



TMMOB

SOMA HAVZASI KÖMÜR REZERVLERİNİN ENERJİDE KULLANIMI
SEMİNERİ

16-17-18 Nisan 2009

Soma -**MANİSA**

CO₂'nin Tutulması, Depolanması (CCS) ve Diğer Alternatifler

Canip SEVİNÇ

Mak.-End.Yük.Müh.

Ekonomist

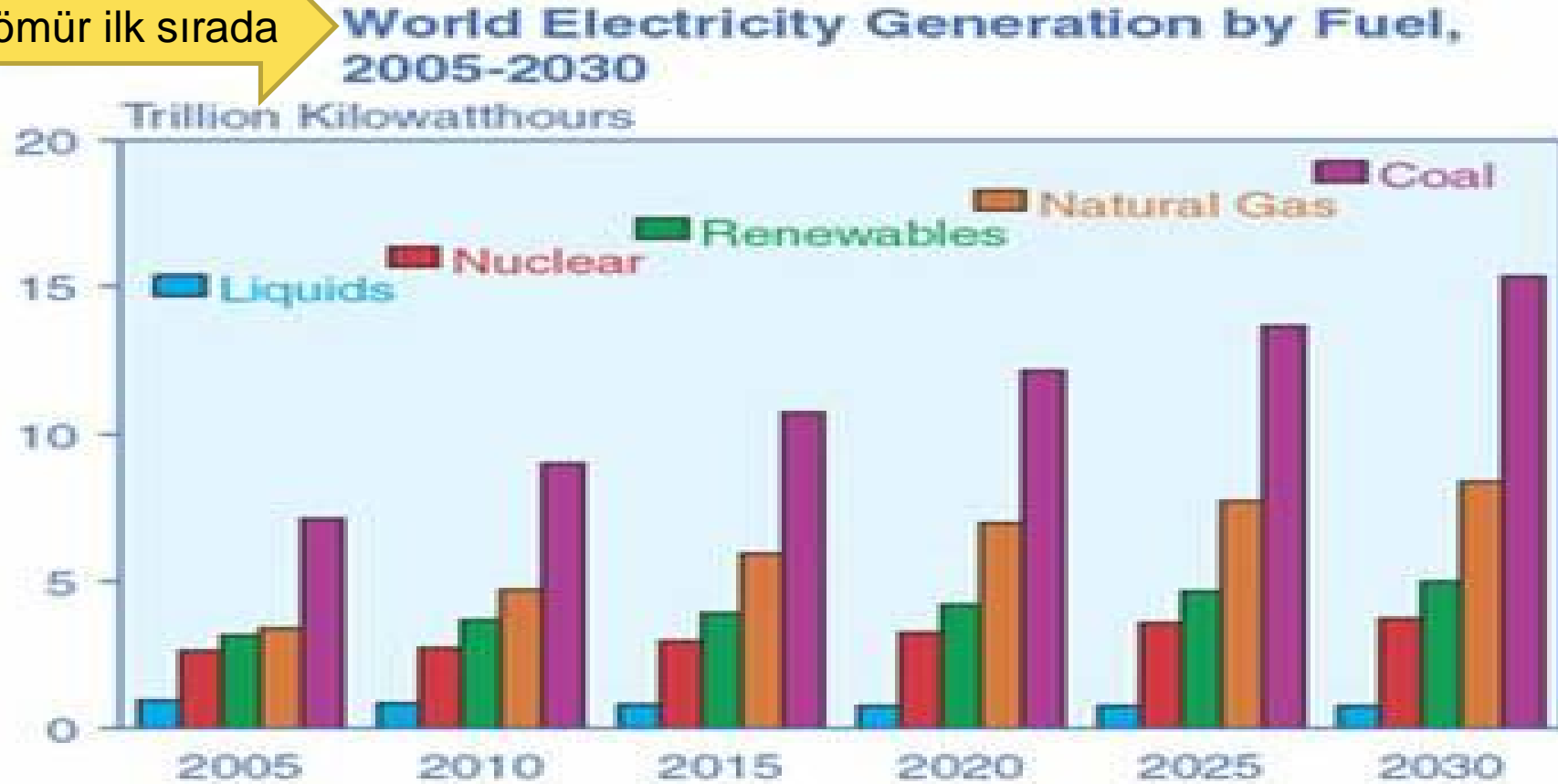
ETKB-EİGM

canipsevinc@enerji.gov.tr

Ankara

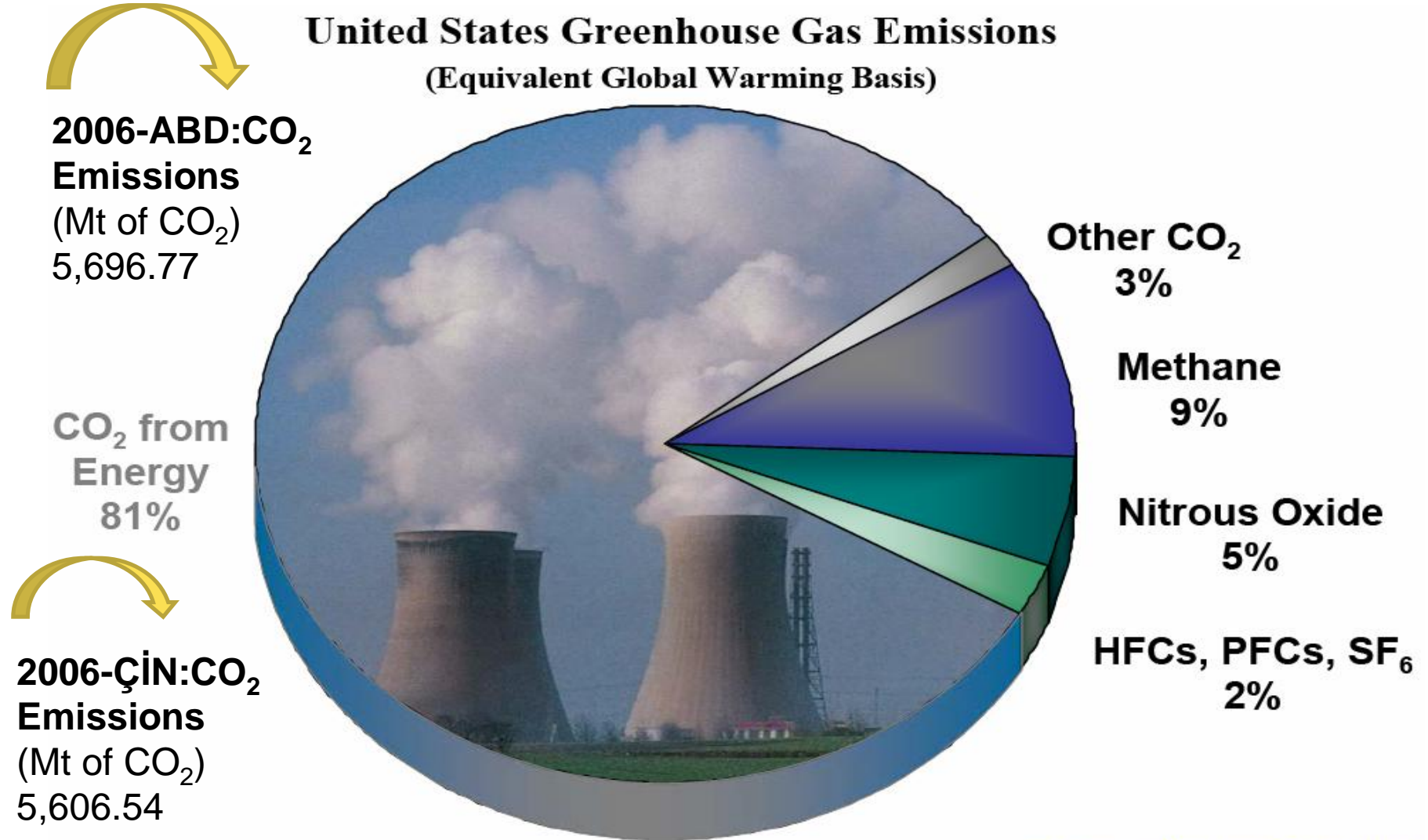
IEA Dünyada 2005-2030 yılları arasında tahmini elektrik üretimi (yakıt türlerine göre)

Kömür ilk sırada



Sources: 2005: Derived from Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2005* (June-October 2007), web site www.eia.doe.gov/iea. Projections: EIA, *System for the Analysis of Global Energy Markets/Global Electricity Module* (2008).

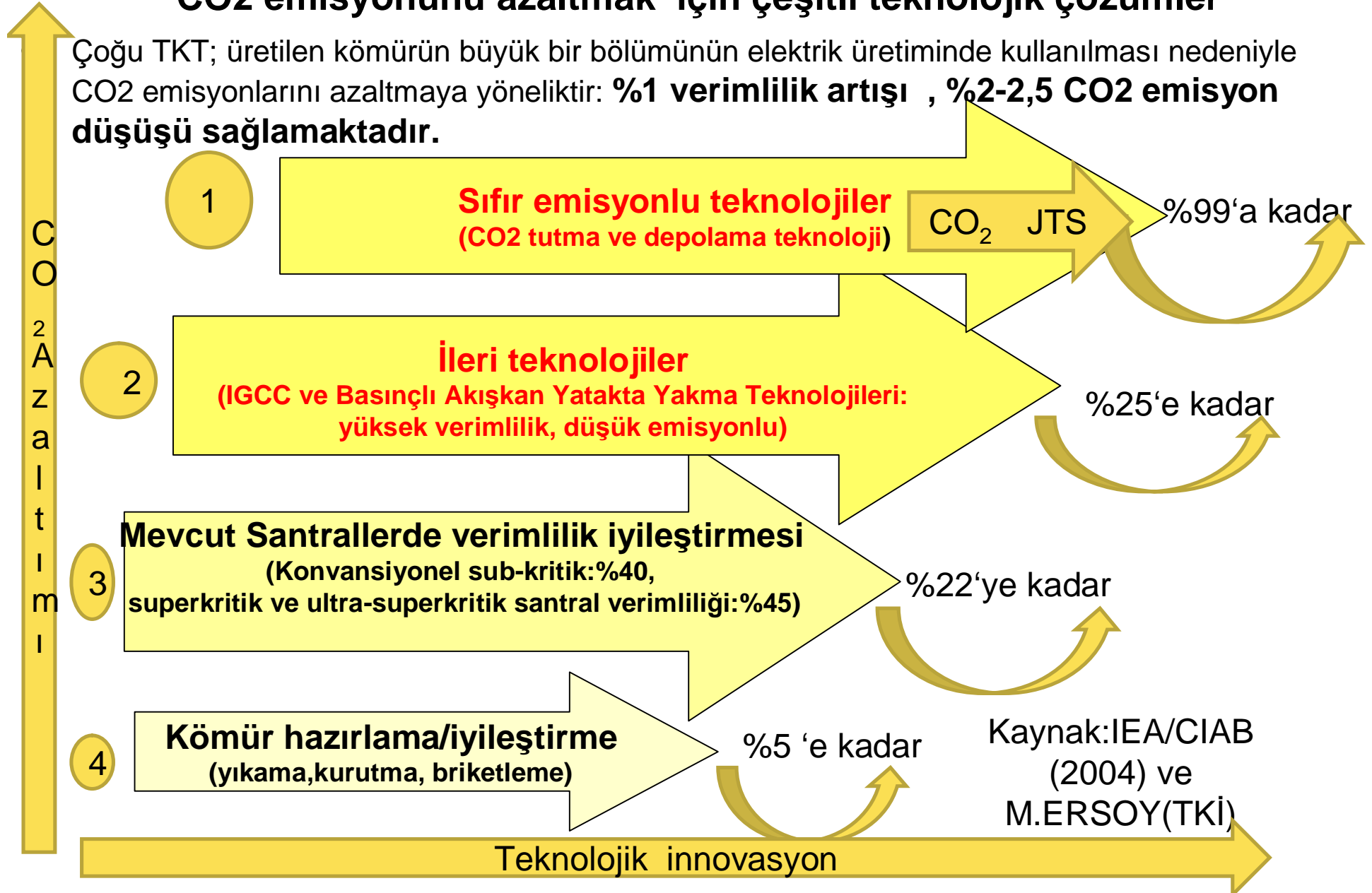
Dünyadaki CO₂ emisyonununun % 40 'ını oluşturan iki ülkeden birisi olan ABD'deki emisyonlar ve ABD ile ÇİN'in emisyon miktarları (IEA-2006)



Temiz Kömür Teknolojileri (CCT) ile

CO2 emisyonunu azaltmak için çeşitli teknolojik çözümler

Çoğu TKT; üretilen kömürün büyük bir bölümünün elektrik üretiminde kullanılması nedeniyle CO2 emisyonlarını azaltmaya yöneliktir: **%1 verimlilik artışı** , **%2-2,5 CO2 emisyon düşüşü sağlamaktadır.**



Termik santral baca gazındaki CO₂ 'nin büyük ölçekte bertaraf edilmesinin veya yeraltına basılmasının dünyadaki negatif maliyetli AR-GE alanları

1-Uygulama Aşamasında Olanlar

1-**EOR**(Enhanced Oil Recovery) (TPAO Batı Raman Dodan'da uyguluyor- Dünyada da uygulanıyor) Petrol ve doğal gaz kuyularında verimi arttırmak veya bu alanlarda CO₂'yi kalıcı olarak depolamak için.Dipte taş yatağına sıkıştırılarak veya bir çözeltilde çözündürülerek yapılmaktadır.ABD-DOE'ye göre ABD'de tükenmiş gaz ve petrol yataklarının 80-100 Gt kapasitesi var ve bu ABD'deki termik santallerden çıkan tüm CO₂ emisyonlarını 50 yıl saklamaya yeterlidir.

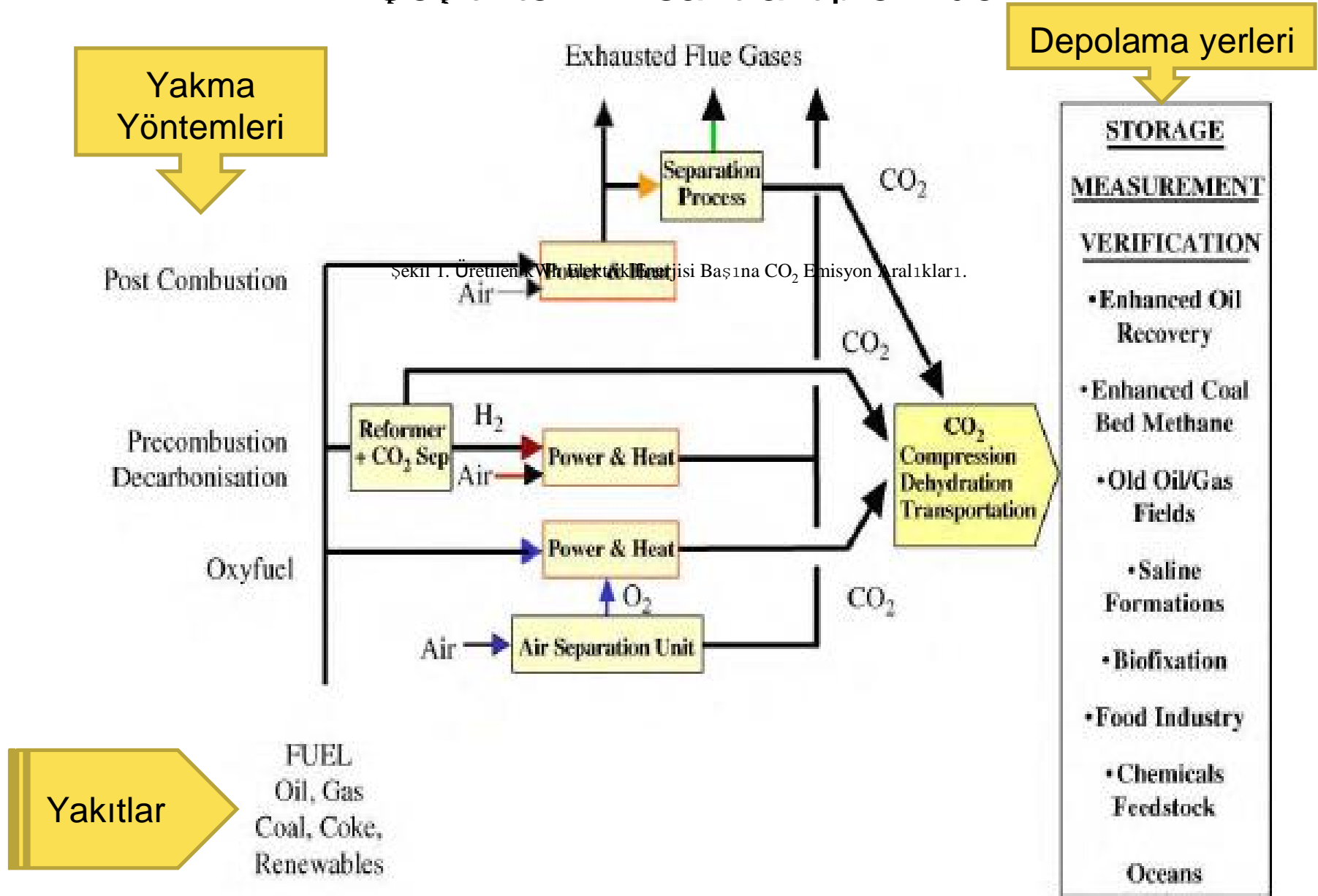
2-**E-CBM-R**(E- Coal Bed Methane R)(Zonguldak TTK için ve TKİ için söz konusu olabilir.ABD'de uygulanıyor) Kömüre bağlı metan üretimini arttırmak için 1500 m. Derinliklere basılması.(CO₂ metandan 2 kat daha fazla emilme hızına sahip olduğundan gözenekli (matriks) katmanda metan yerine yerleşir ve metan serbest kalır.)

2-AR-GE Aşamasına Olanlar

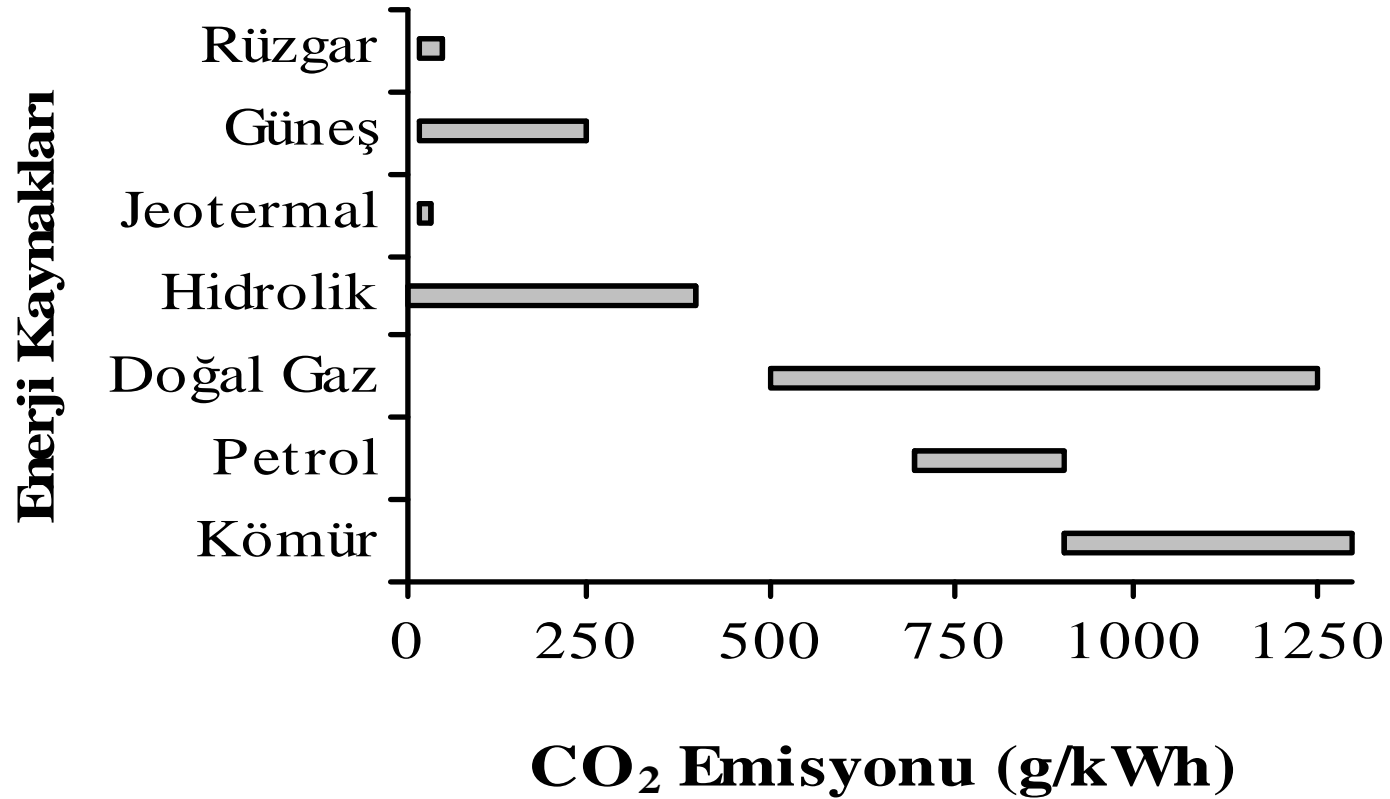
- 3-**E-HGTW-R**(E-Heat Geothermal Water R)(Örneğin Simav-Eynal sahasında jeotermal sıcak su ve su buharı verimliliğini arttırmakta kullanılabilir.) Jeotermal sıcak su gelirini arttırmak ve kuyuyu daha uzun ömürlü kullanabilmek için.
- 4-**E-GTSHS-R**(E-Geothermal Super Heated Steam-R)(Örneğin Denizli Kızılderede uygulanabilir.) Jeotermal kızgın buhar üretimini arttırmak üzere.
- 5- **EGS-GTTS**(Enhanced Geothermal System -Geothermal Thermosiphon)(Kuyu dibi sıcaklığı 250⁰ C'in üzerinde olan tüm yer altı sıcak kaya alanları örneğin üzerinde büyük konsensüs oluşmuş olan Nevşehir Aksaray arasındaki EGS tipi kaynak alanları v.s.) Isı madenciliği uygulamalarında su buharından daha avantajlı ve ucuz ve verimli bir çalışma akışkanı olarak SCCO₂ kullanılarak enerji üretimi için.)

