



Konvansiyonel Santrallarda Enerji Verimliliği



Muzaffer Başaran
Makina Yük. Mühendisi
EÜAŞ Emekli Genel Müdür Yardımcısı

Makina Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi
Enerji Verimliliği Haftası
07 Ocak 2020



Sunuş Planı

- **GİRİŞ**
- **PRİMER ENERJİ VE ELEKTRİK ÜRETİM KAYNAKLARI**
- **KÖMÜR**
- **KÖMÜRLÜ SANTRALLARDA VERİM**
- **DOĞAL GAZ SANTRALLARINDA VERİM**
- **TÜRKİYE'DE SANTRALLARDA KURULU GÜÇ VE ÜRETİM**
- **DÜNYA'DA GELİŞMELER**
- **KÖMÜR GAZLAŞTIRMA VE ENTEGRE GAZLAŞTIRMA KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALI**
- **SONUÇ**

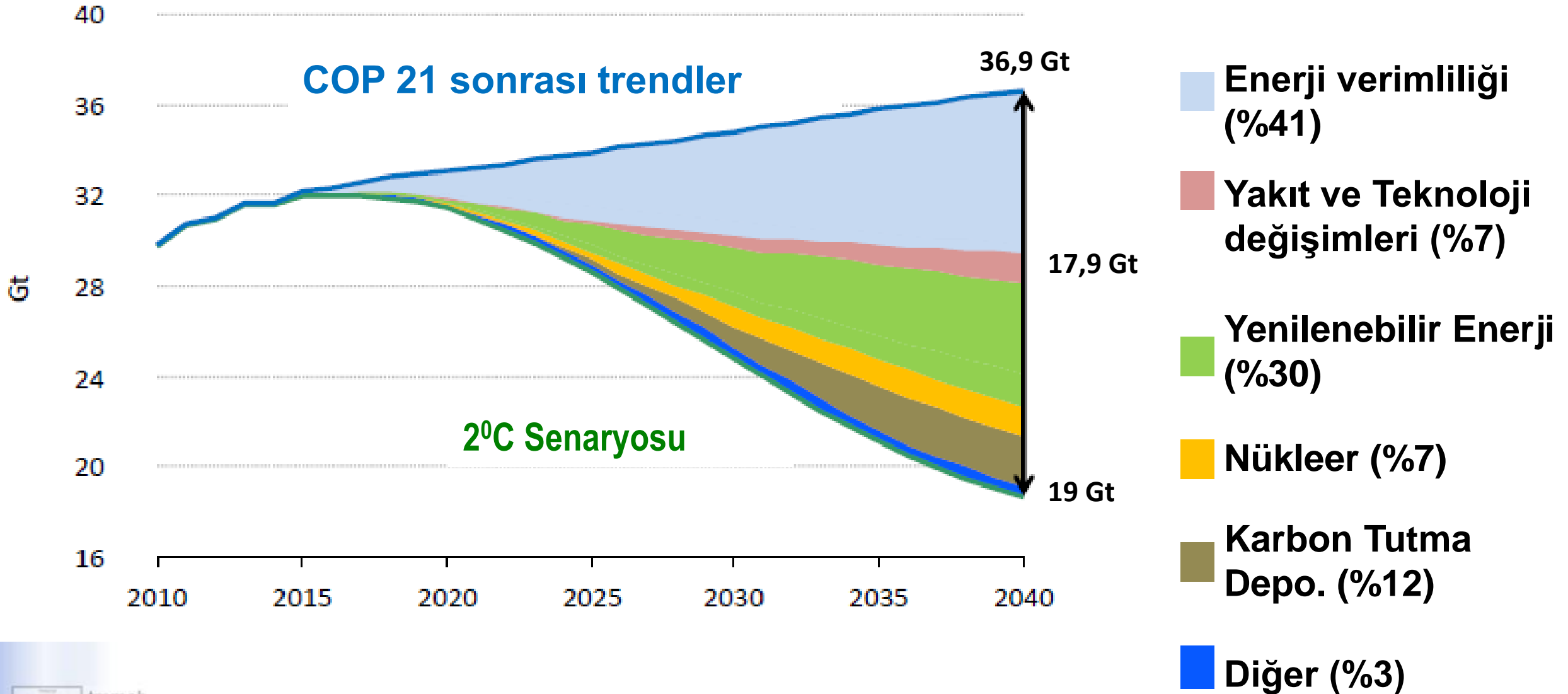


Giriş

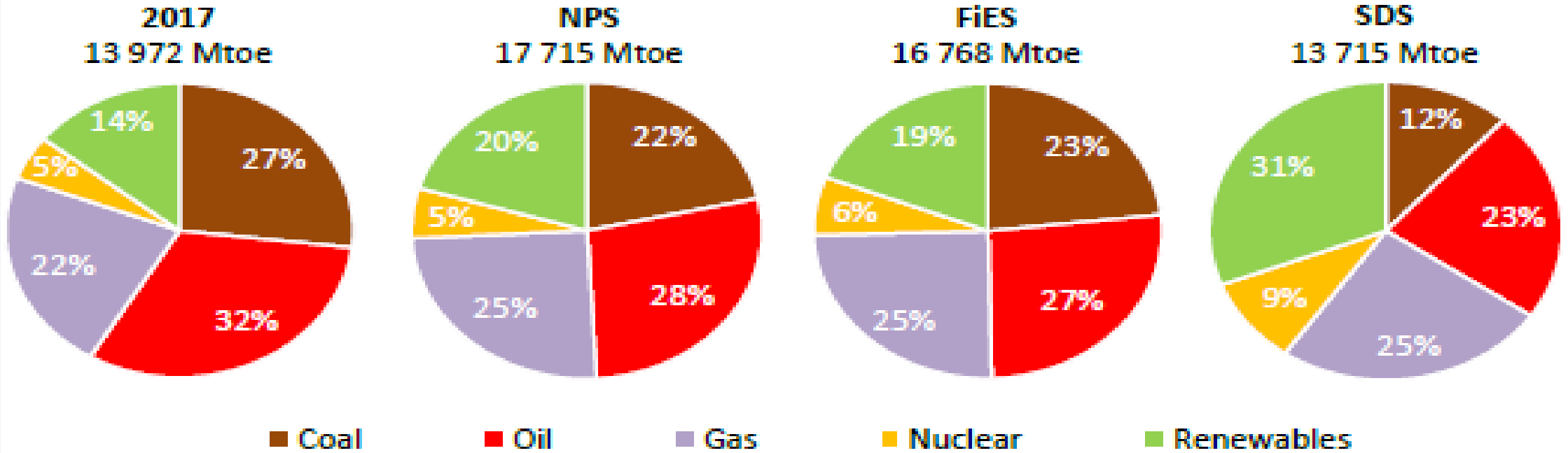
- ➔ Son yıllarda “küresel ısınma” ve “iklim değişikliği” kavramları Dünya gündemindeki yerini korumuştur. Aralık 2009 Kopenhag, Aralık 2010 Cancun, Aralık 2011 Durban, Aralık 2012 Doha, Kasım 2013 Varşova ve Aralık 2014 Lima Zirvelerinde ortalama küresel sıcaklık artışının 2⁰C’la sınırlandırılması konusunda prensipte mutabakata varılmasına rağmen ülkelerin yükümlülükleri konusunda yazılı bir anlaşmaya varılamamıştır. Ancak 12 Aralık 2015’deki Paris Zirvesinde ülkeler tarafından alınacak tedbirler ve yükümlülükler yazılı bir metne dökülmüştür.
- ➔ Paris Zirvesi sonrası UEA Direktörü Fatih Birol sunumlarında alınacak tedbirler konusunda bir grafik sunmuştur.



2°C senaryosu için alınması gereken Tedbirler



2040 DÜNYA PRİMER ENERJİ GELİŞİMİ SENARYOLARI (%)



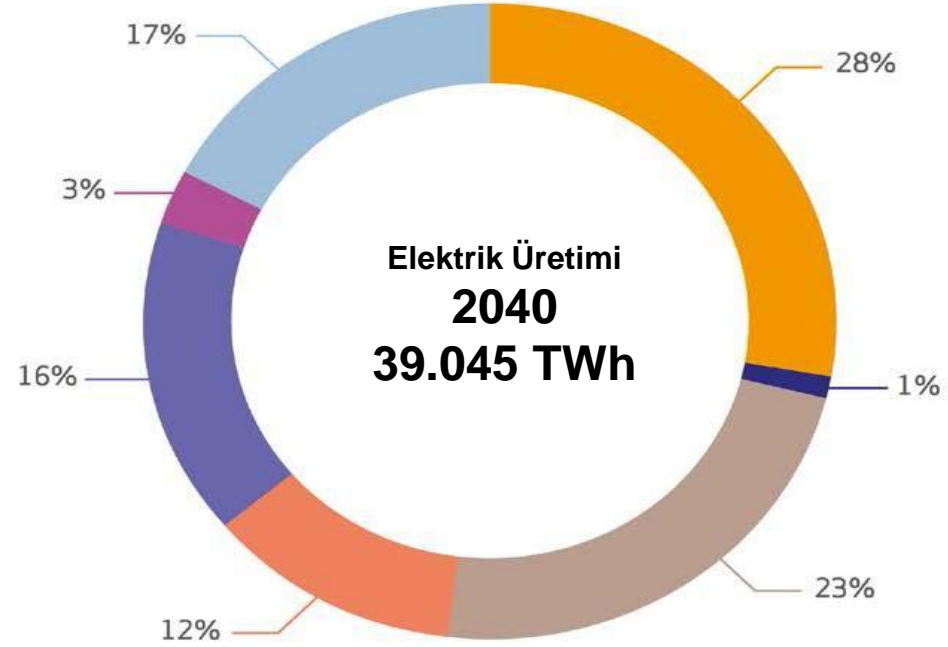
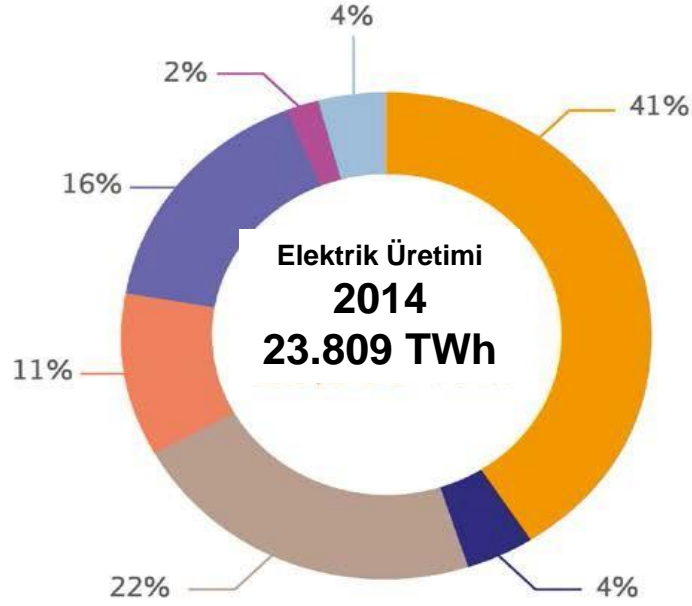
NPS: New Policies Scenario (Yeni Politikalar Senaryosu)

FIES: Future is Electric Scenario (Gelecek Elektriktir Senaryosu)

SDS: Sustainable Development Scenario (Sürdürülebilir Kalkınma Senaryosu)

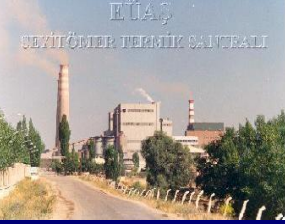
Elektrik üretiminde Kaynakların Payları

Global electricity mix



Source: International Energy Agency, World Energy Outlook 2016





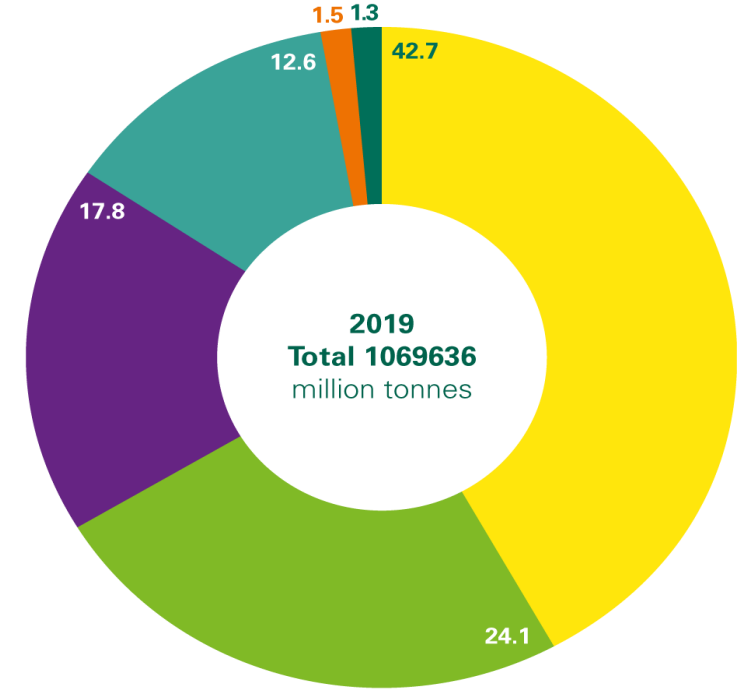
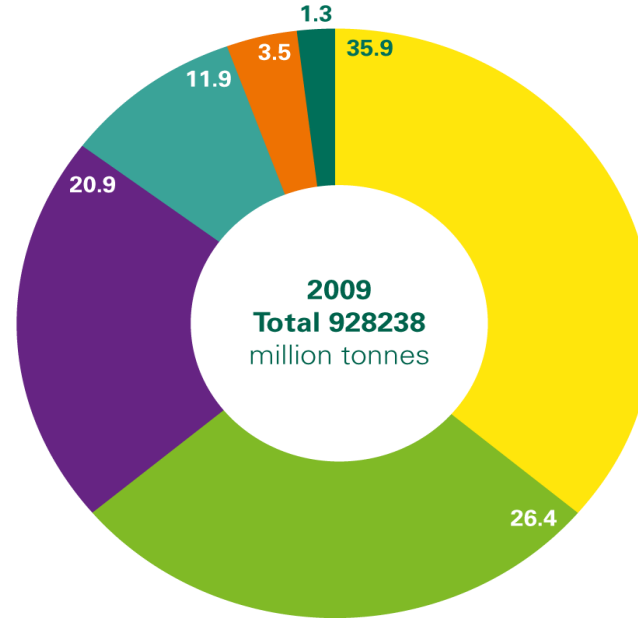
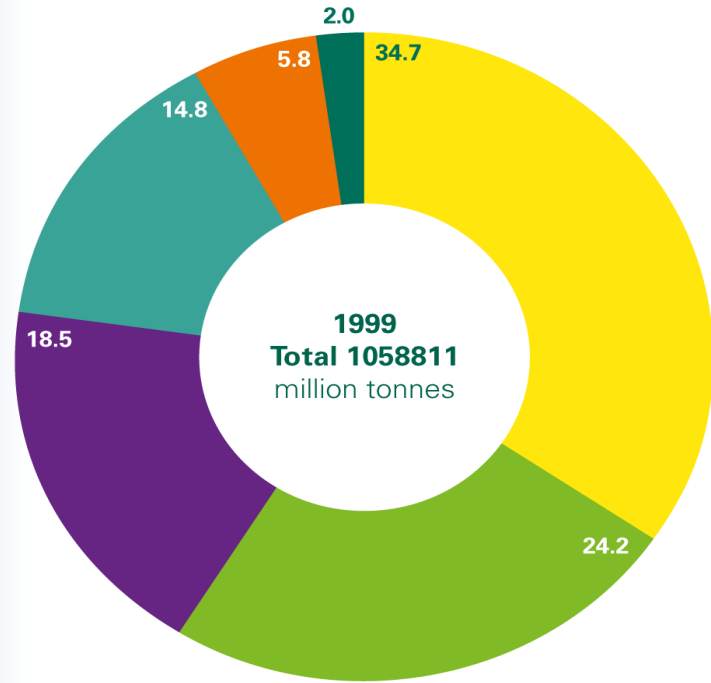
KÖMÜR



