



Temiz Enerji Günleri
İTÜ Elektrik Mühendisliği Kulübü
6-7 Mart 2013

Türkiye'de Jeotermal Enerji ve Potansiyeli

Abdurrahman SATMAN
İTÜ Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü
İTÜ Enerji Enstitüsü Konvansiyonel ABD

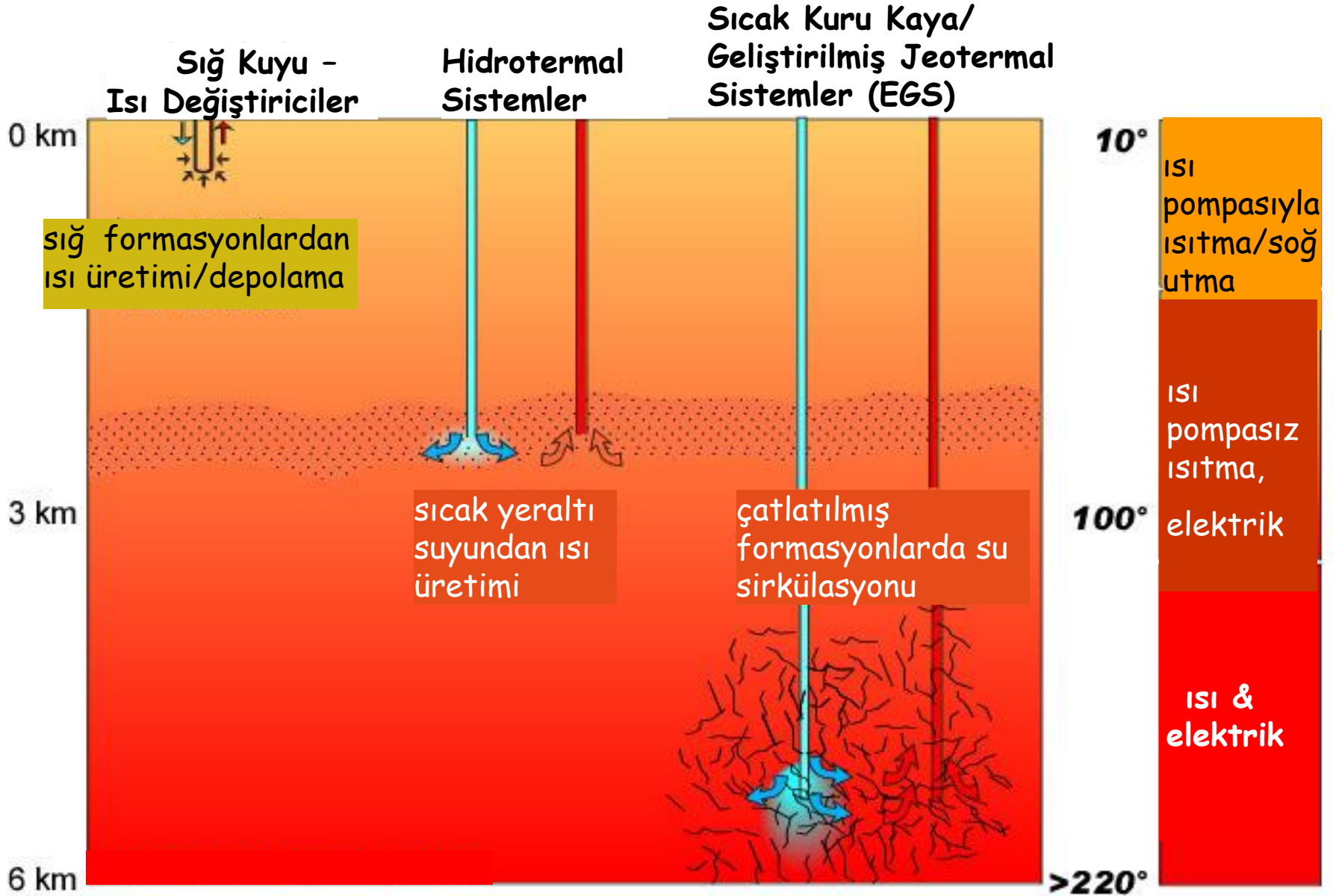
İÇERİK

- Jeotermal Enerji
- Dünya'da ve Türkiye'de Kullanımı
- Türkiye'de Jeotermal Potansiyel
- Jeotermal Enerjinin Geleceği

Jeotermal Enerji

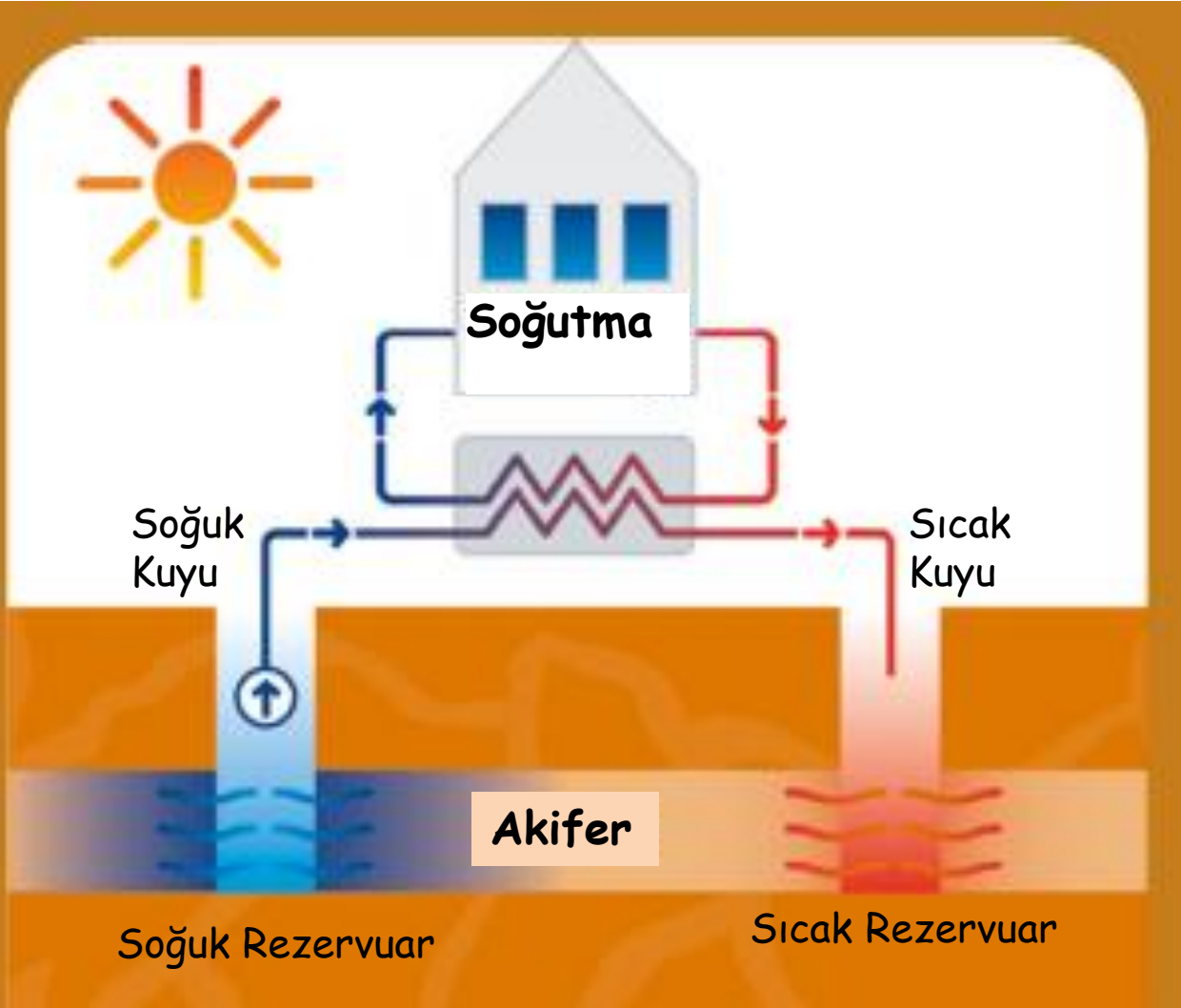
- Yerküre içindeki kayaç, sıvı su ve buharda tutulan ve yeryüzüne doğru doğal ısı akışı şeklindeki enerjidir. Isı, yeraltındaki tektonik hareketler sonucu ve yerküre içindeki uranyum, toryum ve potasyumun radyoaktif izotoplarının bozunması sonucu üretilir.
- Kullanım Alanları:
 - Doğrudan Kullanım: Konut ve bölgelerin ısıtılmasında ve soğutulmasında, sıcak su temininde (banyo-havuz kullanımı-sağlık turizmi), seracılıkta, CO₂ üretiminde,...
 - Dolaylı Kullanım: Elektrik üretiminde.

