



# TERMİK SANTRALLERDEN KAYNAKLANAN KÜLLERİN YÖNETİMİ - UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Dr. H. Merve BAŞAR - Volkan PELİTLİ - Barış GÜZEL



**TÜBİTAK MAM ÇTÜE**  
**Başuzman Araştırmacı**

Ankara 19-20 Ekim 2016



- **Dünyada ve Ülkemizde Kömürün Yeri**
- **Rezervler ve Elektrik Üretimi**
- **Kömüre Dayalı Termik Santral Üretim Prosesi**
- **Küllerin Yönetimine İlişkin Yasal Mevzuat**
- **Küllerin Yönetiminde Dört Adım**
- **Yan Ürün Onayı**



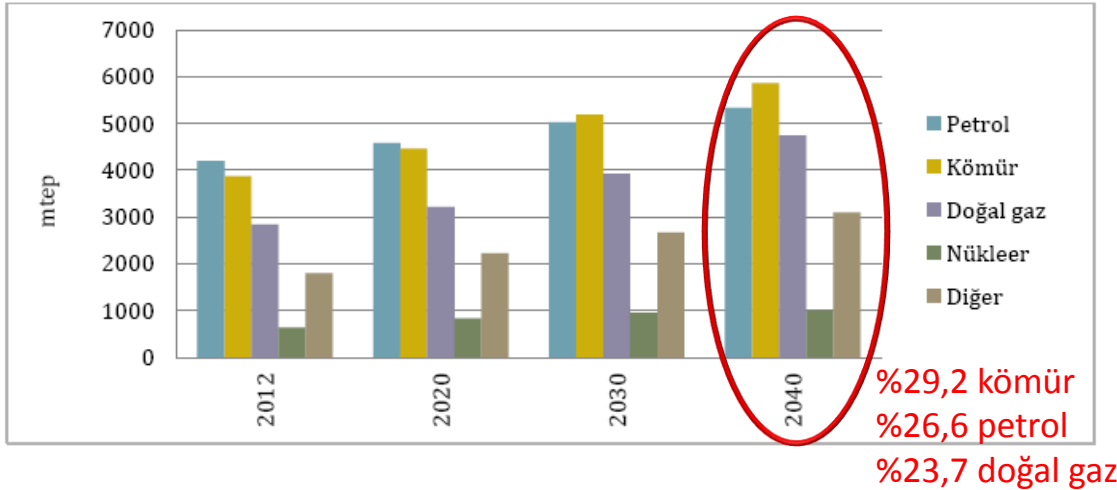


# Dünyada Kömür ve Linyitin Yeri



**KÖMÜR**  
Antrasit  
Taş kömürü  
Linyit  
Turba

- 2050'de dünya nüfusu 9 milyar.
- Sanayileşme, kentleşme → Enerji talebinde artış
- Kömür petrolün tahtını ele mi geçirecek?
- **Dünya kömür üretimi:** Çin (%46,6); ABD (%11,3); Hindistan (%7,7); Avustralya (%6,1)
- **Dünya kömür tüketimi:** Çin (%50); ABD (%10,7); Hindistan (%10); Almanya (%3,1).. **Türkiye (%1,1)(83,4 milyon ton)**
- **Dünya linyit üretimi:** Almanya (%21,7); Rusya (%8,3); ABD (%7,8) ... **Türkiye (%6,8) (57,5 milyon ton)**
- **Dünya linyit tüketimi:** Almanya (%21,7); Rusya (%8,6); ABD (%8,4).. **Türkiye (%6,5)(55,2 milyon ton)**



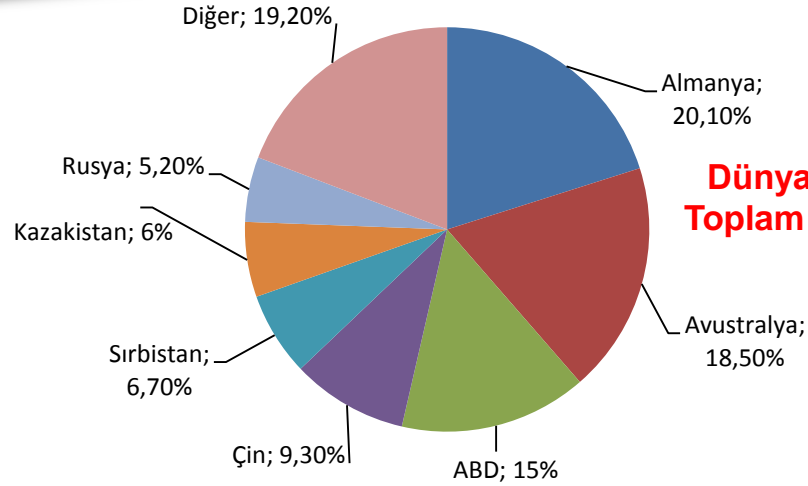
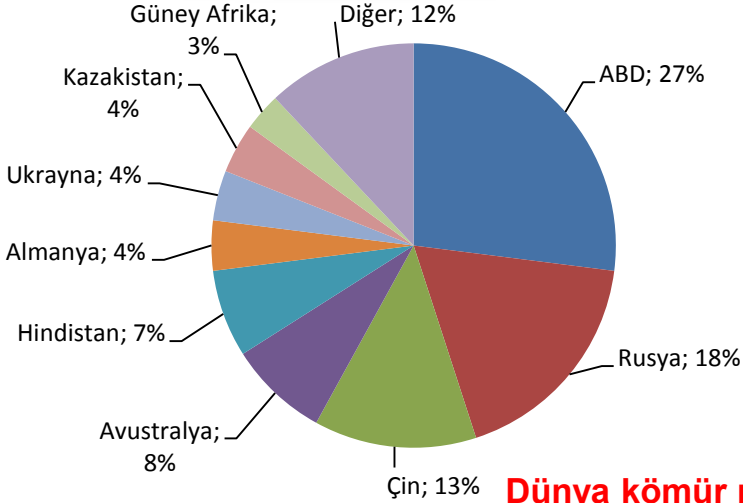
## Dünyada Durum (2013 yılı)