CO₂'nin tutulması

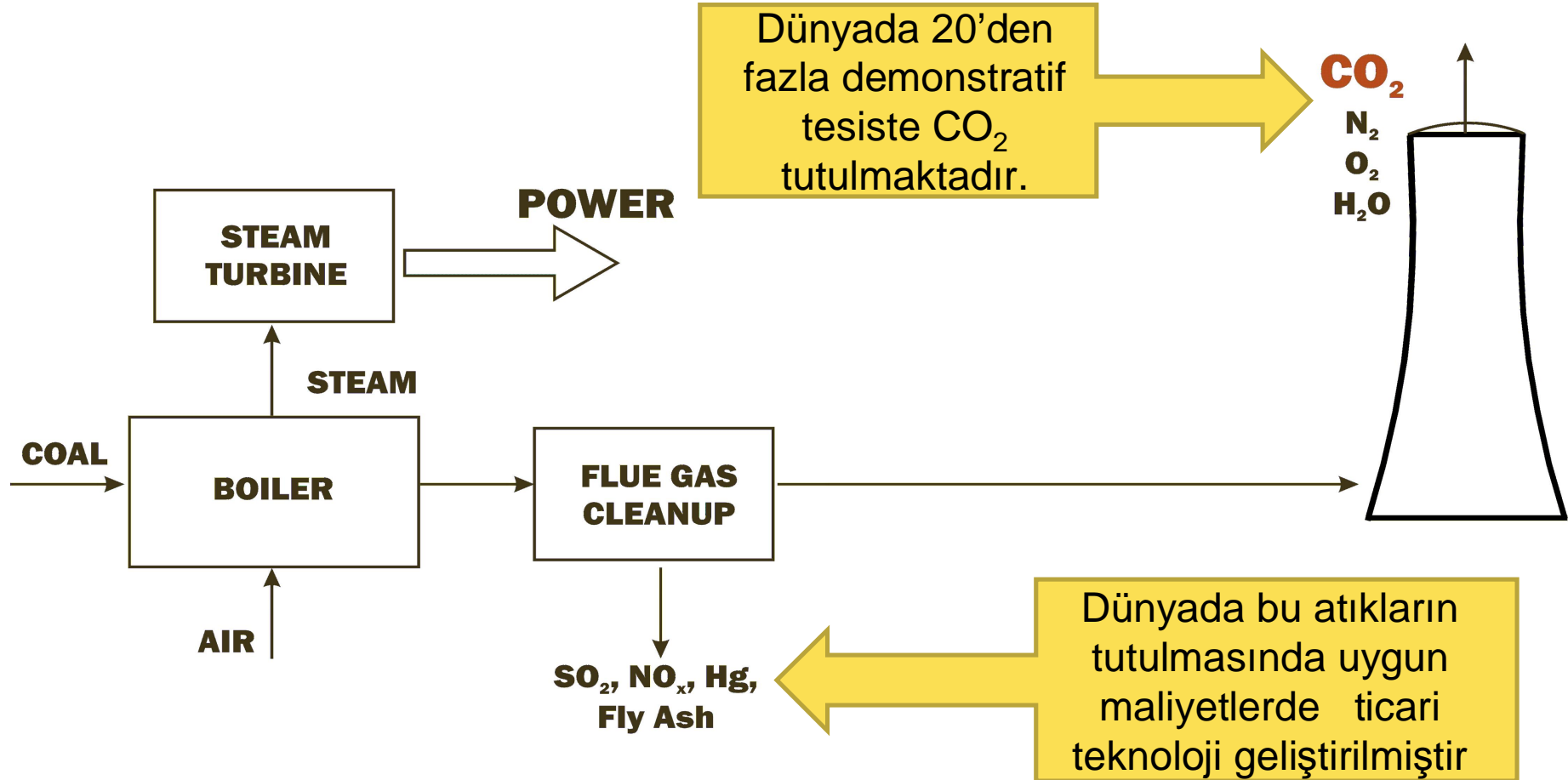
Çeşitli termik santral tiplerinde



Değişik enerji kaynaklarınının k W h başına gram olarak
CO₂ ' EMİSYON DEĞERLERİ



Konvansiyonel(pülverize kömür) bir termik santral ve emisyonlar






CONVENTIONAL STEAM POWER PLANT

Dünyadan örnek 4 adet kömür bazlı demonstratif IGCC planti ve teknik nitelikleri

Coal-Based IGCC Demonstration Plants				
Project	Nuon Power	Wabash ³	TECO Polk County ⁴	Elcogas
Location	Buggenum, Netherlands	Indiana	Florida	Puertollano, Spain
Technology	Shell	E-Gas (COP)	Texaco (GE)	Prenflo (Krupp)
Startup Year	1994	1995	1996	1998
Net Output, design, MW	252	262	250	300 ⁵
HHV Efficiency, net design, percent	41.4	37.8	39.7	41.5
Height, ft	246	180	295	262
Fuel, design	Coal	Coal	Coal	50% coal/50% petcoke
Fuel Consumption, tpd	2,000	2,200	2,200	2,600
Fuel Feed	Dry N ₂ lockhopper	Wet slurry	Wet slurry	Dry N ₂ lockhopper
Syngas HHV, Btu/scf	300	276	266	281
CTG Model	Siemens V94.2	GE 7FA	GE 7FA	Siemens V94.3
Firing temperature, °F	2,012	2,300	2,300	2,300
Combustors	Twin vertical silos	Multiple cans	Multiple cans	Twin horizontal silos
CTG Output, design, MW	155	192	192	200
STG Output, design, MW	128	105	121	135
Auxiliary Power, design, MW	31	35.4	63	35
Net Output, design, MW	252	262	250	300
Net Output, achieved, MW	252	252	250	300
NPHR, design, Btu/kWh HHV	8,240	9,030	8,600	8,230
NPHR, achieved, Btu/kWh HHV ²	8,240	8,600 - Adjusted for HRSG feedwater heaters	9,100 - Adjusted for gas/gas heat exchanger	8,230
ASU Pressure, psi	145	72.5	145	145
Nitrogen Usage	Syngas Saturator	Vented	CTG NO _x Control	Syngas Saturator

Dünyada çeşitli ülkelerde halen faaliyette bulunan IGCC tipi termik santraller

 IGCC Projects – All Fuels					
Owner - Location	Year ⁽¹⁾	MW	Application	Fuel	Gasifier
SCE Cool Water ⁽²⁾ – USA (CA)	1984	120	Power	Coal	Texaco (GE)
Dow LGTI Plaquemine – Plaquemine ⁽²⁾ - USA (LA)	1987	160	Cogen	Coal	COP (Destec)
Nuon Power – Netherlands	1994	250	Power	Coal	Shell
PSI/Global Wabash – USA (IN)	1995	260	Repower	Coal	E-Gas (COP)
TECO Polk County – USA (FL)	1996	250	Power	Coal	Texaco (GE)
Texaco El Dorado ⁽³⁾ – USA (KS)	1996	40	Cogen	Petcoke	Texaco (GE)
SUV - Czech Republic	1996	350	Cogen	Coal	Lurgi ⁽⁵⁾
Schwarze Pumpe - Germany 	1996	40	Power/ Methanol	Lignite	Noell
Shell Pernis Refinery - Netherlands	1997	120	Cogen/Hydrogen	Oil	Shell
Elcogas - Spain	1998	300	Power	Coal/ Petcoke	Prenflo
Sierra Pacific ⁽⁴⁾ – USA (NV)	1998	100	Power	Coal	KRW ⁽⁶⁾ - Air
ISAB Energy - Italy	1999	500	Power/Hydrogen	Oil	Texaco (GE)
API - Italy	2000	250	Power/Hydrogen	Oil	Texaco (GE)
Delaware City Refinery - USA (DE)	2000	180	Repower	Petcoke	Texaco (GE)
Sarlux/Sara Refinery - Italy	2000	550	Cogen/Hydrogen	Oil	Texaco (GE)
ExxonMobil - Singapore	2000	180	Cogen/Hydrogen	Oil	Texaco (GE)
FIFE - Scotland	2001	120	Power	Sludge	BGL ⁽⁵⁾
NPRC Negishi Refinery - Japan	2003	342	Power	Oil	Texaco (GE)

 Bu tesiste Tunçbilek linyitlerinin gazlaştırılması testleri yapılmış mükemmel sonuçlar elde edilmiştir.

⁽¹⁾First year of operation on syngas.
⁽²⁾Retired.
⁽³⁾The El Dorado Refinery is now owned by Frontier Refining.
⁽⁴⁾Not successful.
⁽⁵⁾Fixed bed.
⁽⁶⁾Fluidized bed.

Yukarıda verilen örnek 4 adet demonstratif Kömürlü IGCC plantlerde emre amadeliğin örnek beher tesiste faaliyetin başlamasından itibaren son 10 yıl içindeki gelişimi

Coal/Coke-Fueled IGCC Plant Equivalent Availabilities				
IGCC Plant Location	Nuon Buggenum Netherlands	Global Energy Wabash Indiana	TECO Polk County Florida	Elcogas Puertollano Spain
Gasifier	Shell	COP E-Gas	GE HTHR	Prenflo
Net Output	252 MW	262 MW	250 MW	300 MW
Startup Year	1994	1995	1996	1998
Year after Startup	IGCC Equivalent Availability (percent)			
1	23	20	35	16
2	29	43	67	38
3	50	60	60	59
4	60	40	75	62
5	61	70	69	66
6	60	69	74	58
7	57	75	68	NA
8	67	78	81	
9	73	--	82	
10	78	--		
11	NA			

Note:

1. Data is based upon available information. Data reporting methodology varies somewhat between the plants.
2. Wabash Years 5 to 8 IGCC equivalent availability estimated as 95 percent of reported syngas availability.
3. Wabash availability excludes periods when the plant was shut down because of no product demand (24 percent in Year 7 - 2002 and 16 percent in Year 8 - 2003, shutdown in Year 9 - 2004 and Year 10 - 2005).

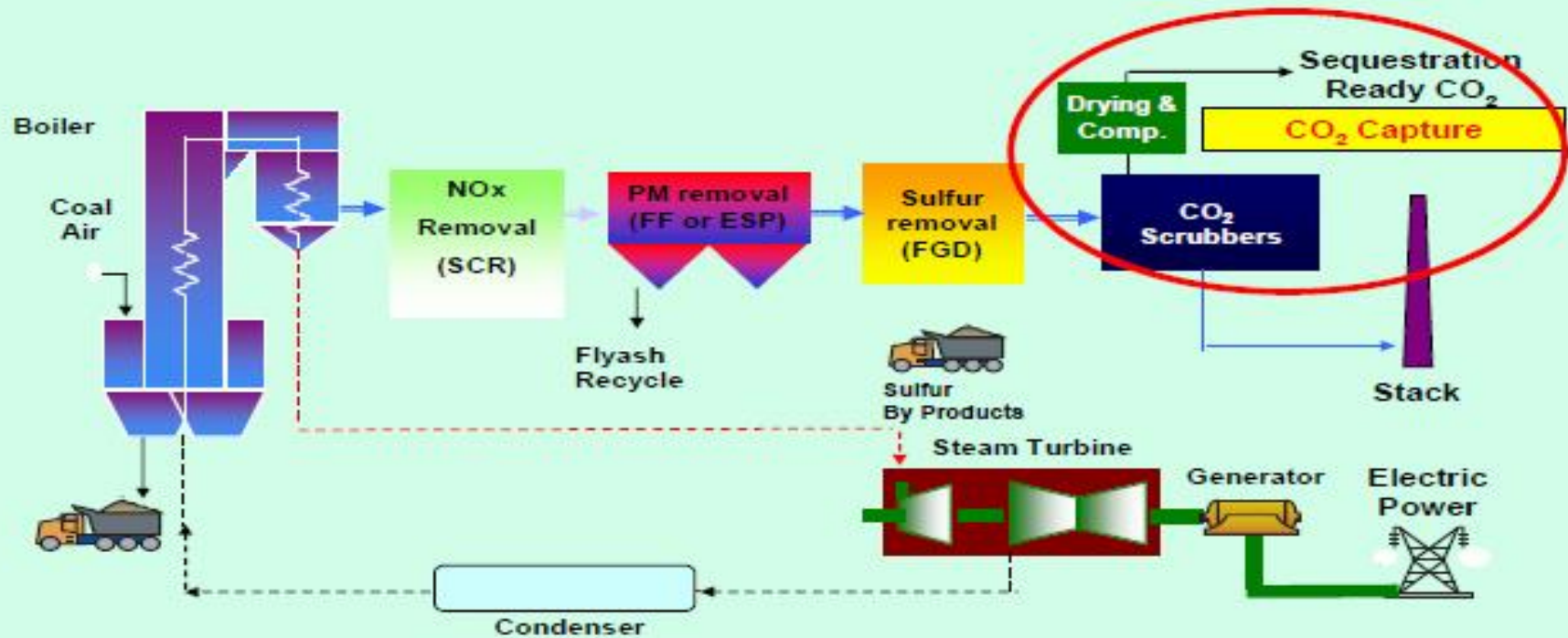
Hollanda'daki kömürle çalışan IGCC plant'inin görünümü



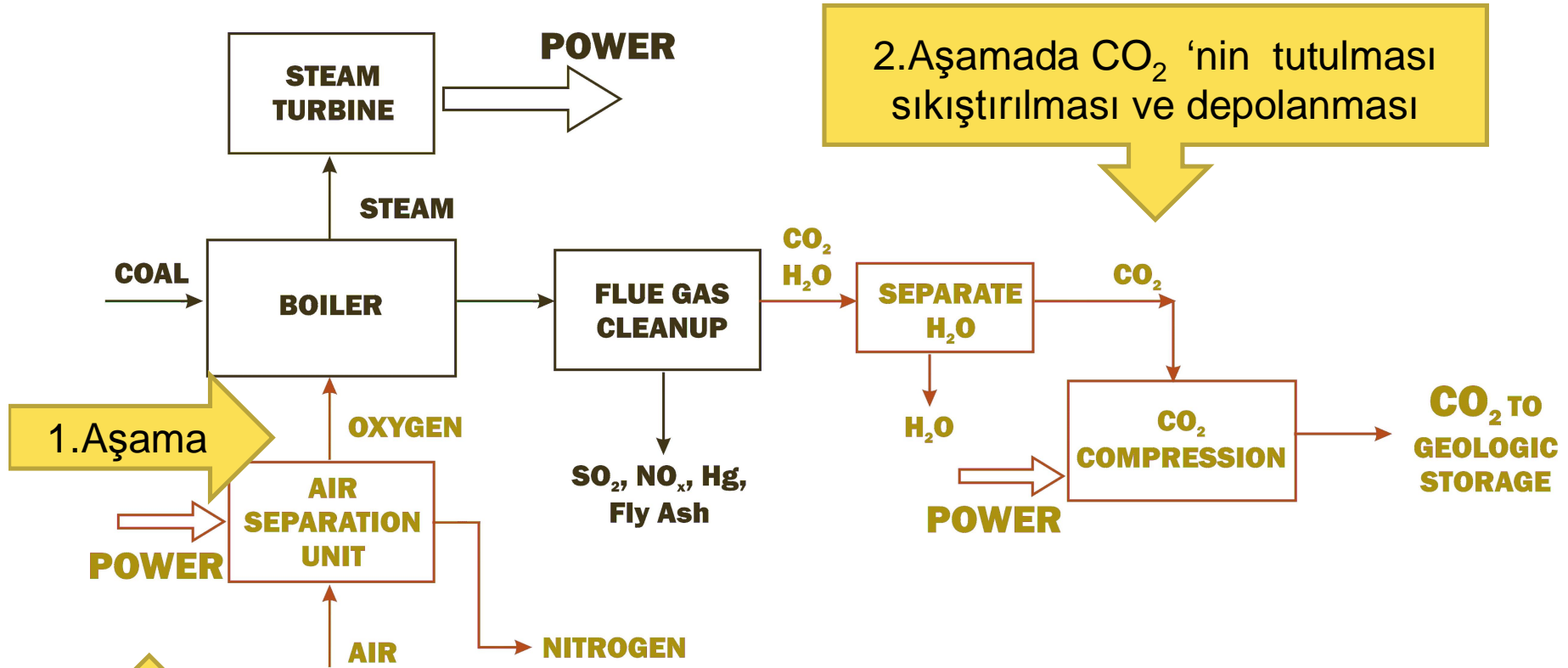
Shell gasifier IGCC plant, Buggenum, Netherlands

Ülkemizdeki Termik Santrallerin(50MW üzeri) kamuda birisi özelde ikisi hariç tamamı pülverize kömür yakan santrallerdir ve hiçbirinde henüz CO₂ tutulması (capture) yapılmamaktadır.

Pulverized Coal Plant with Carbon Capture



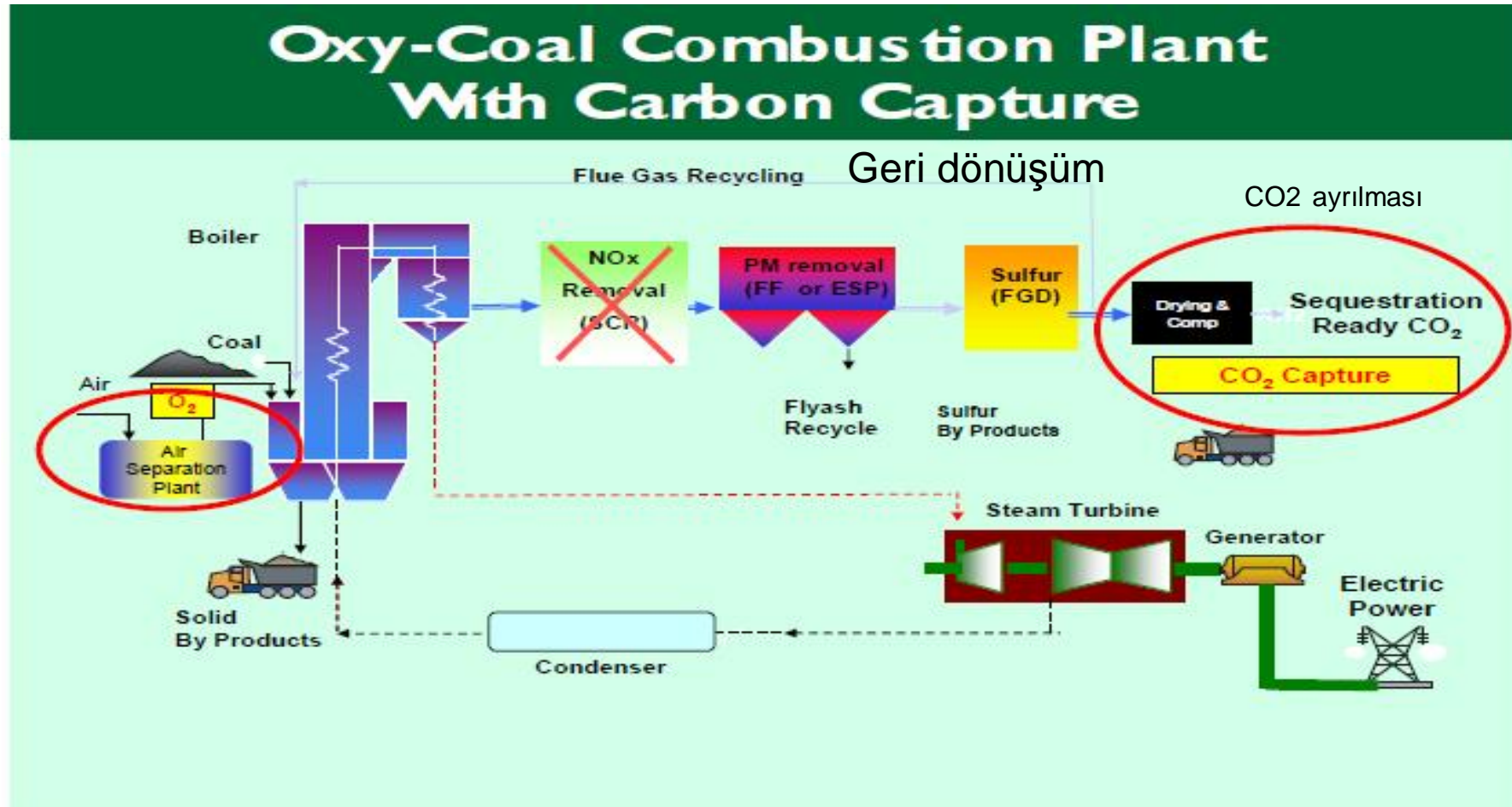
Soma-A gibi oxy-feul'e dönüştürülmek istenen bir termik santralde emisyonlar



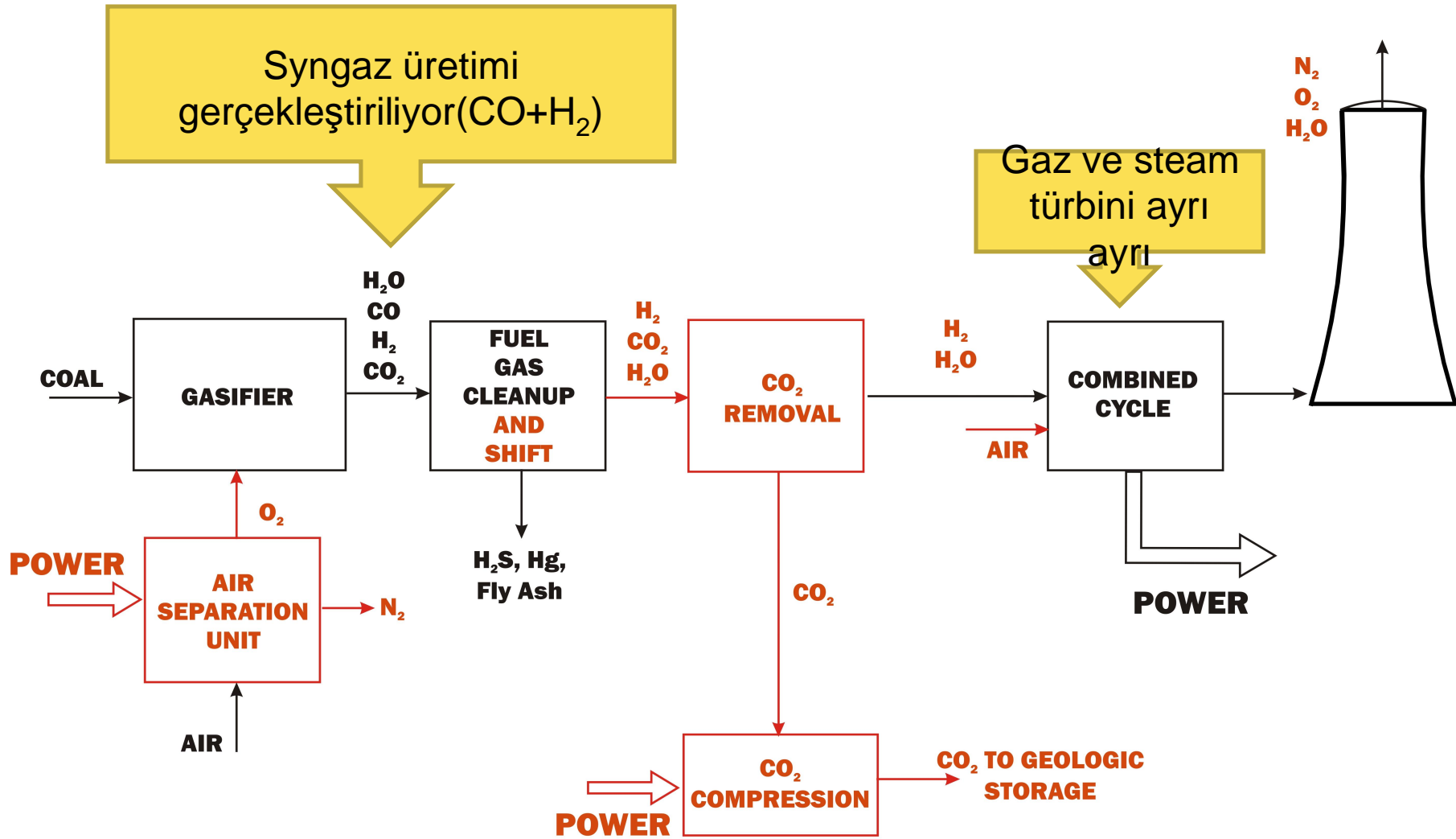
STEAM POWER PLANT WITH OXY-COMBUSTION

Doğrudan Oksijen verilerek yapılan yanmada asıl amaç atık gaz kütlesinin azaltılarak CO₂'nin de azaltılmasıdır.

TKİ bir AB 7.Ç. Projesi olarak 20 MW güçteki soma termik santralini PC sisteminden oxy-fuel sistemine dönüştürmek üzere proje çalışması yapmış ve değerlendirilmeye sunmuştur. Burada amaçlar verim arttırmak, CO₂ miktarını azaltmak ve nihai hedef olarak ta CO₂ 'nin tutulmasıdır.



IGCC tipi termik santralde emisyonlar



INTEGRATED GASIFIER COMBINED CYCLE (IGCC) WITH CO₂ CAPTURE

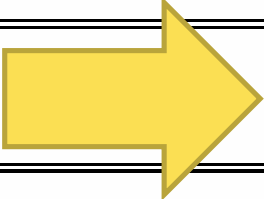
IGCC tipi termik santraller

- Ülkemizdeki düşük kalorili ve yüksek küllü kömürlerden enerji elde edilmesi için çok uygun bir teknoloji olduğu **artık netlik kazanmıştır.**
- Yüksek verim için, kükürdün külde tutulması ve CO₂ ' nin tutulmasına imkan veren bir teknolojidir.Kömürün gazlaştırılarak kullanımı esastır.
- Ekserji analizleri ile santral arızalarının ölçme ve denetim yapılan yerden tespitine imkan bir teknolojidir.
IGCC plantlerde yanmada % 80 civarında kömürün enerjisi syngaza dönüştürülmektedir.
- Genel verimde konvansiyonel sistemdeki % 33 ' lük değeri % 40 ' lara çıkabiliyor.IGCC plantleri sadece syngaz değil H₂ üretimi içinde uygun üretim metodlarındandır.