2019 sonu itibariyle ispatlanmış Dünya kömür rezervleri (1.069,6 milyar ton)



- Asia Pacific
- North America
- CIS
- Europe
- Middle East
- S. & Cent. America



2019 KÖMÜR ÜRETİM VE TÜKETİMDE İLK 10 ÜLKE

Sıra	Üretici Ülke	Miktar (mtep)	%	Sıra	Tüketici Ülke	Miktar (mtep)	%
1	Çin	1.907,7	47,6	1	Çin	1.951,9	51,7
2	Endonezya	359,7	9,0	2	Hindistan	445,0	11,8
3	ABD	341,8	8,5	3	ABD	271,0	7,2
4	Avustralya	314,3	7,8	4	Japonya	117,3	3,1
5	Hindistan	304,2	7,6	5	Güney Afrika	91,1	2,4
6	Rusya	219,9	5,5	6	Rusya	86,8	2,3
7	Güney Afrika	143,9	3,6	7	Güney Kore	82,2	2,2
8	Kolombiya	56,6	1,4	8	Endonezya	81,5	2,2
9	Kazakistan	49,7	1,2	9	Almanya	55,0	1,5
10	Polonya	44,7	1,1	10	Polonya	45,6	1,2
	İlk 10 Toplam	3.742,5	93,4		İlk 10 Toplam	3.227,4	85,6
	Dünya Toplam	4.005,2	100,0		Dünya Toplam	3.772,9	100,0



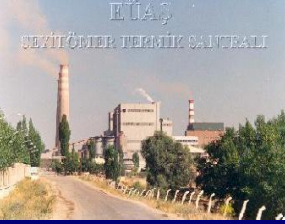
Türk Linyitlerinin Kalorifik Değere Göre Dağılımı



Türkiye’de bilinen linyit rezervlerinin çoğunun kalorifik değeri düşük; kül, nem oranı, uçucu madde ve kükürt oranları yüksektir.

Neredeyse rezervlerin %75’den fazlasının kalorifik değeri 2500 kCal/kg’ın altındadır; %17, 2.500-3.000 kCal/kg; sadece %8, 3.000 kCal/kg’ın üstündedir.

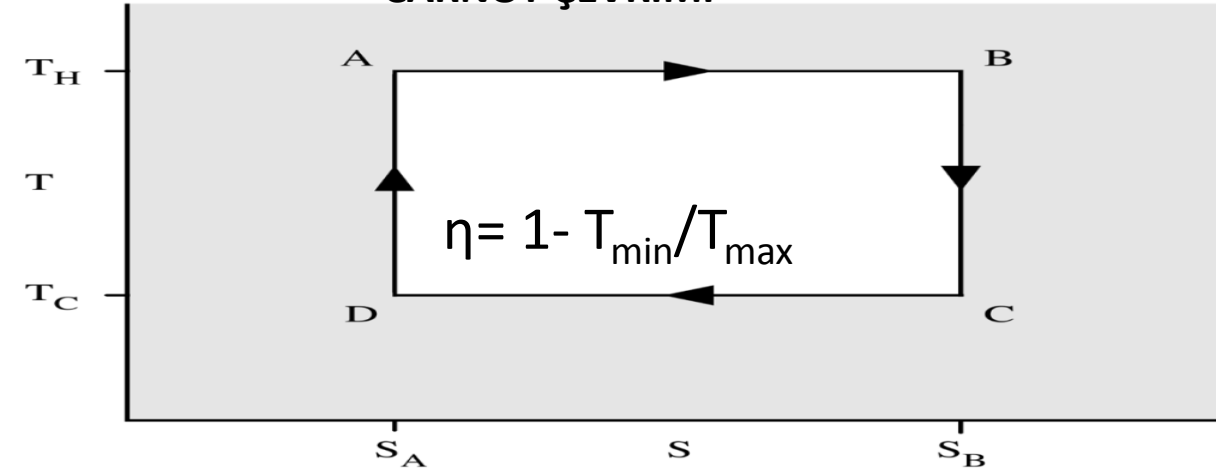
Dolayısıyla böyle linyitlerin çoğu kullanımdan önce yıkanarak zenginleştirilmelidir.



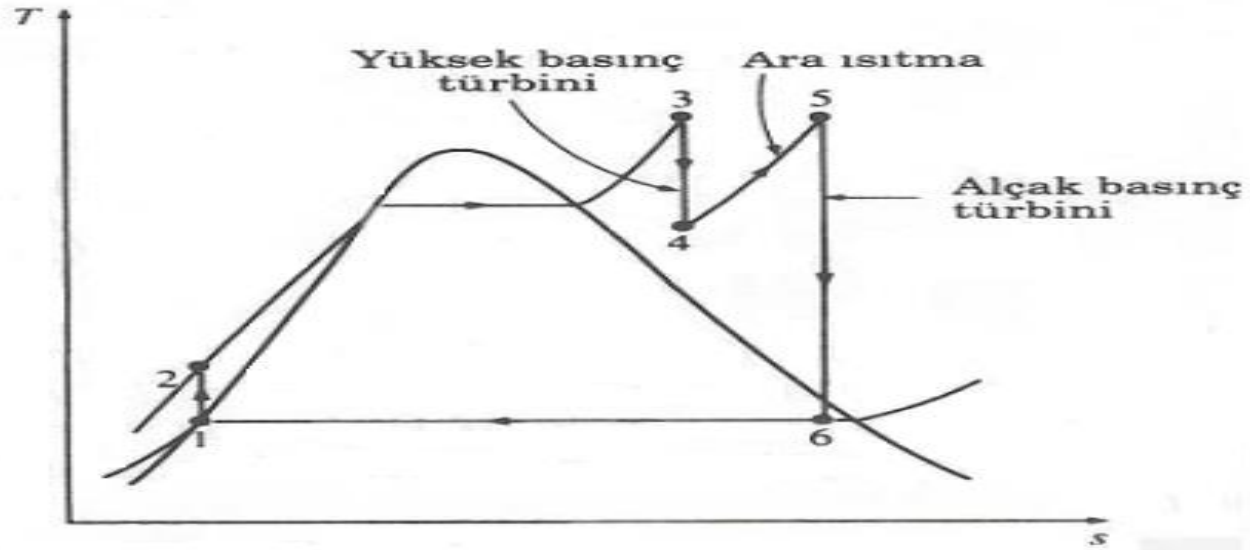
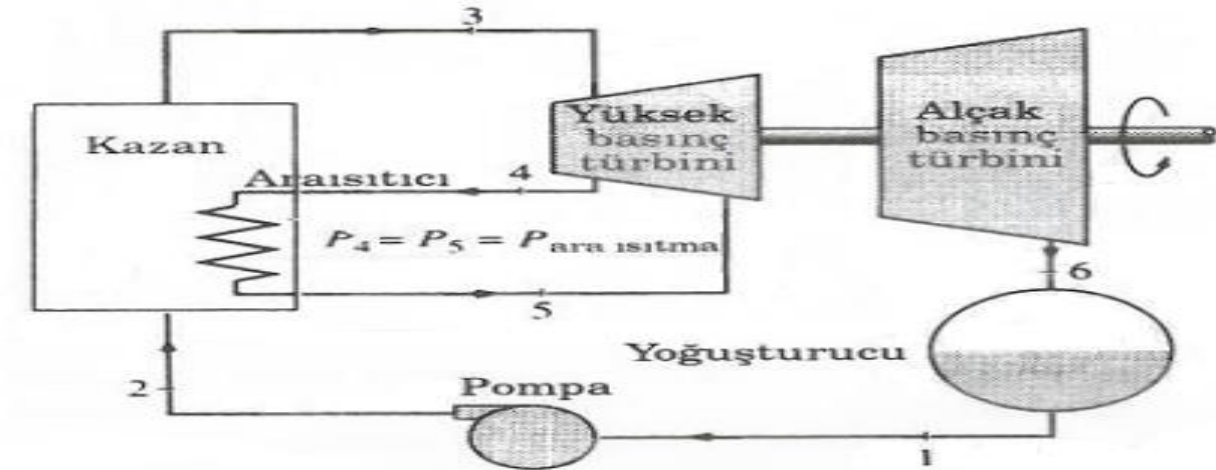
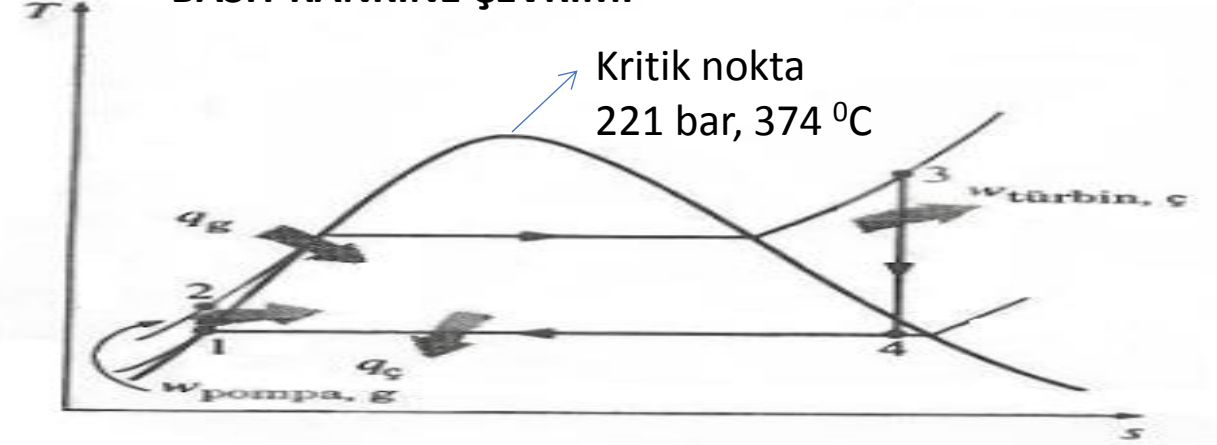
KÖMÜRLÜ SANTRALLARDA VERİM

TERMODİNAMİK ÇEVİRİMLER

CARNOT ÇEVİRİMİ



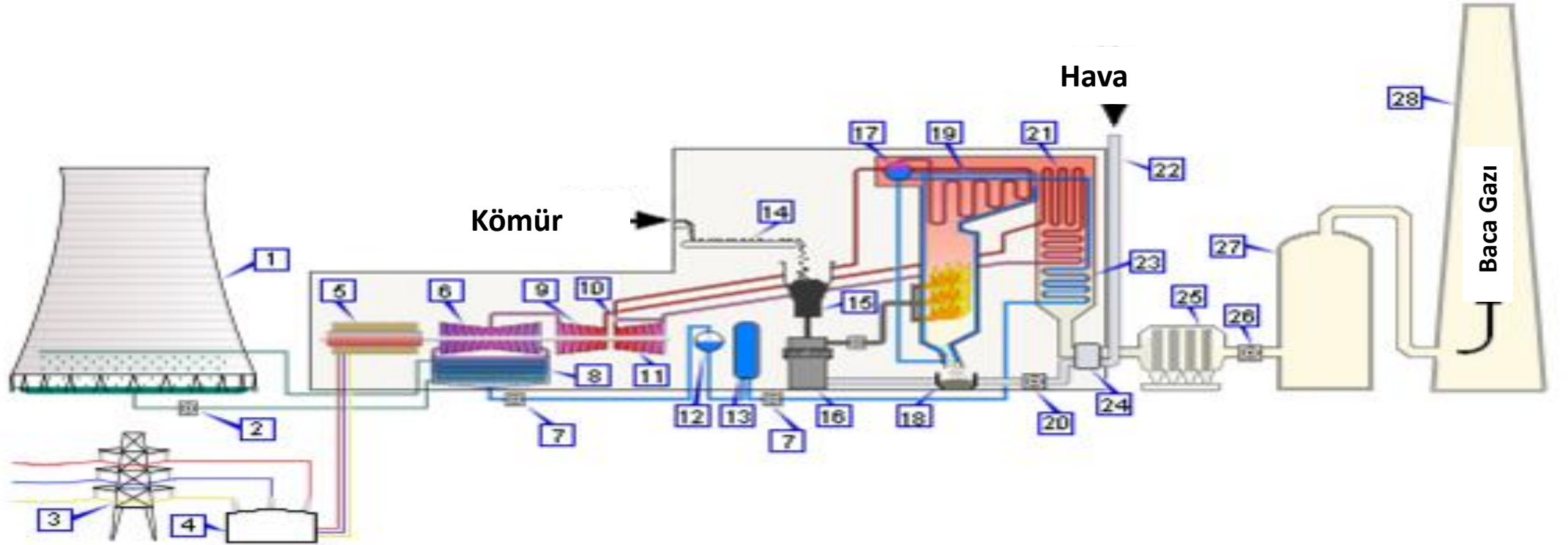
BASİT RANKİNE ÇEVİRİMİ



ARA ISITMALI RANKİNE AKIŞ ŞEMASI

ARA ISITMALI RANKİNE ÇEVİRİMİ

KÖMÜR SANTRALI DİYAGRAMI



- 1 Soğutma Kulesi
- 2 Soğutma suyu pompası
- 3 İletim hattı
- 4 Step up Trafosu
- 5 Generatör
- 6 AB Türbini
- 7 Kondensat pompası
- 8 Kondenser
- 9 OB Türbini