Kömür üretim-tüketim:  
~ 7,9 milyar ton/yıl

Linyit üretim-tüketim  
~ 840 milyon ton/yıl

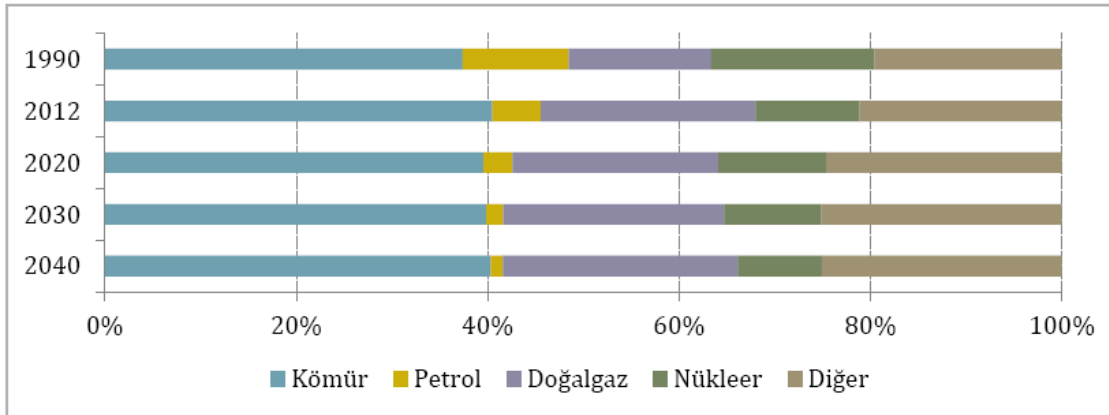


# Rezervler ve Elektrik Üretimi



**Dünyada kömür tüketimi**  
%63'ü elektrik  
%27'si sanayi  
%10'u ısınma, diğer

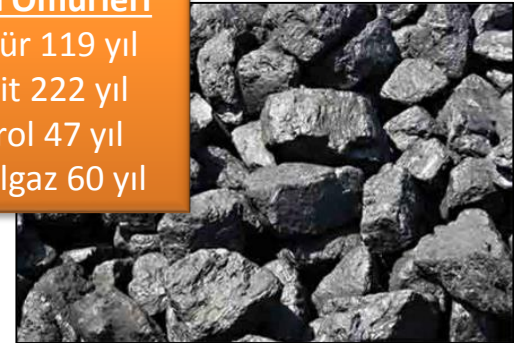
Günümüzde ve yakın gelecekte elektrik üretiminde en yaygın yakıt **KÖMÜR**.



## Fosil Kaynakların

### Kalan Ömürleri

Kömür 119 yıl  
Linyit 222 yıl  
Petrol 47 yıl  
Doğalgaz 60 yıl

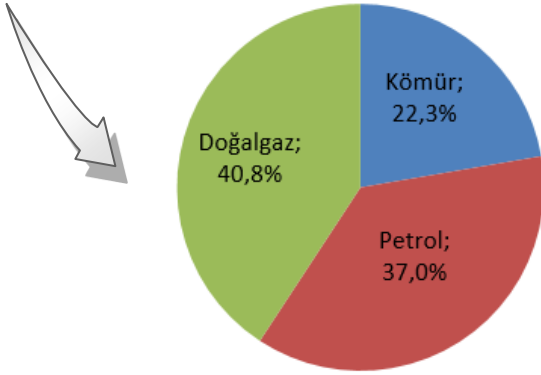


# Türkiye'de Birincil Enerji Arzı ve Kömürün Yeri

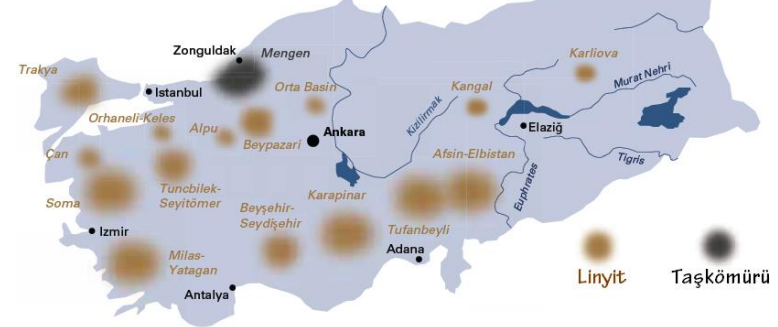
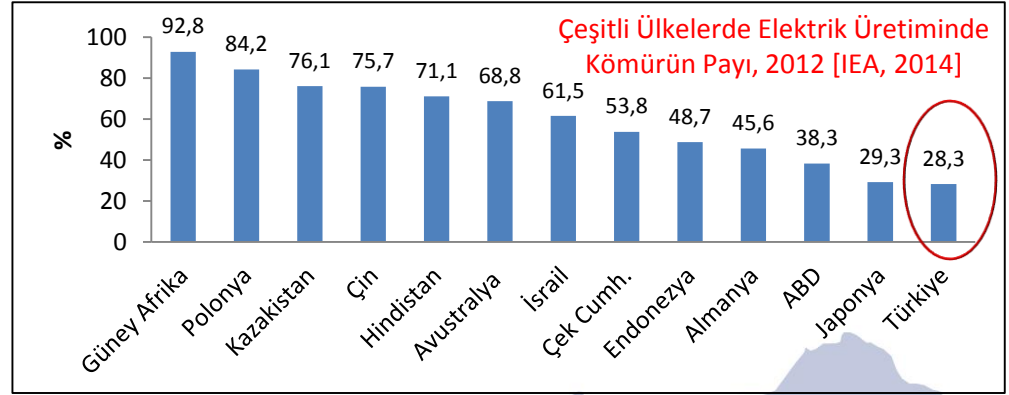


Ülkemiz

Birincil enerji kaynağı temin ve tedarikinde %73,4 dışa bağımlı (2013).



