Jeotermal sistemler ve rezervuarlar; rezervuar sıcaklığı, akışkan entalpisi, fiziksel durumu, doğası ve jeolojik yerleşimi gibi özelliklerine göre sınıflandırılır. Örneğin jeotermal rezervuarda 1 km derinlikteki sıcaklığa bağlı olarak sistemleri iki gruba ayırmak olasıdır.

a) **Düşük sıcaklıklı sistemler** (rezervuar sıcaklığı $<150^{\circ}\text{C}$). Bu tür sistemler genelde yeryüzüne ulaşmış doğal sıcak su veya kaynar çıkışlar gösterirler.

b) **Yüksek sıcaklıklı sistemler** (rezervuar sıcaklığı $>200^{\circ}\text{C}$). Bu tür sistemler ise doğal buhar çıkışları (fumeroller), kaynayan çamur göletleri ile karakteristiktir.

Jeotermal sistemlerin fiziksel durumlarına bağlı olarak sınıflandırılmaları durumunda, üç farklı rezervuar durumu söz konusudur.

Sıvının etkin olduğu jeotermal rezervuarlar

Rezervuardaki basınç koşullarında su sıcaklığının buharlaşma (kaynama) sıcaklığından düşük olduğu rezervuarları tanımlamakta kullanılır. Bu tür rezervuarda basınç sıvı su tarafından kontrol edilir.

Buharın etkin olduğu jeotermal rezervuarlar

Bu tür rezervuarlarda, rezervuar basıncındaki akışkan sıcaklığı suyun buhar basıncı sıcaklığından yüksektir. Rezervuar basıncı su buharı tarafından kontrol edilir.

İki fazlı jeotermal rezervuarlar:

Rezervuarda sıvı su ve su buharı birlikte bulunur ve rezervuar basıncı ve sıcaklığı suyun buhar basıncı eğrisini izler.

Bir jeotermal rezervuarın fiziksel durumu ve kimyasal özellikleri zamana bağlı olarak değişiklik gösterebileceği gibi aynı rezervuar içerisinde de bir noktadan diğerine farklılıklar gösterebilir. Örneğin sıvının etken olduğu bir rezervuar, üretim sonucu oluşan basınç düşümünden dolayı, zamanla iki fazlı bir jeotermal akışkan durumuna dönüşebilir. Jeotermal enerji, hava kirliliği yaratmayan ve dikkatli kullanıldığında çevre sorunlarını en aza indirmeye özelliği olan bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji kaynağının sürdürülebilir projelerde kullanılması amaçlanmalıdır. Projelerin sürdürülebilir olması için jeotermal sistemlerin ve rezervuarların iyi bilinmesi ve var olan yeraltı özelliklerinin projelerin avantajına olacak şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Jeotermal Su Tiplerinin Sınıflandırılması

Su içinde çözünmüş iyonların toplam miktarına göre:

Tatlı sular	0 – 1000 mg/l
Hafif tuzlu sular	1000 – 10,000 mg/l
Tuzlu sular	10,000 – 100,000 mg/l
Çok tuzlu sular (Salamura)	> 100,000 mg/l