Jeotermal Isı Üretim Yöntemleri



Siğ Formasyonlardan Isı Üretimi/Depolama

Akiferde Isıl Enerji Depolama* Sistemleri (Bina Isıtma&Soğutma)



* Mevsimsel enerji depolaması

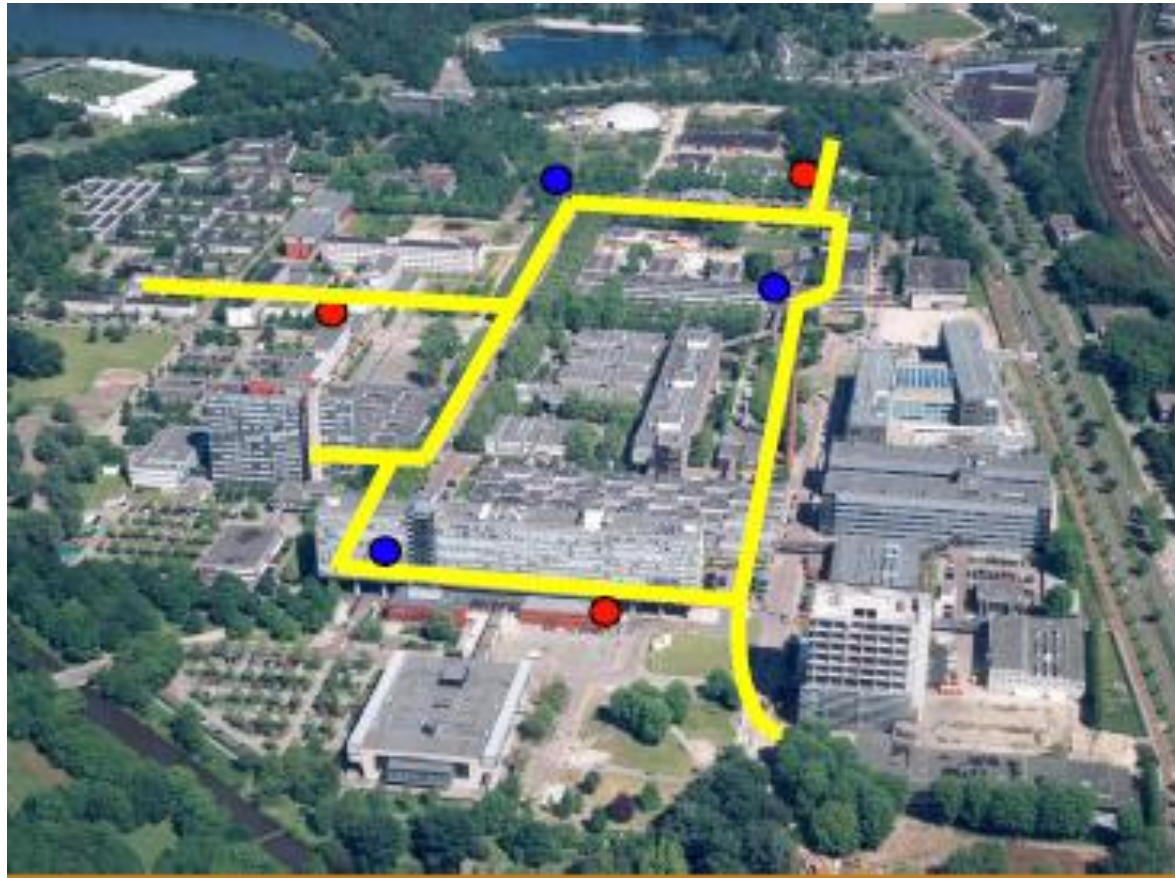
* Yeraltı suyu aynı zamanda üretilir ve enjekte edilir

* Derinlik:40-300m

* ATES: Aquifer Thermal Energy System

Siğ Formasyonlardan Isı Üretimi/Depolama

Akiferde Isıl Enerji Depolama Sistemi Uygulaması Technical University Eindhoven (Hollanda)



- * 350 000 m²; 30 MW soğutma
- * 32 kuyu (16 soğuk, 16 sıcak)
- * Toplam debi: 2 000 m³/st
(125 m³/st-kuyu)
- * Sıcak kuyularda enjeksiyon sıcaklığı: 15-22 °C
- * Soğuk kuyularda enjeksiyon sıcaklığı: 4-8 °C
- * Sonuç: Enerji tüketiminde %59 tasarruf