TR Net Birincil Enerji İthalatı [ETKB, 2015]



## Taşkömürü Tüketimi

28,2 milyon ton (2013)

%41,8 elektrik

%20,1 ısınma

%19,8 kok fabrikaları

%18,3 diğer sanayi

## Linyit Tüketimi

57,5 milyon ton (2013)

%85,4 elektrik

%6,8 sanayi

%7,8 ısınma

Linyit üretimi ve tüketimi bakımından dünyada 6., Avrupa'da 4. sıradayız.

Türkiye linyitçe zengin bir ülkedir ve **toplam 14,2 milyar ton** (%91,5) linyit rezervi vardır. Taş kömürü rezervi ise **1,3 milyar tondur**. (2013).

Linyit rezervlerinin ısı değerleri 1300-3900 kcal/kg, kül oranları %15.33-42.4 ve kükürt oranları da 1.4-4.65 arasında değişmektedir.

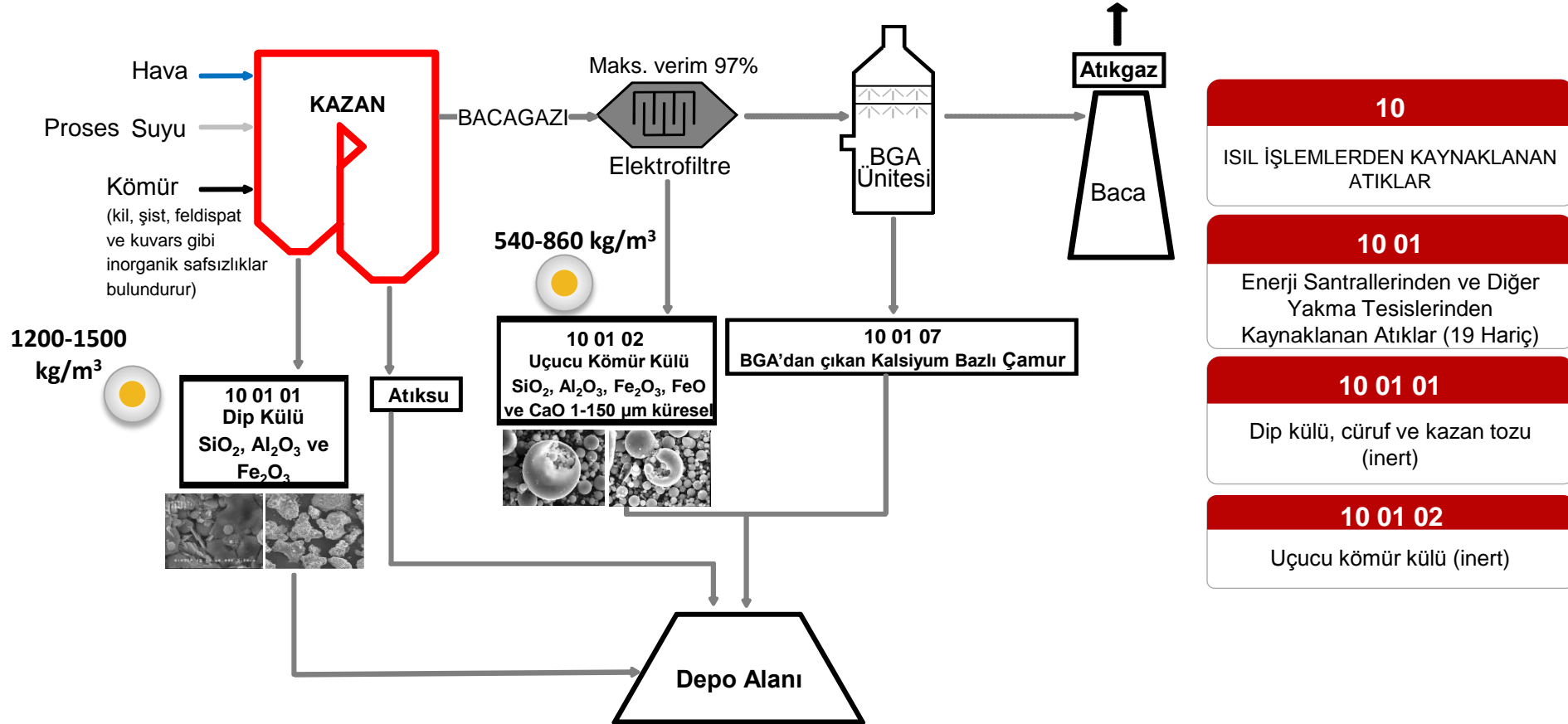


# Kömüre Dayalı Termik Santrallerdeki Üretim Prosesi



## Termik Santral

Pulverize kazan teknolojisine sahip termik santrallerde ana işlem; kömürde var olan kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi olup, bu işlem 1100-1600°C sıcaklıktaki kazanlarda kimyasal enerjinin ısı enerjisine çevrilerek buhara dönüştürülmesi ve ardından buhar türbinlerinin bağlı olduğu jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisi üretimini kapsamaktadır.