- 10 Buhar kontrol valfi
- 11 YB Türbini
- 12 Deaeratör (Hava alıcı)
- 13 Besleme suyu ısıtıcısı
- 14 Kömür konveyörü
- 15 Kömür bunkerı
- 16 Kömür değırmeni
- 17 Kazan domu
- 18 Cüruf teknesi

- 19 Kızdırıcı (Superheater)
- 20 Taze hava fanı (FD fanı)
- 21 Tekrar kızdırıcı (Reheater)
- 22 Taze hava girişı
- 23 Ekonomizer
- 24 Hava ön ısıtıcı (Luvo)
- 25 Kül tutucu elektrofilitre
- 26 Cebri Çekme fanı
- 27 Baca Gazı Kükürt Arıtma T.
- 28 Baca

Kömür yakıtlı santral

12 MW

Baca

%38 Verim

7.5 MW İç ihtiyaç

Yakıt

100 MW

Konveyör bandı

88 MW

Buhar hattı

Türbin

Jeneratör

Şalt sahası

38 MW

Trafo

Kondenser

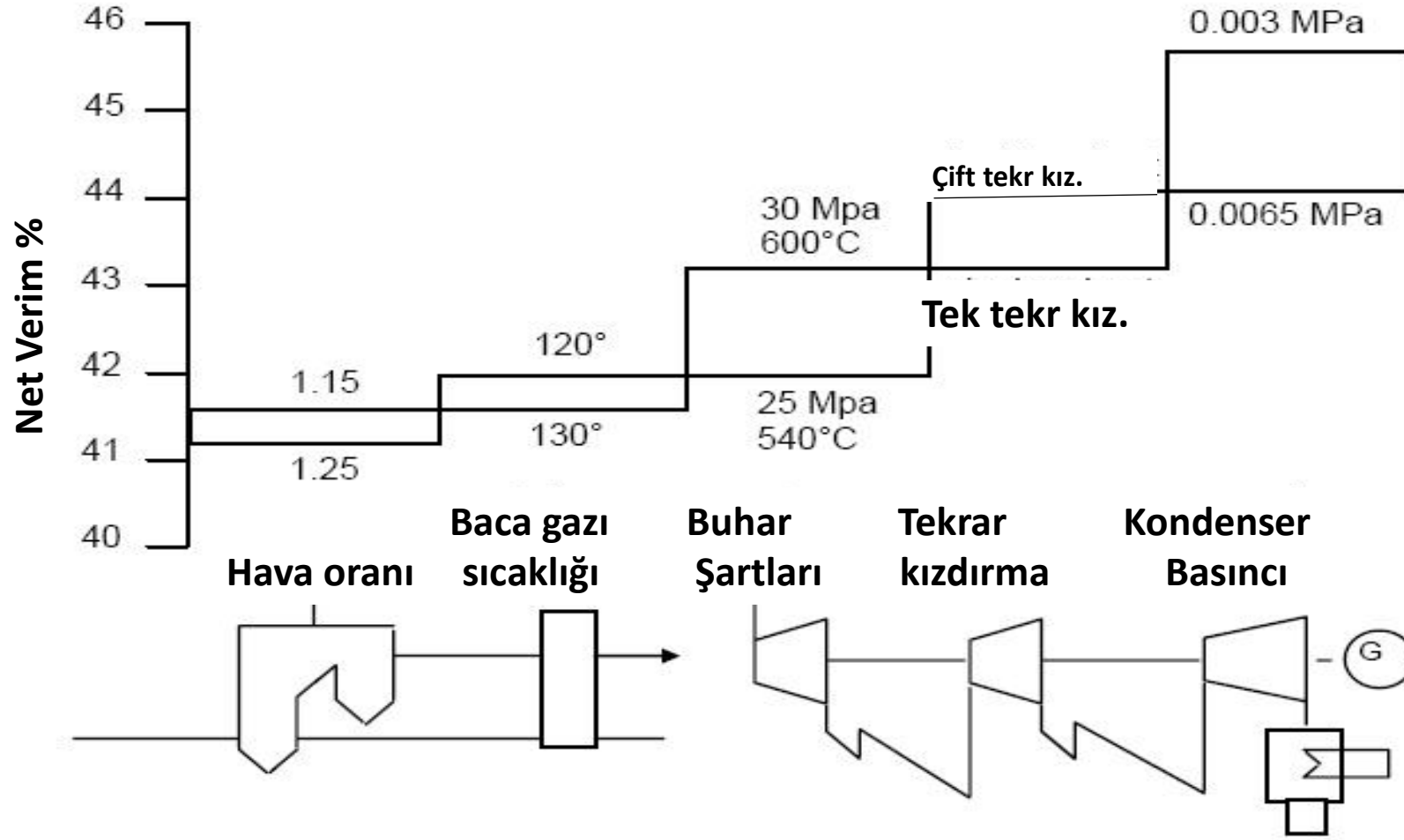
Kazan

Nehir, Baraj veya Soğutma Kulesi

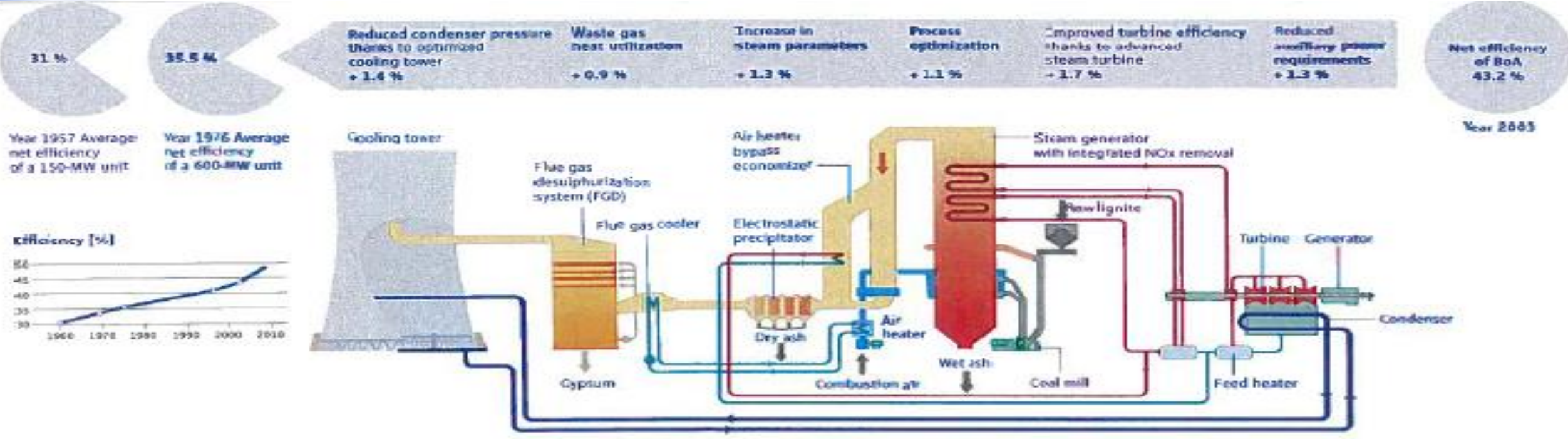
42,5 MW

Soğutma Suyu

Kömür Santrallerinde Verimi artırıcı tedbirlerin etkileri



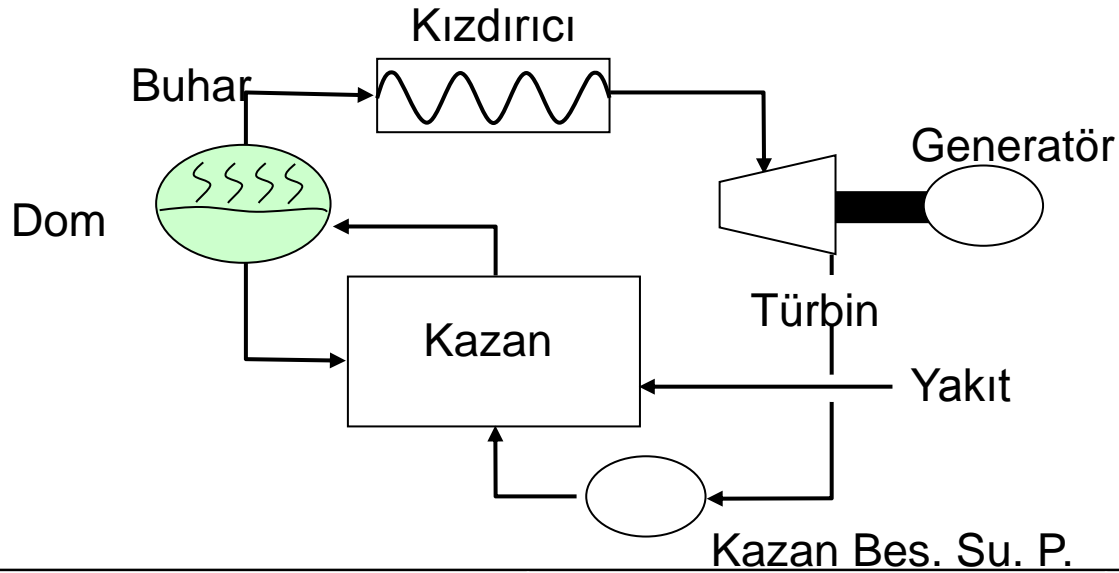
Niederaussem Santrali



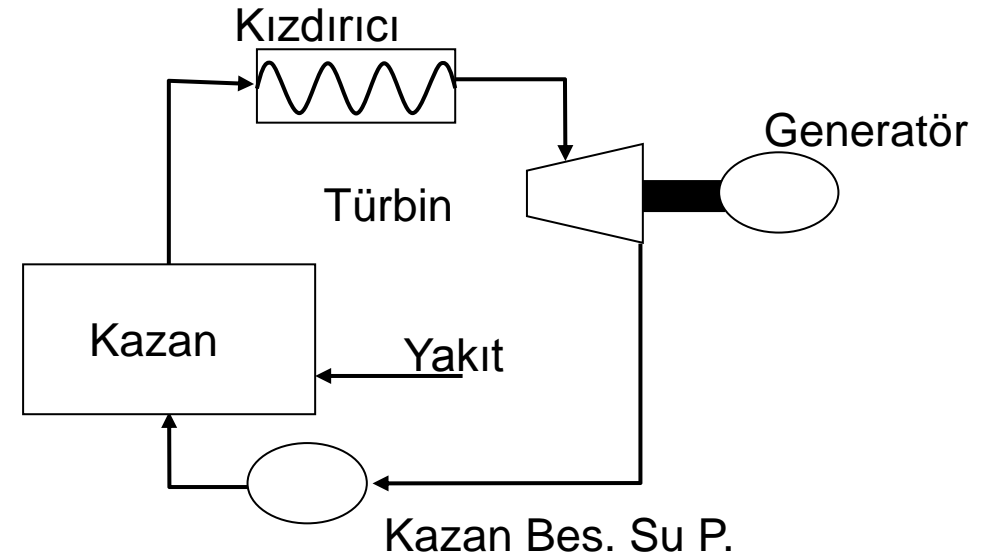
- Almanya'da RWE firmasının 2003 yılında işletmeye aldığı 1.012 MW'lık santraldır.
- Kömür Ruhr havzasının 2500 kCal/kg kalorifik değeri ve %6 külü olan linyitidir.
- Kazan tek geçişli süperkritik kule tipi kazandır.
- Kızgın buhar sıcaklığı 580 °C ve basıncı 275 bardır.
- Kazan EVT, Babcock, Steinmüller; Türbin Siemens İmalatıdır.
- SO₂ emisyonu max. 200 mg/m³, NO_x emisyonu max. 200 mg/m³ ve toz emisyonu max. 50 mg/m³ 'tür.

Klasik ve Süperkritik Kazan Mukayesesi

Sub-critical Santral



Super-critical Santral



Kazan tipi

Kritik altı

Kritik üstü

Ultra Kritik Üstü

Sıcaklık (°C)

540

600

>600

Basınç (bar)

130-220

220-250

>250

Güç (MW)

150-350

500-1.000

500-1.100

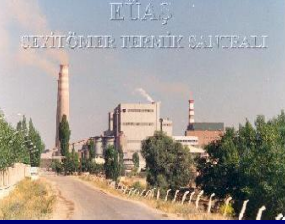
Verim (%)

30-40

39-41

>41

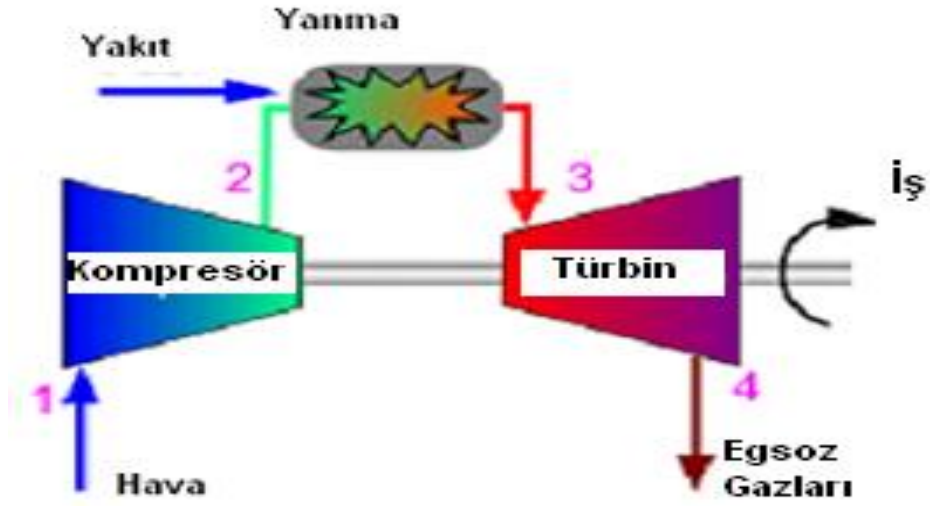
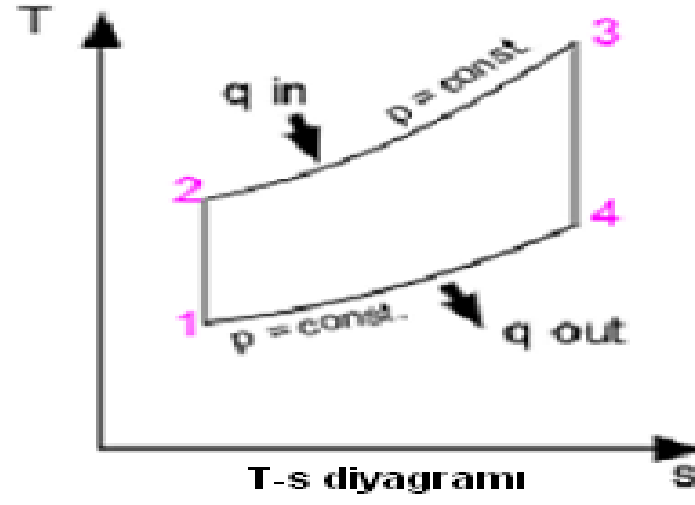
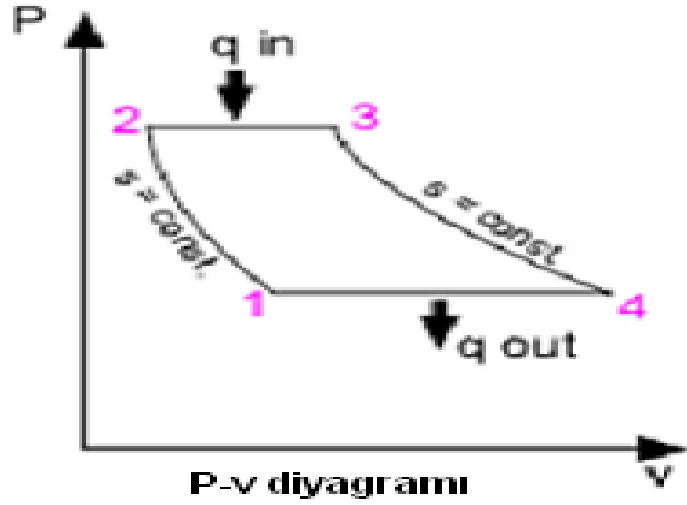




