



Yer bilimlerinin yurt ekonomisine katkısı her geçen gün artmakta, yer bilimleri günlük yaşantımıza giderek daha fazla girmektedir. Yer bilimciler maden, endüstriyel ham madde, katı, sıvı, gaz yakıt maddeleri bulmak yönündeki yoğun uğraşları kadar akarsu kökenli enerji ve sulama amaçlı baraj yapımı, karayolu, demiryolu, hava alanı yapımı, yeraltı suyundan yararlanma, arazi kullanımı planlanması, deprem tehlikesini azaltma, çevre kirlenmesini kontrol gibi çok çeşitli konularda da önemli görevler yüklenmektedirler. Bu görevlere her geçen gün bir yenisi eklenmekte, görev alanı yeryuvarından başka gök cisimlerine de taşmakta, Ay, Merih, Venüs'ün konuları küçümsenmeyecek sayıda yer bilimciyi uğraştırmaktadır.

Doğal zenginliklerimizden en etkili şekilde yararlanma, yer bilimlerini insanın mutluluğu yönünde kullanma çabaları, bu konularda karşılaşılan sorunlar, eleştiri ve öneriler yeryuvarı ve insan'dan da yararlanarak geniş bir çevreye duyurulabilir; bu yolla, iletişimin yapıcı gücünden yararlanılabilir.



## Akarsudan Elektrik üretimi, Türkiye ve yerbilimi<sup>(1)</sup>

ERMAN AŞCIOĞLU Devlet Su İşleri, Ankara

### GİRİŞ

Ülkemizin enerji gereksinmesinin önemli bir bölümü, ilerki yıllarda akarsularımız üzerinde tasarlanan 200'ü aşkın bent, 100'lerce km uzunluktaki tünel ve çok sayıda enerji santralının yapımı ile karşılanabilecektir. Bedelleri milyarları bulan bu yapıların teknik yapılabilirliği yoğun, dikkatli ve bilinçli bir mühendislik jeolojisi çalışmaları ile ortaya konulabilmektedir. Yapım öncesi mühendislik jeolojisi

Çizelge 1: Ülkelerin toplam ve kişi başına düşen elektrik üretimleri; ve üretim artışları. (1972 yılı) (TEK, 1973'den)

Ülke adı	Yıllık kişi başına düşen elektrik üretimi Kwh	Toplam üretim milyon Kwh	Elektrik üretimi artışları (1955-1972)	
				%
1. NORVEÇ	17.181	67.524		142
2. KANADA	9.404			
3. A.B.D.	8.800	1837.737		118
4. İSVEÇ	8.702	170.668		140
5. FİNLANDIYA	5.676	26.280		211
6. İSVİÇRE	4.897	31.440		62
7. İNGİLTERE	4.656	259.980		156
8. BATI ALMANYA	4.610	274.776		198
9. DOĞU ALMANYA	4.560	72.950		183
10. AVUSTURYA	3.920	29.364		192
11. BELÇİKA	3.801	36.912		186
12. DANİMARKA	3.747	18.700		342
13. HOLLANDA	3.717	49.548		274
14. ÇEKOSLAVAKYA	3.546	51.348		188
15. RUSYA	3.467	858.000		308
16. FRANSA	3.095	160.080		151
17. BULGARİSTAN	2.595	22.272		778
18. İTALYA	2.444	132.912		186
19. POLONYA	2.311	76.483		256
20. ROMANYA	2.185	45.381		732
21. İSPANYA	1.975	68.136		328
22. YUGOSLAVYA	1.597	33.180		496
23. MACARİSTAN	1.569	16.320		173
24. YUNANİSTAN	1.352	12.036		596
25. PORTEKİZ	680	8.628		269
26. TÜRKİYE	303	11.242		279

(1) Türkiye Jeoloji Kurumu 29. Bilimsel ve Teknik Kurultayı'nda sunulmuş olan sözlü bildirinin özetidir.

çalışmalarına gereken önemin verilmemesi veya mühendislik jeolojisi yönünden yapılan yanlışlıklar yapım sırasında çok önemli sorunlar doğurmakta, kimi zaman tüm olarak projenin başarısızlığına neden olabilmektedir.