# Ülkemizde Kömürle Çalışan Termik Santraller



## Türkiye'de Yerli Kömüre Dayalı Büyük Ölçekli Termik Santraller (14 adet)

Santralin Adı	Mülkiyeti	Kömür Ruhsatı	Yakıt	Kurulu Güç (MW)
Çanakkale Çan Orhaneli*	EÜAŞ	TKİ	Linyit	320
Soma*	EÜAŞ	TKİ	Linyit	990
Seyitömer	Çelikler	Çelikler (İHD)	Linyit	600
Tunçbilek B*	EÜAŞ	TKİ	Linyit	300
Yatağan	Bereket Elsan	Bereket Elsan (İHD)	Linyit	630
Yeniköy	İC İÇtaş	İC İÇtaş (İHD)	Linyit	420
Kemerköy	İC İÇtaş	İC İÇtaş (İHD)	Linyit	630
Afşin-Elbistan A	EÜAŞ	EÜAŞ	Linyit	1.355
Afşin-Elbistan B	EÜAŞ	EÜAŞ	Linyit	1.440
Kangal	Konya Şeker	Konya Şeker (İHD)	Linyit	457
Çayırhan	EÜAŞ	EÜAŞ	Linyit	620
Çatalağzı	Bereket Elsan	TTK	Taşkömürü	300
Silopi	Park	TKİ	Asfaltit	135

Ülkemizde 2014 sonu itibariyle kömüre dayalı santral kurulu gücü 14.771 MW (Yerli kömür 8.708 MW, ithal kömür 6.063 MW).

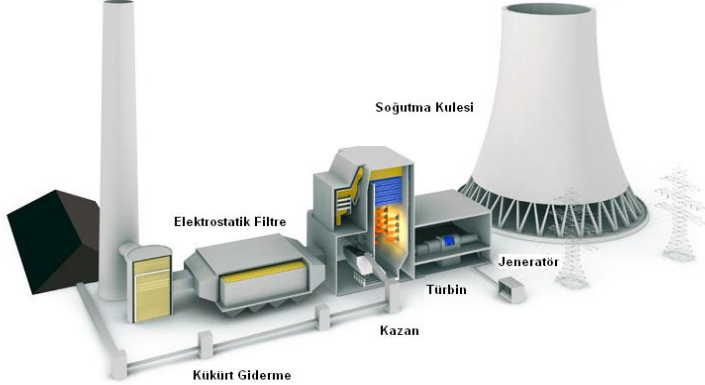
Yerli kömür kullanan 40 termik santral (37 linyit, 2 taşkömürü, 1 asfaltit) bulunmaktadır.



İnşaat halindeki ithal kömüre dayalı santral toplam gücü 5.980 MW düzeyindedir.

## Büyük Kapasiteli İthal Kömür Santralleri (6.063 MW - Toplam 9 adet)

Santral Mülkiyeti	Yeri	Kurulu Gücü (MWe)	Açıklama
İsken Sugözü Enerji Santrali	Adana-Yumurtalık	1.320	İşletmede
İçdaş Çelik Enerji Ters. ve Ulş. San. AŞ	Biga - ÇANAKKALE	405	İşletmede
İçdaş Elektrik Enerjisi Ürt. ve Yat. AŞ	Biga - ÇANAKKALE	1.200	İşletmede
Çolakoğlu Metalurji AŞ	Gebze - KOCAELİ	190	İşletmede
Eren Enerji Elektrik Üretim AŞ	Çatalağzı - ZONGULDAK	2.790	1390 MW'ı işletmede
İzdemir Enerji Termik Santrali	Aliağa-İZMİR	350	İşletmede
Atlas Termik Santrali	Hatay-İSKENDERUN	1.200	İşletmede



Kömürün ısıl değerine bağlı olarak, oluşan kül miktarı değişmektedir.

Ülkemizde elektrik enerjisi üreten bir termik santralde kullanılan linyit kömürlerinin genelde **%20-50'si** kül atığı olarak ortaya çıkmakta (ithal kömürde %10-15);

- Bu miktarın **%80-90'ı** uçucu küller
- **%10-20'si** taban külleridir.

## KANUN VE YÖNETMELİKLER

- 2872-Çevre Kanunu (1983)
- Atık Yönetimi Yönetmeliği (2015)
- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (2010)
- Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik (2012)
- Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik (2014)

## TEBLİĞLER

- Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammade Tebliği (2014)
- Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği (2011)

## GENELGELER

- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe İlişkin Genelge (2010/16)
- Entegre Atık Yönetim Planı Genelgesi (2010/9)





# Kül Atıklarının Ülkemizdeki Bertarafı



TERMİK SANTRAL	Kullanılan Kömür Miktarı (ton/yıl)	Oluşan Kül Miktarı (ton/yıl)
Soma	5.884.156	2.373.439
Çatalağzı	1.710.000	803.703
Kangal	6.452.745	1.322.832
Sugözü	3.300.000	375.000
Tunçbilek	1.240.786	591.854
Seyitömer	5.850.000	1.989.000
Kemerköy	3.962.987	1.585.195
Afşin	23.382.791	6.141.137
Yatağan	6.558.000	1.320.570
Orhaneli	1.426.360	357.391
Yeniköy	2.522.432	713.847