IGCC tipi termik plantlerin mahsurları

- Dünyada 1984 yılında kurulmuş IGCC plantleri vardır. İlk yıllarda en önemli mahsurları düşük emre amadelikleriydi.
- Yani işletmeciliği zor bir santral tipidir. Bu oran % 20 'lerden başlayıp bugün % 80 'ler civarına çıkmıştır. Ancak pülverize kömür santralleri ülkemizde 2007 yılı itibarı ile % 87 emre amadelikte çalışmaktadırlar.
- İkinci mahsurları ilk yatırım tutarları aşağıdaki bölümlerde görüleceği üzere daha yüksektir.
- Elektrik üretim maliyetleri de 2007 bilgileri içinde biraz daha yüksektir.
- Ancak ,**Prof.Dr.B.Zühtü UYSAL (Gazi Üniversitesi)**
“”IGCC Plantleri kömür kimyasalları ve H₂ üretilmesine imkan verdiği için diğer termik santral tiplerinden ayırmakta yarattığı ek katma değer de düşünerek değerlendirmek gerektiği”” görüşündedir.

PC, SCPC, CFB, IGCC Tipi termik plantlar da çıkış elektrik maliyetleri cent/kWh

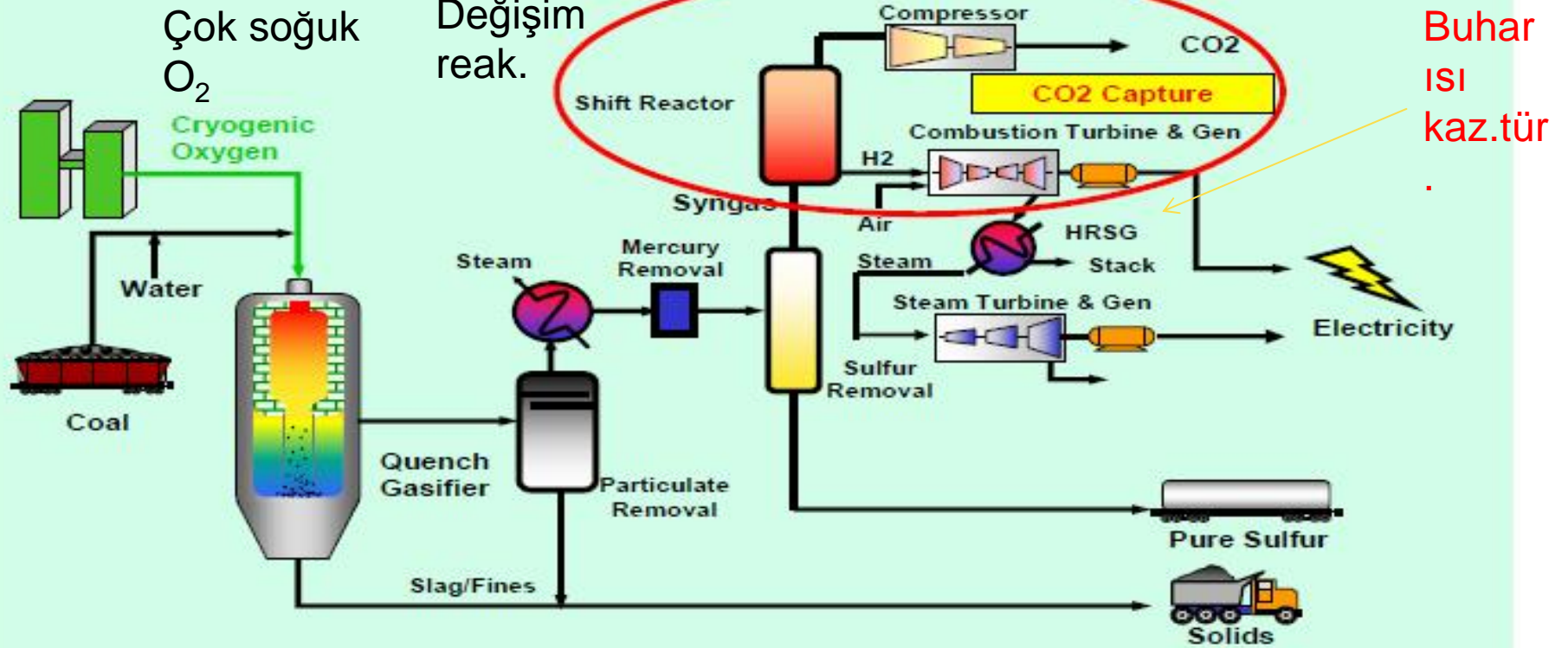


Busbar Cost Analysis Results, ¢/kWh				
Case	SPC	USCPC	CFB	IGCC
Degraded performance, w/o emissions	9.56	8.63	10.54	12.69
New and clean performance, w/o emissions	9.47	8.54	10.43	12.38
Degraded performance, w/ emissions	9.68	8.74	10.66	12.81
New and clean performance, w/ emissions	9.58	8.65	10.56	12.50
Degraded performance, w/ emissions including CO ₂	10.96	9.94	11.99	14.00

Black & Veatch, Washington, DC, "Clean Coal Technology Selection Study", January 2007

TKİ birkaç yıldır yaptığı yoğun araştırmalar sonucunda ülkemizde kurulacak yeni termik santrallerin IGCC olarak kurulmasını veya kurdurulmasını planlamakta ve retrofit ile eski santrallerini CO₂ capture yapacak şekilde dönüştürmeyi planlamaktadır. Bu yaklaşım düşük kalorili yüksek küllü ülkemiz Linyitleri için çok doğru bir tespittir.

IGCC with Carbon Capture

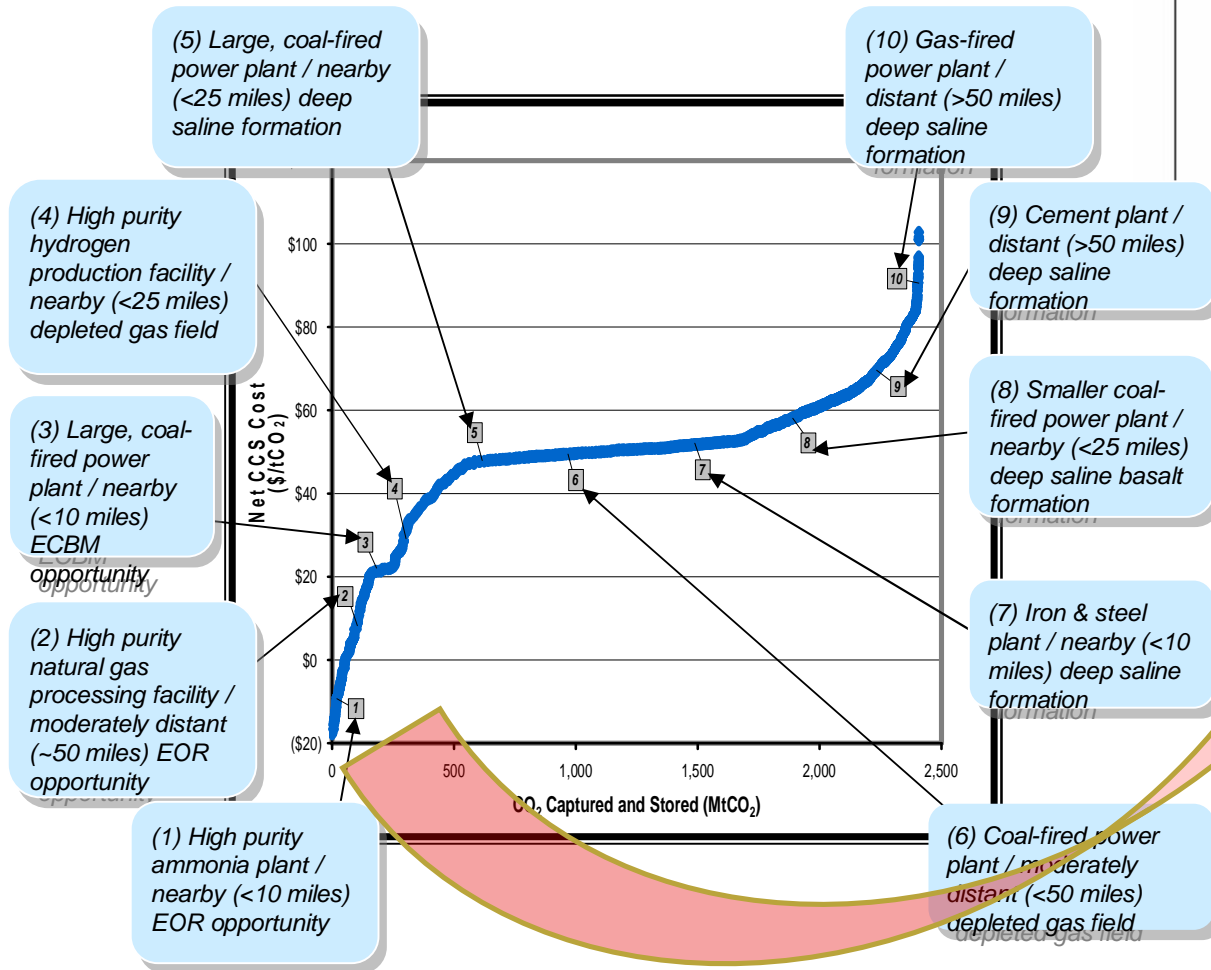


Dünyada Bazı Co₂ Depolama Yerleri ve Kapasiteleri
SOMA Havzası bu büyüklüklere göre 2009 yılı itibarı ile
dünyadaki 5. büyük depolama kapasitesine sahiptir.

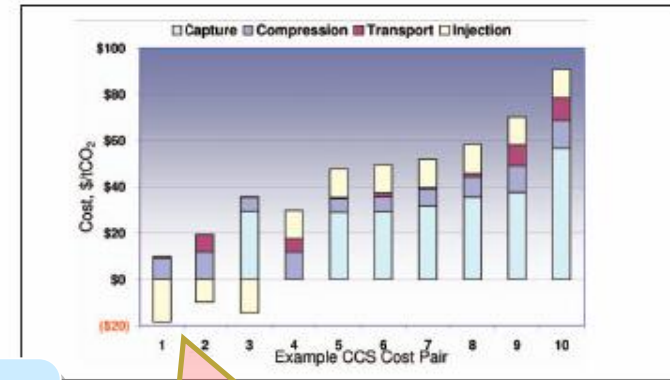
Project Name	Country	Start of CO ₂ injection	Average CO ₂ injection rate (tCO ₂ /day)	Total CO ₂ storage capacity planned (tCO ₂)	Reservoir type
Weyburn	Canada	2000	3000-5000	20.000.000	EOR
In Salah	Algeria	2004	3000-4000	17.000.000	Gas field
Sleipner	Norway	1996	3.000	20.000.000	Deep aquifer
K12B	Netherlands	2004	100	8.000.000	EOR
Frio	USA	2004	177	1600	Deep aquifer
Fenn Big Valley	Canada	1998	50	200	CBM
Qinshi Baseni	China	2003	30	150	CBM
Yubari	Japan	2004	10	200	CBM
Recopol	Poland	2003	1	10	CBM
Gorgon (planning stage)	Australia	2009	10.000	not known	Deep aquifer
Snohvit	Norway	2006	2.000	not known	Deep aquifer

CCS Maliyet Bileşenleri tutulma, sıkıştırma, nakliye ve yer altına enjeksiyon giderlerinden oluşmaktadır.

The Net Cost of Employing CCS within the United States - Current Sources and Technology



THE NET COST OF EMPLOYING CCS: EXAMPLE COMPONENT COSTS BREAKOUT



Çeşitli tipteki termik santrallerde değişik maliyetler

Power plant performance and cost parameters ^a	Pulverized coal power plant	Natural gas combined cycle power plant	Integrated coal gasification combined cycle power plant
Reference plant without CCS Cost of electricity (US\$/kWh)	0.043-0.052	0.031-0.050	0.041-0.061
Power plant with capture			
Increased fuel requirement (%)	24-40	11-22	14-25
CO ₂ captured (kg/kWh)	0.82-0.97	0.36-0.41	0.67-0.94
CO ₂ avoided (kg/kWh)	0.62-0.70	0.30-0.32	0.59-0.73
% CO ₂ avoided	81-88	83-88	81-91
Power plant with capture and geological storage ^b			
Cost of electricity (US\$/kWh)	0.063-0.099	0.043-0.077	0.055-0.091
Cost of CCS (US\$/kWh)	0.019-0.047	0.012-0.029	0.010-0.032
% increase in cost of electricity	43-91	37-85	21-78
Mitigation cost (US\$/tCO ₂ avoided) (US\$/tC avoided)	30-71 110-260	38-91 140-330	14-53 51-200
Power plant with capture and enhanced oil recovery ^c			
Cost of electricity (US\$/kWh)	0.049-0.081	0.037-0.070	0.040-0.075
Cost of CCS (US\$/kWh)	0.005-0.029	0.006-0.022	(-0.005)-0.019
% increase in cost of electricity	12-57	19-63	(-10)-46
Mitigation cost (US\$/tCO ₂ avoided) (US\$/tC avoided)	9-44 31-160	19-68 71-250	(-7)-31 (-25)-120

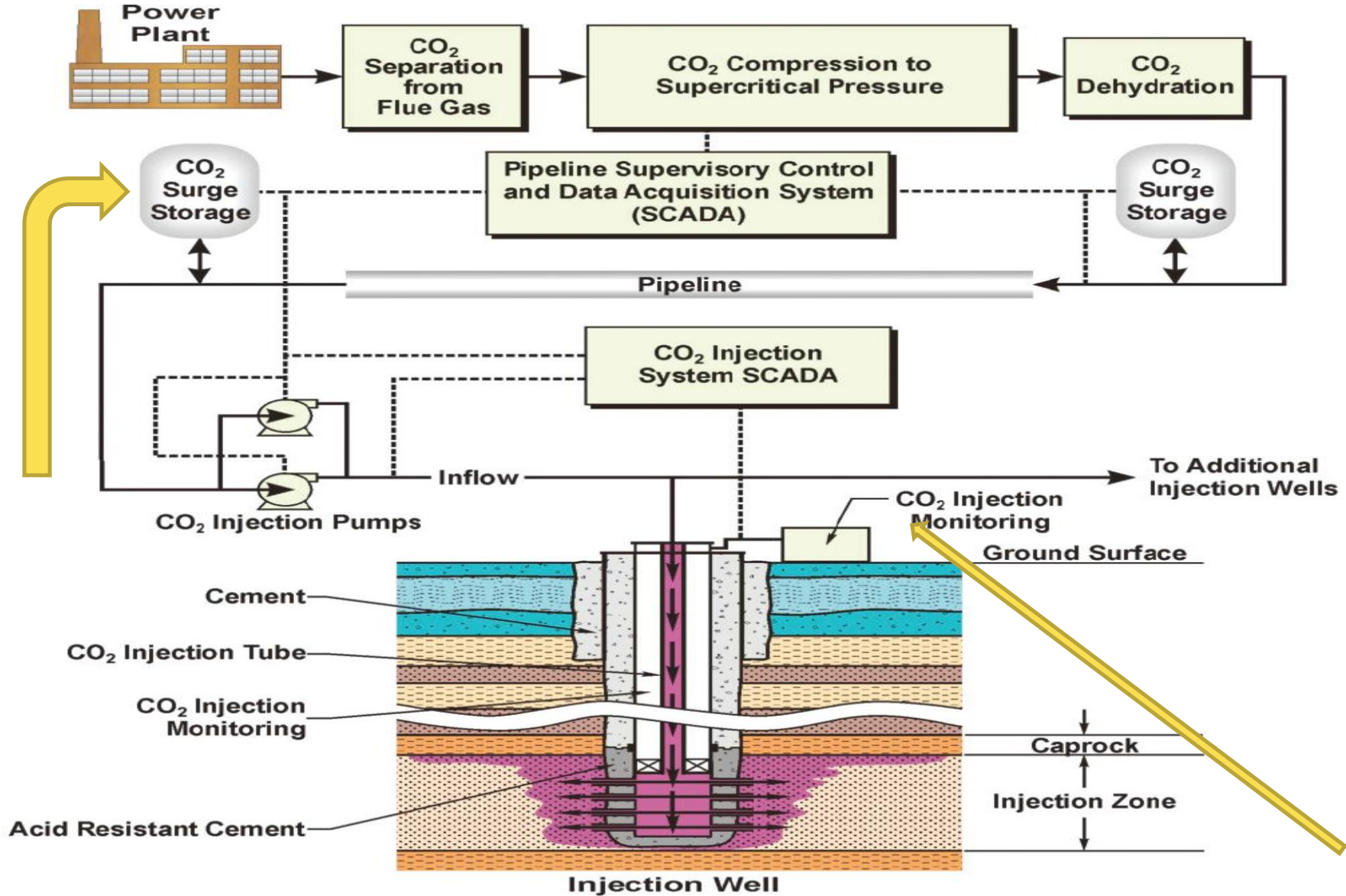
^a All changes are relative to a similar (reference) plant without CCS. See Table TS.3 for details of assumptions underlying reported cost ranges.

^b Capture costs based on ranges from Table TS.3; transport costs range from 0-5 US\$/tCO₂; geological storage cost ranges from 0.6-8.3 US\$/tCO₂.

^c Same capture and transport costs as above; Net storage costs for EOR range from -10 to -16 US\$/tCO₂ (based on pre-2003 oil prices of 15-20 US\$ per barrel).

Range of combined costs for CO₂ capture, transport and geological storage based on current technology for new power plants using bituminous coal or natural gas (IPCC, 2005).

Tipik Bir Güç Santralinde CO₂ 'nin Tutulması ve Depolanmak Üzere Yeraltına Gönderilmesinin ve Monitoring Sistemde İzlenmesinin Şematik Akış Şeması



Ülkemizde başta TKİ tarafından yanma verimini yükselterek CO₂ emisyonlarını azaltmak ve CO₂'nin tutulmasına yönelik AR-GE düzeyinde **önemli** çalışmalar yapılmakta ve yaptırılmaktadır.

Örneğin, AB 7. Çerçeve Programı Kapsamında başvurulmuş Oksijenli Yanma Verimliliğinin İyileştirilmesi Projesi bu çalışmalardan bir tanesidir.

- **Amacı:** Pulverize yani **hava ile yanma teknolojisine** sahip bir santrali **oksijen ile yanar hale** verimli ve maliyet etkin bir şekilde modernleştirmek (retrofitting) yapmak için bu amaçla **Soma A** santrali seçilmiştir.

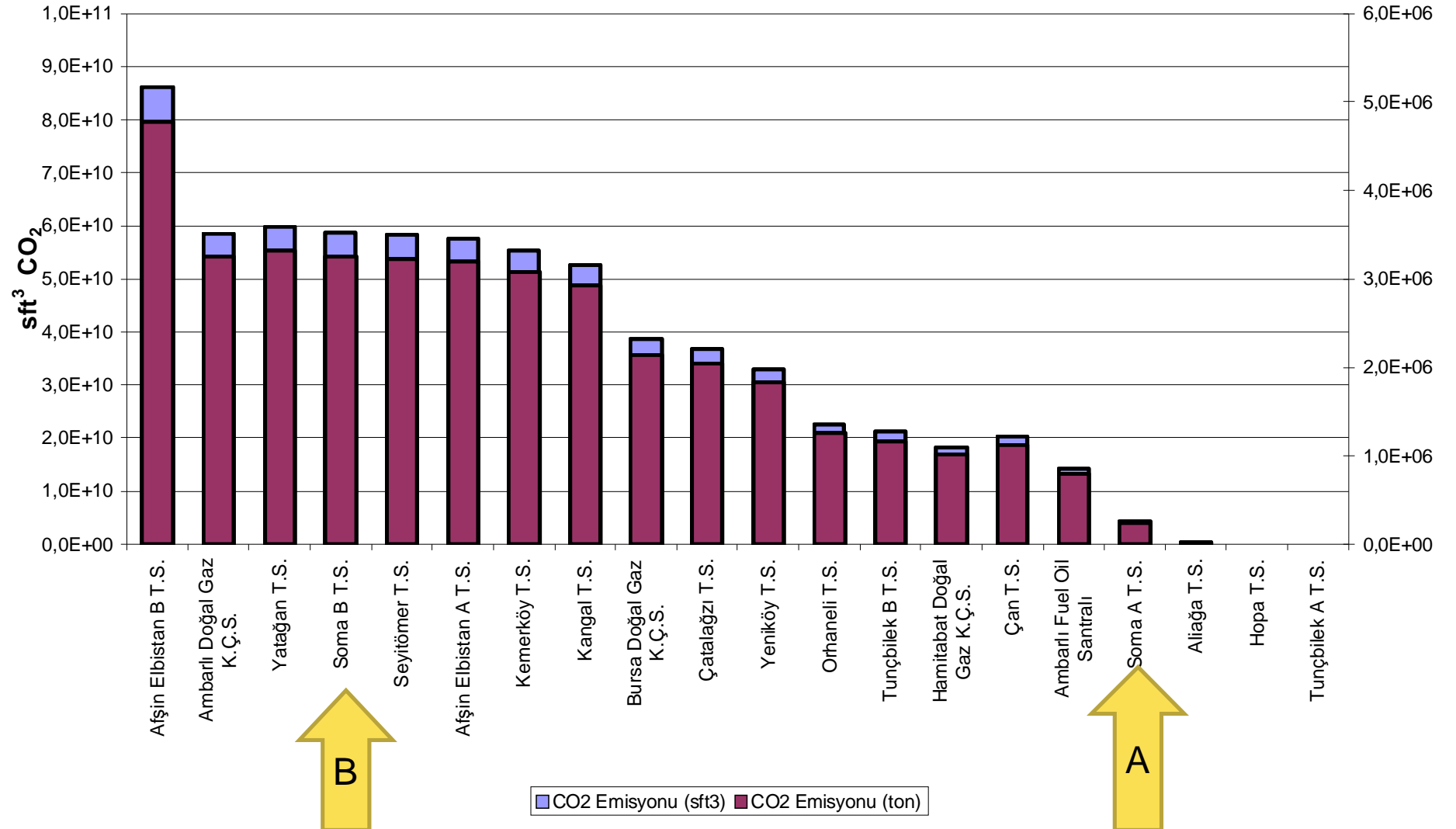
Böylelikle;

- **CO₂ emisyonlarının daha etkin tutulabilirliğini ve emisyonların azaltılabilirliğini göstermek,**
- **Verimlilik iyileştirmesini göstermek**
- **Fizibilitesini ve daha büyük ölçekli santrallere uygulanabilirliğini göstermek**

- 10 ayrı ülkeden (Türkiye, Fransa, Almanya, İtalya, Çek Cumhuriyeti, Avusturya, Hollanda, İngiltere, İspanya, Yunanistan) 17 ortak katılmıştır. (Türkiye ortak sayısı 5)
- TKİ ve proje ortakları adına AB'ne bu kapsamda **ülkemizden ilk kez** bir proje gönderilmiş ,proje kriterleri geçerek yeterli puanı almış ancak farklı projelere öncelik verilerek hibe parasal destek sağlanamamıştır.