DOĞAL GAZ

SANTRALLARINDA VERİM

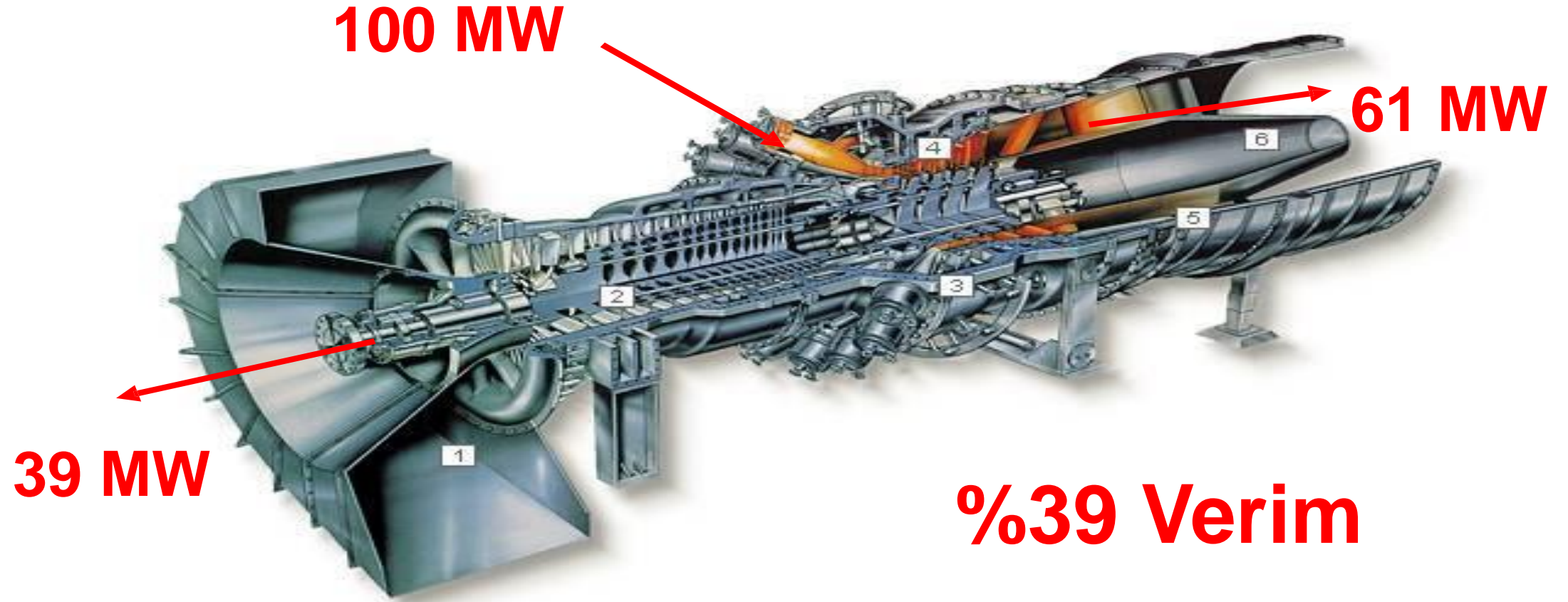
BRAYTON ÇEVİRİMİ VE GAZ TÜRBİNİ



- Gaz Türbin çalışmasını gösteren Brayton Çevriminde:
- 1-2: Hava isentropik olarak sıkıştırılır.
 - 2-3: Sabit basınçta sisteme ısı verilir.
 - 3-4: Yanma ürünleri türbinde isentropik olarak genişir.
 - 4-1: Sabit basınçta çevreye ısı atılır.



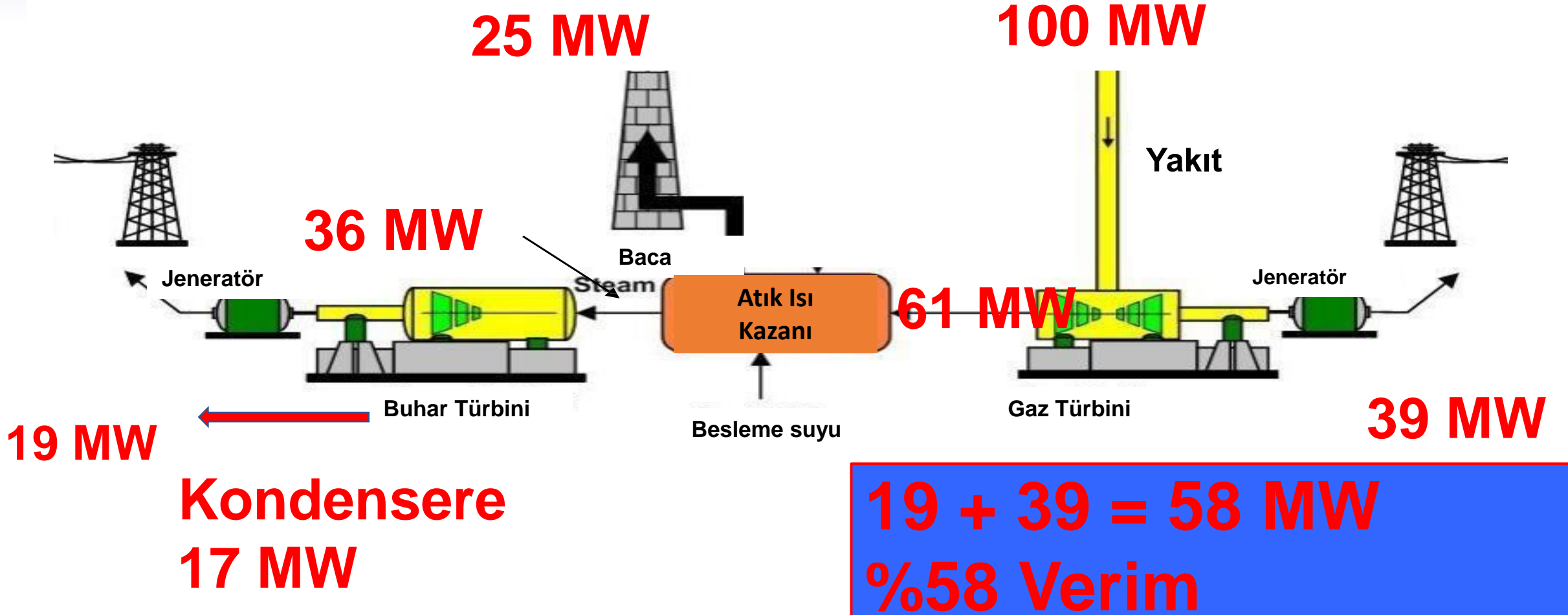
GAZ TÜRÜNİNİ BASİT ÇEVİRİM



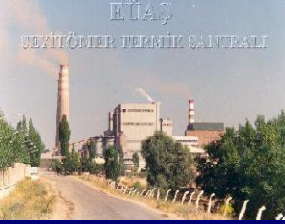
KOMBİNE ÇEVİRİM



tmmob
makina mühendisleri odası
istanbul şubesi



tmmob
makina mühendisleri odası
istanbul şubesi



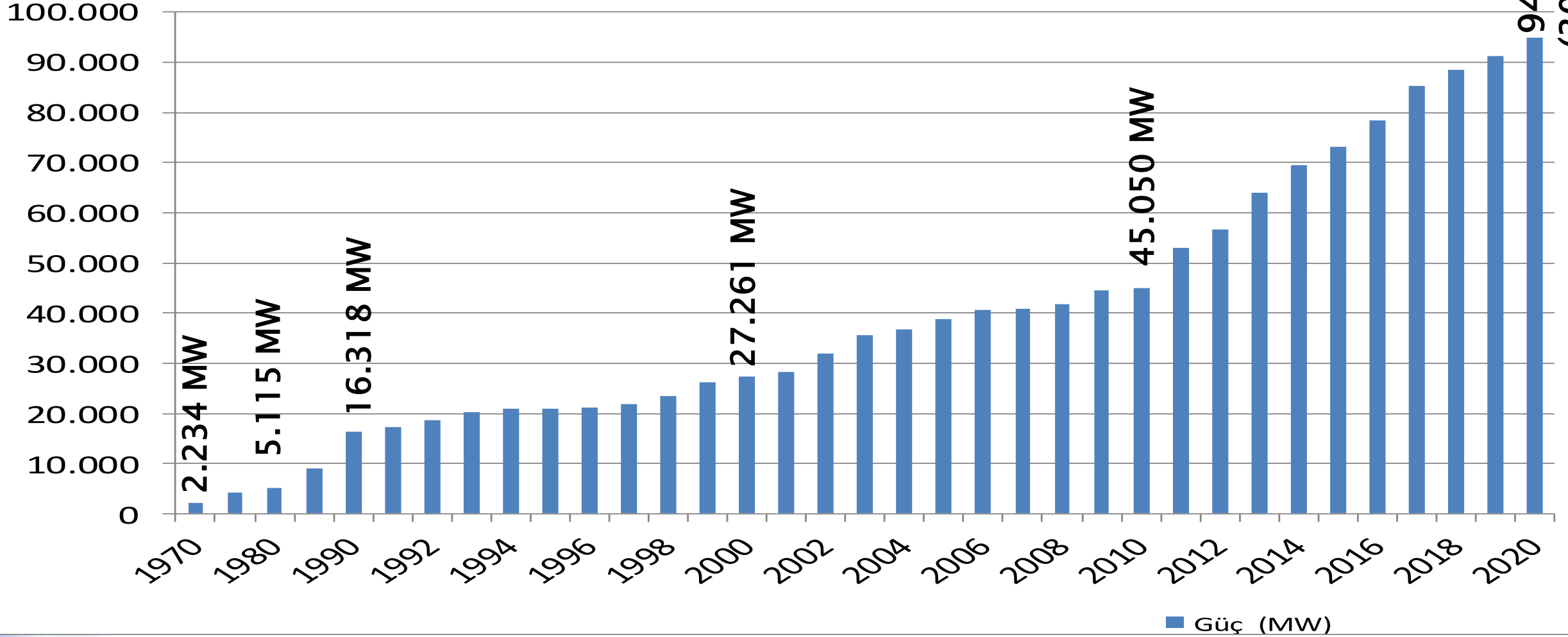
TÜRKİYE'DE SANTRALLARDA KURULU GÜÇ VE ÜRETİM



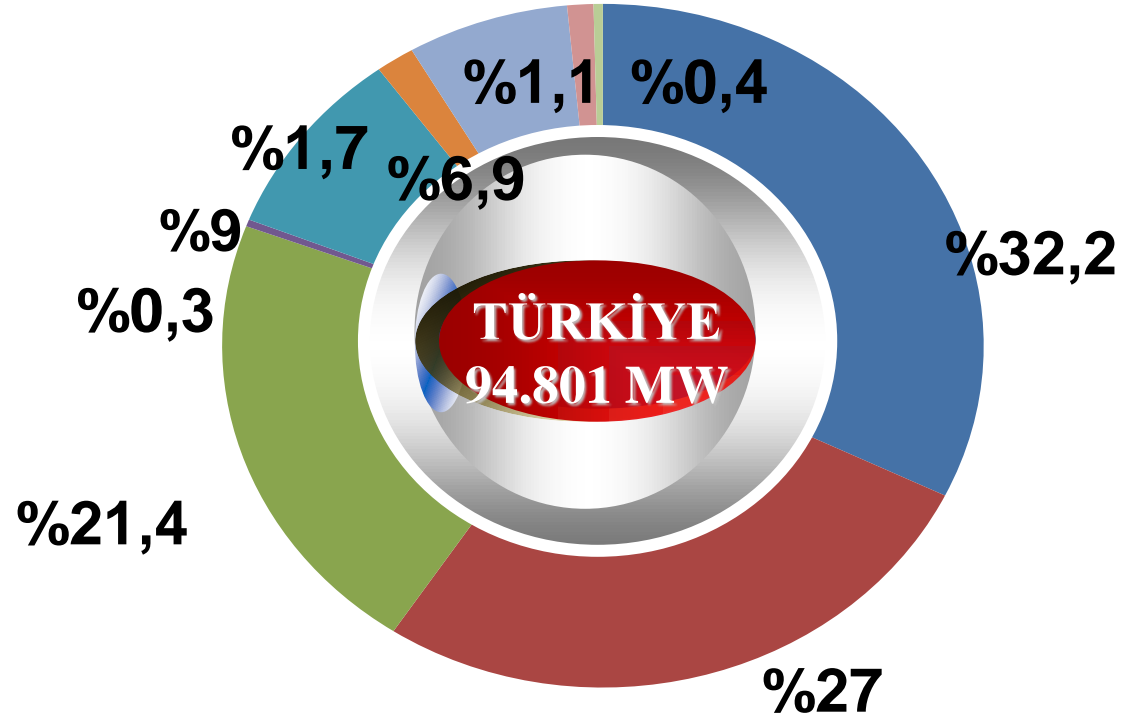
TÜRKİYE KURULU GÜÇ GELİŞİMİ

94.801 MW
(30.11.2020)

Güç (MW)