## Yeniköy Termik Santrali



## Yatağan Termik Santrali



## Afşin-Elbistan A Termik Santrali

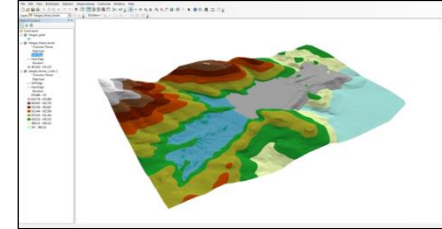
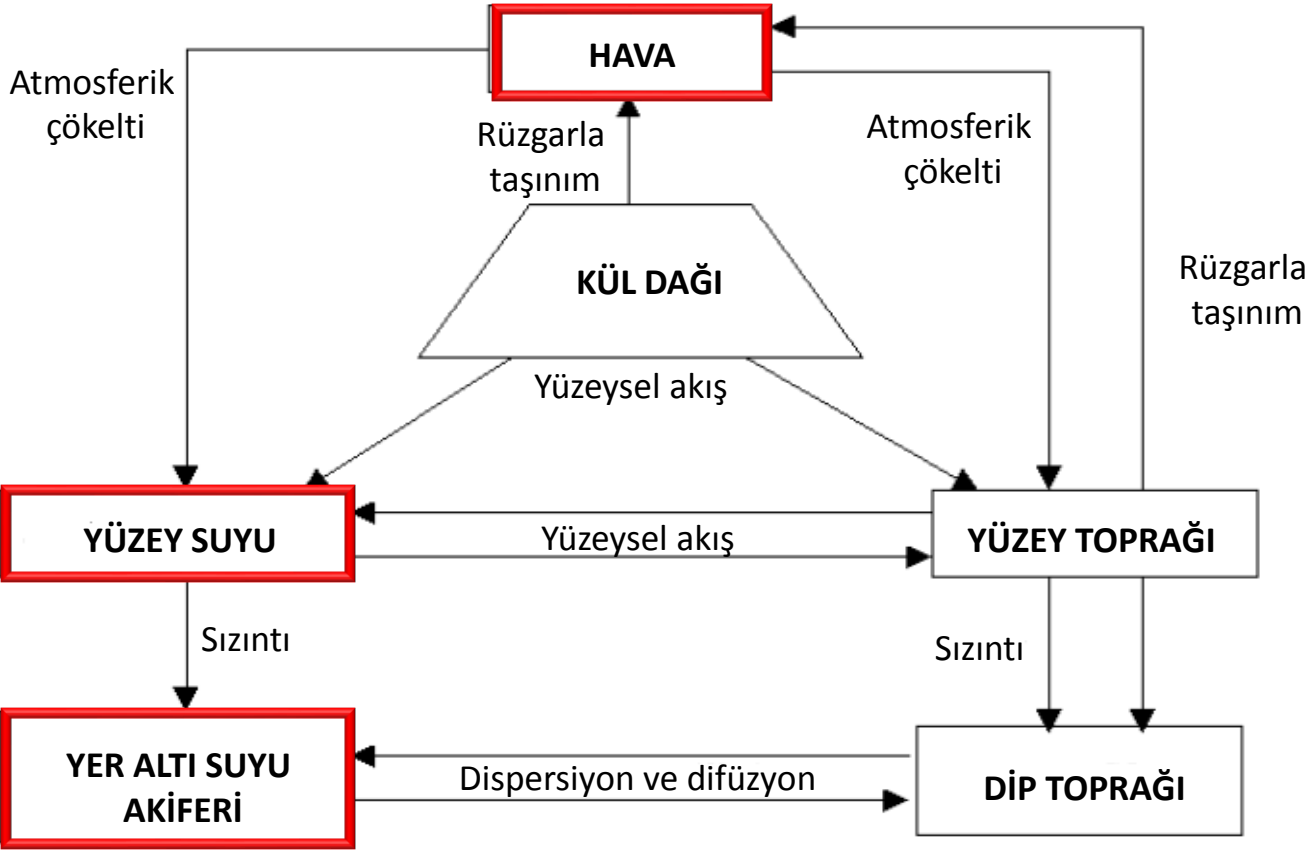


## Soma Termik Santrali

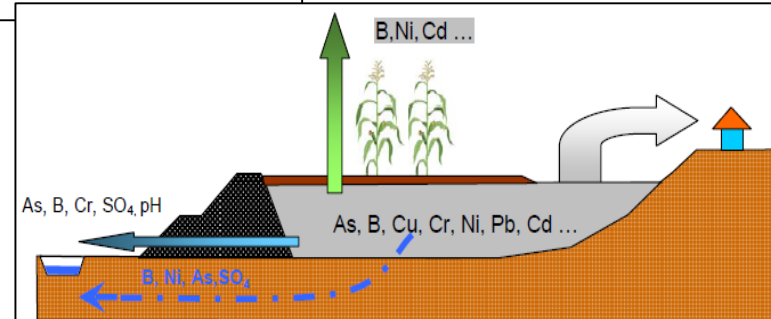




# Kül Depolama Sahalarında Kirleticilerin İzlediği Yol



**2008**  
**ABD-Tennessee**  
**Kül barajı kazası**  
**4.000.000 m<sup>3</sup> kül çamuru**  
**6 yıl temizleme çalışmaları**





# Termik Santrallerden Kaynaklanan Küllerin Yönetimi



Ülkemizde termik santrallerden kaynaklanan küllerin çevreyle uyumlu bir şekilde yönetimi dört adımda gerçekleştirilebilir:

- Oluşan kül miktarının kaynağında azaltılması
- Küllerin geri kazanımı – *Dönüsel ekonomi*
- Geri kazanılamayan küllerin mevzuata uygun düzenli depolanması
- Mevcut kül depolama sahalarının iyileştirilmesi

**Atık Çerçeve Direktifi  
(WFD) (2008/98/EC)**





## UÇUCU KÜL

- Betonda mineral katkı malzemesi
- Çimento klinker hammaddesi
- Katkılı çimento üretimi
- Çimento ikamesi
- Karayolu temel/alt temel malzemesi (katkı/mineral dolgu)
- Gazbeton
- Yapısal veya akışkan (CLSM) dolgular
- Terkedilmiş maden sahalarının reklamasyonu
- Atıksu arıtımında düşük maliyetli adsorban üretimi
- Tarımsal toprakların ıslahı
- Tuğla/seramik

## TABAN KÜLÜ

- İnce ve kaba agrega
- Beton/beton ürünleri/derz dolgu
- Çimento klinker hammaddesi
- Katkılı çimento üretimi
- Yapısal veya akışkan (CLSM) dolgular
- Karayolu inşaatlarında (katkı/mineral dolgu)
- Terkedilmiş maden sahalarının reklamasyonu
- Tarımsal toprakların ıslahı