ÜLKEMİZDEKİ TERMİK SANTRALLERİN CO₂ EMİSYONLARI (2006)

CO₂ Emisyonu (sft³ ve ton CO₂) (2006)

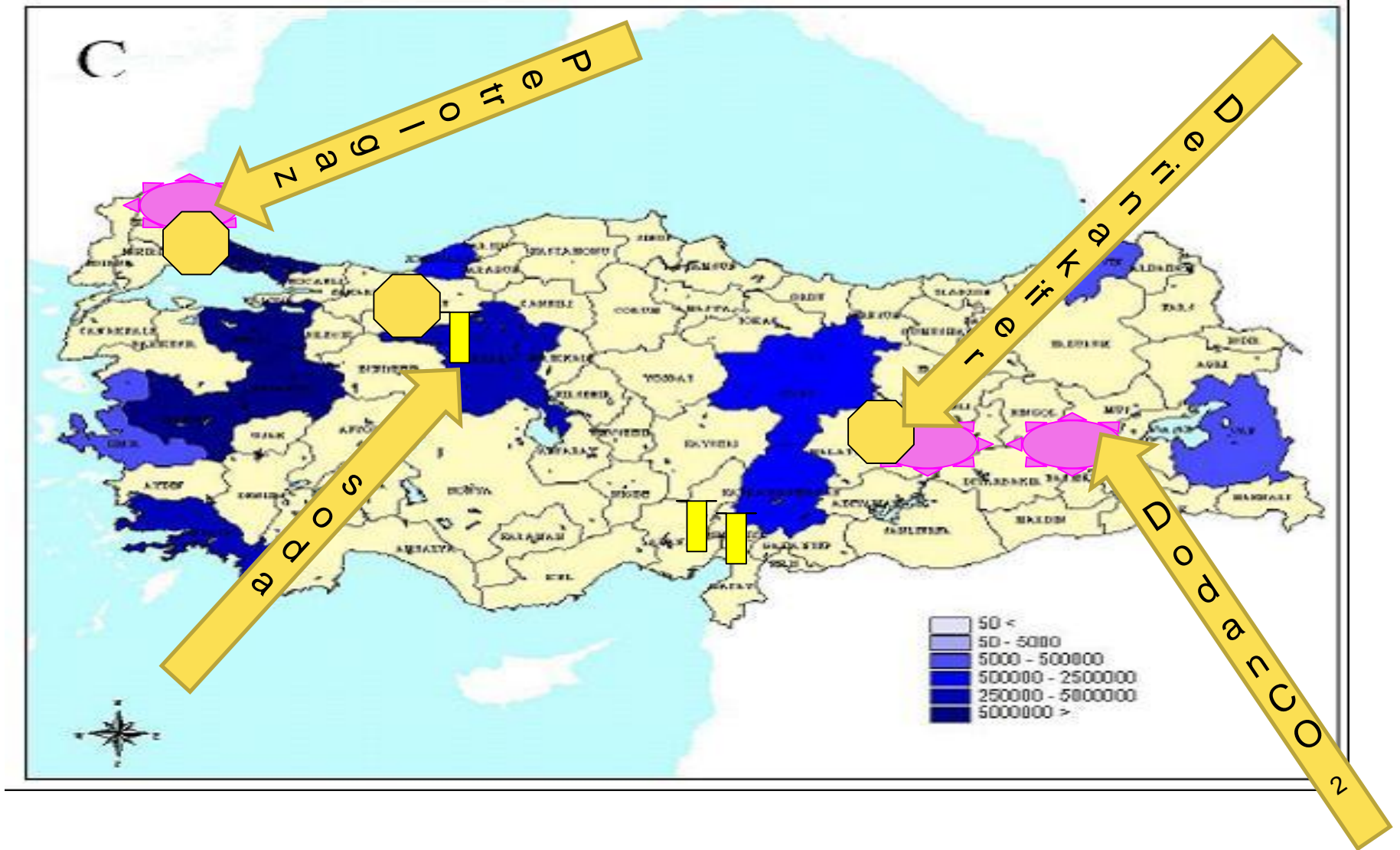


Soma Termik Santralleri ve CO₂

- 44 MW'lık ve 50 yaşındaki Soma-A termik santrali CO₂ emisyonları açısından kömür ile çalışan termik santraller arasında ülkemizde en sonlarda ve 990 MW'lık ve 26 yaşındaki Soma-B termik santrali ise ilk 3-4.cü sırada santraller arasında yer almaktadır.İki santral birlikte ele alındığında bu emisyonlar ülkemizdeki toplamda 2.büyük emisyon kaynağıdır.Bu nedenle CO₂ emisyonlarının azaltılması veya CCS sistemleri ile bertaraf edilmesi ve diğer alternatif çözümler başta AEL olduğu gibi SOMA havzası içinde büyük öneme sahiptir.

Diğer taraftan SOMA havzası "" Türkiye'nin Yer altı Sıcaklık Haritası ve Tahmini Isı İçeriği"" konulu D.Basel, K .CAKİN, A SATMAN, 7. Ulusal Temiz Enerji Simpozyumu "" , 17-19 Aralık 2008, İstanbul tebliğe göre -500m.'de 100°C gibi önemli bir ısı potansiyeli sahiptir. Bu bilgiler 100-150m. Derinliklerdeki ısı kuyularının jeokimyasal analiz sırasında elde edilen gradyan değerlerinin 500m. Derinliğe enterpolasyon yapılması ile bulunan değerleri içermektedir.Yalnızca bu noktadan bakıldığında SOMA havzasında -5000m.'ler için rahatlıkla CO₂ JEOTERMAL SİFONU potansiyeli görünmektedir.

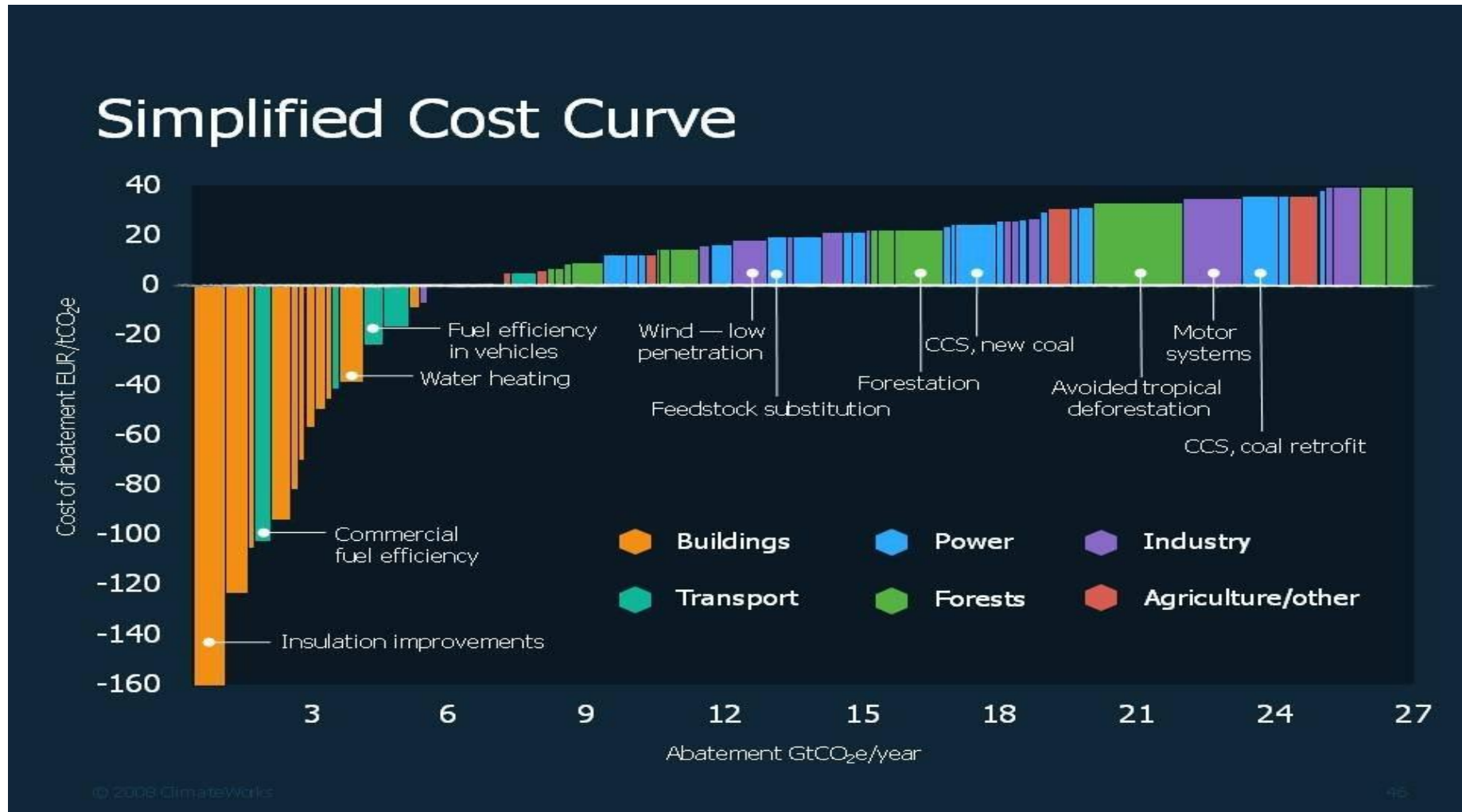
ODTÜ Tarafından 2005 yılında yapılan çalışmaya göre ülkemizin olası CO₂ jeolojik depolanma imkanları içinde SOMA havzası en yüksek düzeyde potansiyele sahiptir.
Kapasitesi 5 000 000 tCO₂ 'nin üzerindedir.



CO₂ 'nin depolanması

- Bu bölümde CO₂ 'nin tutulması ve depolanması ve taşınması ve yer altına basılması konusunda maliyetler konusunda bilgilere yer verilecektir.
- Örneğin ABD 'nin gelecekteki enerji planlamasına bakıldığında bir taraftan kömürden enerji üretimi sağlanması diğer taraftan da % 60 civarında bugünkü CO₂'nin azaltılması hedefleniyor.
- Bu tespit CO₂'nin tutulması ve depolanması veya CCS 'nin birim enerji maliyetleri üzerindeki etkisini ön plana çıkarmaktadır. Ve her ülke için ayrı ayrı ciddi bir araştırma konusudur.

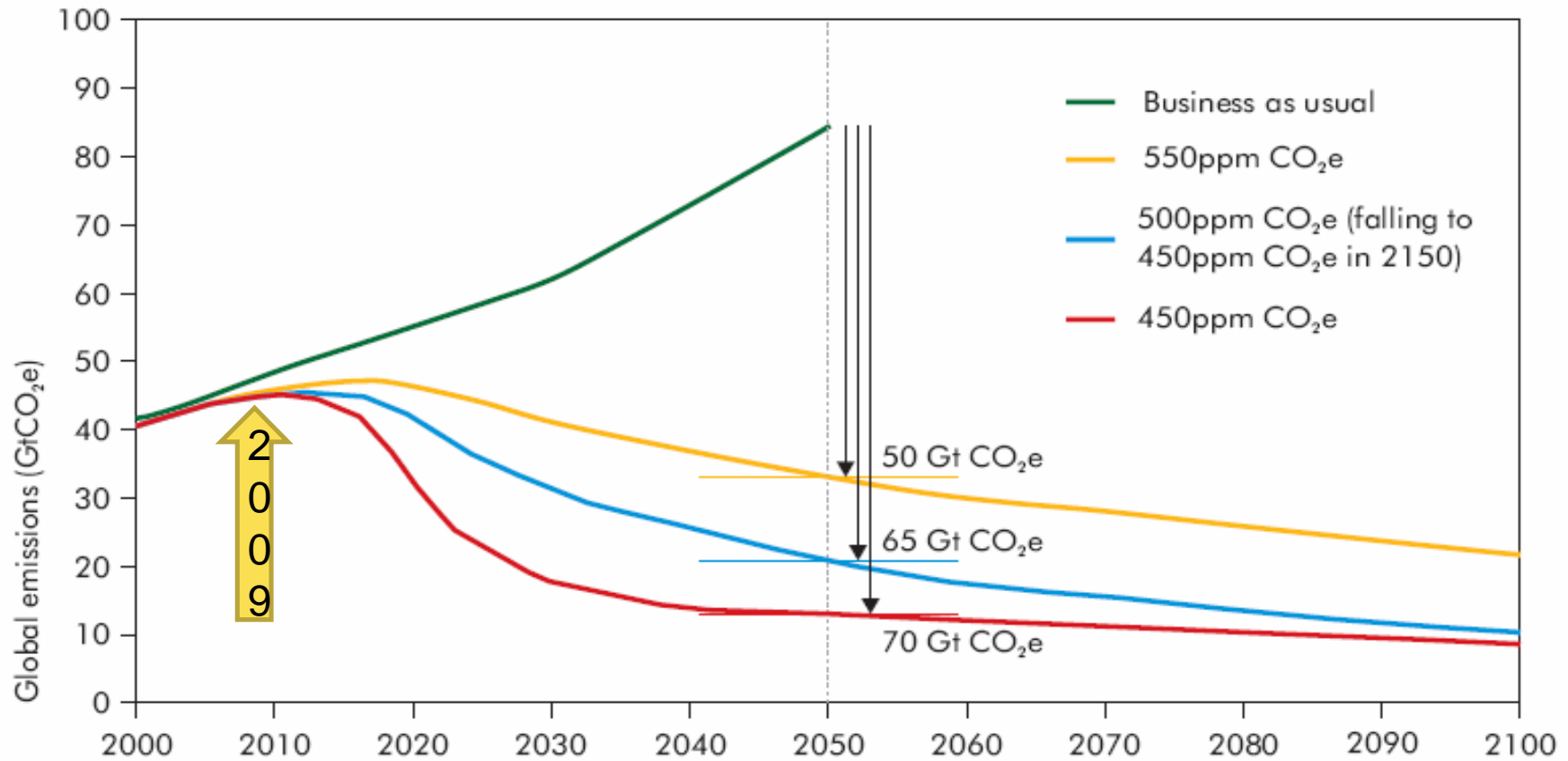
Bu basitleştirilmiş fiyat eğrisi CO₂ 'nin değişik sektörlerde yıllık azaltılmalar sonucunda bir ülke için yapılmış kabul edilebilir tCO₂ maliyetlerini göstermektedir.



OECD-2008

Global emisyon artışı raporundan

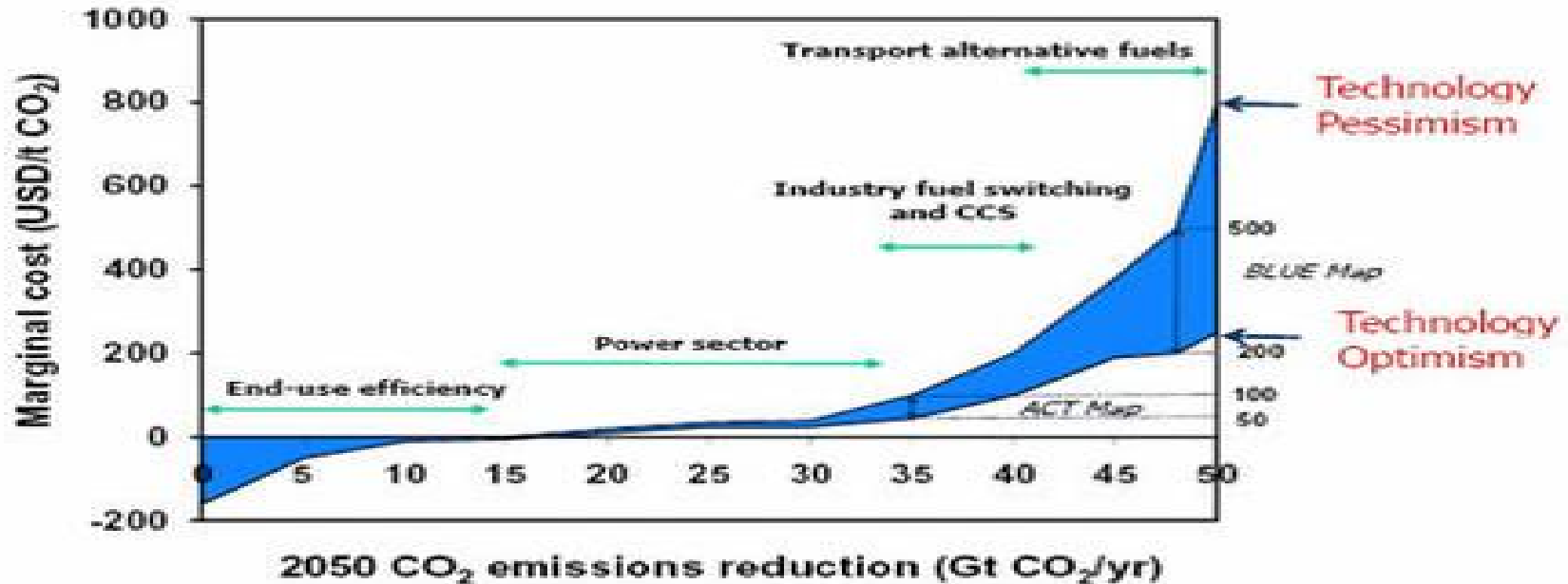
1. Business-as-usual emissions and stabilisation trajectories for 450-550 ppm atmospheric concentration of CO₂e showing "mitigation gaps" for 2050



Source: Stern, 2007.

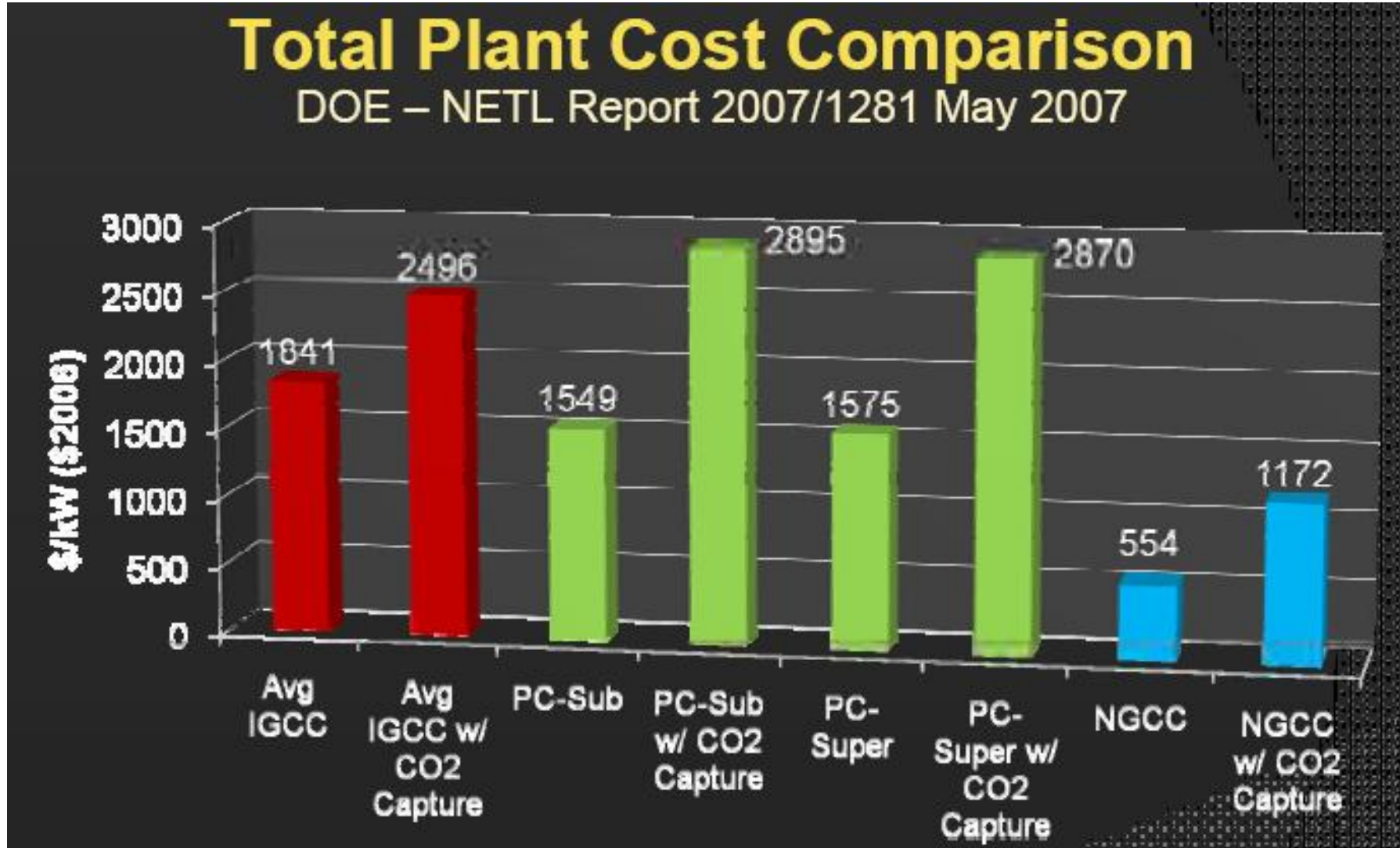
IEA-2006 raporuna göre 2050 yılına kadar Dünyadaki CO₂ emisyonlarının %50 oranında tutulabilmesi için toplam 45 trilyon dolar yatırım yapmak gerekmektedir.