Türkiye Kurulu Gücünün Kaynaklara göre Dağılımı (30.11.2020)



30.547,9 MW	Hid
25.641,2 MW	Gaz
20.300,0 MW	Köm
311,6 MW	Pet
8.506,9 MW	Rüz
1.556,2 MW	Jeo
6.513,0 MW	Güneş
1.053,1 MW	Bio
371,1 MW	Diğer

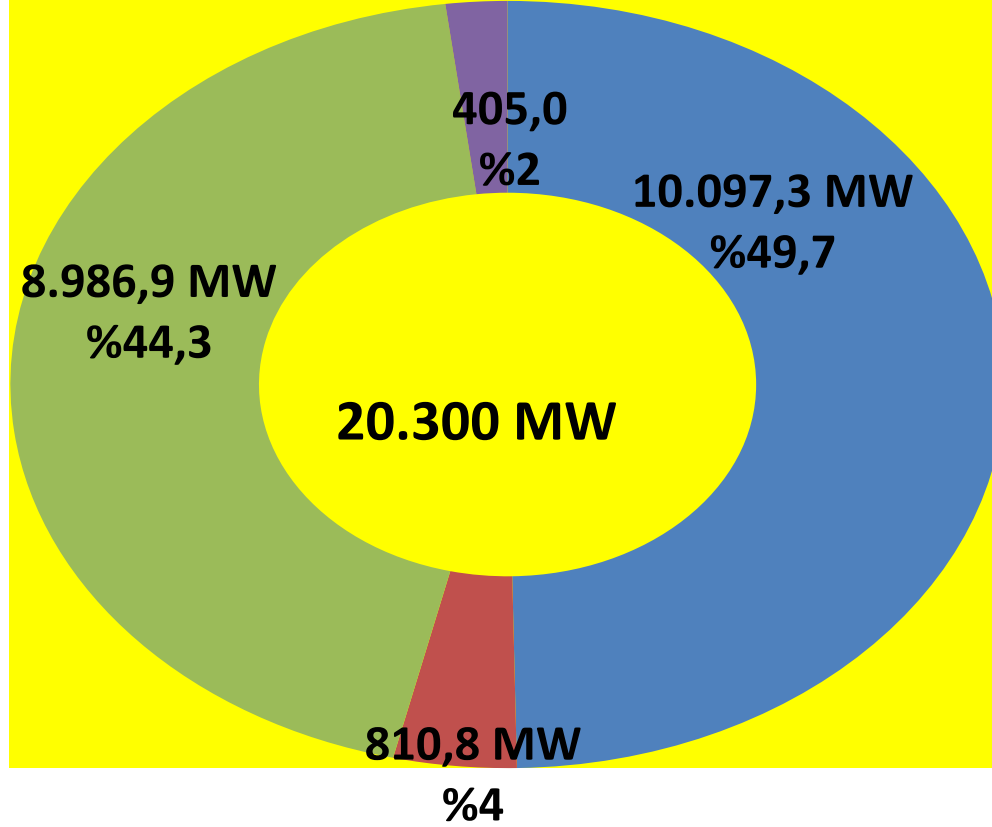
■ ■ ■ TÜRKİYE'DE KÖMÜR SANTRALLARI ■ ■ ■

Kömür Cinsi

Toplam Kurulu Güç 94.801 MW

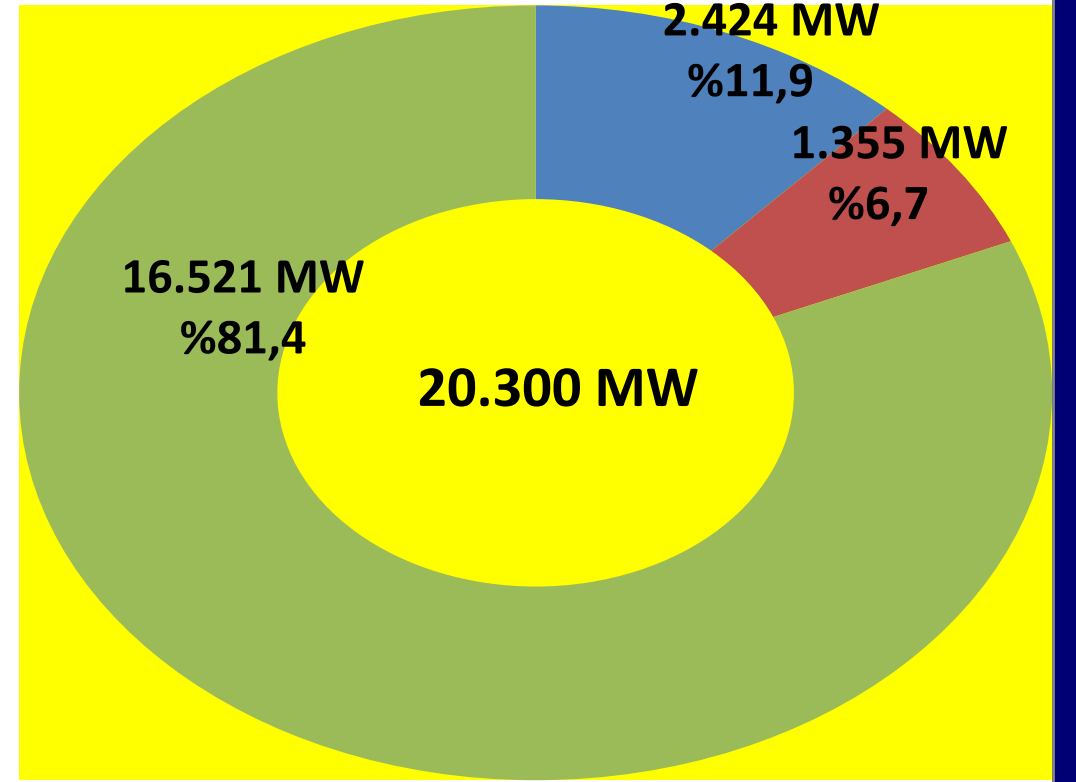
(30.11.2020) Kömür %21,4

■ Linyit ■ Y. Taşkömür ■ İthal Kömür ■ Asfaltit



Kuruluş

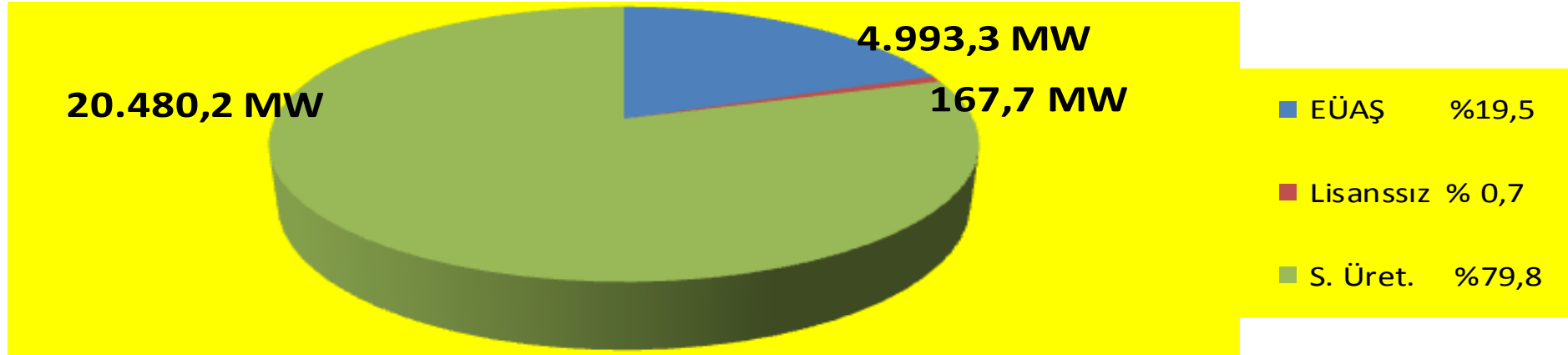
■ EUAS ■ İHD ■ S.Ü.



Toplam Güç 94.801 MW
30.11.2020

Toplam 25.641,2 MW
(Kurulu gücün % 27'si)

Kuruluş



DG Santralleri 2019 yılında 43,4 milyar kWh üretmiştir. (17,3)

EÜAŞ Santral	Hamitabat	Ambarlı	Bursa
İlk GT devreye giriş	24.11.1985	09.08.1988	24.11.1998
Kurulu Güç MW	1.120	1.350	1.431
Kapasite 10 ⁹ kWh/yıl	7,2	9,46	9,87
Verim (%)	48	51	55