# Küllerin Geri Kazanımı (YAN ÜRÜN ONAYI)



## Atık Yönetimi Yönetmeliği Madde 19; 2008/98/EC WFD Madde 5 YAN ÜRÜN

- Üretim prosesi sürecinde ortaya çıkan; ancak, asıl amacın bu maddenin üretimi olmadığı, maddeler veya malzemeler;
  - a) Üretim prosesinin ayrılmaz bir parçası olarak üretiliyor ve kapasite raporunda ürün/yan ürün olarak yer alıyor ise,
  - b) Gelecekte kullanımına yönelik talep sürekli ise,
  - c) Doğrudan bir proste kullanılabilir ve üretildiği yerde fiziksel işlemler hariç olmak üzere başka işlemlerden geçmiyor ise,
  - d) İkame edeceği maddenin standartlarına uygunluğunun ya da hammadde olarak kullanılması durumunda nihai ürünün ürün standardını bozmadığının belgelenmesi halinde,
  - e) Kullanımında çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek tedbirler alınıyor ise, atık olarak addedilmeyerek, yan ürün olarak kabul edilebilecektir.
- Yan ürün olarak değerlendirilebilecek, bu tür atıklar için uygunluk almak üzere Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na başvurulur.



TS EN 197-1:2012 Çimento  
TS EN 450-1:2013 Uçucu kül-Betonda kullanılan  
TS EN 14227-3:2013 Uçucu kül bağlayıcı karışımlar



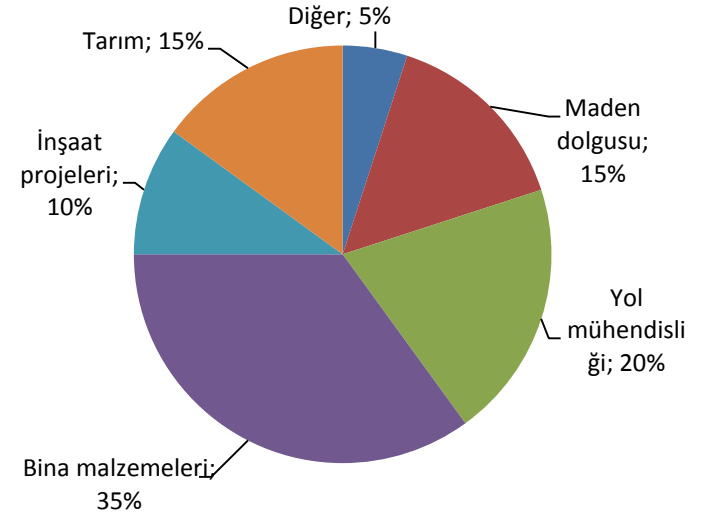
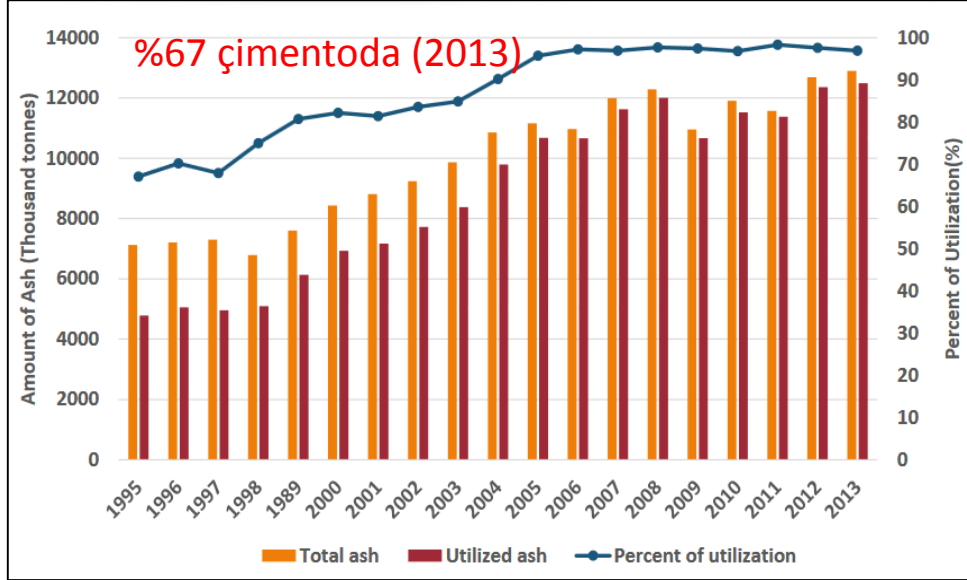
# Küllerin Geri Kazanımı – Döngüsel Ekonomi