Hidrotermal (Jeotermal) Sistemler

Jeotermal Rezervuar



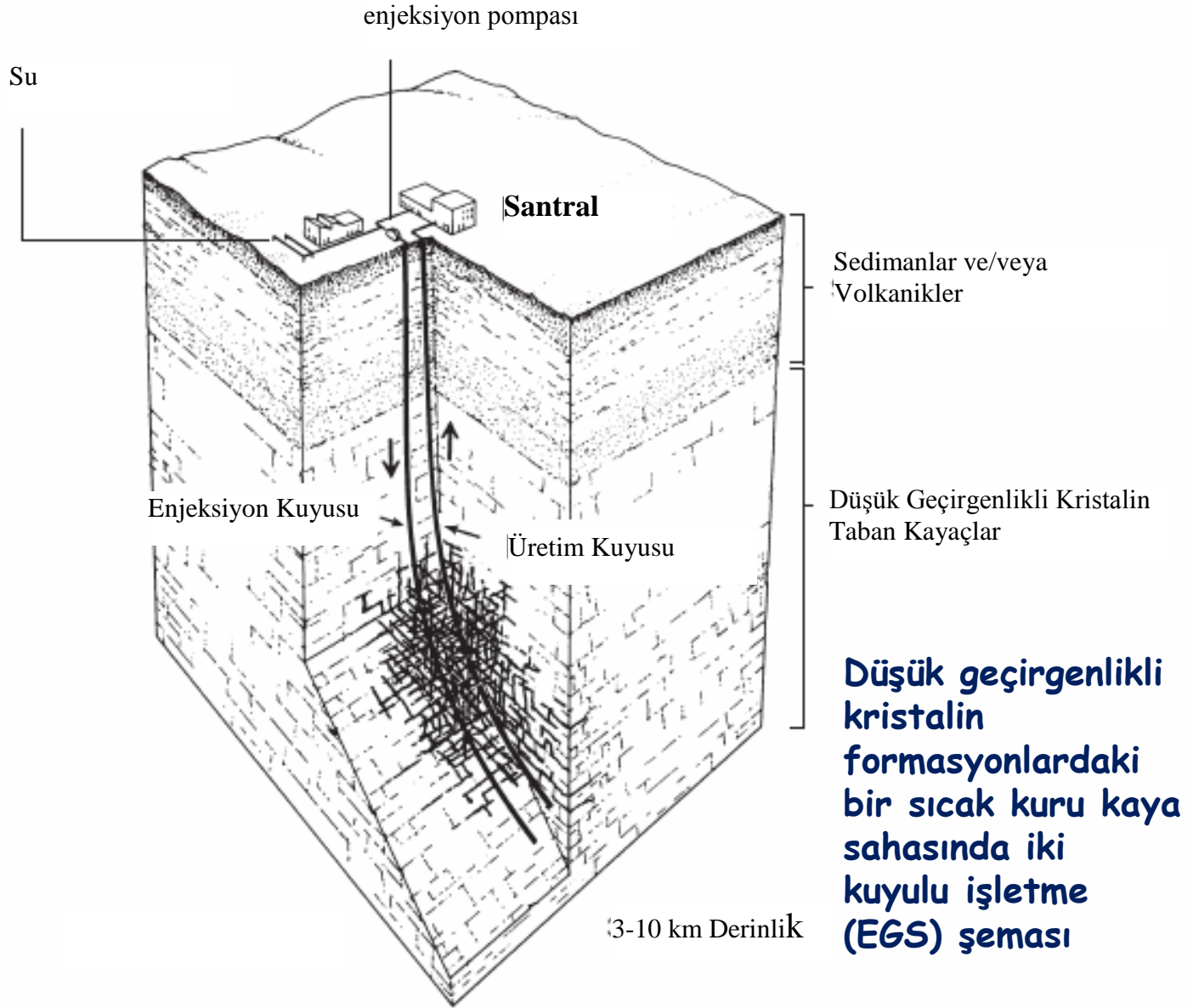
Geçirgen olmayan bir tabaka altında gözenekli ve geçirgen kayalarda kapanlanmış sıcak su ve buhar bir jeotermal rezervuarı oluşturur.

ABD için EGS Potansiyeli Çalışmaları

Hedef: 2050
yılında 100
bin MW_e'lık
jeotermal
elektrik
üretimi!



Geliştirilmiş Jeotermal Sistemler (EGS) "Jeotermal Enerjinin Geleceği"



Dünya Jeotermal Elektrik Kurulu Gücü

Yıl	Kurulu Kapasite, GW_e
2010 (24 ülke)	10.7

1. ABD
2. Filipinler
3. Endonezya
4. Meksika
5. İtalya
6. Yeni Zelanda
7. İzlanda
8. Japonya
9. El Salvador
- 12. Türkiye* (114 MW_e)**