Cost of Emissions Reductions



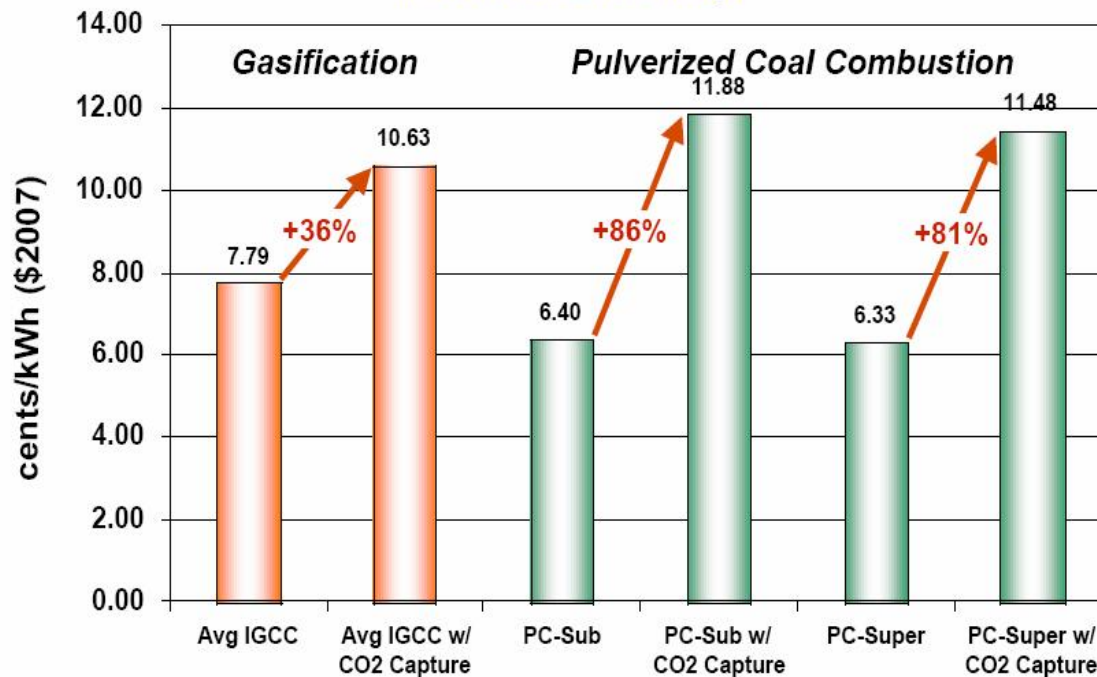
To bring emissions back to current levels by 2050 options with a cost up to USD 50/t are needed. Reducing emissions by 50% would require options with a cost up to USD 200/t, possibly even up to USD 500/t CO₂

CCS sistemine sahip ve sahip olmayan termik santrallerin \$/kw başına ilk yatırım maliyetlerinin karşılaştırılması



CCS sistemi olan ve olmayan santrallerden üretilen elektrik fiyatlarının karşılaştırılması (NETL araştırması 2007)

Cost of Electricity Comparison -- New Plants (NETL Baseline Study)

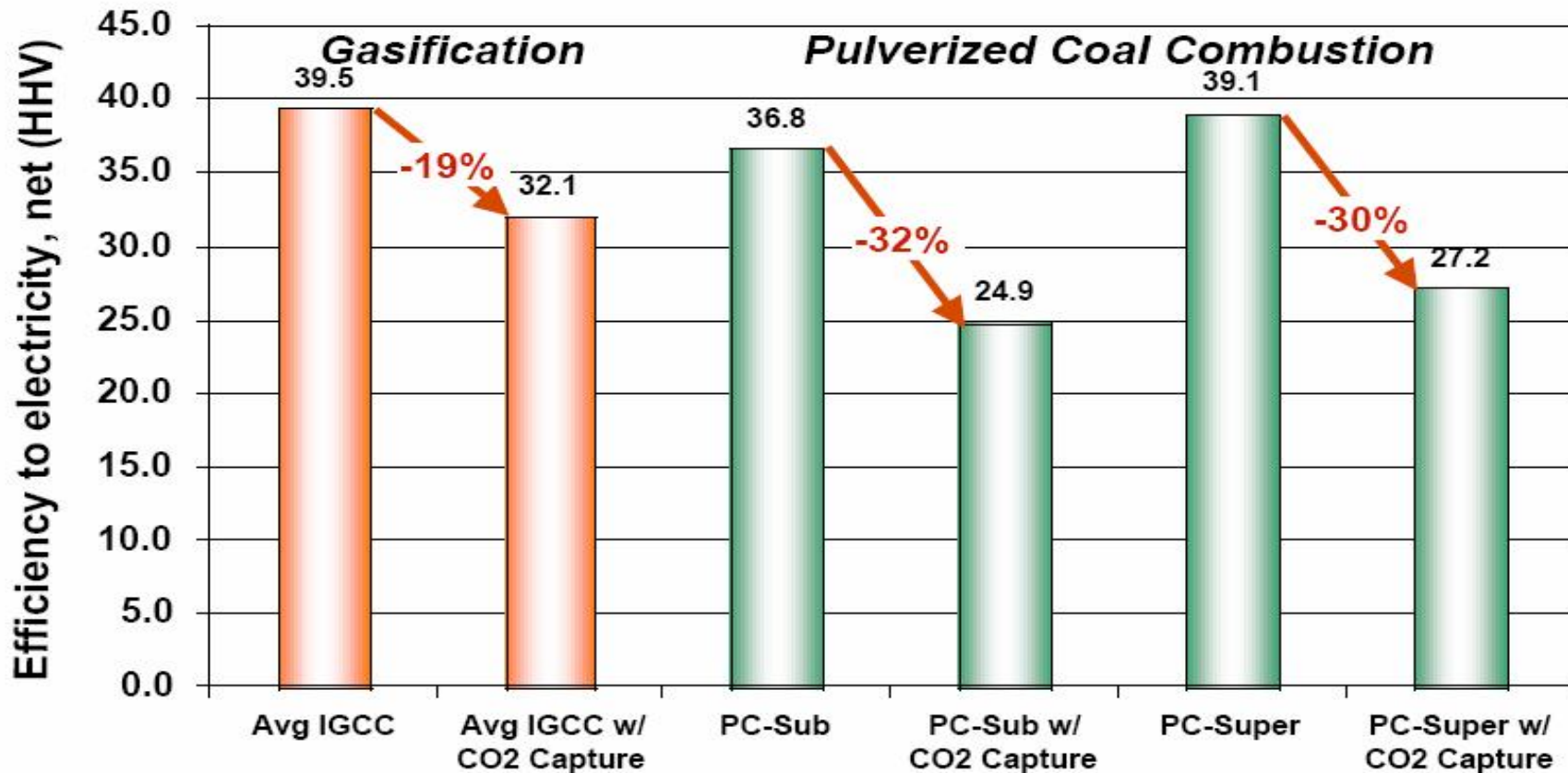


January 2007 Dollars, Coal cost \$1.80/10⁶ Btu



CCS ihtiva eden ve etmeyen IGCC ve PCC termik santrallerinde verimliliklerin karşılaştırılması

Efficiency Comparison- New Plants (NETL Baseline Study)



Değerlendirme

- CCS' nin tutulması ve depolanması dünyada ve özellikle kömürün körfezi durumundaki ABD'de üzerinde yoğun olarak çalışılan konuların başında gelmektedir.
- ABD Enerji Bakanlığı bunu sıfır emisyonlu termik santraller üretimi noktasına taşımış demonstratif projeler yapmış ve ticari projeler üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir.

CO₂ 'den CCS yöntemleri ile **kurtulmak teknolojik olarak mümkün** ancak yukarıdaki yansılardan da görüldüğü gibi şimdilik maliyetler oldukça yüksek görülmektedir.

Üretilen çok büyük miktarlardaki CO₂'nin bir bölümünden ekonomik olarak yararlanılabilese de büyük bölümü belki depolansa da sorun teşkil edecektir. Bu konuda bir takım belirsizlikler mevcuttur.

Termik santrallerde üretilen CO₂ için dünyada AR-GE aşamasında tamamen yeni ve alternatif bir konsept

Bu yeni konseptin özellikleri;

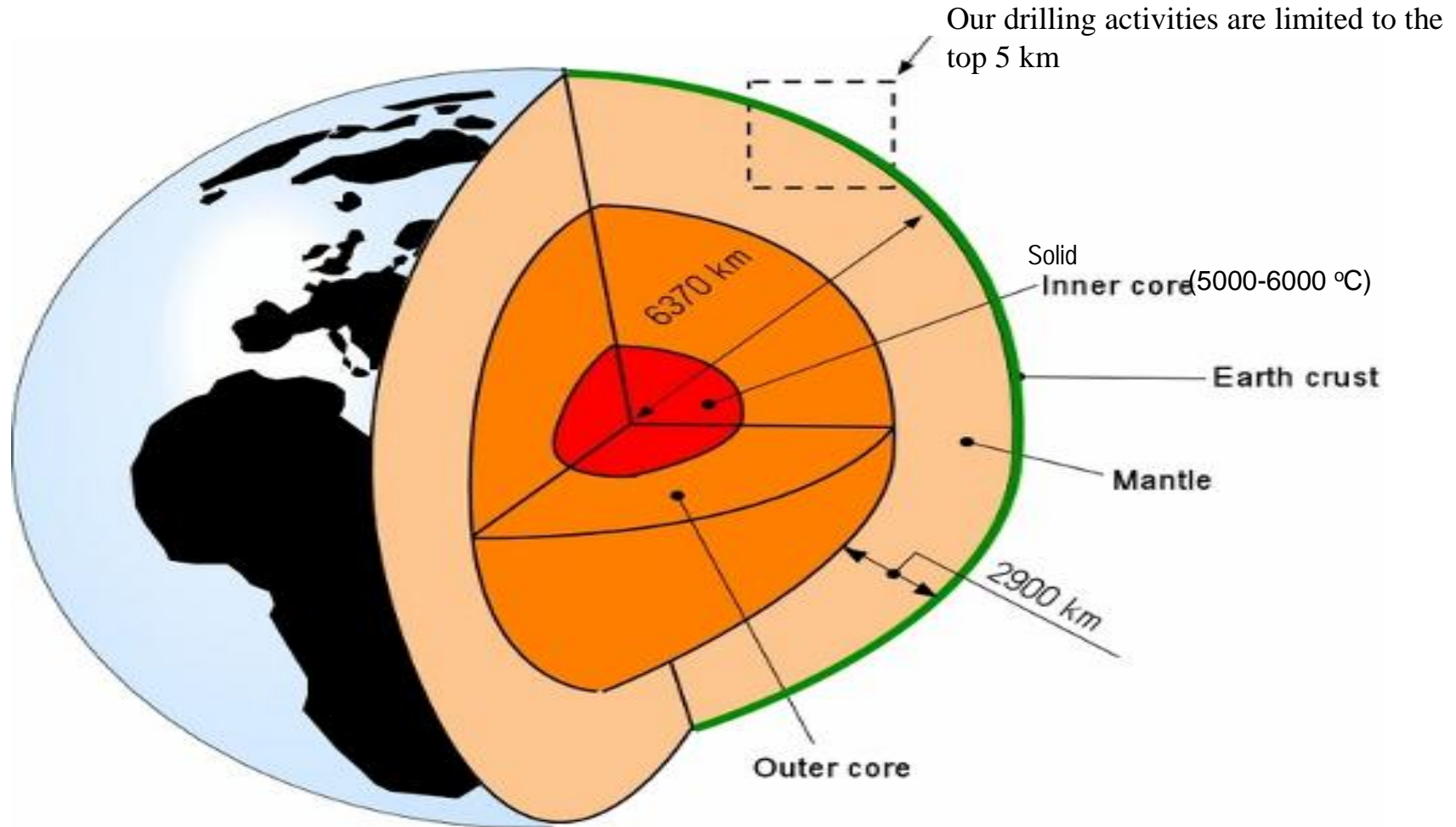
- **1-Çevrecidir.CO₂' yi tutar.**
- **2-CCS maliyetlerini enerji üretimi maliyetlerine yük etmeden yeniden kömürü sürdürülebilir ve rekabet edebilir bir enerji seçeneği haline getirebilir bir yaklaşımdır**
- **3-Ortaya çıkan bütün CO₂'yi kullanabilme imkanına sahiptir.**
- **4-Teori olarak mühendislik jeotermal araştırma ve uygulamalarının termik enerji üretimine geçişe imkan veren ortak bir ara yüzüdür.**
- **5-CO₂'nin hazır, sıfır maliyetli mühendislik jeotermal uygulamalarında daha yararlı bir çalışma akışkanı olarak kullanılarak elektrik üretilmesine imkan verebilir.**
- **6-Bu şekilde CCS 'den kaynaklanan ek enerji maliyetlerini minimize edilerek kömürün sürdürülebilir bir enerji yakıtı olarak kullanımının devamına fırsat sağlar.**

Mühendislik jeotermal veya ısı madenciliği veya “enhanced geothermal systems” denilen yeni bir jeotermal enerji kaynağı alanıdır.

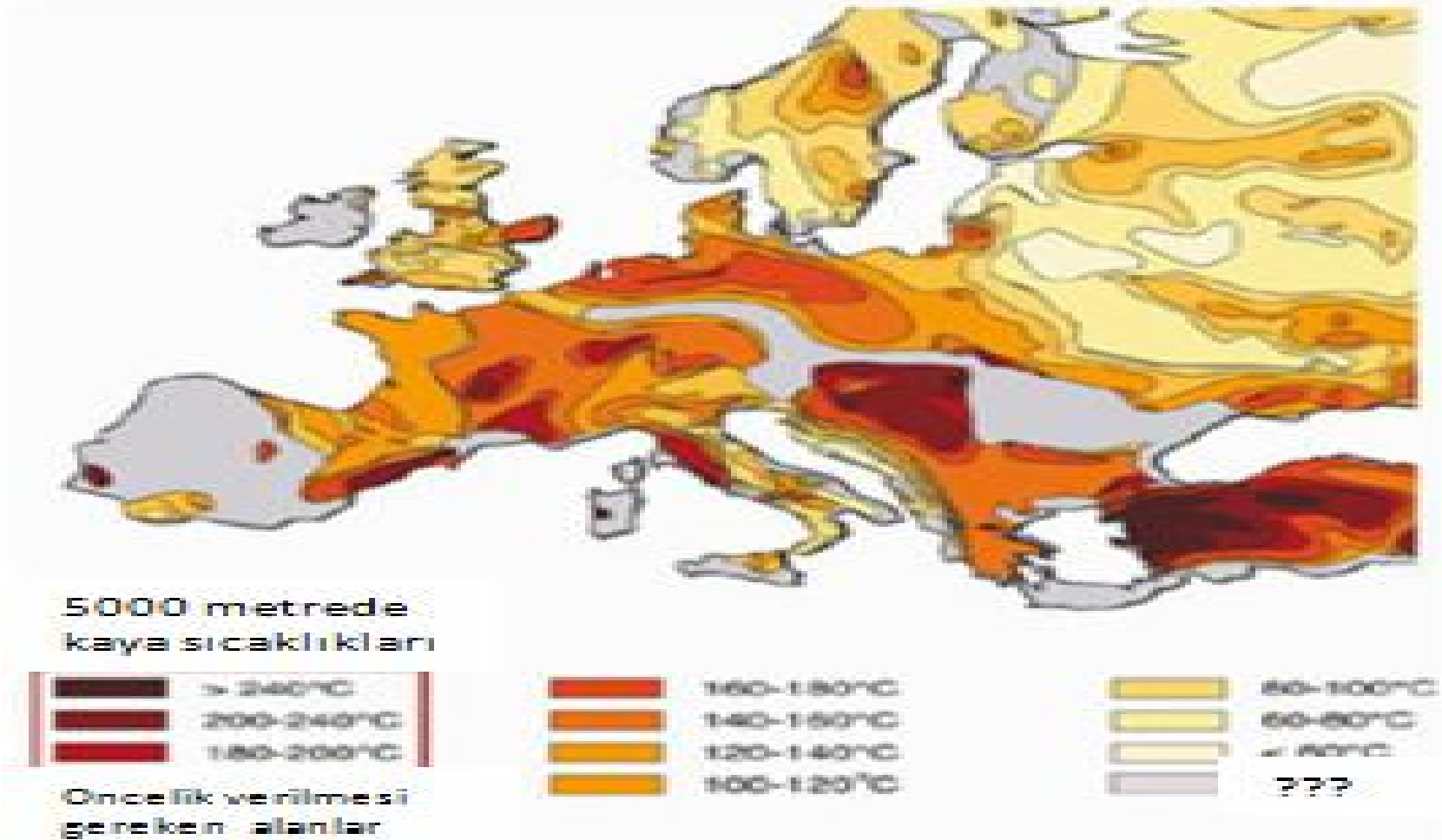
Avustralyada görev yapan Türk **Profesör Dr.(Mak.Müh.) Halim GÜRGENCİ** ile ABD Stanford Üniversitesi Los Alamos National Laboratory’den **Prof. Dr. Donald W.Brown** ve birkaç bilim adamının adına ENHANCED GEOTHERMAL SYSTEM veya CO2 GEOTHERMAL TERMOSİFONU dedikleri yeni bir yöntemdir (1974-1995) .,

Bu gurup EGS’in gelecek 20 yılda dünyadaki en önemli enerji kaynakları arasında yer alacağına inanmaktadır.

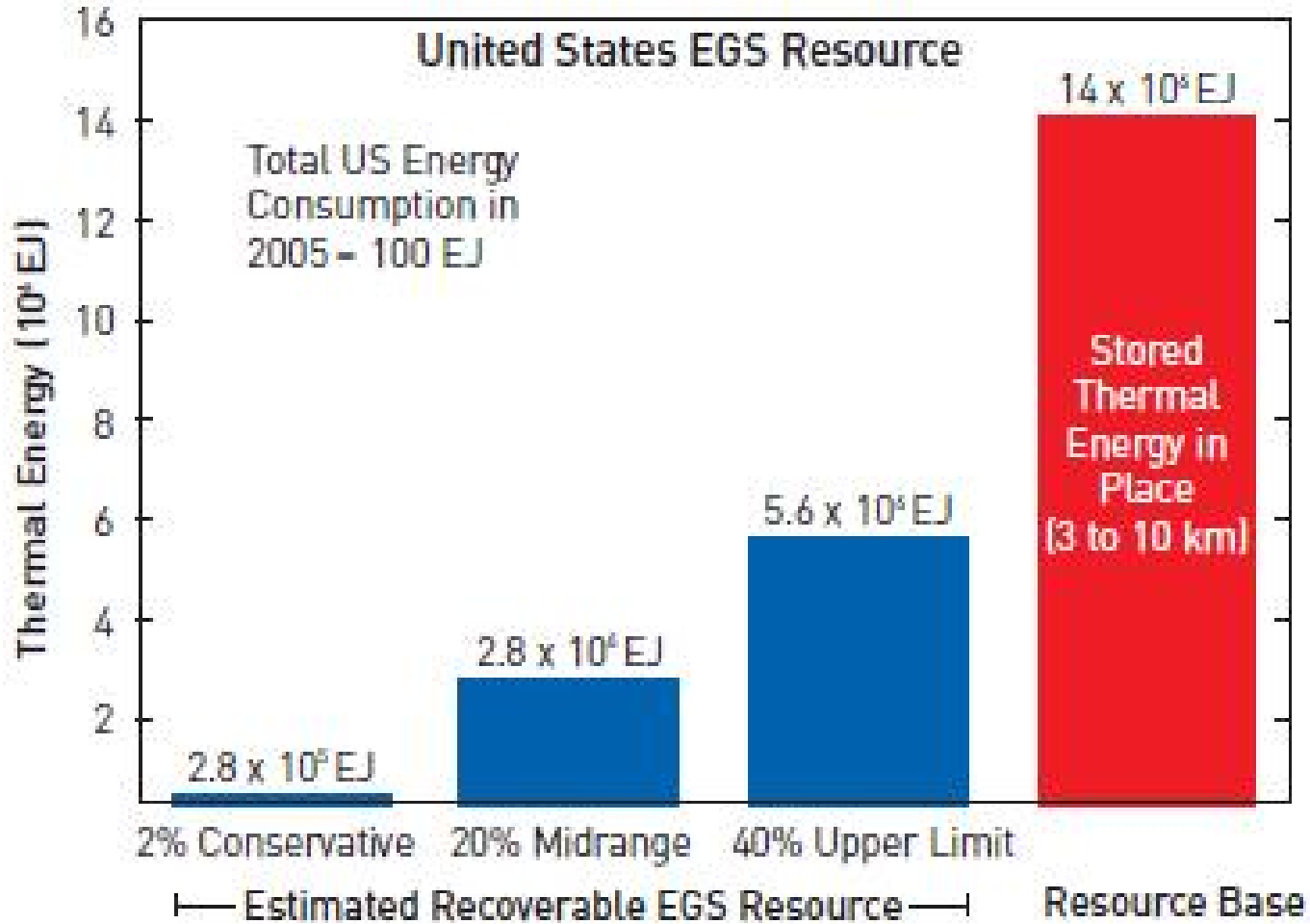
Yer kürede derinliğe bağlı olarak sıcaklık artmaktadır. Mühendislik jeotermal için sondaj derinliği 5000 m. civarındadır. İşin özü bu ısıdan yararlanmak üzere derin sondajlar yapmak ve bu derinliklere uygun çalışma akışkanları göndererek ısıyı yüzeye taşımak ve kullanmaktır.



AB Kaynaklarına göre ülkemizin ve AB ülkelerinin 5000m.derinlikte kaya sıcaklıkları.Ülkemiz Avrupadaki en büyük potansiyele sahip görülmektedir.



ABD'nin bilinen diğer enerji kaynakları ve bilinen konvansiyonel hidrotermal kaynak potansiyeli EGS enerji potansiyelinin yanında oldukça küçük kalmaktadır. Aynı durum Türkiye içinde söz konusudur. $1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ JOULE}$ 'dur.



10 km. Derinlikteki ABD'deki kaya sıcaklıklarından elektrik üretimi için yararlanılabilir. Şekiller Türkiye'nin AB'den de ABD'den de EGS açısından potansiyelinin daha iyi olduğunu göstermektedir.

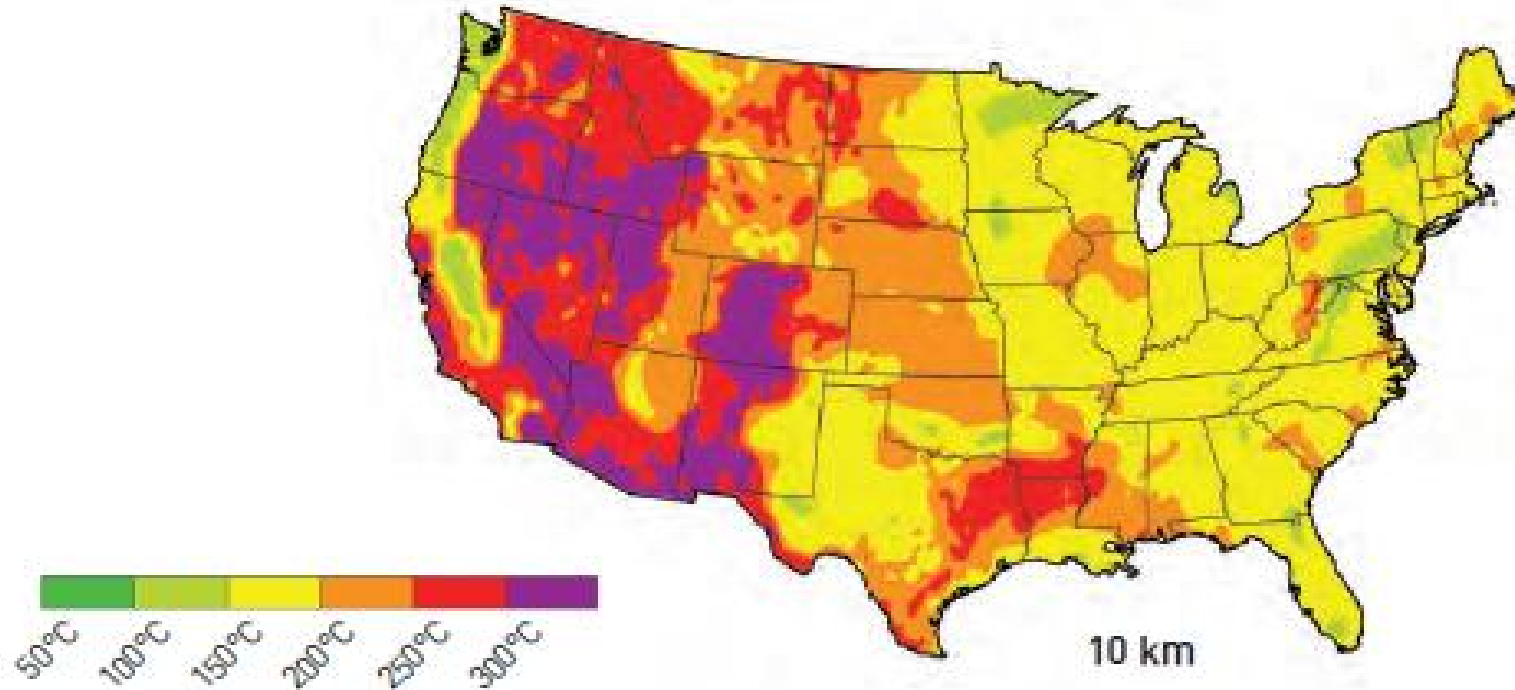


Figure 1.5 Temperatures at a depth of 10 km.

EGS sisteminin yapısı

- EGS Sistemi 5000 m. Derinliklere kadar birbirine yaklaşık 1 km. mesafe uzaklıkta sondaj ile açılan **bir enjeksiyon kuyusu** ve **iki adet üretim kuyusu** ve bu kuyular arasında dipten irtibat kurulması ve derine inildikçe her 1km.'de doğal arz küresinin sıcaklık artışından yararlanılması üzerine inşa edilmiş bir jeotermal enerji sağlama modelidir. Konvansiyonel veya bilinen hidrotermal sıcak su veya buhar kaynakları ile alakası yoktur.

Mühendislik Jeotermalinin Ana Modeli . Bu model SCCO_2 'yi çalışma akışkanı olarak kullanmak üzere tasarlanmıştır.