SANTRALLARIN YILLIK İŞLETME SAATLERİ

NÜKLEER: 8000-8500 Saat



DOĞAL GAZ : 7500-8000 Saat



K Ö M Ü R : 6500-7000 Saat

HİDRO: 3000-4000 Saat



R Ü Z G A R : 2000-3000 Saat

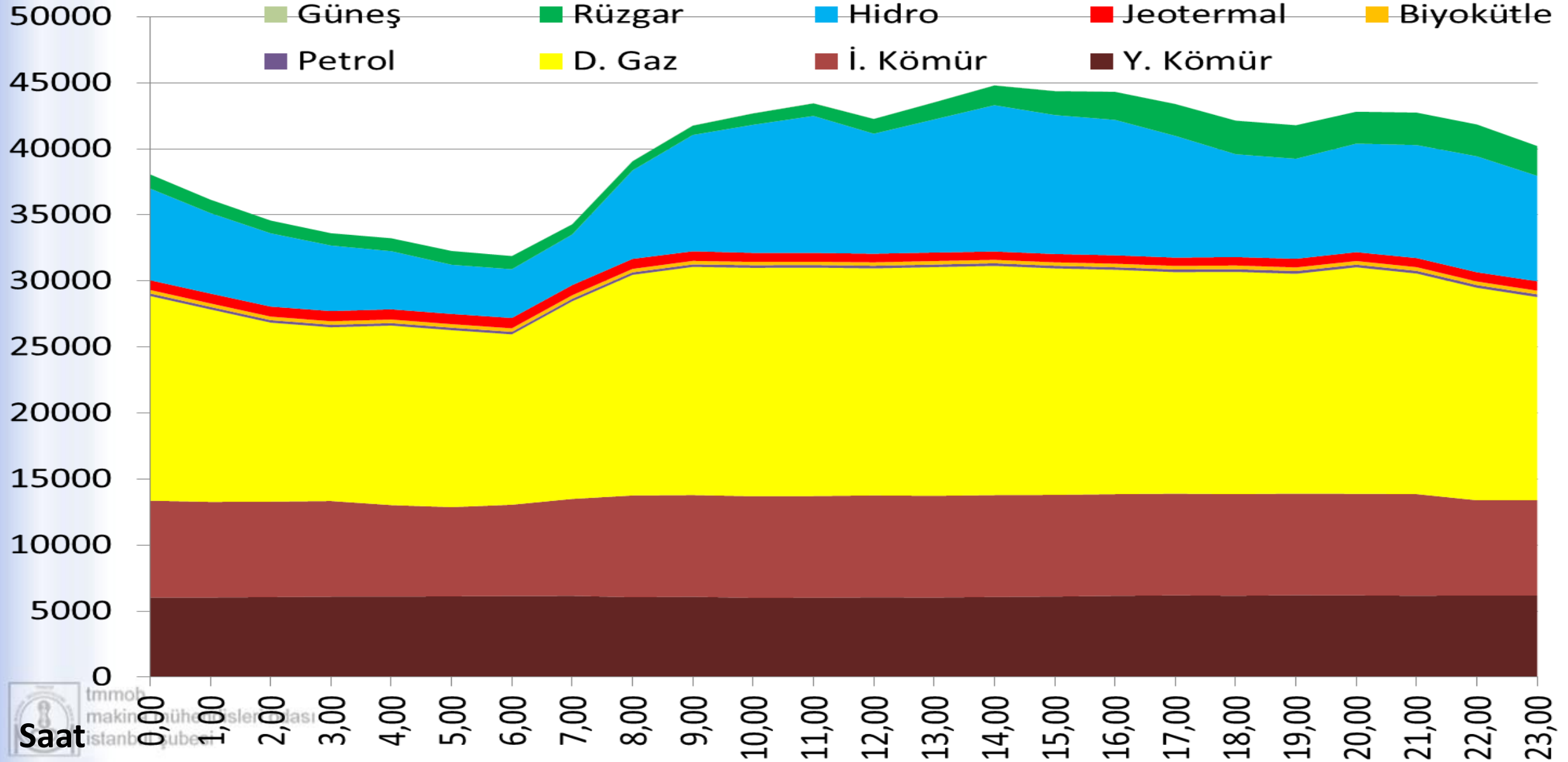
GÜNEŞ: 1900-2600 Saat





Günlük Yük Eğrisi (18.07.2018) 951.053 MWh

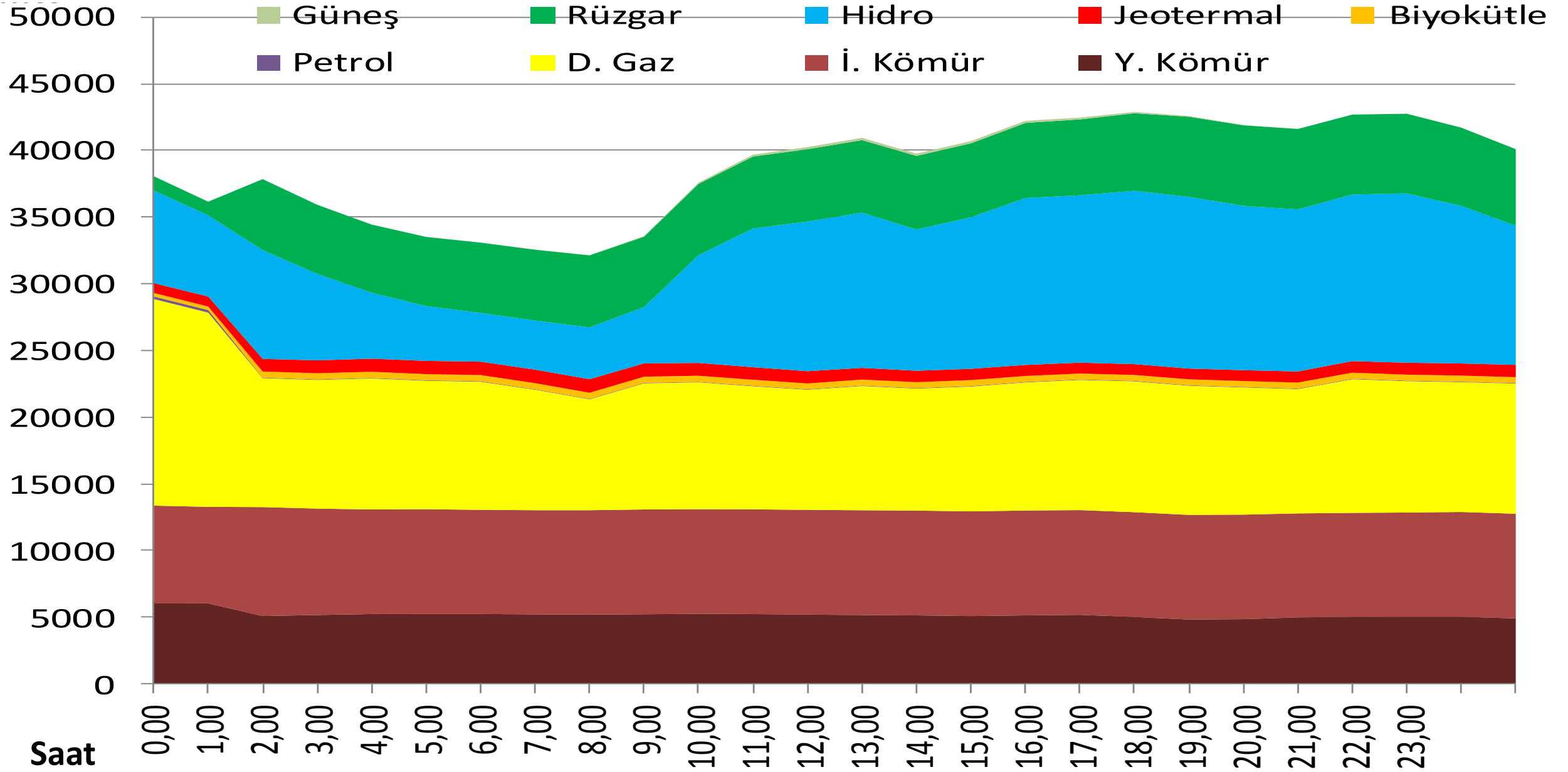
MW



Saat

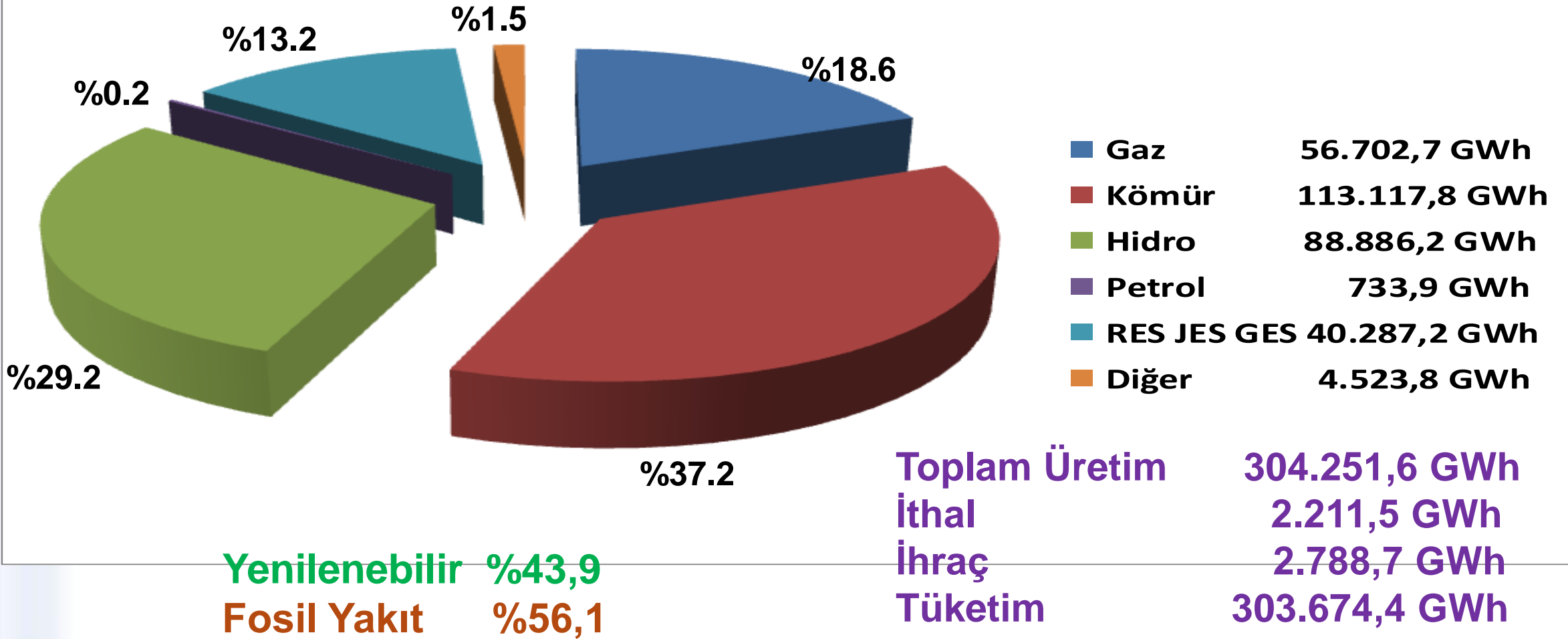


Günlük Yük Eğrisi (22.07.2020) 934.467 MWh



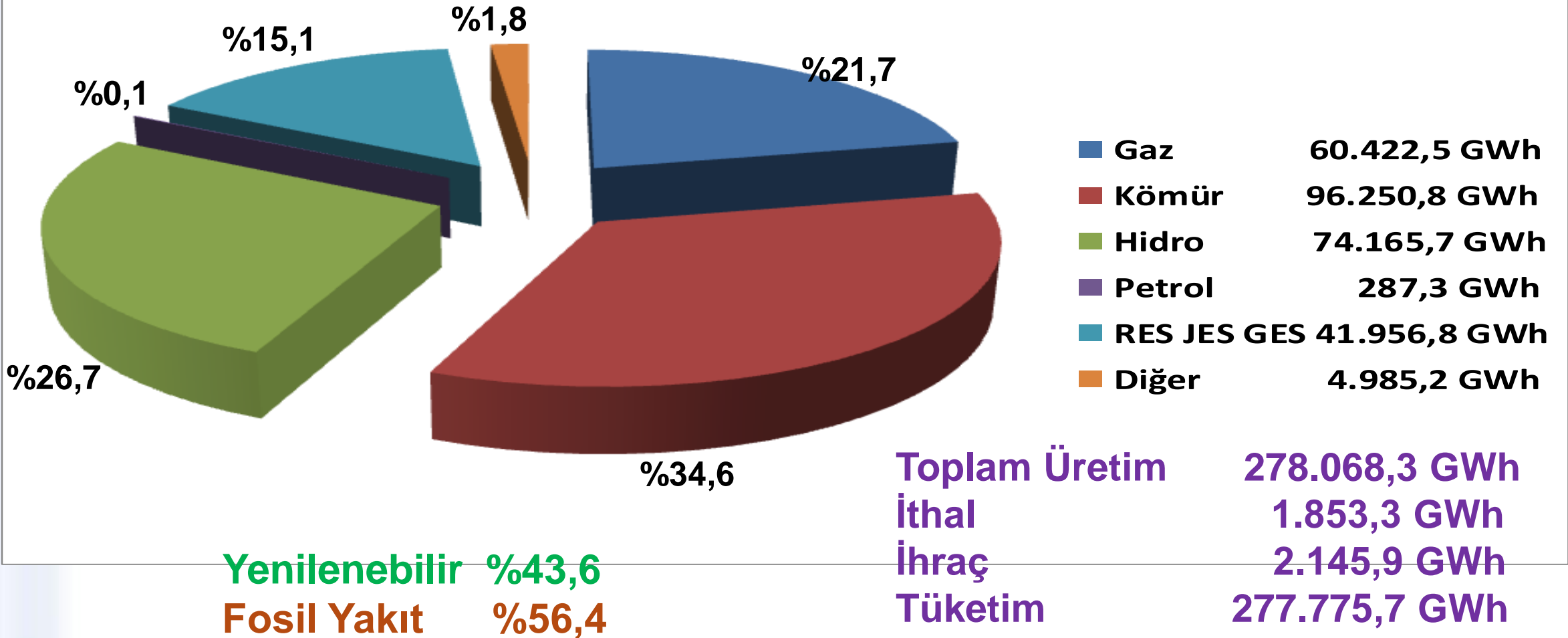
Üretim Kaynaklarına Dağılımı (2019)

Kaynaklar (%)



Elektrik Üretiminin Kaynaklara Dağılımı (2020 11ay)

Kaynaklar (%)

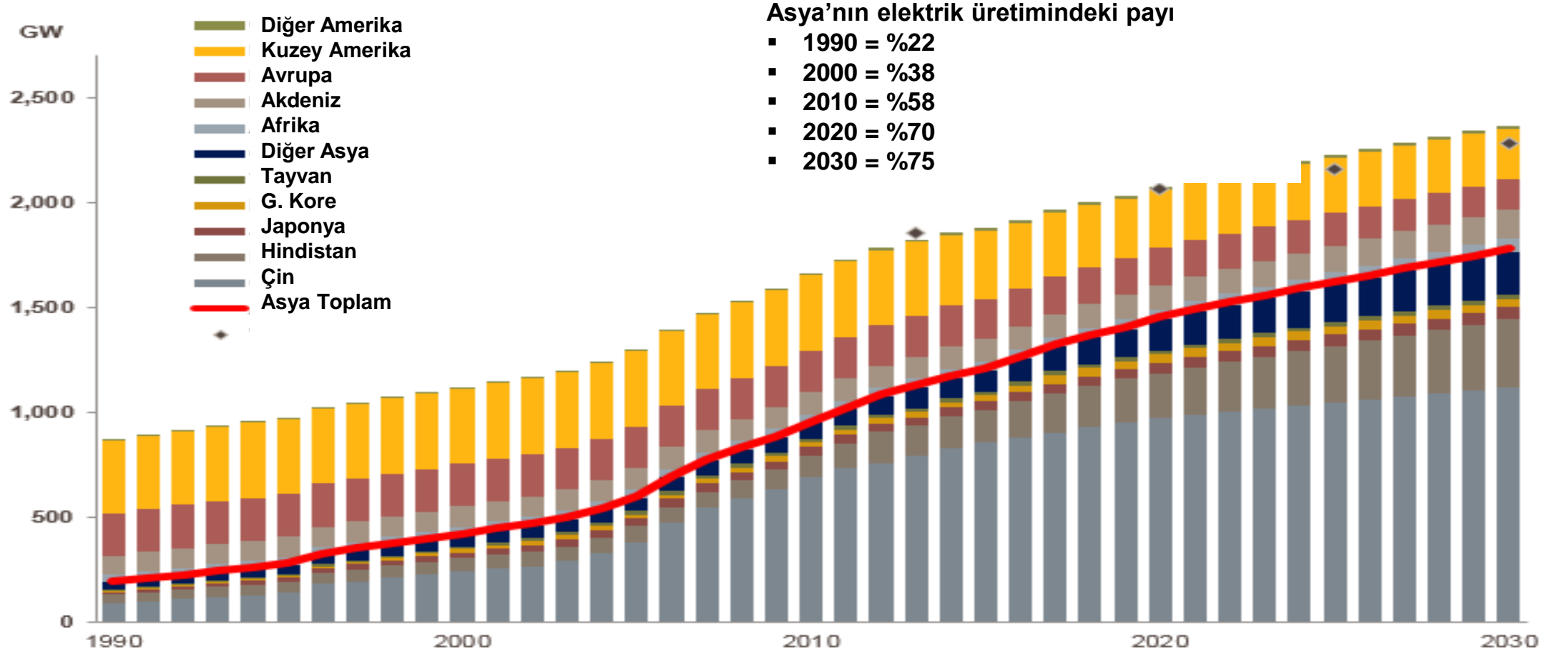




DÜNYA'DA GELİŞMELER

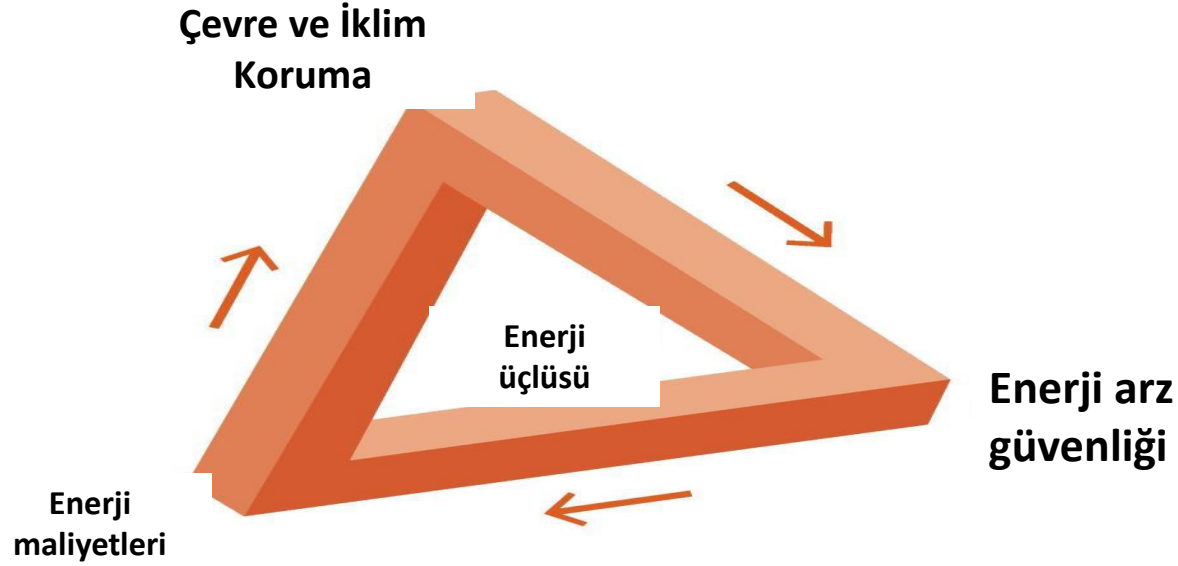


Asya'nın elektrik üretiminde payı artıyor



- Asya'da ve özellikle Güney Doğu Asya'da kömür tüketimi artmaktadır ve arz güvenliğini sağlamak için artmaya da devam edecektir.
- Bunun aksine Avrupa'daki kömür tüketimi azalmaya devam edecektir, ancak Kuzey Amerika'da kömür yerine doğal gaz tüketimi artmayı sürdürecektir.