* 2011 Yılı

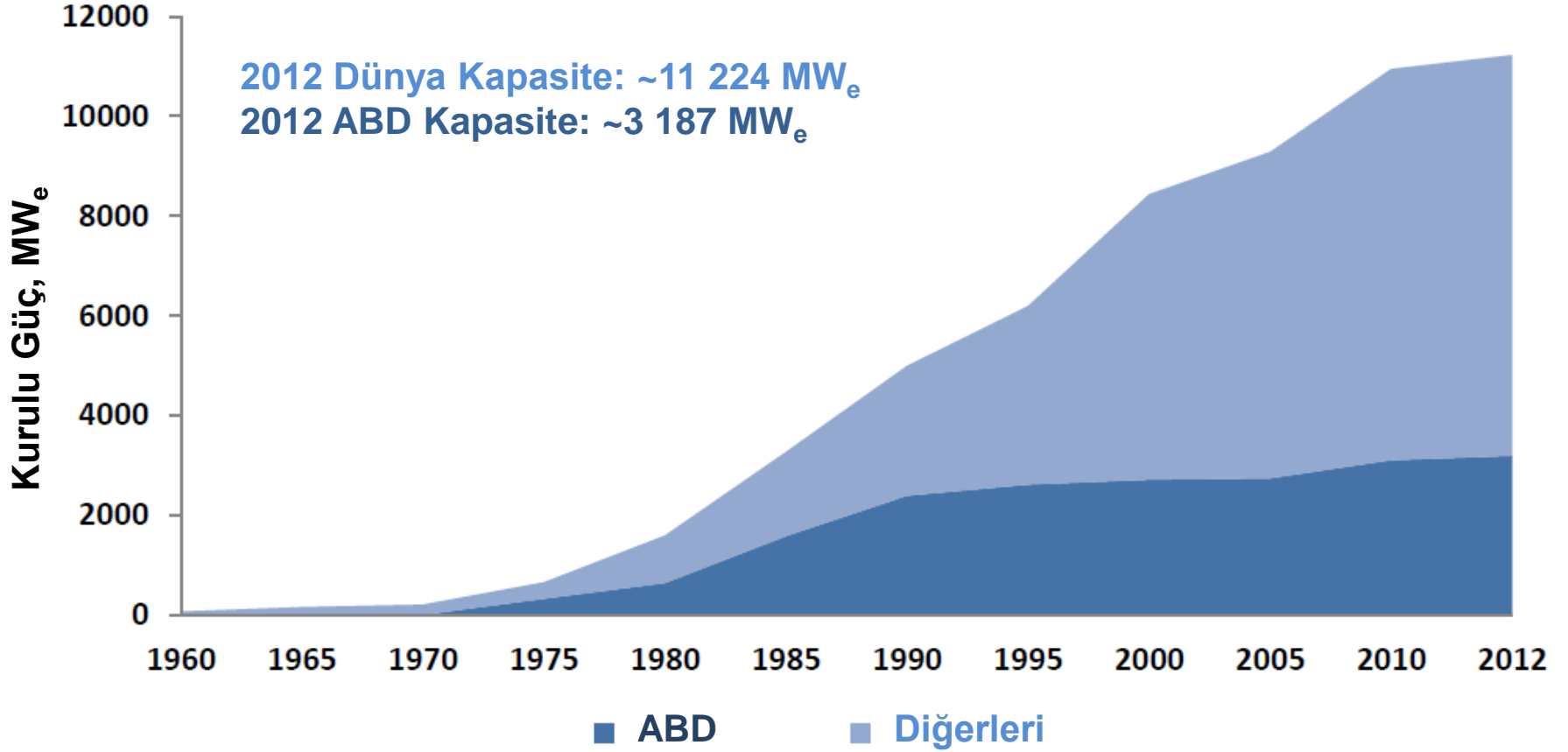
Dünya Jeotermal Doğrudan Kullanımı

Yıl	Kurulu Kapasite, GW_+
2010 (78 ülke)	50.6 ⁺

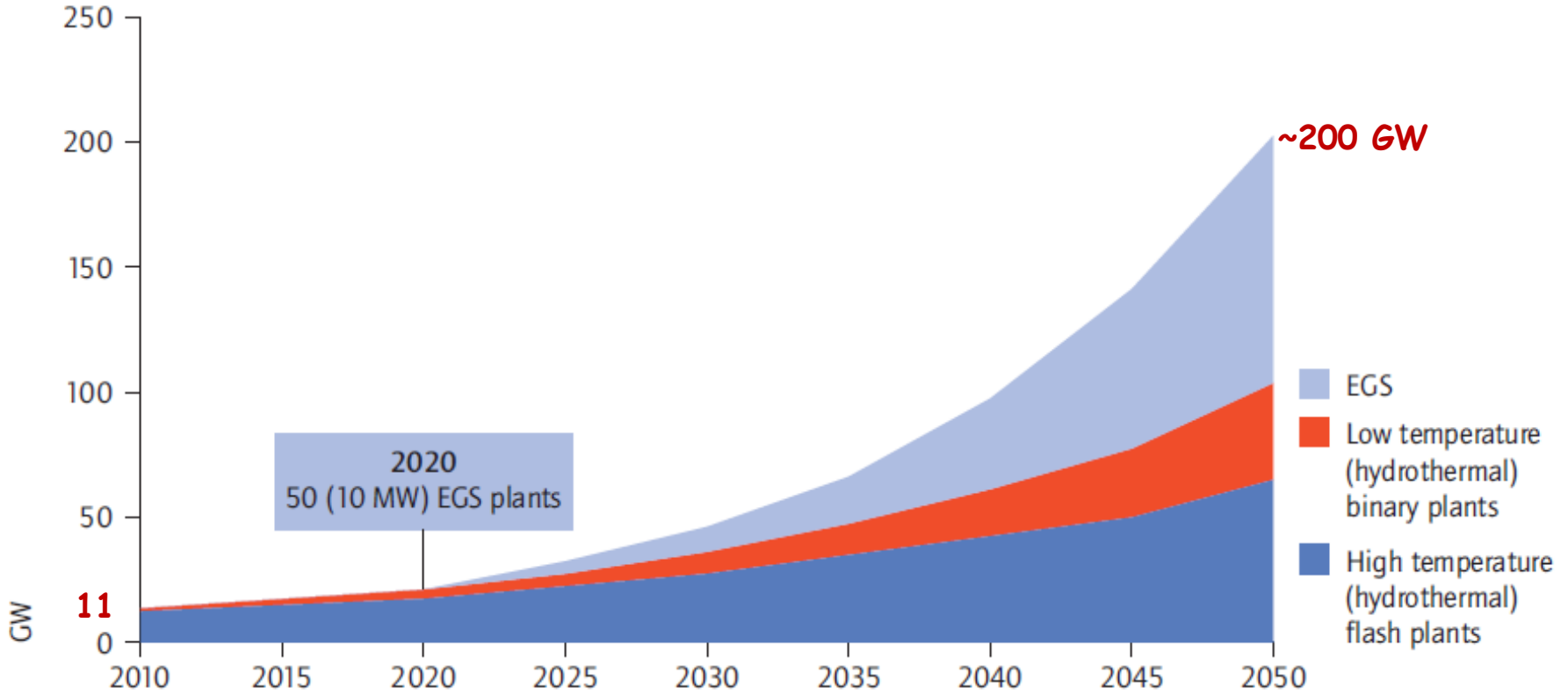
1. ABD
2. Çin
3. İsveç
4. Norveç
5. Almanya
6. Japonya
- 7. Türkiye (2084 MW_+)**
8. İzlanda
9. Hollanda
10. Fransa

⁺ Jeotermal Isı Pompaları Kapasitesi ~ 35 GW_+

Kurulu jeotermal elektrik gücün dünyada ve ABD'de gelişmesi (1960-2012 dönemi).



Jeotermal güç kapasitesi için 2050'ye kadar teknolojiye bağlı büyüme beklentileri (GW)



Senaryoya göre, konvansiyonel yüksek-sıcaklıklı kaynaklar ve ayrıca düşük- ve orta sıcaklıklı derin akiferler jeotermal gelişmede önemli rol alacaklardır. Geliştirilmiş jeotermal sistem (EGS) teknolojilerinin 2030 sonrasında ekonomik olmaları beklenmektedir.