Bu yazıda ülkelerin ve Türkiye'nin su enerjisinden yararlanma durumu, Akarsu gizilimiz (potansiyelimiz), bent yerlerinin seçimi, projelendirilmesi ve yapımında yer bilimcilerine düşen görevler üzerinde durulmuş ve kimi örneklerle bu durum açıklanmaya çalışılmıştır.

### ÜLKELERİN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMLERİ VE SU ENERJİSİ

Tüm Uluslar toplum ve sanayi için gittikçe artan bir enerji gereksinmesi içersindedirler. Dünyanın yıllık elektrik enerjisi üretimindeki artışı %7,2 dolayındadır. Bu artış hızı ülkemizde %12,2'ye erişmektedir. Bu gün Ulusların elektrik enerjisi üretimi ve artışını karşılamak için kullandığı birincil enerji kaynakları taş kömürü, linyit, petrol, çekirdekli (nükleer) enerji, su enerjisi, bitki ve hayvan artıklarıdır. Ayrıca güneş, jeotermal, rüzgâr, bitümlü şist, gelgit enerjisi sınırlı olarak kullanılmakta ve bu enerji kaynaklarının geliştirilmesi için de yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde de yeni enerji kaynaklarının geliştirilmesi için çaba harcanmaktadır. Ancak ülkemiz için yeni enerji kaynaklarının kullanılması tüm akarsu ve diğer ucuz enerji olanaklarının kullanılmasından sonra düşünülmesi gerekli olan konulardır. Su kaynağının a) devamlı olarak yenilenmesi, tükenmemesi, b) Bugün kullanılan enerji kaynaklarına göre en ucuzu olması, c) çevre sağlığı yönünden hiç bir sorun yaratmaması, d) enerji faydası yanında sulama, taşkından korunma, içme ve sanayi suyu vb yararları ile diğer enerji kaynaklarına oranla ayrı bir üstünlük sağlamaktadır.

Ülkemizin ve diğer ülkelerin yıllık toplam ve yıllık kişi başına düşen elektrik üretimlerine baktığımızda çok geri sıralarda yer aldığımız görülmektedir (çizelge 1). Ülkemizde 1972 yılının elektrik üretimi kişi başına 303 KWh (1974'de 374 KWh)'dir. Aynı dönemde komşu ülkelerimiz için bu de-

Şer Yunanistan'da ülkemizin 4 katı, Bulgaristan'da 8 katı,  
Çizelge 2: Türkiye'de Elektrik enerjisi üretimleri  
(Dinçer, 1975'den)

Yıllar	Isı (termik) enerji		Hidroelektrik enerjisi		Toplam milyon Kwh
	milyon Kwh	%	milyon Kwh	%	
1940	383	96	14	4	397
1945	504	95	24	5	528
1950	760	96	30	4	790
1951	843	95	45	5	888
1952	961	94	59	6	1020
1953	1133	96	67	5	1200
1954	1320	94	82	6	1402
1955	1490	94	90	6	1580
1956	1656	91	163	9	1819
1957	1746	85	311	15	2057
1958	1646	71	657	29	2303
1959	1896	73	691	27	2587
1960	1814	65	1001	35	2815
1961	1746	58	1265	42	3011
1962	2436	58	1124	32	3560
1963	1879	47	2104	53	3983
1964	2803	63	1648	37	4451
1965	2774	56	2179	44	4953
1966	3213	58	2330	42	5551
1967	3835	62	2382	38	6217
1968	3761	54	3175	46	6936
1969	4933	56	3445	44	7838
1970	5581	65	3042	35	8623
1971	7136	73	2645	27	9781
1972	8032	71	3209	29	11242
1973	9740	79	2621	21	12361

Çizelge 3: Türkiye'de hidroelektrik gizilin havzalara dağılımı.  
(DSİ, Etüd Plan Dairesi çalışmalarından derlenmiştir.)