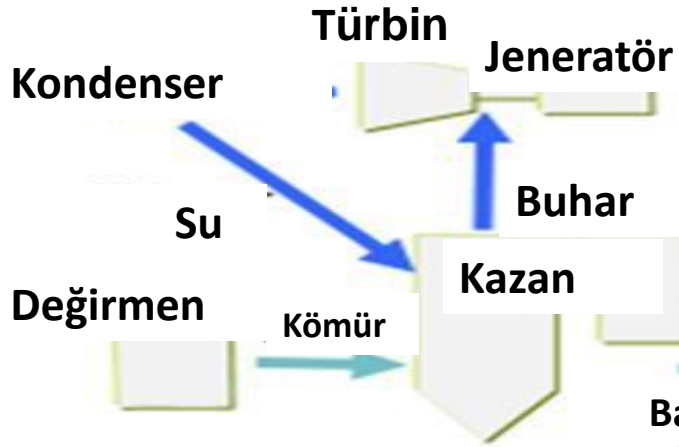
Dünya'da gelişmeler



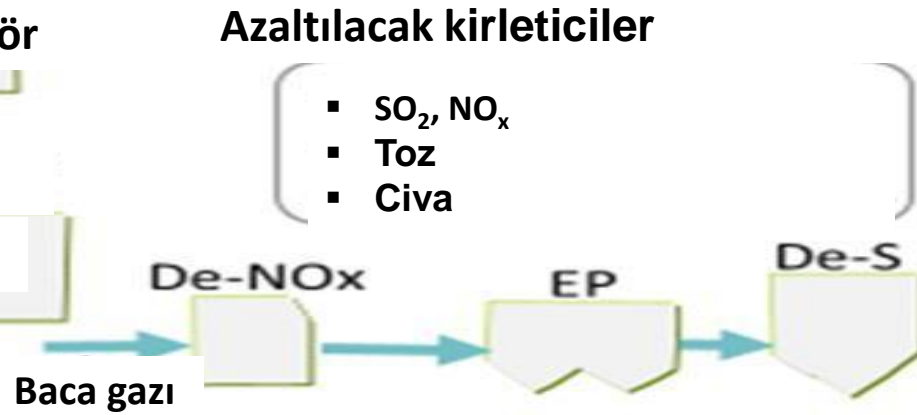
- Gelişmekte olan ülkelerde toplumları yoksulluktan kurtarmak, sanayi ve elektrik sektörü için güvenilir enerji kaynağı sağlamak için kömüre olan istek ve talep devam edecektir.
- Kömür, küresel enerji kompozisyonunda yerini almaya devam edecektir, ancak burada enerji trilemma'daki (üçlü) gereklilikleri de en iyi şekilde yerine getirmelidir.
- Amaç çevrim verimini artırarak ve bilahare Karbon Tutma Depolama Teknolojisiyle kömürden kaynaklanan emisyonları minimize etmek olmalıdır.

HELE Teknolojileri

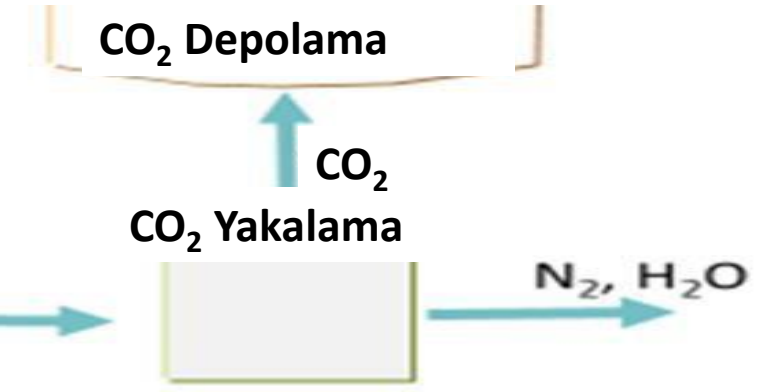
1) Kömür Tüketimini Azaltmak



2) Emisyonları azaltmak



3) Karbon Tutma ve Depolama



- CO₂ emisyonlarını düşürmenin tek realist yolu olduğu için daha verimli kömür santrallerini desteklemek esastır.
- HELE (High Efficiency, Low Emission, Yüksek Verim, Düşük Emisyon) temiz kömür teknolojileri ticari olarak mevcuttur ve Çin'de, Almanya'da, Japonya'da ve Güney Kore'de kullanılmaktadır.
- %50 çevrim veriminin üzerine çıkmak için çalışmalar devam etmektedir.

%50 Verimin üstüne doğru

Program	Buhar sıcaklığı	Hedef Verim (% net)	Program başlangıcı	Prototip tesis tarih ve güç
AB	700°C	50	1998	2021 (500 MWe)
ABD	760°C	45-47 (hhv)	2000	2021 (600 MWe)
Japonya	700°C	>50	2008	2021 (600 MWe)
Çin	700°C	46-50	2011	2021 (660 MWe)
Hindistan	700°C	>50	2011	- 800 MWe)



Çin'de Verim üzerine çalışmalar

Teknoloji	Net Verim (Ihv, %)	İç ihtiyaç (%)	Net kömür tüketimi (g/kWh)	CO ₂ emisyon (brüt enerji üretiminde g/kWh)
Subkritik	≤ 38.0	4.5-5.5	323.3	798.6-807.3
Süperkritik	≤ 42.0	4.0-5.0	292.5	726.5-734.4
600°C USC	≤ 45.0	3.5-4.5	273.0	681.7-689.1
700°C USC	45.0-50.0	3.0	273.0-245.7	623.5-692.8
Pingshan 1350 MWe 600°C USC	49.8	3.5	246.7	622.7
Pingshan design with 700°C USC	53.0	3.0	231.8	588.2

Not: Buradaki kömür tüketim rakamları Çin'deki 6000 kCal/kg'lık kömüre göredir.

HELE Teknolojileriyle CO₂ düşürme potansiyeli

Subkritik

• Verim
35%
• 5.39
Mt

Süperkritik

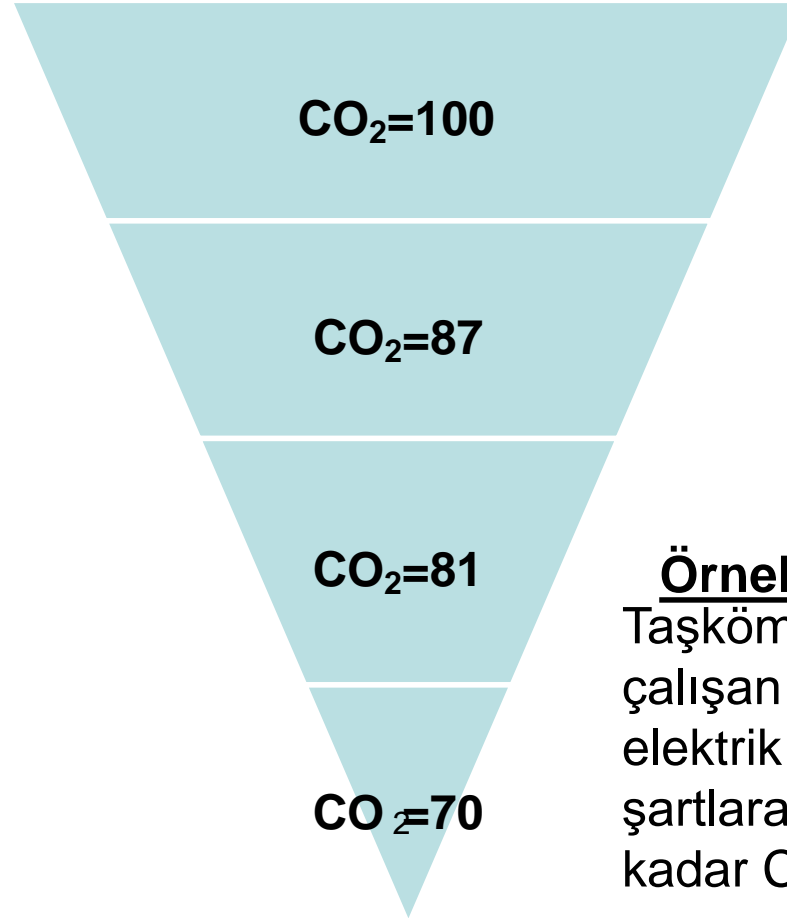
• Verim
40%
• 4.70
Mt

Ultra
superkritik
(USC)

• Verim
43%
• 4.35
Mt

İleri USC
(AUSC)

• Verim
50%
• 3.76
Mt



Örnek

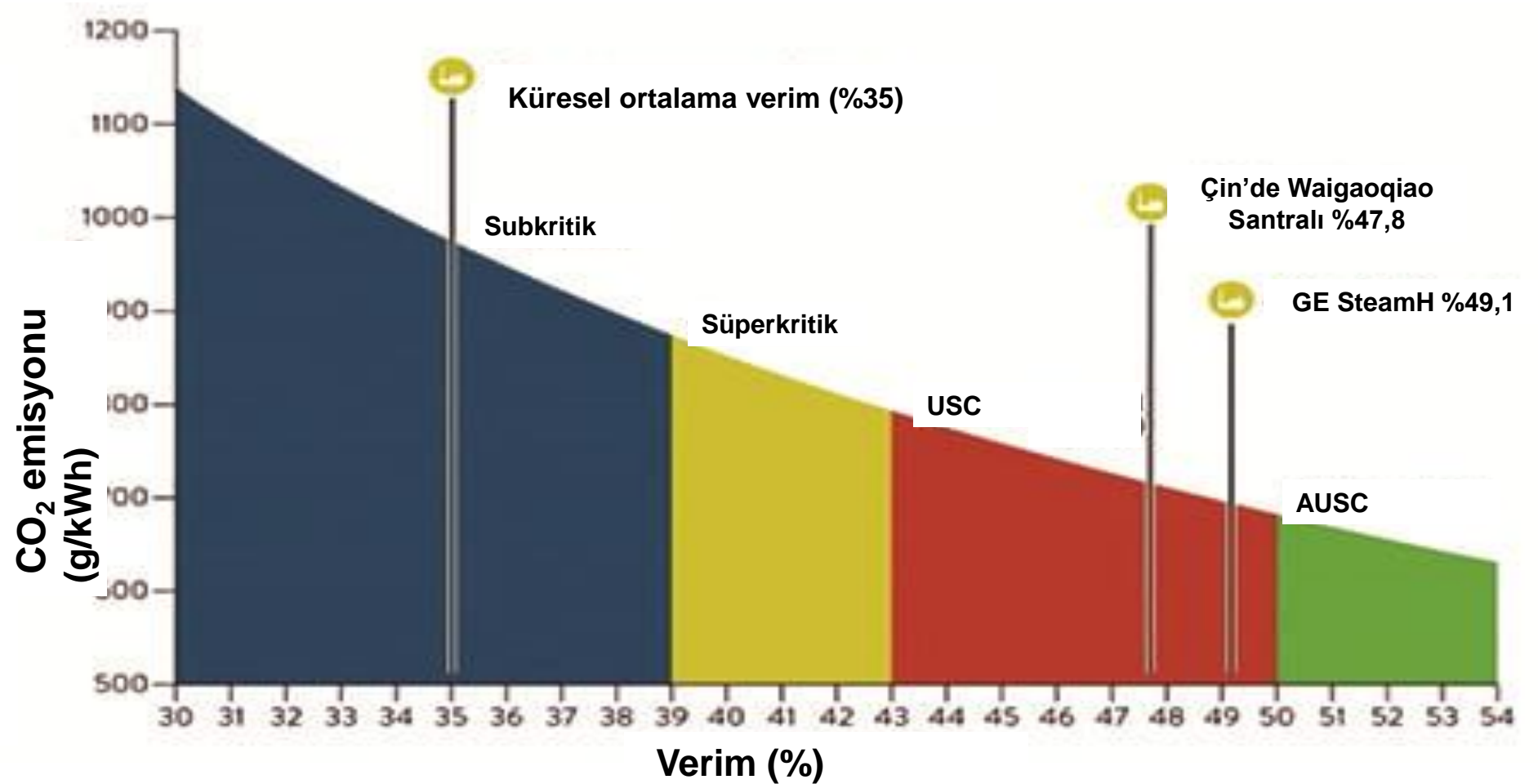
Taşkömürü yakan ve %80 kapasitede çalışan 800 MW'lık bir santral yılda 6 TWh elektrik üretecek ve su buhar çevrimindeki şartlara ve verimine bağlı olarak listedeki kadar CO₂ emisyonuna neden olacaktır.