Türkiye'de Tarihçe

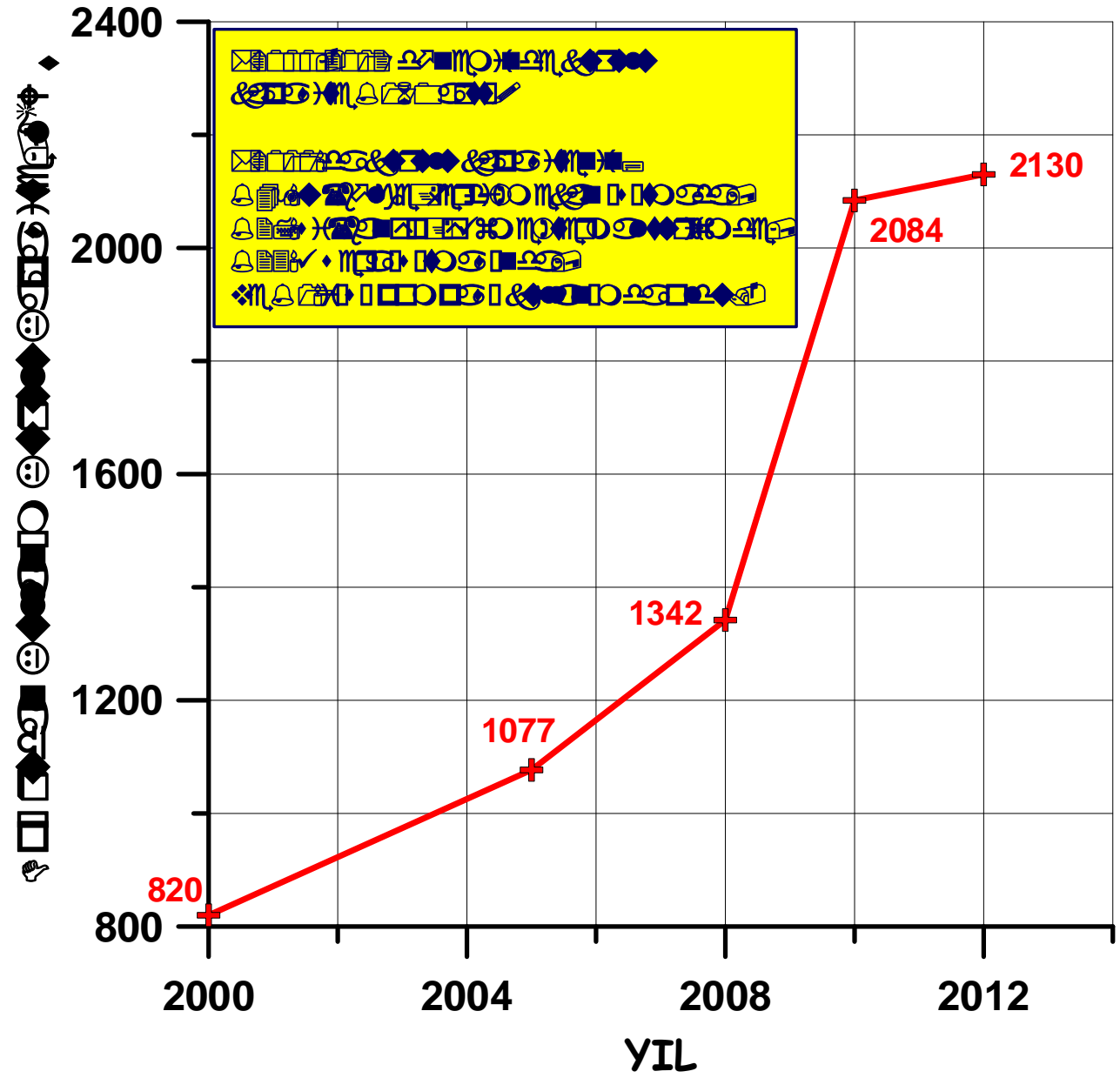
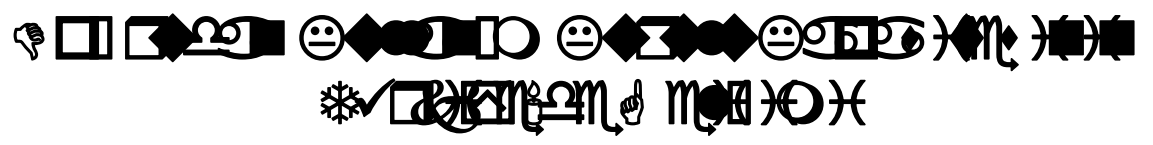
- Ülkemizde jeotermal enerji araştırmaları 1962 yılında MTA Genel Müdürlüğü tarafından başlatılmıştır.
- İlk araştırma kuyusu 1963 yılında Balçova İzmir'de delinmiş ve 40 m derinlikte 124 °C sıcaklığında akışkan üretilmiştir.
- 1968 yılında ülkemizde en yüksek sıcaklıklı sahalardan biri olan Kızıldere Denizli jeotermal sahası bulunmuştur.
- İlk jeotermal ısıtma uygulaması 1964 yılında Park Oteli'nin (Gönen Balıkesir) ısıtılması ile gerçekleştirilmiştir.
- Türkiye'de sıcaklıkları 20-287 °C arasında ~ 1500 adet termal ve mineral su kaynağı ve 186 jeotermal saha keşfedilmiştir.

Türkiye'nin Jeotermal Enerji Doğrudan Kullanımı

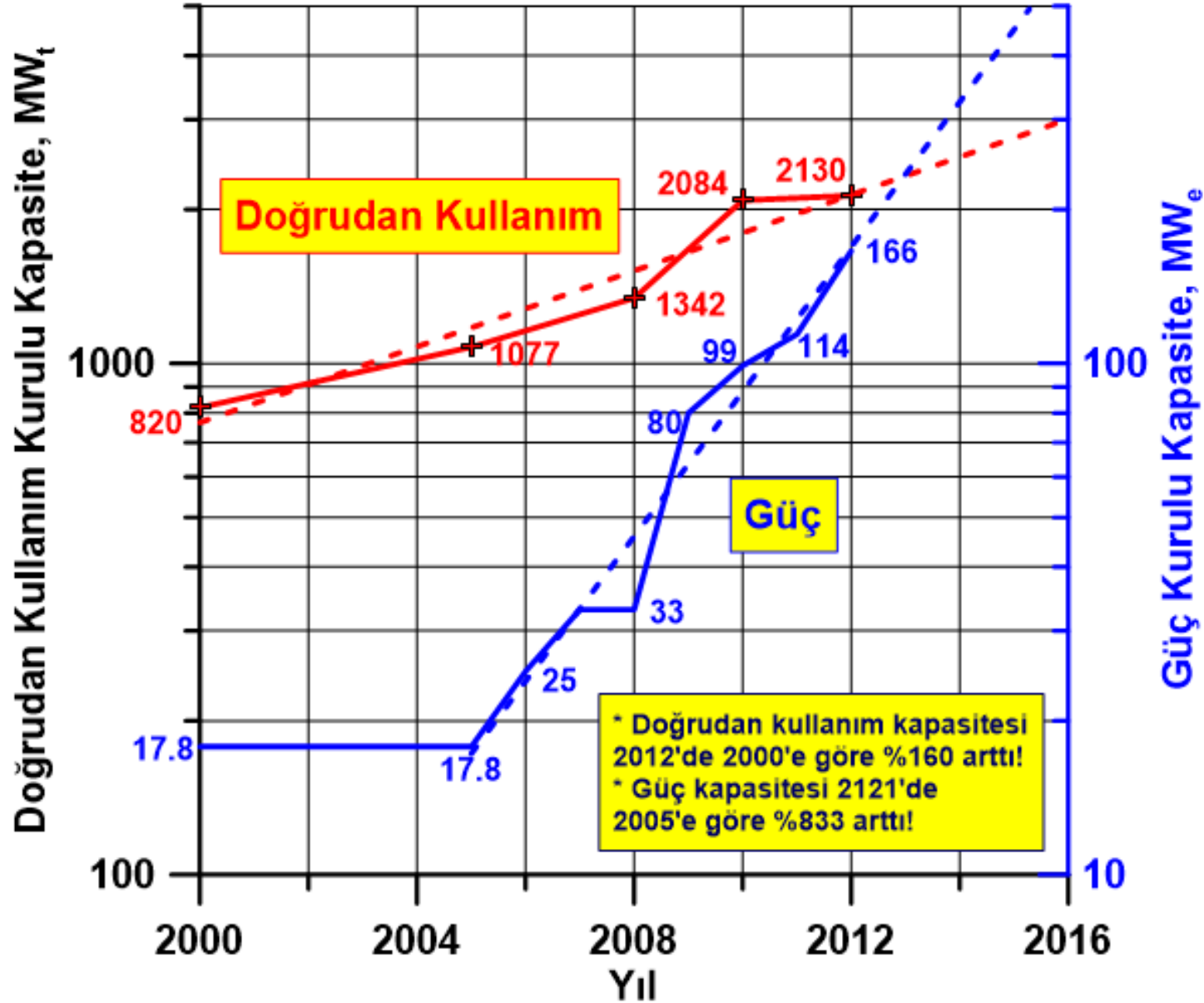
Uygulama	Toplam Kurulu Kapasite, MW _†	Dünya Kurulu Kapasite, MW _†
Bölge Isıtması*	792	5 391
Banyo-Havuz-Kaplıca	552	6 689
Sera Isıtması	483	1 544
Isı Pompaları	38	35 236
Diğerleri	219	1 723
Toplam	2084¹	50 583¹