Havzaların numarası ve adı	Proje sayısı	Güç MW	Enerji milyon Kwh/yıl	Enerjinin havzalara dağılımı
				%
01 Meriç-Ergeen	—	—	—	—
02 Marmara	—	—	—	—
03 Susurluk	2	503.9	762	1.06
04 Kuzey Ege	3	20.4	59	0.07
05 Gediz	2	89.0	350	0.48
06 K. Menderes	—	—	—	—
07 B. Menderes	7	133.4	632	0.80
08 Batı Akdeniz	12	446.1	2053	2.85
09 Antalya	9	757.9	2644	3.67
10 Burdur Göller	—	—	—	—
11 Akarçay	—	—	—	—
12 Sakarya	8	1242.0	1799	2.51
13 Batı Karadeniz	30	336.8	1532	2.13
14 Yeşilirmak	14	852.0	2736	3.80
15 Kızılırmak	31	1487.0	5406	7.52
16 Konya Kapalı	3	30.4	72	0.08
17 Doğu Akdeniz	11	545.6	2502	3.47
18 Seyhan	14	889.7	4148	5.77
19 Ası	1	3.0	15	0.02
20 Ceyhan	8	769.6	2788	3.88
21 Fırat	59	6273.5	29810	41.50
22 Doğu Karadeniz	16	1679.7	6082	8.47
23 Çoruh	6	158.2	700	0.98
24 Aras	6	124.8	284	0.40
25 Van-Kapalı	8	55.0	206	0.29
26 Dicle	34	1473.0	7297	10.16
<b>TÜRKİYE (Toplam)</b>	<b>284</b>	<b>17868.0</b>	<b>71781</b>	<b>100.00</b>

Avrupa ülkelerinde (Almanya, İngiltere, Finlandiya, İsveç, Norveç) 15 katı ile 50 katı arasında bulunmaktadır.

1940 - 1973 yılları arasında ülkemizdeki elektrik enerjisi üretimini gösteren çizelge 2'nin incelenmesi de ilginç so-

nuçlar taşımaktadır. Çizelgeye göre akarsulardan elde edilen elektrik enerjisinin üretilen toplam elektrik enerjisi içindeki payı 1963 yılına kadar devamlı artmış ve daha sonraki yıllarda bu oran giderek azalmıştır. Oysaki katı ve sıvı yakıtların, özellikle petrolün fiyatında bu dönemde çok büyük artışlar görülmüştür.

## AKARSULARIMIZDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ

Akarsularımız üzerinde yapımı tasarlanan enerji yapıları ile bu gün için ekonomik olarak üretilebilecek elektrik enerjisi, olağan yağışlı, bir yılda 71 milyar KWh'dır. Oysaki 1973 yılında su kaynaklarımızdan üretilen elektrik enerjisi 2,620 milyar KWh'dır. Daha değişik bir deyişle hidroelektrik gizilimizin ancak %3.7'sinden yararlanılabilmektedir. Ancak bu oran Keban bendinin tam kapasitede devreye girmesi ile %12,4'e yükselmiştir. Avrupa ülkeleri için hidroelektrik gizilden yararlanmanın %50-80 dolayında olduğu düşünülürse en ucuz enerji olanığımızdan ne kadar az yararlandığımız açıklıkla görülür.

Su kaynaklarının geliştirilmesi ile görevli Devlet Su İşleri, akarsularımızı 26 havzada gruplandırarak incelemiştir. Çizelge 3'de hidroelektrik gizilin havzalara göre dağılımı görülmektedir. Çizelgeden görüldüğü gibi hidroelektrik gizilin %50'si ülkemizin güney-doğusunda Fırat ve Dicle havzalarında toplanmaktadır. Oysaki bu kaynaktan en az yararlanan da yine bu bölgedir.

Bugün için ekonomik olarak 71 milyar KWh/yıl olarak düşünülen su kaynaklarımızdan elektrik enerjisi elde edilebilecek olanığı, ekonomik koşulların değişmesi ile artabilecektir. Örneğin enerji gereksinmesinin günün belirli saatlerinde çok fazla artması nedeniyle, bugün gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, deniz veya bent göllerindeki suyun daha yüksekteki bir hazneye (rezervuara) pompalanması ve gereksinme duyulan saatlerde düşürülerek enerji elde edilmesi gibi çözümlerin ekonomik olacağı dönemler gelecektir.

Akarsularımızdan elektrik üretimi sağlanması yönünden yapılan çalışmaların durumu çizelge 4'de gösterilmiştir. Yapım aşamasında bulunan 16 projenin tamamlanması ile bugün su kaynağından ürettiğimiz elektrik enerjisinin 2 katı üretilecek ve hidroelektrik gizilimizin %42.7'si kullanılmış olacaktır. Geri kalan bölümünün kullanılması için ise 225 projenin ön inceleme, yapılabilirlik ve kesin proje çalışmalarının bitirilmesi ve yapılarının sağlanması gerekmektedir.