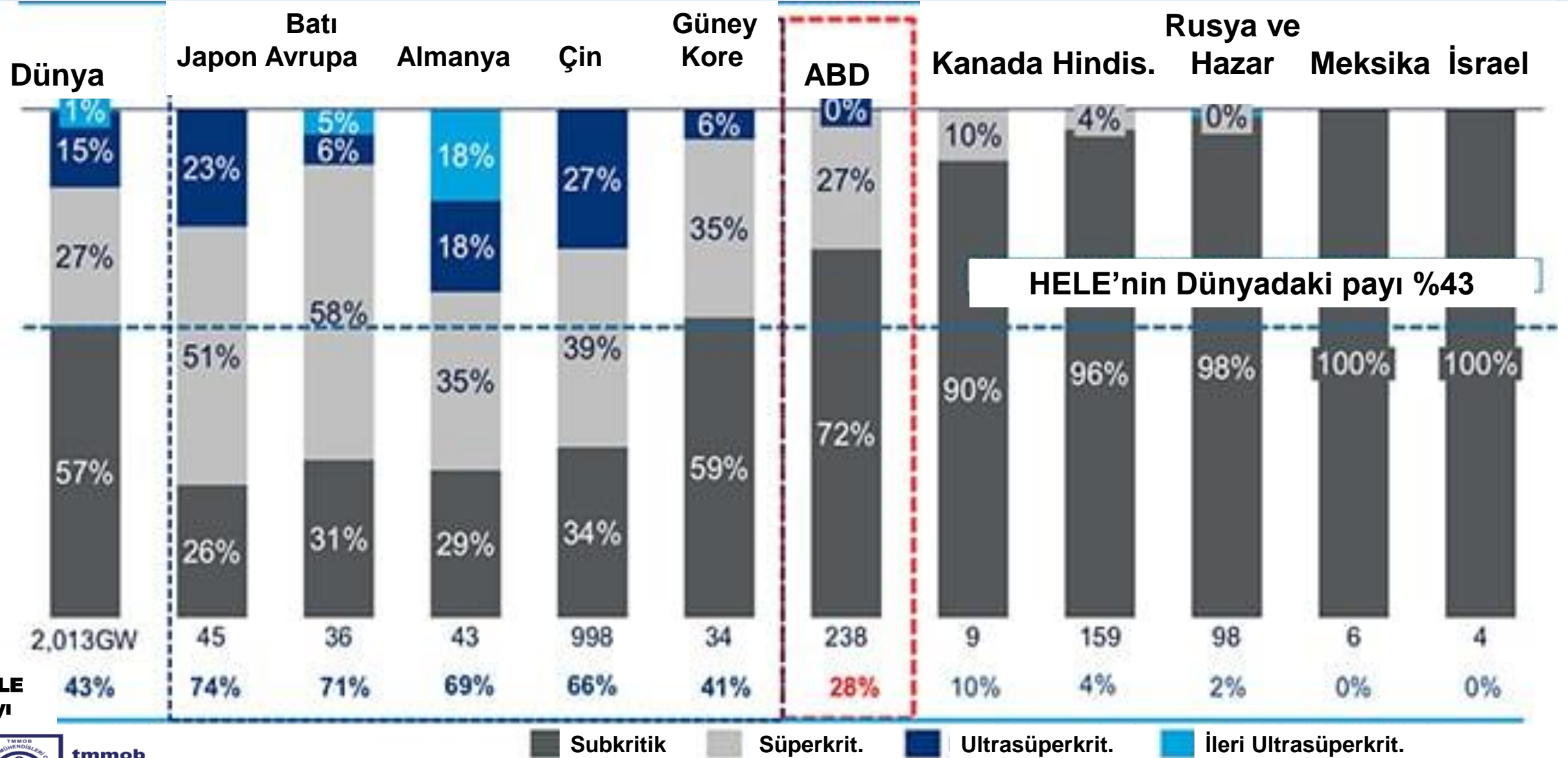
Verim artınca Emisyonlar düşer

Yeni teknolojilerle %30'un üzerinde CO₂ emisyonunda azalma sağlanmaktadır

3 Gt/yıl üzeri emisyon azaltma potansiyeli vardır.



Kömür Santrallerinde HELE'nin Payı (2018)



Subkritik Süperkrit. Ultrasüperkrit. İleri Ultrasüperkrit.

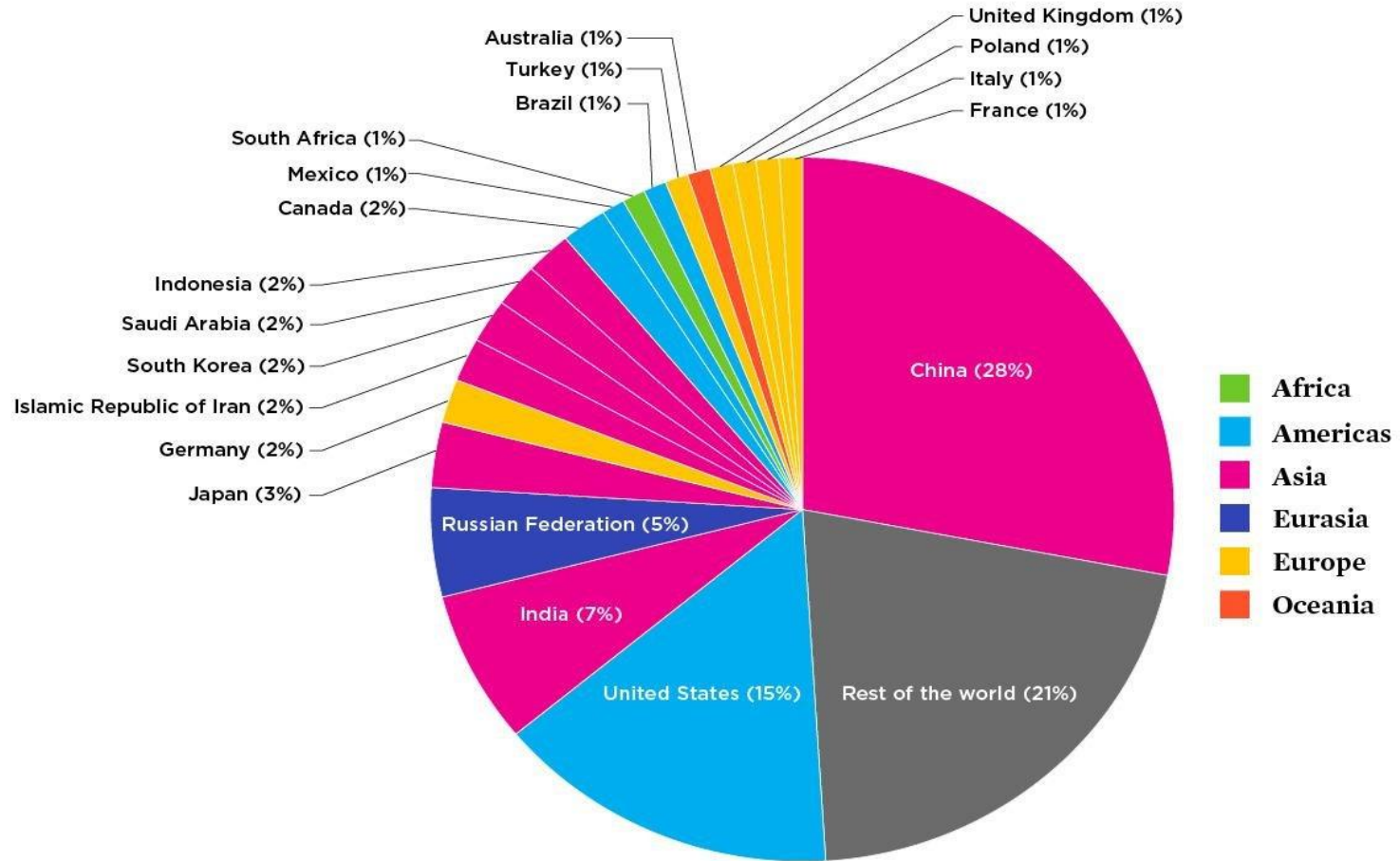
Türkiye toplam kömür 20.300 MW, HELE 6.350 MW, Oran %31,3

HELE Payı



tmmob
makina mühendisleri odası
istanbul şubesi

Ülkelerin CO₂ Emisyonunda Payları (2019)



© 2020 Union of Concerned Scientists
Data: Earth Systems Science Data 11, 1783-1838, 2019

Ülkelerin CO₂ Emisyonları (2019)

Sıra	Ülke	CO ₂ emisyonu (toplam)
1	Çin	10,06GT
2	ABD	5,41GT
3	Hindistan	2,65GT
4	Rusya	1,71GT
5	Japonya	1,16GT
6	Almanya	0,75GT
7	İran	0,72GT
8	Güney Kore	0,65GT
9	Suudi Arabistan	0,62GT
10	Endonezya	0,61GT
11	Kanada	0,56GT
12	Meksika	0,47GT
13	Güney Afrika	0,46GT
14	Brezilya	0,45GT
15	Türkiye	0,42GT
16	Avustralya	0,42GT
17	İngiltere	0,37GT
18	Polonya	0,34GT
19	Fransa	0,33GT
20	İtalya	0,33GT
21	Kazakistan	0,32GT

Rank	Country	CO ₂ emisyonu (kişi başı)
1	Suudi Arabistan	18,48T
2	Kazakistan	17,60T
3	Avustralya	16,92T
4	ABD	16,56T
5	Kanada	15,32T
6	Güney Kore	12,89T
7	Rusya	11,74T
8	Japonya	9,13T
9	Almanya	9,12T
10	Polonya	9,08T
11	İran	8,82T
12	Güney Afrika	8,12T
13	Çin	7,05T
14	İngiltere	5,62T
15	İtalya	5,56T
16	Türkiye	5,21T
17	Fransa	5,19T
18	Meksika	3,77T
19	Endonezya	2,30T
20	Brezilya	2,19T
21	Hindistan	1,96T

KÖMÜR GAZLAŞTIRMA
VE ENTEGRE GAZLAŞTIRMA
KOMBİNE ÇEVİRİM

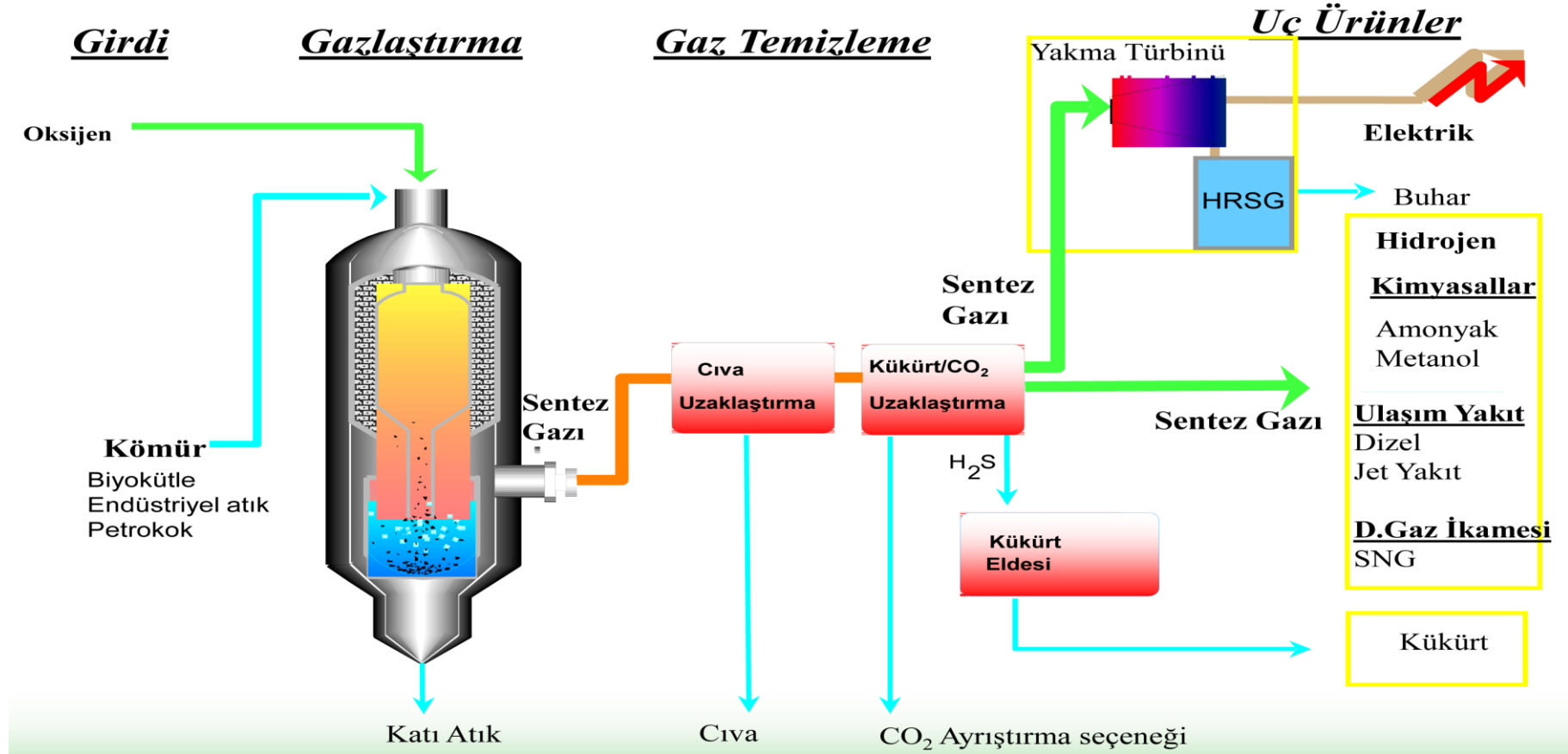


GAZLAŖTIRMA NEDİR?

- GazlaŖtırma, kömür, petrol, biyokütle gibi karbonca zengin katı formdaki yakıtı yanabilir gaz karışımına (H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , vs) dönüŖtüren termo kimyasal bir prosestir.
- GazlaŖtırmanın temeli yanmaya dayanır fakat 'yanma'dan farklıdır. GazlaŖtırıcıya verilen oksijen miktarı azdır.
- GazlaŖtırma üç safhadan oluşur:
 - Kömür hazırlama ve kurutma bölgesi
 - Yanma ve piroliz bölgesi
 - Reaksiyon ve GazlaŖtırma Bölgesi
- GazlaŖtırmada gerçekteŖen reaksiyonlar genel olarak aŖağıdaki gibidir:.
 - $C + O_2 = CO_2$
 - $C + \frac{1}{2} O_2 = CO$
 - $H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O$
 - $C + H_2O = CO + H_2$ (Su gazı tepkimesi)



(IGCC) INTEGRATED GASIFICATION COMBINED CYCLE (Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim)



- IGCC, kömür ve karbon bazlı yakıtların gazlaştırıldığı ve elde edilen sentez gazının çevrim santralinde elektrik enerjisine dönüştürüldüğü entegre bir tesistir
- IGCC esas itibariyle yakıtın gazlaştırıcıda gazlaştırılması, üretilen gazın temizlenmesi, temizlenen gazın gaz türbininde yakılarak elektrik enerjisine çevrilmesi ve atık ısıdan elde edilen buharla buhar türbininden ilave elektrik üretimi aşamalarını kapsamaktadır.
- Gaz türbinine ilaveten buhar türbinine atık ısının değerlendirilmesi yüksek verim sağlamaktadır.

Sonuç

- Nüfus artışı ve ekonomik gelişme ülkelerdeki elektrik talebini artıracak ve elektriğe sahip olabilmek için diğer gerekliliklerin önüne geçebilecektir.
- Çoğu ülke gelecekteki enerji ihtiyaçları için yenilenebilir enerjiden büyük bir katkı beklemektedir, ancak çeşitli projeksiyonlarda (örneğin UEA gibi) kömürün 2050'ye kadar hala önemli bir payı olacağı görülmektedir.
- Gelişmekte olan ülkelerde inşaatı süren veya planlanan subkritik ve süper kritik santraller bulunmaktadır.
- Eğer tüm işletmede olan kömür santrallerinin şu anda %33 olan ortalama verimleri, rehabilitasyonlarla veya yeni HELE teknolojileriyle %45'e çıkarılırsa yıllık CO₂ emisyon düşümü 2,25 Gt olmaktadır. Bu rakam Hindistan'ın toplam CO₂ emisyonundan fazladır ve toplam emisyonun %19'una takabül etmektedir.

**Beni dinlediğiniz için
teşekkür ederim...**

**Muzaffer Başaran
Makina Y. Mühendisi**