* ETKB(2011)'e göre: 81 bin konut eşdeğeri.

1: (WGC-2010, Bali)



Türkiye'nin Doğrudan Kullanım ve Güç Kapasitelerinde Gelişme



İTÜ Çalışması (2010):

"Türkiye'nin Jeotermal Potansiyeli"

Amaçlar:

- 1) Üretilebilir elektrik ve ısı üretim potansiyeli tahmini
- 2) Yeraltı sıcaklık dağılımı haritaları

İTÜ Çalışması (2010)

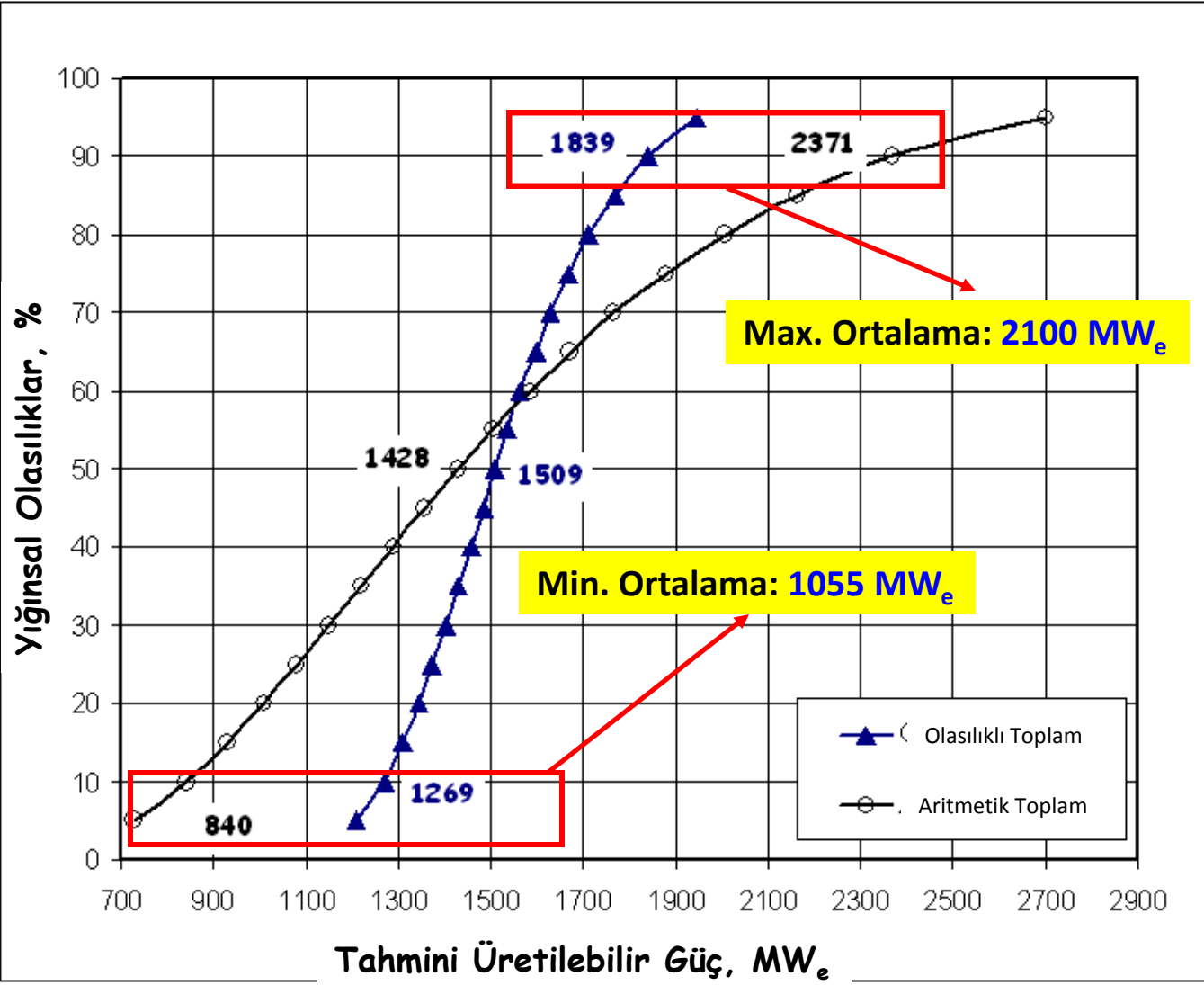
✓ Jeotermal Sahalardan Üretilebilir (Isı+Elektrik) Güç Potansiyeli Tahmini

Bilinen sahaların ısı ve elektrik güç potansiyelleri hacimsel yöntemle Monte Carlo tipi olasılık yaklaşımı uygulanarak tahmin edilmiştir.