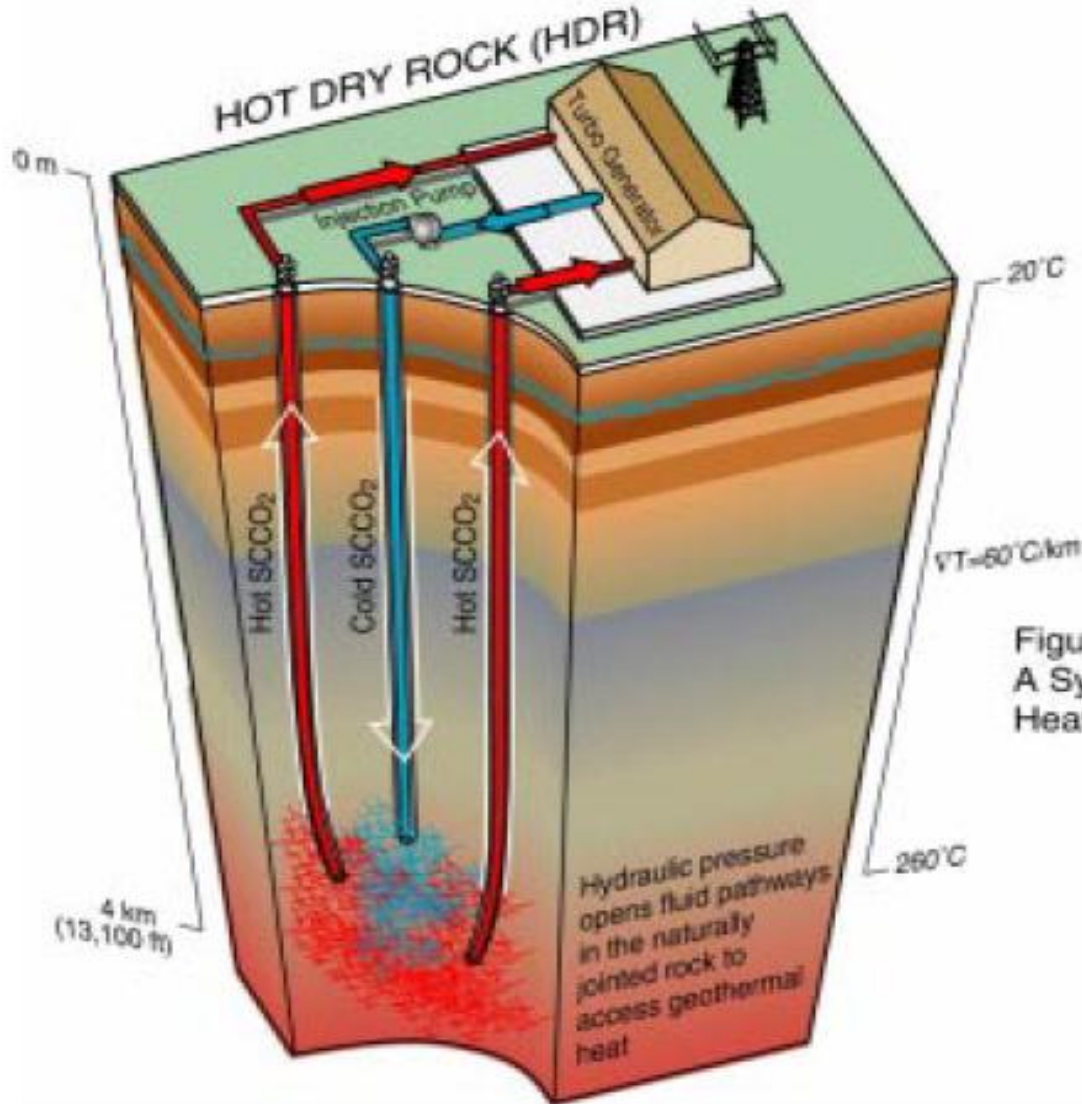
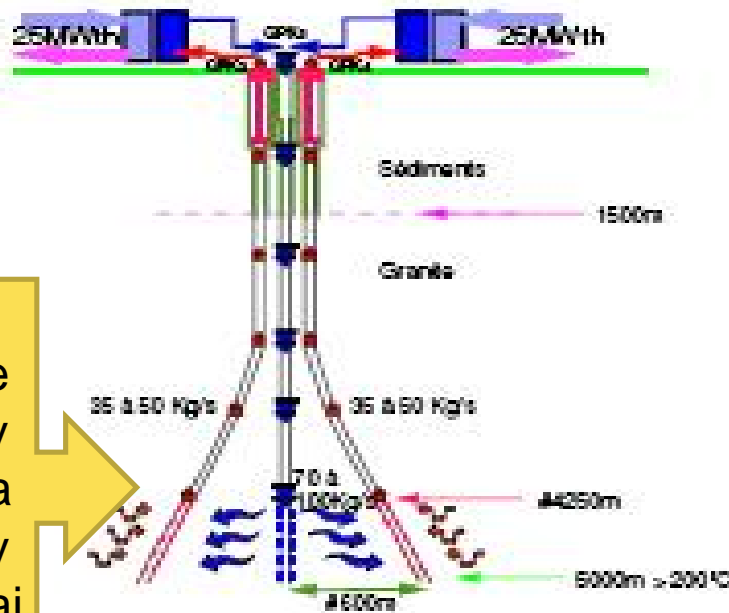


Figure 2: HDR- SCCO_2 .
A System Engineered for Geothermal
Heat Mining Using Supercritical CO_2 .

Bürükseldeki Örnek Bir EGS Kuyusu. Burada çalışma akışkanı olarak yeryüzünden kuyu dibine gönderilen sıcak su kullanılmaktadır. Kuyudan hem termik ve hemde elektrik güç üretilmektedir.

Schematic presentation of the EGS Soultz Pilot Plant



Secondary Loop (Surface):
Expected surface temperature: 185 °C
Heat exchanging system
Available thermal energy : 50 MWth
Surface power plant facilities
Produced electrical energy : 5 MWe
Principle: Convert geothermal heat in useful energy (electricity)

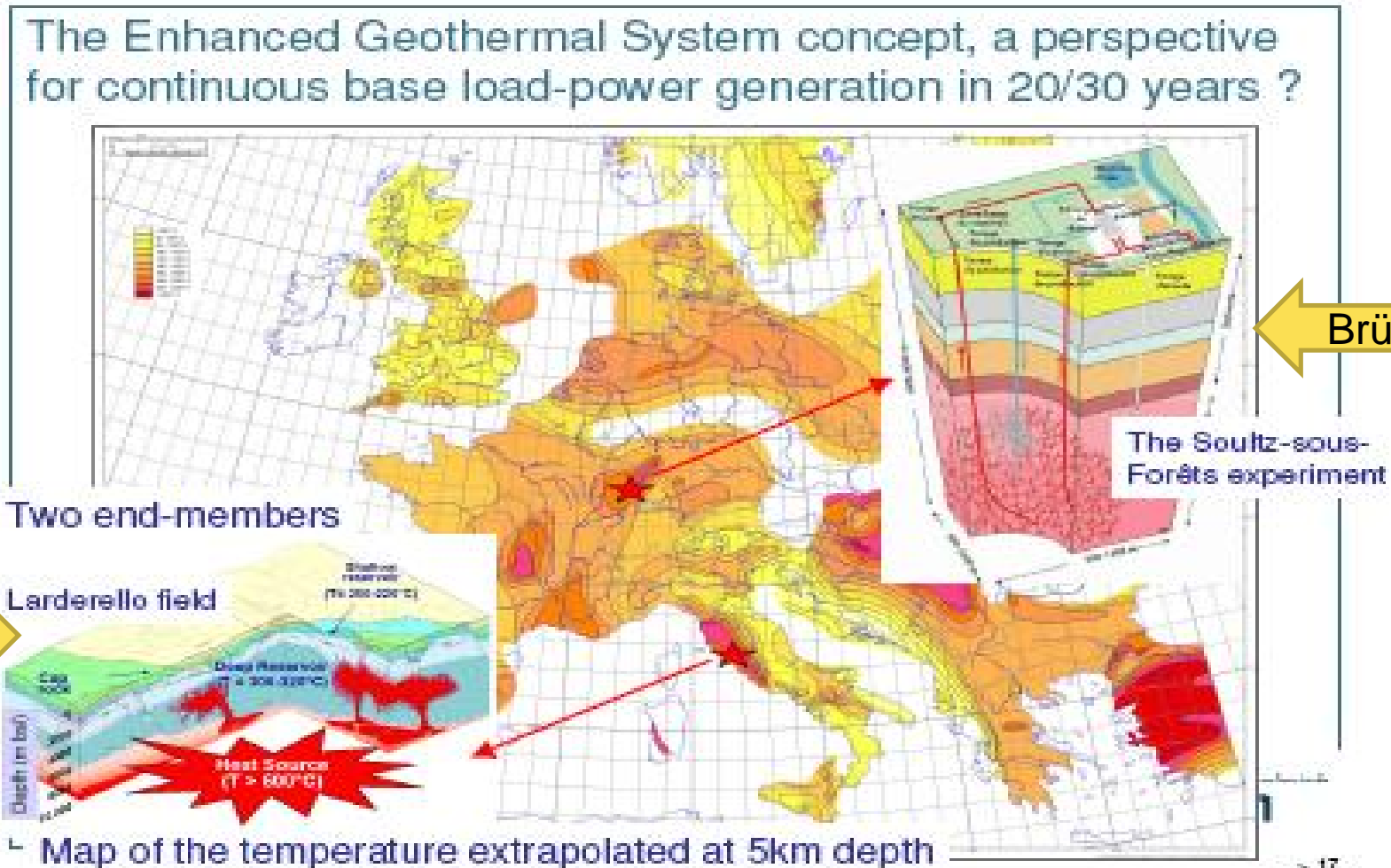
Primary Loop (Underground):
2 production wells, 1 re-injection well
"Closed" brine circulation
Expected Flowrate: 70-100 l/s
Depth : 4500-5000 m
Bottom temperature: 200 °C
Pumping system (EGS)
Principle : Extract geothermal heat from hot rocks

Önce dikey sonra yatay sondaj

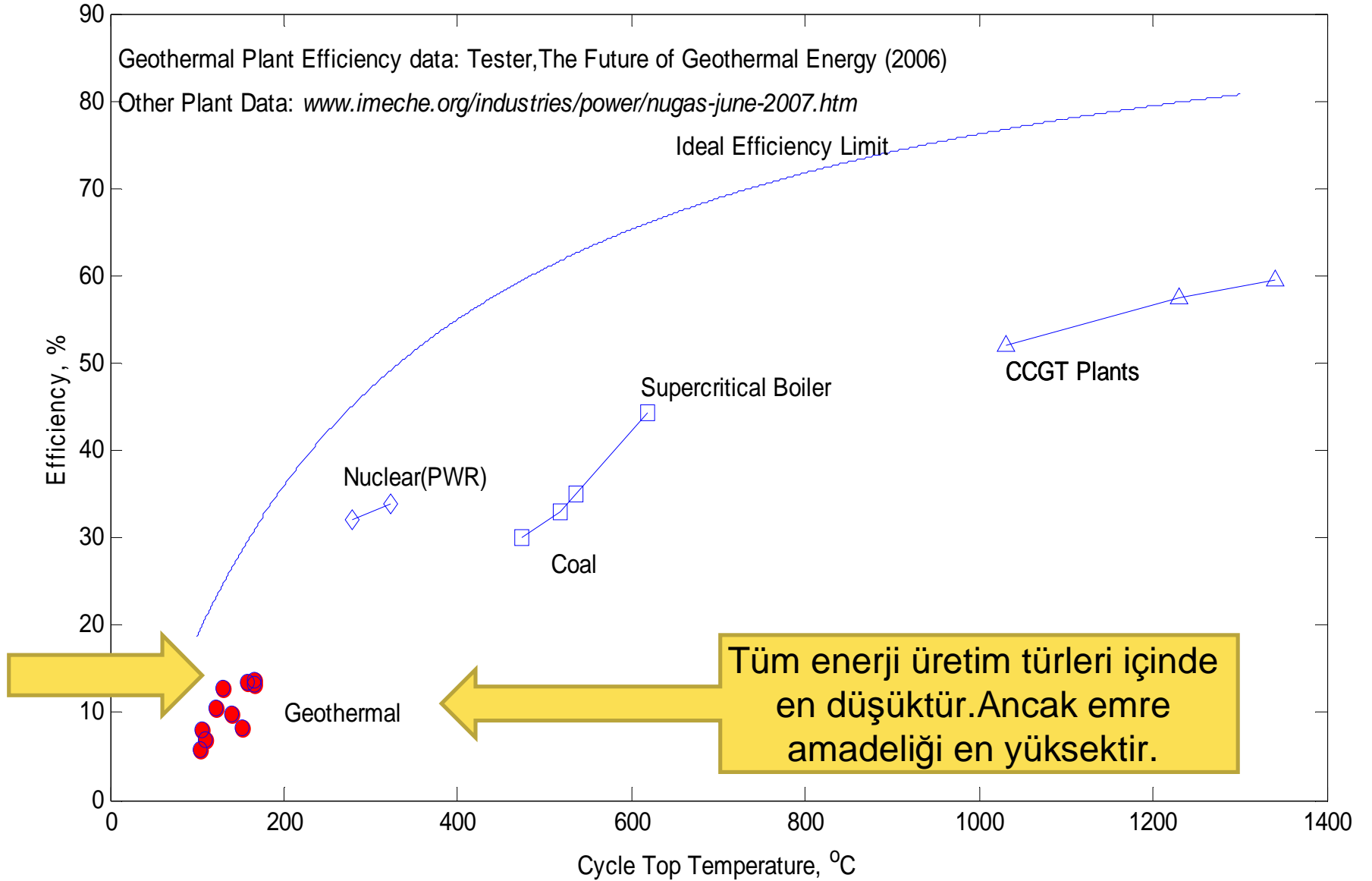
From GERE Soultz, 2008



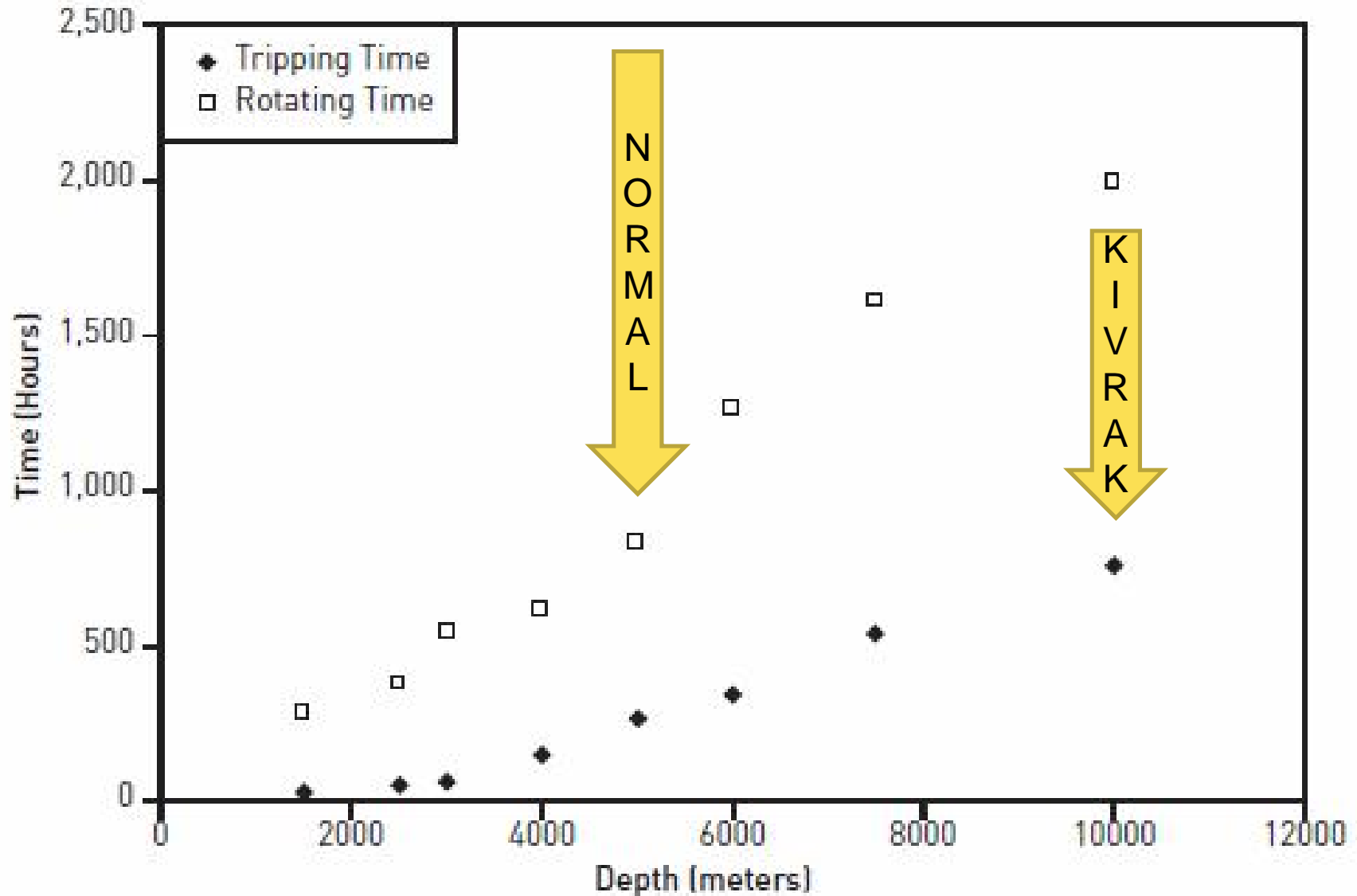
AB'de EGS Gelişiminin Güç Üretiminde Baz Yükün Karşılanması Açısından 20-30 Yıllık Bir Sürede Gerekli Bir Konsept Olacağını Düşünmektedir.



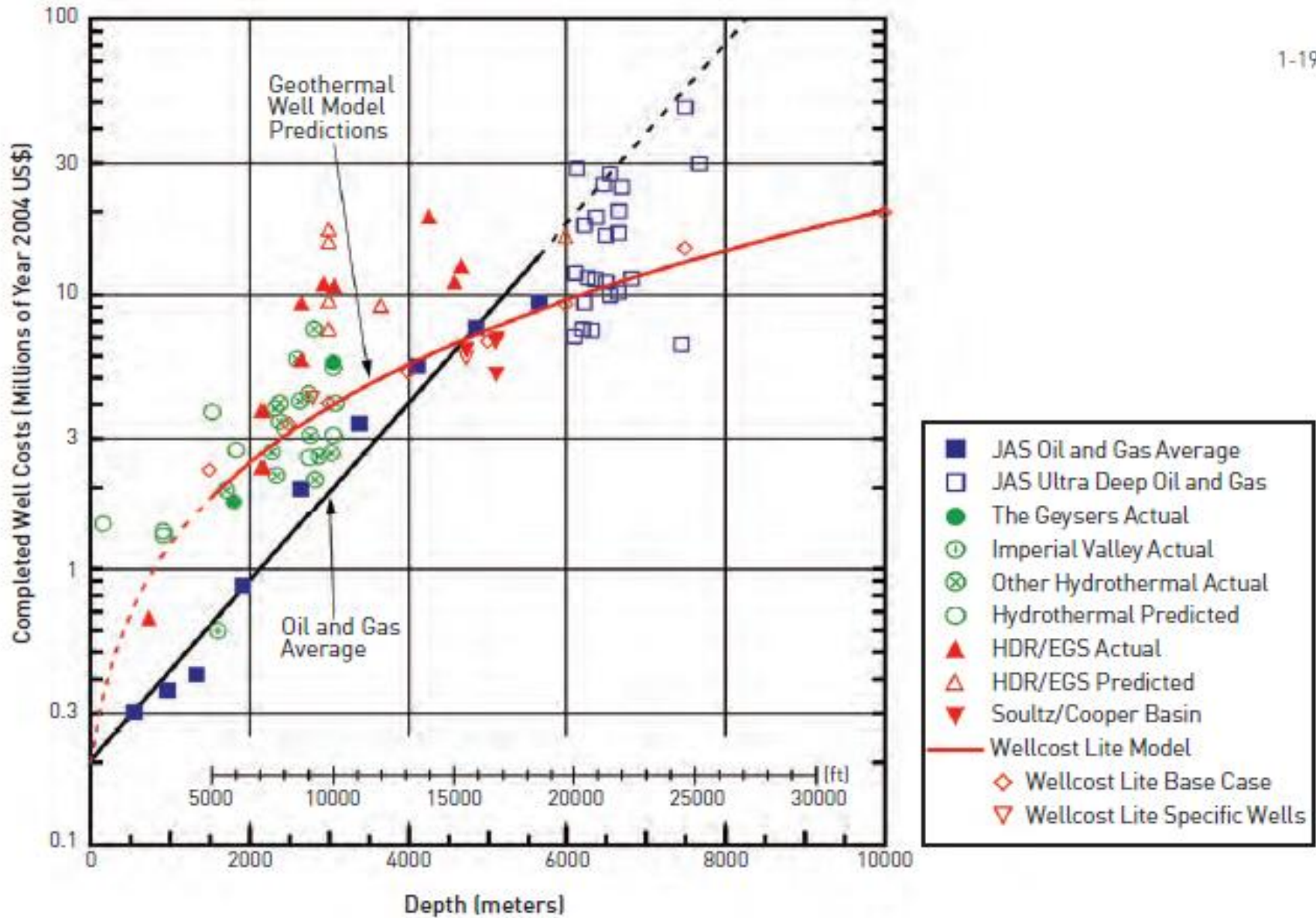
Jeotermal enerji üretimi ile diğer enerji üretimlerinin termal verimlilik açısından karşılaştırılması



Sondaj kuyusunun sürülmesinde derinlik ve zaman ilişkisinin



Çeşitli sondajların maliyetleri(2004 US \$).5000 m. bir EGS kuyusu yaklaşık 10 milyon dolara mal olmaktadır.



Isı Madenciliği veya Mühendislik Jeotermal uygulamalarında su yerine termik santral bacalarından toplanan ve depolanan karbon dioksitin çalışma akışkanı olarak kullanılarak enerji üretimini teorik temelleri

H₂O buharı yerine Süperkritik CO₂

- Avustralya Jeotermal Enstitüsü Direktörü **Prof.Dr.Halim GÜRGENCİ** ve ABD Los Almos AR-GE 'den **Prof.Dr.D.W.Brown**,EGS 'lerde su yerine süper kritik CO₂ kullanmanın 3 önemli avantajı olduğunu belirtmiştir.
- 1-İnjection kuyusundaki SCCO₂ ~ yoğunluğu 0.96 g/cm³ olan bir akışkan ve üretim kuyusunda ise CO₂ ise yoğunluğu 0.39 g/cm³ olan bir akışkan olduğundan bu önemli yoğunluk farkı kuyu dibine doğru akışta önemli bir hareketlilik kazanılmasına ve böylece su bazlı jeotermal ısıdan yararlanma sistemine göre **sirküle edici pompalama ihtiyacını** ortadan kaldıran bir akışkandır.,
- 2-Jeotermal rezervden yüzeye doğru mineral türlerinin çözülmesi ve taşınmasında SCCO₂ 'nin yetersizliği yüzeydeki borulama çaplarını azaltacak ısı eşanjörü ve diğer yüzey ekipmanlarının boyutlarını küçültecektir.Suda olduğu gibi korozyon oluşmayacak sistemde su ile **çözülerek gelen eriyiklerin dezavantajı** yaşanmayacaktır.

devamı

- **3-Ulaşıldığında Suyun kritik sıcaklığı olan 384 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda su bazlı sistemlerdeki silisyumun çözünürlüğü ile alakalı problemlerle karşılaşmaksızın sistem işletilebilmektedir. Bu nedenle sistem artan bir termodinamik verimi sağlar. Suda kritik sıcaklık aşıldığında suyun difüze olma özelliği dolayısı ile su kayalar tarafından emilir ve buharlaşan su bu sıcaklığın üzerinde gaz değil sıvı gibi davranarak kontrol edilemez olur ve injection kuyusunda tutularak kayba uğrar ve kuyuda deformasyon yaratma tesiri yükselir. Suyun kritik sıcaklığında ayrıca yüksek bir korozyon nedenidir. Suyun bütün bu olumsuzluklarına karşın SCCO₂'li sistemle 400 °C ve üzeri sıcaklıklarda çalışılabilmektedir. Sıcaklık sınırı delme sisteminin sıcaklık kısıtları ile sınırlanır.**

devamı

- Yeraltından sağlanan sıcak SCCO₂ gazı yer üstünde Rankine çevrimi ile enerjisini enerjisini eşanjörde ikinci bir working fluid'e aktararak enjeksiyon kuyusuna gitmektedir.
- SCCO₂'nin jeotermal kaynaklardan ısı transferinde **kütle ısı kapasitesi suya göre % 40 daha azdır.**

Bu nedenle çevrimde %60 daha fazla SCCO₂ 'nin dolaşması gerekmektedir.