## Ülkelerin yıllık kömür yanma ürünü üretim ve kullanım oranları

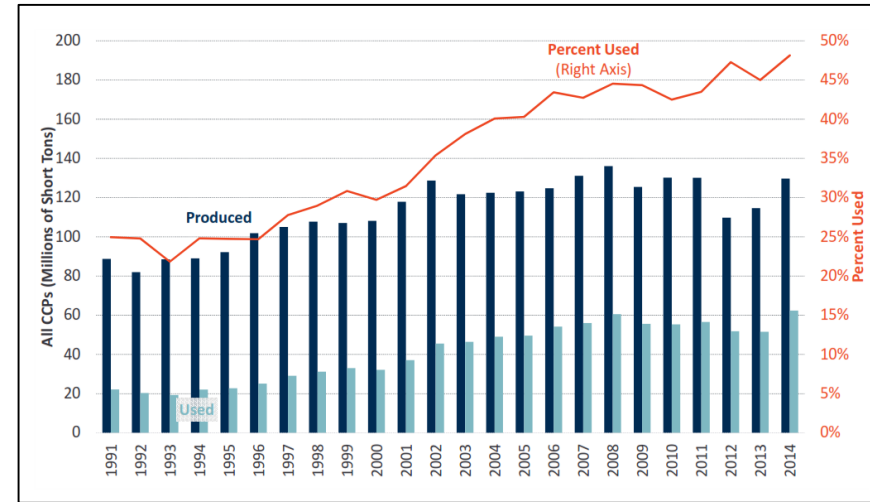
Ülkeler	Kömür yanma ürünü oluşumu (ton)	Kömür yanma ürünü kullanımı (ton)	Kullanım %	Sene	Kaynak
Çin	530 milyon (uçucu kül)	355 milyon (uçucu kül)	<b>%67</b>	2014	[Cui ve Wu, 2015]
Hindistan	131,1 milyon	73,13 milyon	%55,8	2011	[Shri vd., 2015]
Amerika	129,7 milyon	62,4 milyon	%48	2014	[ACAA, 2016]
Avrupa (AB15)	48,9 milyon	44,7 milyon	<b>%91,5</b>	2010	[ECOPA, 2016]
Orta Doğu & Afrika	32,2 milyon	3,4 milyon	%10,6	2010	[Heidrich vd., 2013]
Rusya	26,6 milyon	5 milyon	%18,8	2010	[Heidrich vd., 2013]
<b>Türkiye</b>	<b>24,19 milyon</b>	<b>3,63 milyon</b>	<b>%15</b>	<b>2014</b>	<b>[TÜİK, 2015]</b>
Polonya	20,7 milyon	12,21	%59	2011	[Szczygielski, 2012]
Japonya	12,9 milyon	12,5 milyon	<b>%96,9</b>	2013	[JCOAL, 2015]
Avustralya	12,41 milyon	5,9 milyon	%48	2014	[ADAA, 2015]
Kanada	6,19 milyon	1,74 milyon	%28	2011-2013 ort.	[CIRCA, 2014]
Güney Kore	6,95 milyon	5,73 milyon (+1,35 milyon ton Japonya'dan ithal)	<b>%82</b>	Yıllık ortalama	[Tanosaki, 2015]
İngiltere	~6 milyon	~3 milyon	~%50	Yıllık ortalama	[UKQAA, 2016]
<b>DÜNYA ORTALAMASI</b>	<b>780 milyon</b>	<b>415,5 milyon</b>	<b>%53</b>	<b>2010</b>	<b>[Heidrich vd., 2013]</b>

# Küllerin Geri Kazanımı – Döngüsel Ekonomi



Çin'de uçucu küllerin kullanım alanları [Harris, 2014]

Japonya'da 1995-2013 arasındaki kül oluşum ve kullanım miktarları [JCAL, 2015]



Amerika'daki tüm kömür yanma ürünlerinin 15 oluşum ve kullanım miktarları [ACAA, 2016]



# Küllerin Geri Kazanımı



Avrupa'da (AB15) kömür yanma ürünleri oluşumu ve kullanımı ECOBA 2010 yılı verileri (kiloton) [ECOBA, 2016]

		Uçucu kül	Taban külü	Kazan cürufu	Akışkan yatak yakma (FBC) külü	Diğer <sup>1</sup>	Yarı kuru abs. (SDA)-ürünü	Baca gazı desülfüriz. (FGD)-Jips	TOPLAM	%
Kömür yanma ürünü oluşumu		31.616	4.052	1.000	912	107	413	10.227	48.327	
Çimento hammaddesi	1	2.152	178						2.354	4,8
Katkılı çimento	2	1.947	1						1.953	4,0
Beton katkısı	3	4.947	62	3					5.012	10,2
Gözenekli beton (gazbeton)	4	536	8			43			587	1,2
Gözeneksiz beton	5	224	790						1.014	2,1
Hafif agrega	6		18						18	0,04
Tuğla + seramik	7	83	16						99	0,2
Derz dolgu	8	253							289	0,6
Asfalt dolgusu	9	59							59	0,1
Üst yapı tabanı stabilizasyonu	10	154	140						334	0,7
Kaplama temel tabakası	11	5	144						464	0,9
Genel mühendislik dolgusu	12	1.126	393						1.561	3,2
Yapısal dolgu	13	1.668	120						1.952	4,0
Toprak iyileştirme	14	115					2		117	0,2
İç dolgu	15	380			48		76		504	1,0
Raspalama cürufu	16			620					620	1,3
Bitki besin maddesi	17									
Çimento priz geciktiricisi	18							612	612	1,3
Projeksiyon siva, alçı	19							694	694	1,4
Alçıpan	20							5.171	5.171	10,6
Jips blok	21							256	256	0,5
Kendiliğinden yayılan tesviye şapı	22							1.300	1.300	2,7
Diğer kullanımlar	23	136	20	26	30	8	46	54	320	0,7
Reklamasyon, restorasyon	24	15.771	2.083		488	53	41	1.023	19.459	39,8
Geçici stoklama	25	201	87		6	3		765	1.062	2,2
Bertaraf	26	2.260	87		207		106	447	3.107	6,4
Toplam kullanım (1-23)		13.785	1.890	1.000	211	51	266	8.087	25.290	51,7
Kullanım %		43	46	100	23	48	64	78		
Toplam kullanım (1-24)		29.556	3.973	1.000	699	104	307	9.110	44.749	91,5
Kullanım %		92	96	100	77	97	74	88		
Stoğun yeniden kullanımı		401	95					95	591	1,2
Toplam kullanım (1-26)		32.017	4.147	1.000	912	107	413	10.322	48.918	100,0

## AVRUPA

AB15 → 48,3 milyon ton kül (ECOBA)

AB28 → 105 milyon ton kül

AB (tüm) → 145 milyon ton kül

AB15: %91,5 kullanım (reklamasyon dahil)