- A) Elektrik üretimine uygun yüksek sıcaklıklı ($T > 100$ °C) jeotermal sahaların güç üretim potansiyelleri
- B) Doğrudan kullanıma uygun ($T < 100$ °C) sıcaklıklı diğer jeotermal sahaların ısı üretim potansiyelleri

	İncelenen Saha Sayısı
Elektrik Üretimi	25 ($T_{rez} > 100$ °C)
Doğrudan Kullanım (Bölgesel Isıtma)	19 (60 °C $< T_{rez} < 100$ °C)
Doğrudan Kullanım (diğer)	81 ($T_{rez} < 60$ °C)
Toplam	122

İTÜ Çalışması (2010)

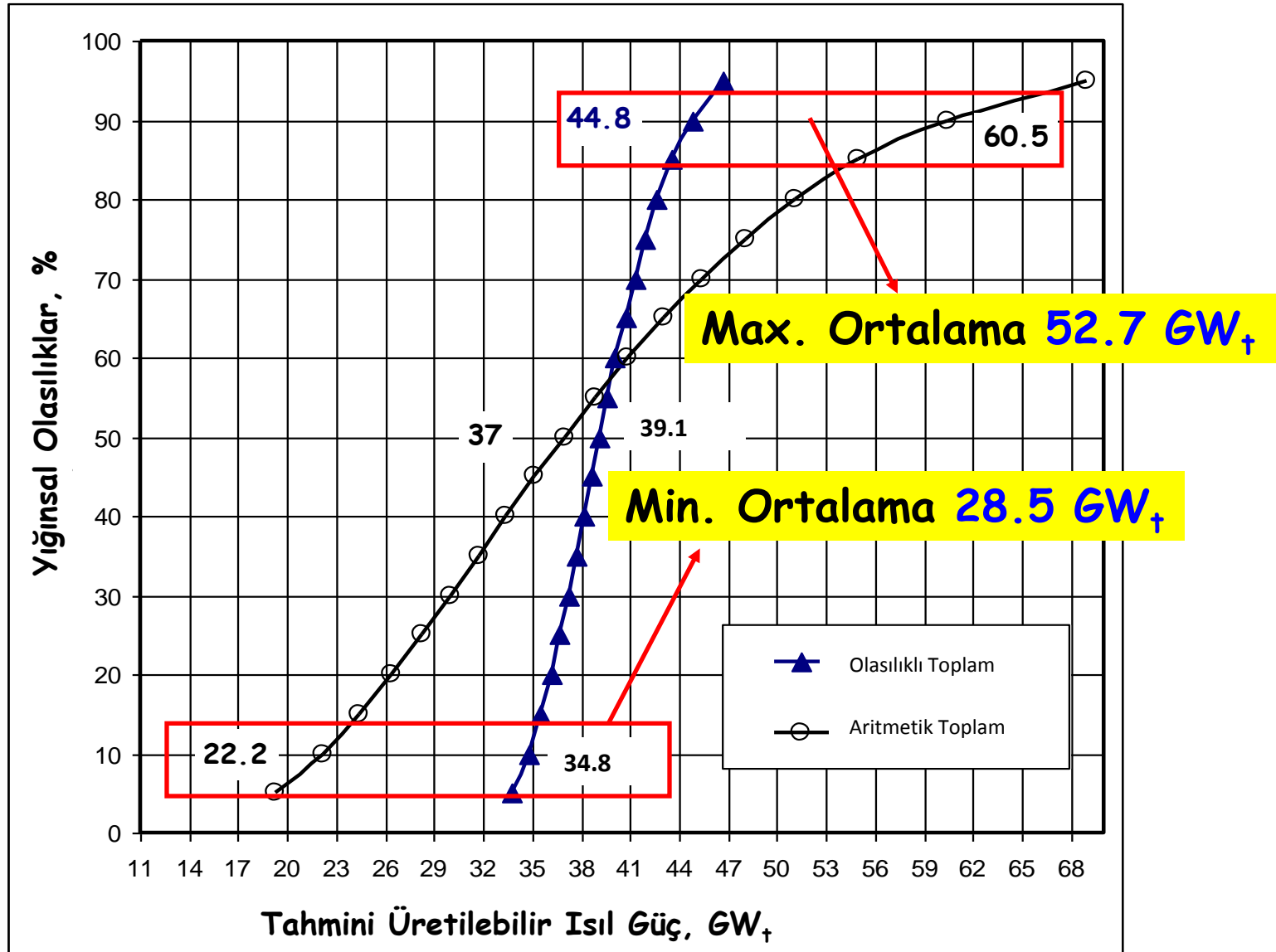


25 Jeotermal Sahanın Tahmini Toplam Üretilabilir Elektrik Güç Potansiyelleri, MW_e

(Başel vd., 2010)

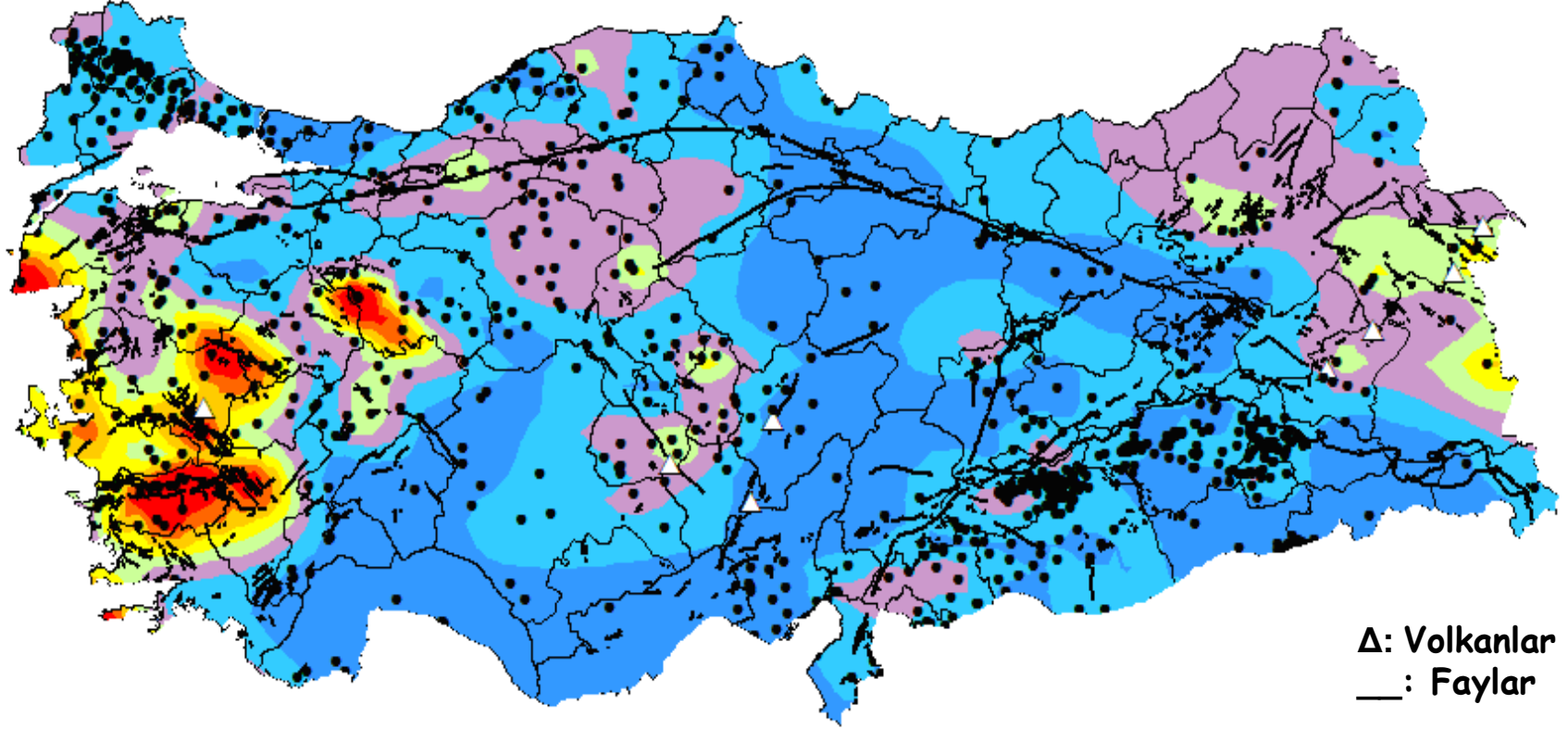
$T_{ref}: 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Değerlendirilmesi Yapılan 122 Jeotermal Sahanın Tahmini Üretilebilir Isıl Potansiyelleri