Tüm rezervuar işletme koşullarının aynı olduğu durumda yüzey enjeksiyon basıncı rezervuar akış direnci, iletim basıncı sıvının yoğunluğunun vizkositesine oranı vs. rezervuar akış potansiyelinin ölçümü SCCO₂ için suya göre 1.5 misli fazladır. Bunun temel nedeni SCCO₂ nin viskozitesinin de suyunkinin %40 civarında olmasıdır.

devamı

- **Isı Madenciliği** sistemi de denilen bu sistem bugün çok önemli olan iki problemi çözebilmektedir.
 - Global ısınmaya karşı alternatif bir çözümdür.
 - Temiz enerji kullanımı için yerli kaynakların kullanılmasını öne çıkarmaktadır. Ve kömür ve nükleer enerji dışında elektrik üretiminde en önemli baz yük (base load) üretim yöntemi olmaya adaydır.

ABD, 2050 yılı projeksiyonlarında baz yükün %50'den fazlasının EGS sisteminden karşılanacağını öngörmektedir.

Bu yeni sistemde su yerine CO₂ kullanılmasını da çok amaçlı bir şekilde araştırmaktadır.

*Ülkemizde devam etmekte olan çeşitli derin arama sondajlarında bir taraftanda sürekli dip sıcaklıklarının ölçülmesi geleceği olan **EGS SİSTEMLERE** hazırlık ve önemli bir zaman ve kaynak tasarrufudur*

Working Fluid Olarak **Sıcak su buharı** ve **SCCO₂**' nin
Karşılaştırılması

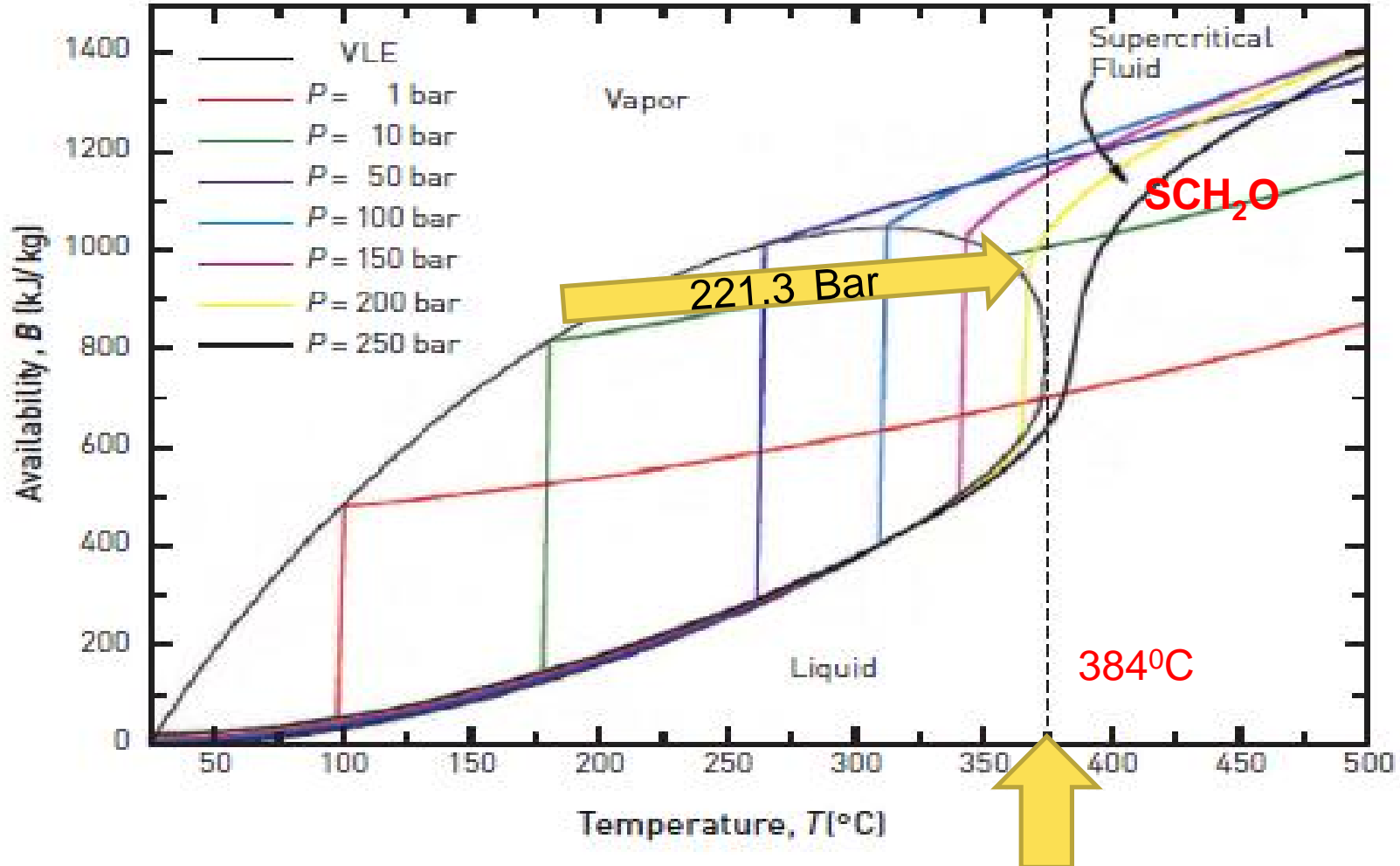
(HDR:Hot Dry Rock).Sıcak su buharı ile SCCO₂ arasında temel değişkenler arasında önemli bir fark görülmemektedir.Yalnızca 1.5 misli daha fazla CO₂ kullanılmalıdır.Düşük viskozite ise SCCO₂ için bir avantajdır.

Circulating Fluid:	SCCO₂	Water
Temperature, °C	260	260
Pressure, MPa	56.5	55.7
Density, g/cc	0.520	0.835
Viscosity, micropoise	474	1162
Normalized Flow Rate (density/viscosity)	1.10	0.72
RATIO, SCCO₂/Water		1.53

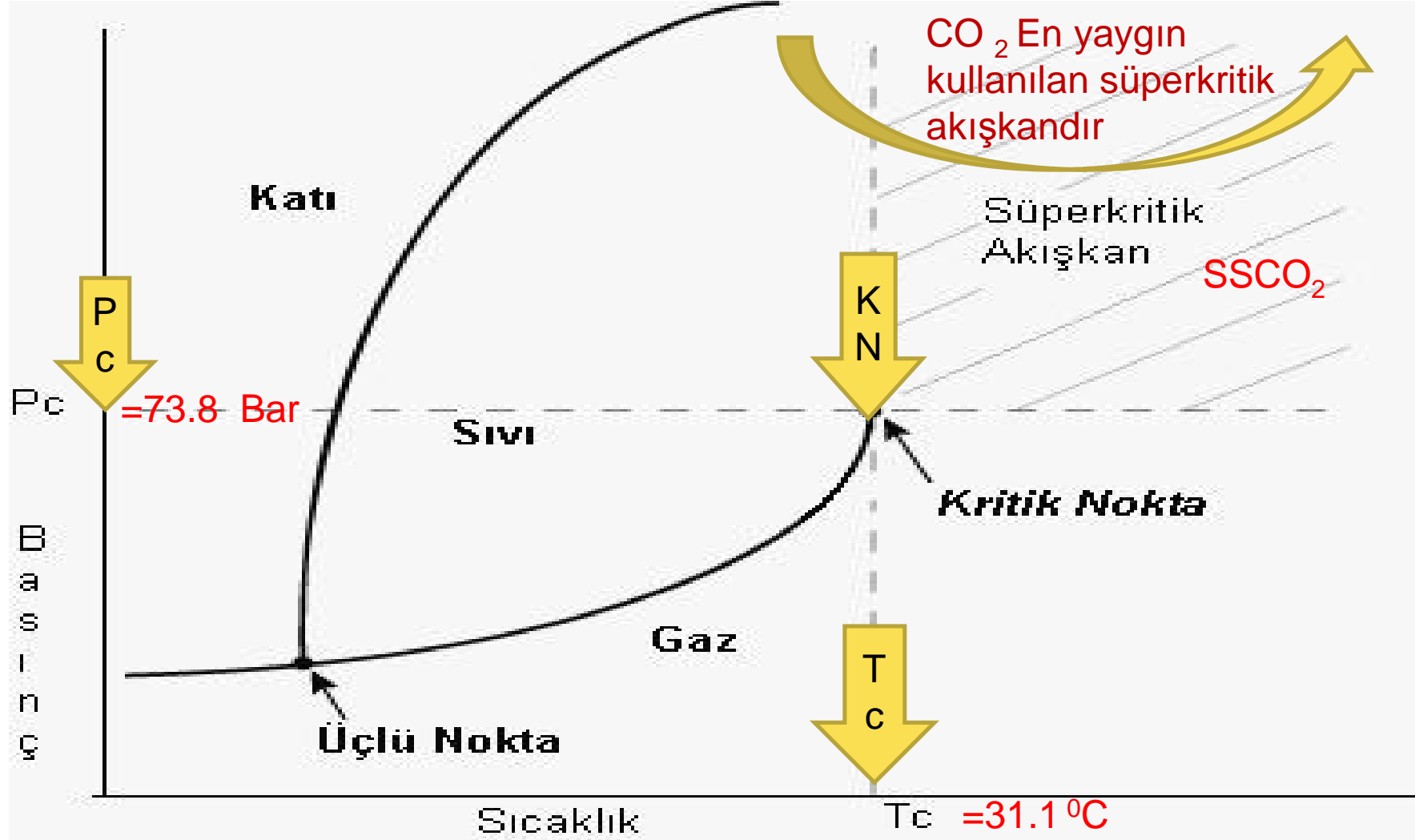
T

P

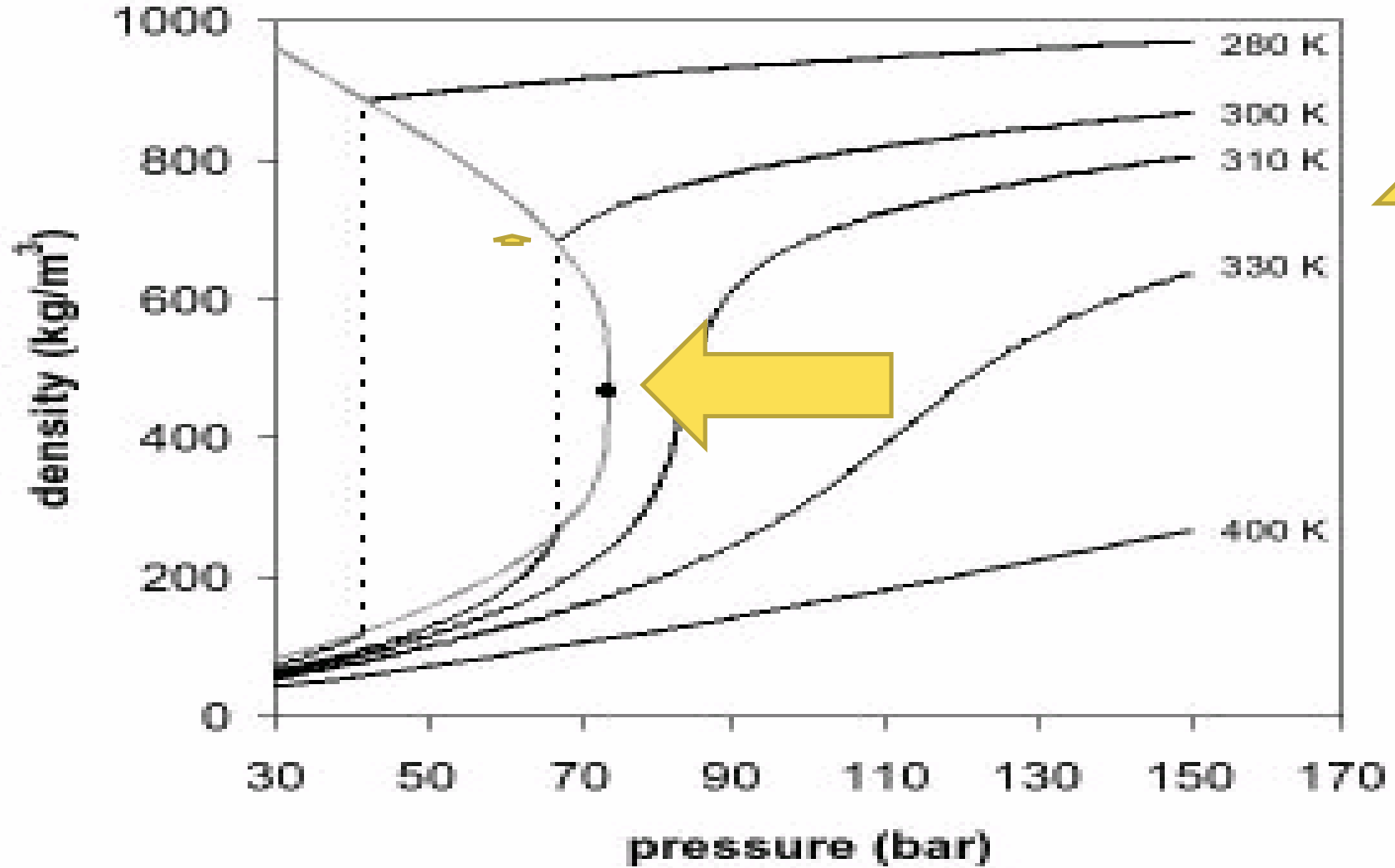
Su için kullanılabilirlik diyagramı. 384 °C'den sonra **su süperkritik akışkan** olarak hareket etmekte ve penetrasyon hızı artarak kayaların bünyesine nüfuz etmektedir.



Süperkritik akışkan basıncı kritik basıncın, sıcaklığı kritik sıcaklığın üzerinde olan akışkandır. CO₂'nin Sıcaklık ve Basınca göre Faz Değişim Diyagramı aşağıda görülmektedir.

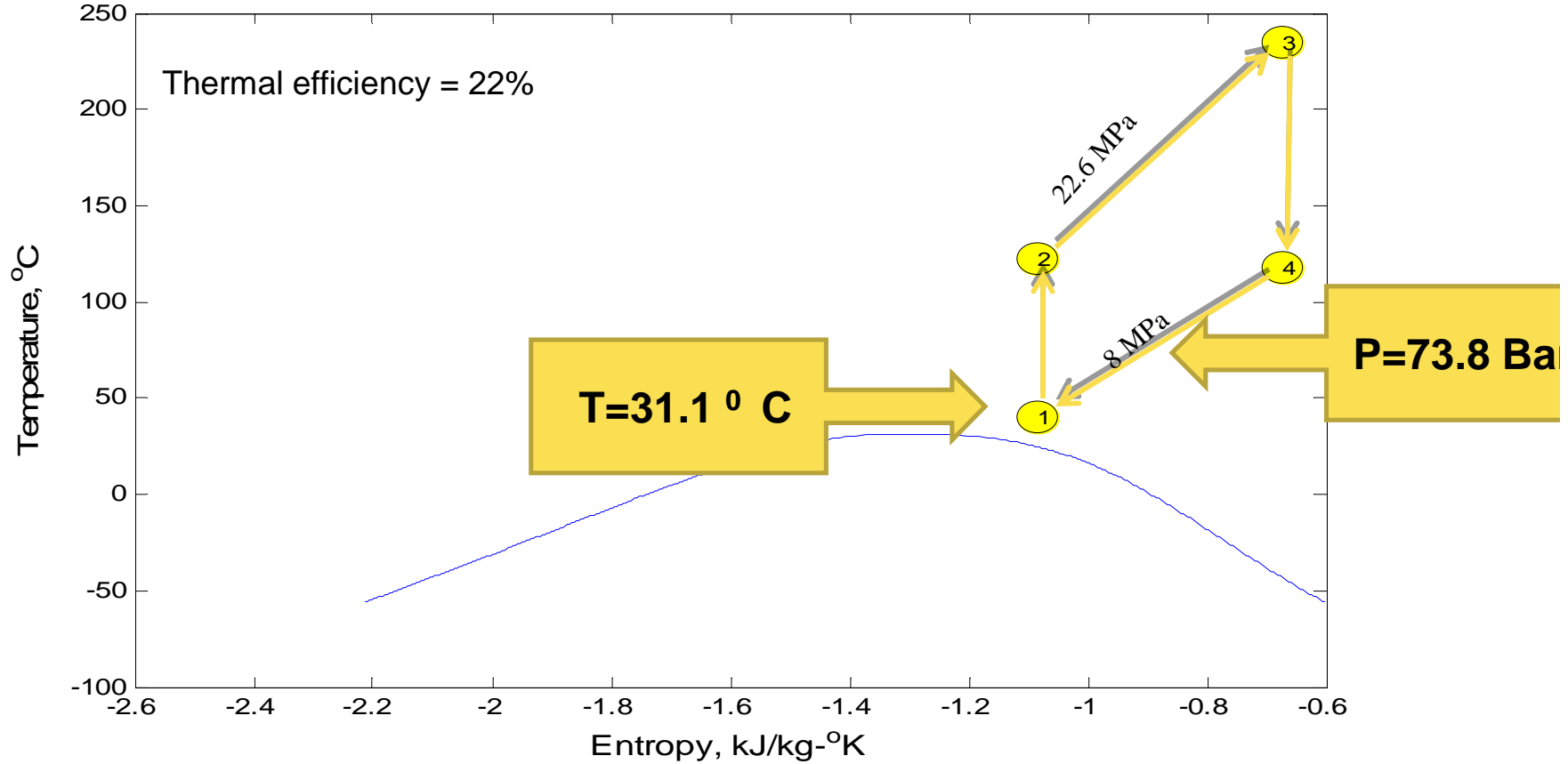


CO₂ yoğunluğunun basınç sıcaklık diyagramı



Süper kritik CO₂ çevrimi

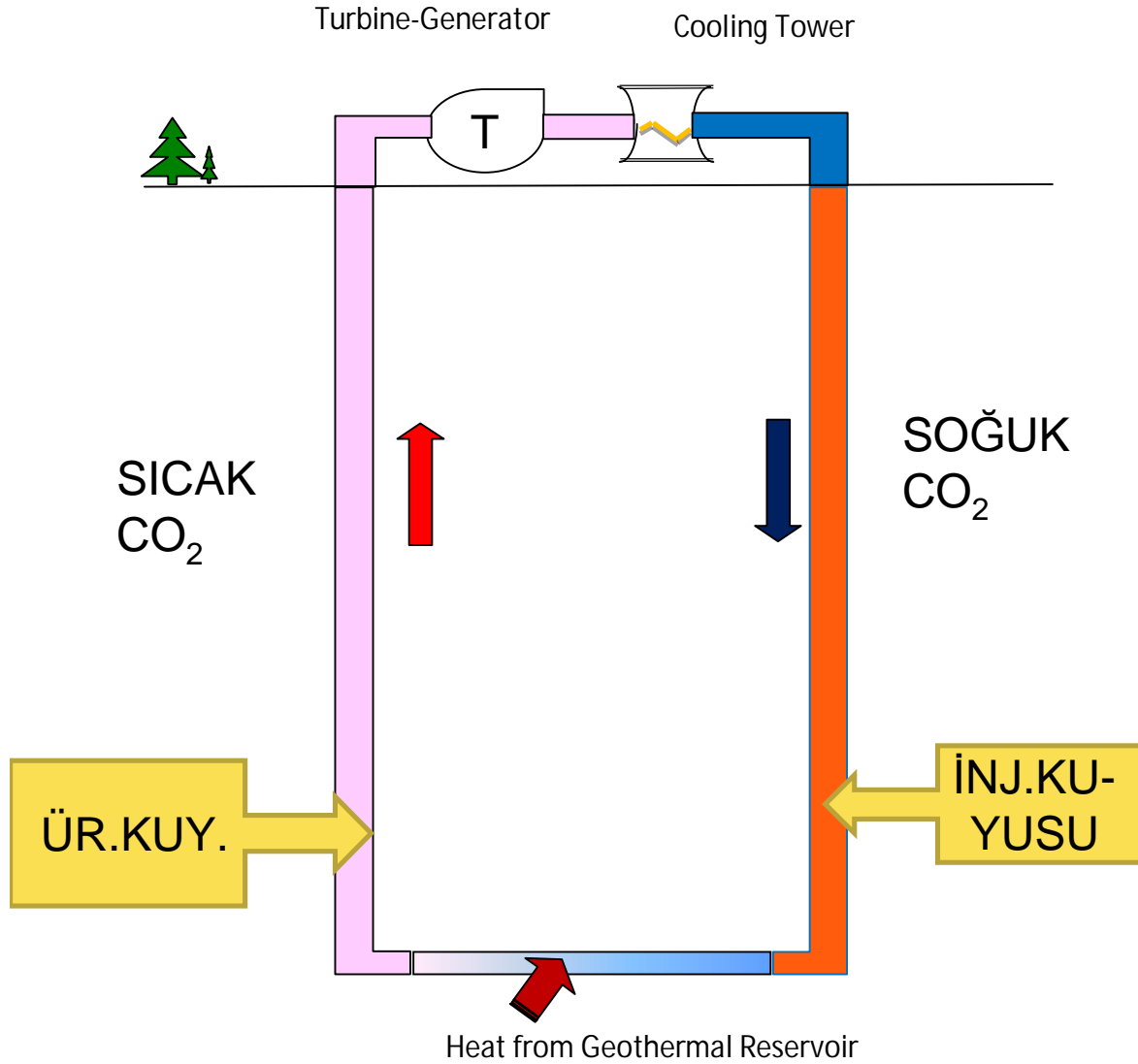
T



S

Süperkritik H₂O süperkritik CO₂ 'ye göre 3 kez daha yüksek basınç ve 10 kez daha yüksek sıcaklık ve basınç değerlerinde gerçekleşmektedir. Süperkritik karbondioksit çevrimi 31.1 °C ve 73.8 Bar sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Ancak sıcak su buharı çevrimi ile süperkritik CO₂ çevriminin P-T değerleri yaklaşık aynıdır.

CO₂ Jeotermal sifonu



Bu çevrim için oldukça büyük miktarlarda CO₂'ye gereksinim vardır. Buda ancak termik santral baca atıklarından sağlanabilir.

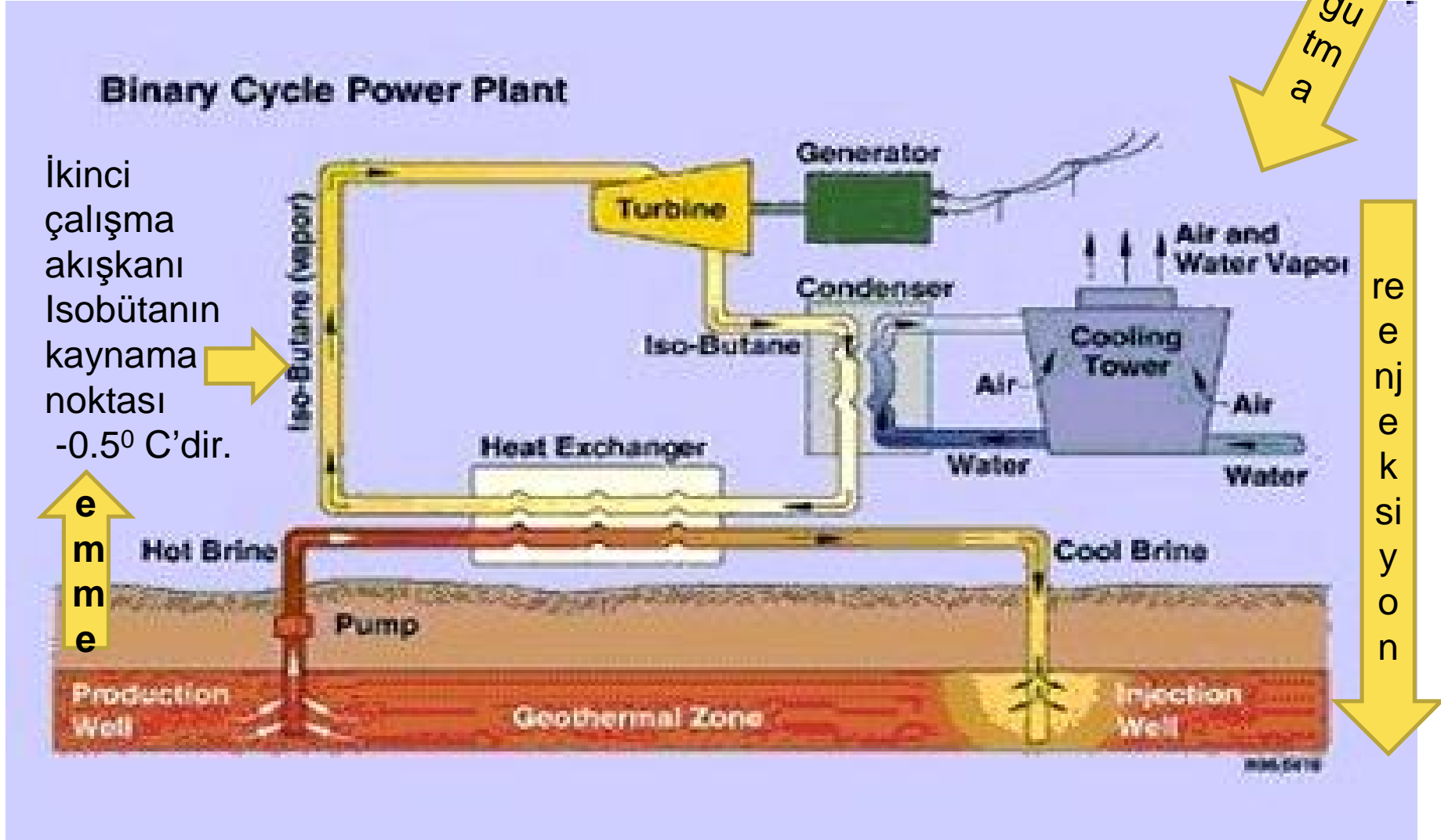
1MW için elektrik üretmek için 12 Kg/sn CO₂ gerekmektedir. Bunun yaklaşık % 10'uda yer altında kaybolur.