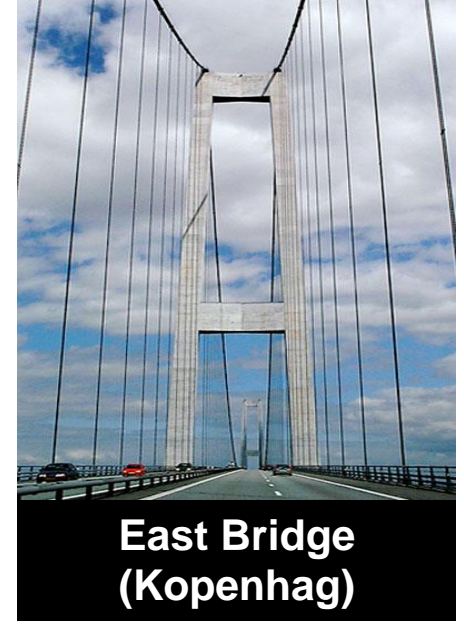
# Küllerin Geri Kazanımı – Dünyadan Örnek Yapılar



**Castor und Pollux (Frankfurt)**



**PICASSO KULESİ  
(Madrid)**



**East Bridge  
(Kopenhag)**



**Planatovryssi Barajı  
(Yunanistan)**



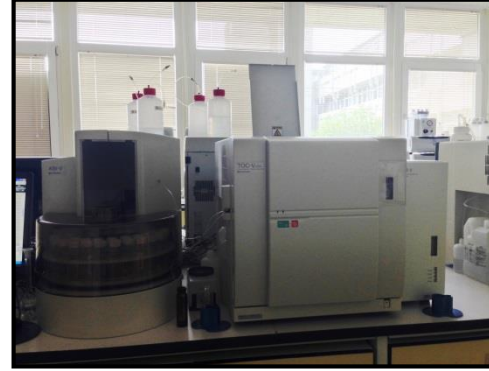
**Olivenhain Barajı  
(Kaliforniya)**

# Küllerin Düzenli Depolama Yolu ile Bertarafı



## ADDDY-EK2 Analizleri

Parametre	ADDDY/EK-2		
	İnert Atıklar Depo. Krit. III. Sınıf	Tehlikesiz Atıklar Depo. Krit. II. Sınıf	Tehlikeli Atıklar Depo. Krit. I.Sınıf
<b>Eluat Analiz Parametreleri (L/S=10 lt/kg)</b>			
Arsenik (As mg/l)	0,05	0,2	2,5
Baryum (Ba mg/l)	2	10	30
Kadmiyum (Cd mg/l)	0,004	0,1	0,5
Krom (Cr mg/l)	0,05	1	7
Bakır (Cu mg/l)	0,2	5	10
Civa (Hg mg/l)	0,001	0,02	0,2
Molibden (Mo mg/l)	0,05	1	3
Nikel (Ni mg/l)	0,04	1	4
Kurşun (Pb mg/l)	0,05	1	5
Antimon (Sb mg/l)	0,006	0,07	0,5
Selenyum (Se mg/l)	0,01	0,05	0,7
Çinko (Zn mg/l)	0,4	5	20
Klorür (Cl <sup>-</sup> mg/l)	80	1500	2500
Florür (F <sup>-</sup> mg/l)	1	15	50
Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/l)	100 (600)	2000	5000
ÇOK (mg/l)	50	80	100
TÇKM (mg/l)	400	6000	10000
Fenol indeksi (mg/l)	0,1	-	-
<b>Orijinal Atık Analiz Parametreleri</b>			
TOK (mg/kg)	30000 (%3)	50000 (%5)	60000 (%6)
BTEX (mg/kg)	6	-	-
PCBler (mg/kg)	1	-	-
Mineral yağ (mg/kg)	500	-	-
Kızdırma kavıhı (%)	-	-	100000





# Mevcut Kül Depolama Sahalarının İyileştirilmesi (2010 yılı öncesi kurulanlar)



## İyileştirme Planı Formatı (2010/16 sayılı Genelge)

- Mevcut durum
- Yapılması planlanan düzeltici faaliyetler (Saha altyapısı, idari üniteler, işletme ve çalışma usulleri)
- Kapatma ve kapatma sonrası bakım
- Yeni lota ilişkin bilgiler



# Küllerin Geri Kazanımı - Ülkemizdeki Durum



- ✓ Ülkemizde her sene termik santrallerde milyonlarca ton kömür yakılmakta, yüksek miktarlarda kül açığa çıkmaktadır.
- ✓ Bugüne değin **100 milyon tondan fazla kül**; kül havuzlarına ve düzenli depolama sahalarına bırakılmıştır.
- ✓ Ülkemizde 2014 yılında kurulu gücü  $\geq 100$  MW olan toplam 66 termik santralde, 9.100 tonu tehlikeli atık olmak üzere toplam **24,2 milyon ton atık** oluşmuştur [TÜİK, 2014].
- ✓ Oluşan atığın %98,5'ini mineral atıklar (kül, cüruf, uçucu kül, alçıtaşı, vb.) oluşturmuştur.
- ✓ Toplam atığın
  - ✓ %48,3'ü kül dağı/kül barajına,
  - ✓ %21,7'si düzenli depolama sahalarına,
  - ✓ %15'i satılma veya lisanslı atık bertaraf/geri kazanım firmalarına,
  - ✓ %15'i diğer bertaraf (maden ve taş ocağına gönderme, belediye çöplüğüne atma, vb.).



Yıllara göre ülkemizdeki termik santral atık miktarları [TÜİK, 2015]

Yıl	2010	2012	2014
Atık miktarı (ton/yıl)	18.747.759	19.262.185	24.191.416

# Teşekkürler

---

TÜBİTAK MAM  
PK. 21, 41470 GEBZE-KOCAELİ  
Tel: +90-262-677 20 00 ;  
Faks: +90-262-641 23 09  
[www.mam.tubitak.gov.tr](http://www.mam.tubitak.gov.tr)