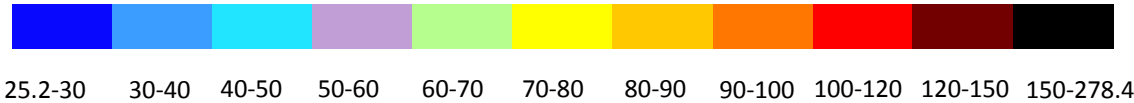


İTÜ Çalışması (2010)

İTÜ PDGMB Türkiye 1000 m Yeraltı Sıcaklık Dağılımı Haritası



Sıcaklık Aralığı, °C



(Başel vd., 2010)

Türkiye'de Jeotermal Enerji: Kapasite ve Potansiyel (2012)

Doğrudan Kullanım Kurulu Kapasitesi	2 130 MW ₊
Elektrik Kurulu Kapasite	166 MW _e (~3300MW ₊)
Kullanılan Toplam Jeotermal Kapasite	~ 5 400 MW ₊
Elektrik Potansiyeli (25 saha, T>100 °C, T _{ref} :100 °C) (Başel, 2010)	min: 1 055 MW _e max: 2 105 MW _e
Isıl Potansiyel (97 saha, T<100 °C, T _{ref} :15 °C) (Başel, 2010)	min: 6 000 MW ₊ max: 10 900 MW ₊

	Kurulu Kapasite-Potansiyel Oranı, %
Doğrudan Kullanım	20-36 (97 Saha, T<100 °C)
Elektrik	8-16 (25 Saha, T>100 °C)

Yukarıdaki sonuçlar mevcut tanımlanmış hidrotermal sahalar içindir. Yeraltı ısı pompaları ve EGS teknolojilerinin kullanılması ve keşfedilmemiş sahaların katkılarıyla kapasite ve potansiyel çok daha yüksek olacaktır.

Rüzgar x Jeotermal Karşılaştırması (Türkiye, 2011)

Elektrik Üretimi Karşılaştırması:

	Rüzgar	Jeotermal
Kurulu Güç, MW_e	1729	114
Elektrik Üretimi, Milyon kWh	4 726	699

Isı Üretimi Karşılaştırması:

Isı eşdeğeri üretim karşılaştırıldığında jeotermalden doğrudan kullanımla olan ısı üretimini de dikkate almak gerekmektedir.

	Rüzgar		Jeotermal		
	Elektrik	Isı	Elektrik	Isı	Toplam
Kurulu Güç	1729 MW_e	0	114 MW_e	2100 MW_+	114 MW_e + 2100 MW_+
Isı Eşdeğeri Üretim, kcal	4.06×10^{12}	0	0.60×10^{12}	7.91×10^{12} *	8.51×10^{12}

* Varsayım: Jeotermal doğrudan kullanım kurulu kapasitesi yılda % 50 verimle çalışmaktadır.

Kaynaklara Göre Yerli Enerji Üretimi (Türkiye, 2011)

	Kömür	Hidrolik	Odun, Atık	Petrol	Jeotermal (Elek. +Isı)	Doğal Gaz	Asfaltit	Rüzgar	Güneş Biyo-yakıt , ...	Toplam
Orijinal Birim	75 M ton	52x10 ⁹ kWh	12.9 M ton	2.4 M ton	699x10 ⁶ kWh+2100 MW _T x0.5	790 M Sm ³	0.9 M ton	4.7x10 ⁹ kWh		
M TEP*	17.5	4.50	3.54	2.55	0.85	0.65	0.42	0.41	0.8	31.2
%	56.1	14.4	11.3	8.2	2.7	2.1	1.3	1.3	0.3	100.0

- Birincil enerji arzı 114 M TEP olarak gerçekleşirken, yerli üretimin birincil enerji arzını karşılama oranı % 23'tür.
- Yerli enerji üretiminin % 2.7'si jeotermal enerji tarafından sağlanmaktadır ve yerli kaynak büyüklüğü olarak 5. sıradadır.
- Jeotermal, rüzgar, güneş ve biyoyakıt olarak yenilenebilir enerjinin yerli üretimde payı % 4.3'tür.

* M TEP : Milyon Ton Enerji Eşdeğeri Petrol

SONUÇLAR

- Enerjisinin %73'ünü ithal eden Türkiye her türlü yerli enerji kaynağını kullanmak zorundadır.
- Yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları arasında güneş, rüzgar ve jeotermal ülkemizde başlıca yerli kaynaklarımızdır.
- 2000-2012 döneminde jeotermal doğrudan kullanım kapasitesi 1.6, jeotermal elektrik üretimi 8.3 kat ve jeotermal ısı üretimi 3.6 artmıştır.
- Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli yüksektir. Bilinen potansiyelin; doğrudan kullanımda % 20-36'sı, elektrik üretiminde %8-16'sı ve toplam jeotermal enerji üretiminde % 10-19'u kullanılmaktadır.
- Yeni jeotermal sahaların keşfedilmesi ve mevcutların geliştirilmesiyle potansiyelin daha yüksek olması beklenmelidir.

Teşekkürlerimle...

Abdurrahman Satman