JEOTERMAL REZERVUARDAN ISI ALINMASI

Süperkritik karbondioksit çevriminin özelliği

- Süperkritik karbondioksitin özelliği soğuk olarak aşağı doğru kuyu içine kendiliğinden akarken sıvı gibi ve dipten ısı alarak sıcak olarak yukarı doğru çıkarken gaz gibi davranış gösterir.
- Bu sıcak akışkan yükselerek yukarıda bir türbin generatörden geçirilir
- Bu esnada faz deđiřmez
- Ortam sıcaklığına kadar bir soğutucuda soğutulduktan sonra kolaylıkla yer altındaki sıcak rezervuara geri döner
- Süperkritik türbin son derecede basit ve ucuz bir cihazdır.
- Böyle bir sistemde boyler ve dalgıç pompa gereksinimi yoktur.

SCCO₂'nin alternatifi su buharlı Binary çevriminde jeotermal güç üretimi (~175°C'de buhar) ile gerçekleşir.



Binary veya Kalina çevrimi

- **Binary veya Kalina çevrimi**, ısı enerjisinin mekanik güce çevirmek için en az iki farklı komponentden oluşmuş çalışma akışkanından faydalanan bir termodinamik çevrimdir. Bu **iki farklı çalışma akışkanı (su ve amonyaklı su veya su ve izobütan gibi) arasındaki oran termodinamik geri dönüşümü** ve termodinamik verimi arttırmak için gereklidir.
- Konvansiyonel HJK'lar aracılığı ile jeotermal kaynaklar doğrudan uygulamalarda **endüstriyel proses ısısı** olarak kullanılabilirken, dolaylı kullanımda **elektrik enerjisi üretimi** için kullanılabilirler.
- Bu ikinci kullanıma artık bugün dünyada , "**HDR, Kuru Sıcak Kaya**"ları da içine alan "EGS" ler de katılmaktadır. Temel "binary" santrallar, genellikle 176 °C altındaki jeotermal sistemler ve/veya **kuru sıcak kaya sistemlerinin akışkanları** için en verimli çevrimler olarak kabul edilmektedir.
- Dolayısıyla, ülkemiz için "binary" çevrimler son derece önemlidirler. Bu çevrimler söz konusu olunca ortaya **ORC "organic rankin cycle"** ve "**Kalina cycle**" olmak üzere iki tür çevrim ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, bilinen "binary" sistemler iki fazlı, kombine ve modüler olarak geliştirilmiş ve dönüşüm verimliliğinde kazanımlar elde edilmiştir.
- Bu çevrimde birinci çalışma akışkanı olan su buharı yerine CO₂ kullanılması teorik açıdan daha iyi bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Konvansiyonel hidrotermal sistemlerde ve EGS'de türbinde working fluid olarak değişik sıcaklıklara bağlı olarak aşağıda belirtilen akışkanlar kullanılmıştır.

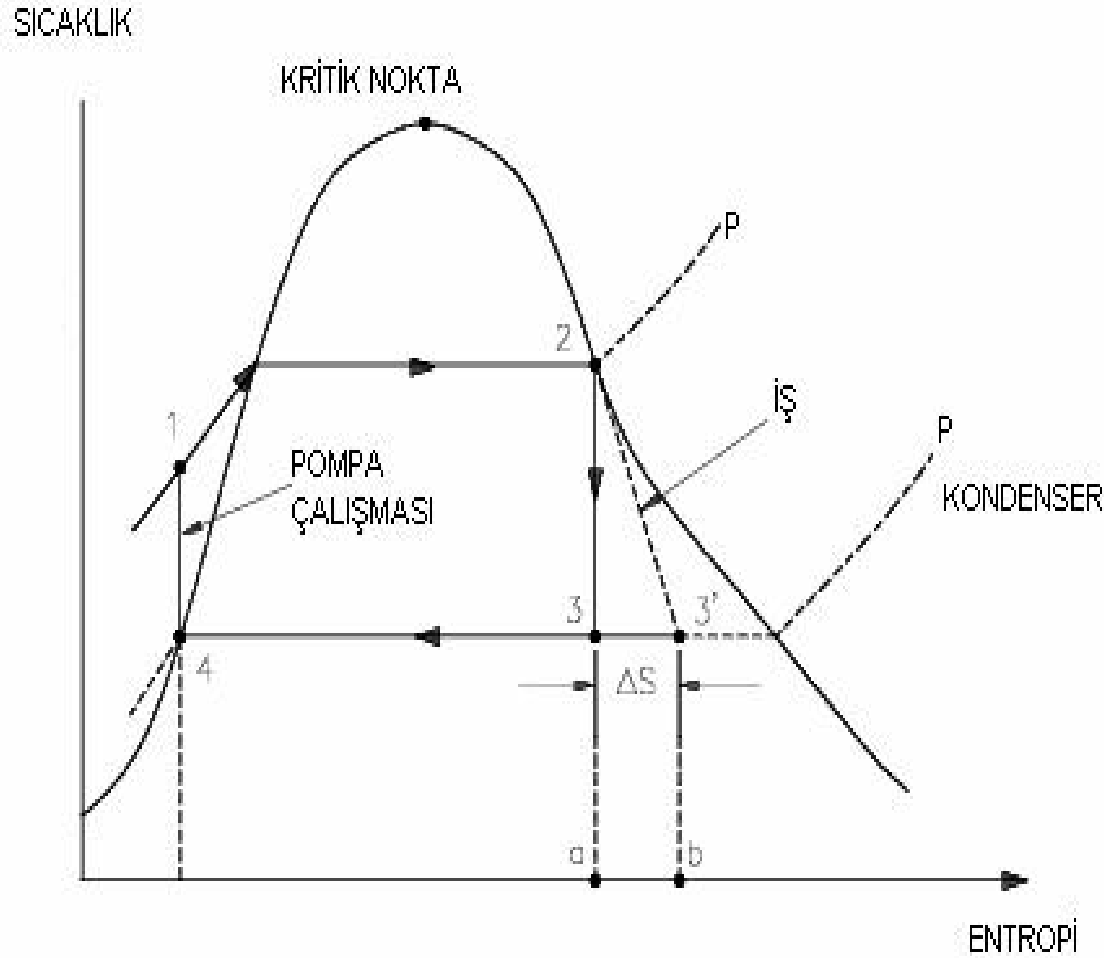
Geofluid temperature, °C	Energy conversion system	Typical application	Working fluid	Cooling system
100	Basic binary	O&G waters	R-134a	Water (evaporative condenser)
150	Binary w/recuperator	O&G waters	Isobutane	Air
200	Binary or Single-flash	EGS	Isobutane or Geofluid	Air or water
250	Double-flash	EGS	Geofluid	Water
400	Single or triple expansion	Supercritical EGS	Geofluid	Water

Binary çevrimi ile CO₂ Jeotermal termosifonunun karşılaştırılması

- Binary çevrimi ile jeotermal termosifon şu şekilde karşılaştırılabilir.
- **Binary çevrimi ile Tüm dünyada hidro jeotermal kaynaklara** ulaşılabilir.
- Buharla kıyaslandığında CO₂ termosifonunda düşük sıcaklıklarda yüksek verimlilik elde edilir.
- JEOTERMAL TERMOSİFON'da Türbinde korozif olmayan bir akışkan dolaşmaktadır
- Tamamı ile kuru bir çevrimdir.
- Yoğunlaşma düşük sıcaklıklarda olur.
- Bu avantajların yanı sıra aşağıdaki tüm dezavantajları da ortadan kaldırır

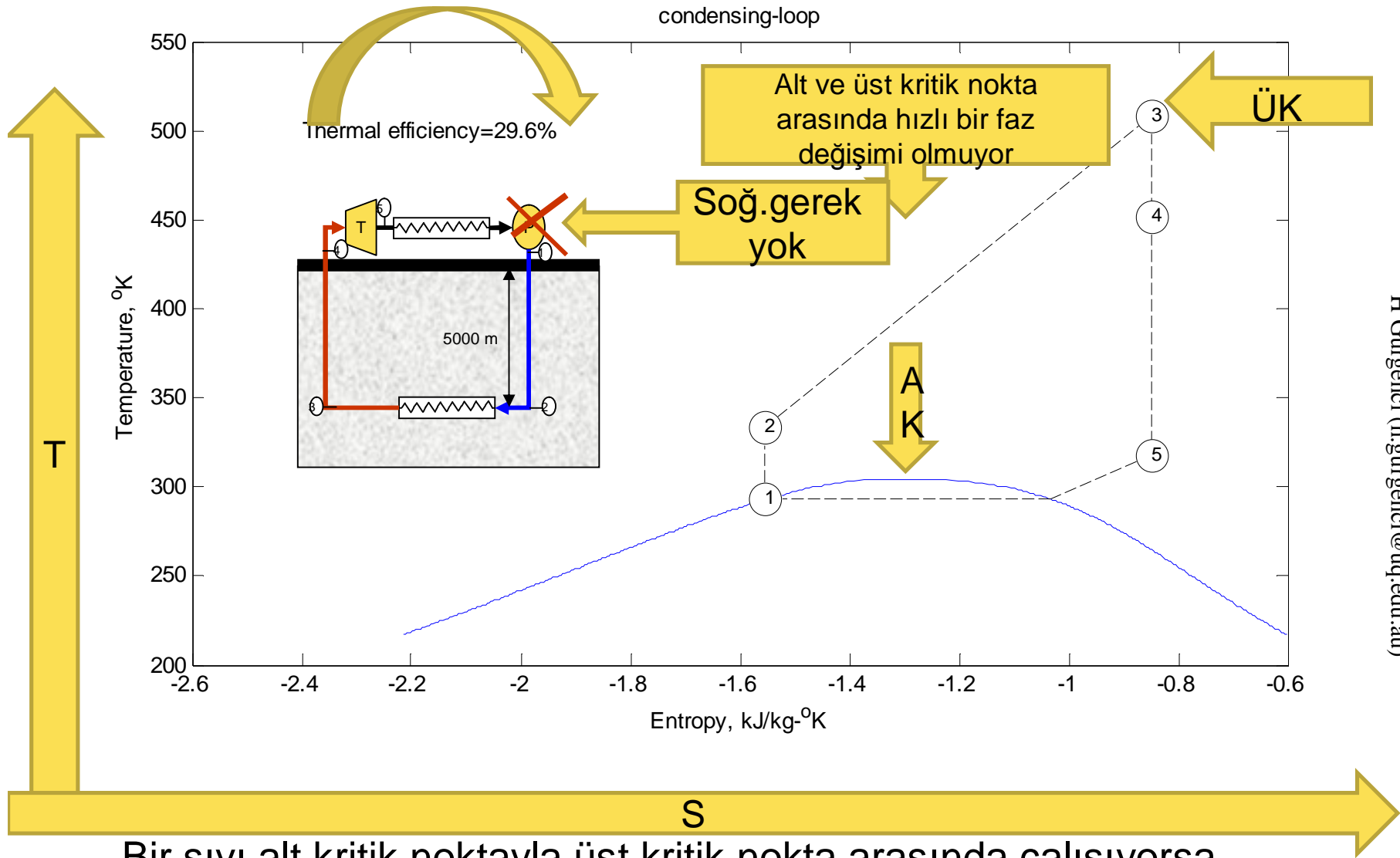
- Geotermal termosifonda ekstra bir ısı eşanjörü yoktur bu nedenle yeni bir yatırım kalemi ve verimlilik kaybı da oluşmaz
- Çevrim için bir dalgıç tulum gereksinimi yoktur bu nedenle tuzlu dip suları ile uğraşılmasına gerek kalmaz
- Kuyu iç cidarlarında suyun eriticiliğinden kaynaklanan sorunlar olmadığı gibi bu silika çamurları yukarıya da taşınmamış olur.
- Sudan % 60 daha fazla bir akışkan gereksinimi vardır.
- Termik santrallerden sağlanacak atık CO₂' ye göre su maliyeti daha yüksek olan bir kaynaktır.

RANKİN ÇEVİRİMİ, ALT KRİTİK NOKTA, ÜST KRİTİK NOKTA



Rankine çevrimi buhar kullanılan ENERJİ santralleri için ideal çevrimdir

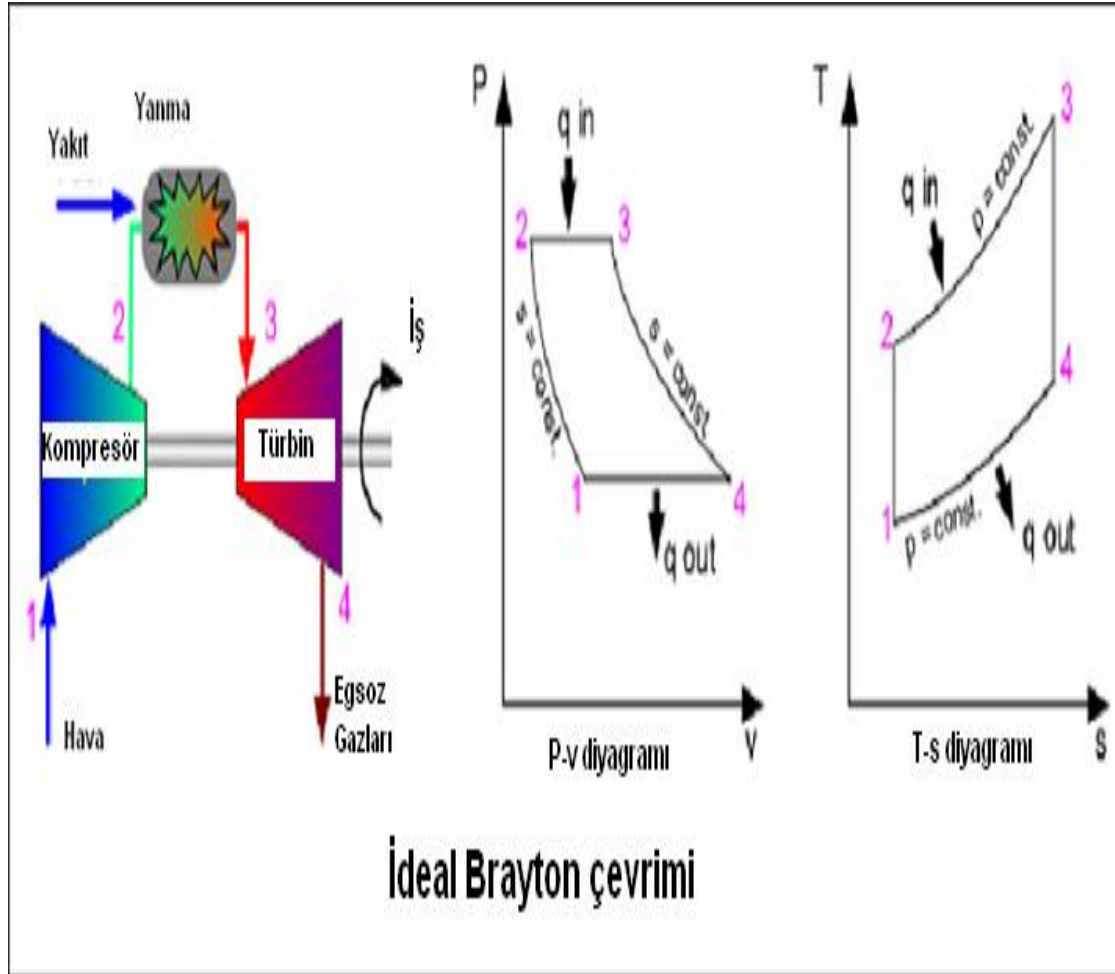
TRANSCRITICAL CO₂ RANKINE CYCLE



H Gurgenci (h.gurgenci@uq.edu.au)

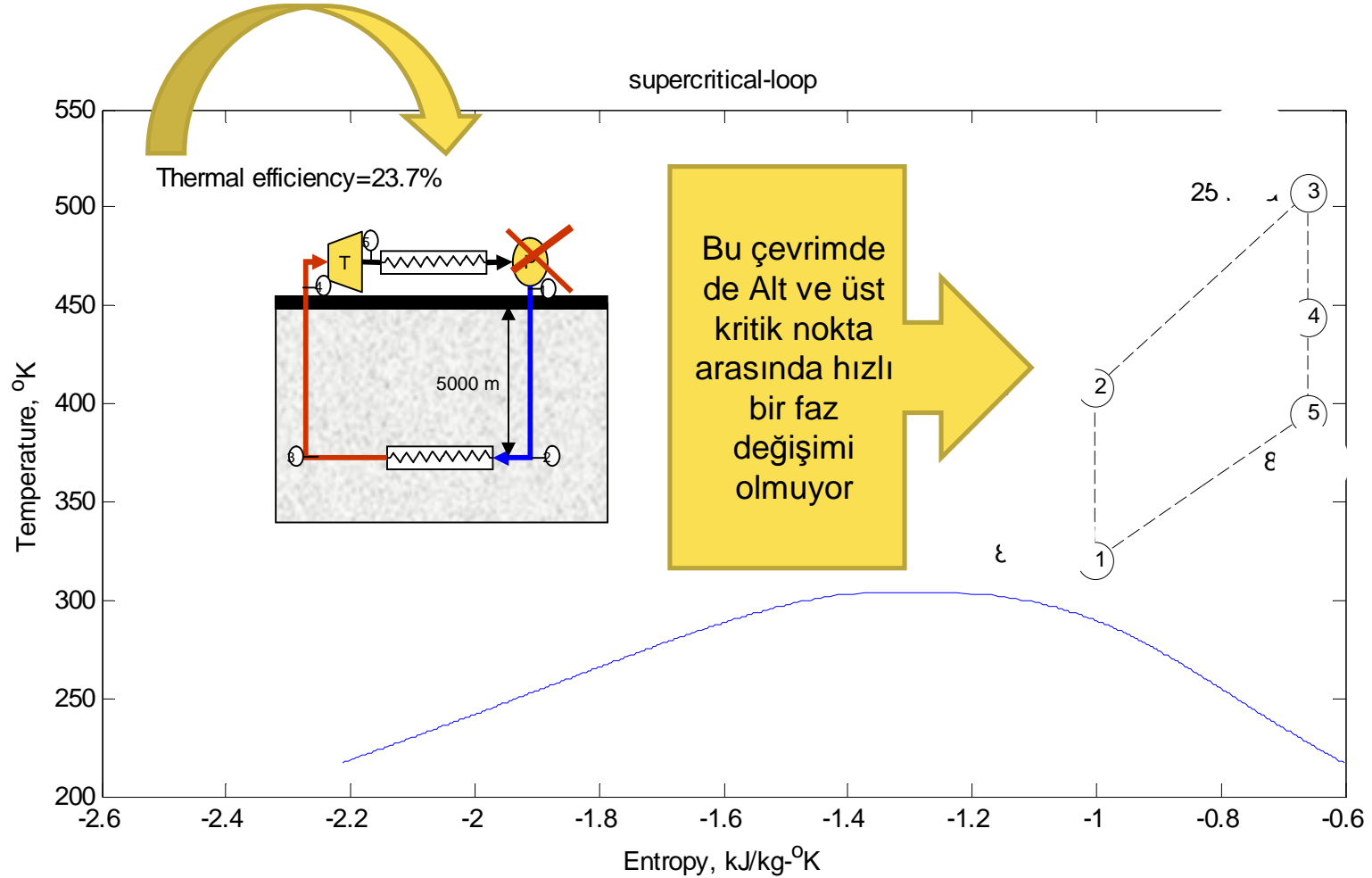
Bir sıvı alt kritik noktayla üst kritik nokta arasında çalışıyorsa termodinamik açıdan bu döngü **transkritik** çevrim olarak adlandırılır.

Brayton çevrimi



BRAYTON çevrimi, genel olarak gaz türbinlerinde kullanılan, periyodik bir prosesdir. Diğer içten yanmalı güç çevrimleri gibi açık bir sistem olmasına rağmen; Termodinamik analiz için çıkış gazlarının içeri alınıp tekrar kullanıldığı kabul edilir. ve kapalı bir sistem gibi analize uygun hale getirilir.

SUPERCRITICAL CO₂ BRAYTON CYCLE



Ancak bu çevrim su buharı ile olsaydı alt ve üst kritik nokta arasında hızlı bir faz değişimi olacak bu ise daha fazla enerji harcamak gerektirecekti.

**Geçen hafta OECD-IEA-IDR-2009 TURKEY'de
MTA'NIN DEKLERASYONDA BULUNDUĞU EGS (FCGS)
PROJELERİ**

Initiating explorations for hot dry rock:

- MTA, while continuing to prospecting deeper **fluid circulating geothermal systems**, also plans to explore for hot dry rocks having insufficient porosity and permeability with high temperatures exist, and by determining their physical and chemical parameters, plans to perform mapping and inventory studies beginning from the year 2009.
- Young volcanic sites and sites where crust thins and plate boundaries intersect can be selected as target areas. For example, sites such as
 - Nemrut volcanism field,
 - Alaşehir Kavaklıdere,
 - Kızılcahamam,
 - Nevşehir Acıgöl,
 - Aksaray, Konya Ilgın,
 - **Kütahya-Şaphane**
 - Çanakkale are the ones that will be considered the first in this respect.

Bir yeni e-mail mektup (31.3.2009)

- **Canip Bey,**
- Umarım iyisinizdir. 6 Subat'ta size CO2 jeotermal sifonunun Türkiye uygunluğu konusunda bir ileti gönderdim hatırlarsınız (daha doğrusu Selahattin Anac Bey'e gönderdiğim iletiyi size de kopyalamıştım). O kısa raporda değindiğim gibi, Türkiye'deki jeotermal sahaların özel nitelikleri konusunda biraz daha bilimsel düzeyde araştırma yapmak gerekiyordu sınırlı ölçekli büyük projelere başlayabilmek için.
- **O konuda ilk adımı attık.** Buradaki meslekdaşım **Dr Tonguc Uysal**, Türkiye'deki jeotermal havzalarda doğal bulunan CO2 ve havza kayaları arasındaki ilişkileri inceleyecek yeni başlayan bir doktora öğrencisi ile birlikte. **Ihlara Vadisi, Kirsehir ve Bolu yöresini** hedef alacaklar.
- Siz bu konularla ilgilendiğiniz için bilginiz olsun diye araştırma projesinin özeti gönderiyorum. Çalışmaların sonuçları ortaya çıktıkça size yine bildiririm.
-
- Selam, saygı ve sevgilerimle.
- **Professor Halim Gurgenci**, +61 7 3365 3607, Building 45, Room 306

SABIRLA DİNLEDİĞİNİZ İÇİN

TEŞEKKÜRLER