Çizelge 4: Türkiye'de Hidroelektrik gizilden yararlanma durumu.  
(DSİ, Etüd Plan Dairesi çalışmalarından derlenmiştir.)

Hidroelektrik Santrallerin yapım durumu	Sayı	Kurulu Güç Kw	Yıllık Enerji Üretimi Milyon Kwh	Tüm hidroelektrik gizile oranı %
				%
Yapımı tamamlanmış ve çalışmakta olanlar	43	1.844,5	8.910	12,5
Yapım durumunda olanlar	16	5.185,6	21.732	30,2
Yapılabilirlik (feasibility) ve kesin proje aşamasında olanlar	42	5.316,0	17.357	24,2
Ön inceleme aşamasında olanlar	183	5.521,9	23.782	33,1
<b>Toplam</b>	<b>284</b>	<b>17.868,0</b>	<b>71.781</b>	<b>100,0</b>

## BENT YERİ SEÇİMİNDE, PROJELENDİRİLMESİNDE VE YAPIMINDA YERBİLİMİ

Bent yerlerinin seçimi planlamacı, yerbilimci, inşaat mühendisi, hidrolojist ve ekonomistlerin sistemli düşünme ve grup çalışmasını gerektiren bir iştir. Bir akarsu havzasının plânlaması, su kaynakları yönünden ele alındığında sulama, enerji üretimi, taşkın kontrolü, içme ve kullanma suyu sağlama, taşın vb amaçlar için en uygun (optimum) faydayı sağlayan bir düzenleme getirmelidir. Elektrik enerjisi yönünden akarsuyun doğduğu yükseltiden deniz yüzeyine varana kadar olan tüm düşü'nün alınması ana ilkedir. Bu anlamda yapılan inceleme sonucu her akarsu havzası için bir asal plan (master plan) oluşturulur. Asal planda yapılar, jeolojik koşulların en iyi olduğu yerde değil, en uygun faydayı sağlayan ve jeolojik yönden yapılabilir olan yerlerde seçilir. Yapılabilirlik (feasibility) aşamasındaki çalışmalarda bent yerleri, türleri, yükseklikleri, santral güçleri kesinlik kazanır. Bu aşamada özellikle bentin yer ve tür seçiminde yerbilimci ve inşaat mühendisi işbirliği çok sıkıdır. Bent yeri ve göl alanının geçirimsizliği, duraylılığı (stability), yapı gereçleri, depremsellik konularının ayrıntılı olarak bilinmesi gerekir. Bu amaçla bent yerindeki altıvyonun kalınlığı, boyutlaması, geçirgenliği, taşıma gücü, ana kayanın elastisite modülü, basınç dayanımı gibi fiziksel özellikleri, faylanma, eklemleme ve tektonik yapının bent yapısı ile olan ilişkisi, karstik yapı, temel ve yamaç sağlamlaştırılmaları, bentin gölü ile ilgili geçirimsizlik ve duraylılık sorunlarının incelenmesi, saptanması, yorumu yerbilimcinin görevidir. Bu özelliklerin kesinlikle bilinmesi için sondaj, araştırma galerisi, zemin ve kaya mekaniği deneyleri, jeofizik, iç-itim (enjeksiyon) deneyleri, depremsellik araştırmalarından yararlanılır. Tüm bu özelliklerin kesin ve doğru olarak bilinmesinden sonra proje mühendisi bent ve bent ile ilgili diğer yapıların (dolusavak, çevirme tüneli, santral yapısı, vb) en uygun ve en ekonomik yerleşim şeklini saptamak için çok sayıda seçenekler üzerinde çalışır. Yerbiliminin ve topoğrafyanın elverdiği tüm bent türleri (toprak ve kaya dolgu, beton ağırlık ve kemer) için yerleşim planları yapılır ve en ekonomik olanı bentin türü olarak seçilir. Bu aşamadan sonra çoğun hidrolojist ve ekonomistlerin görevleri bittiği halde yerbilimcinin görevi kesin proje, yapım ve hatta işletme aşamasında da devam eder.

Kesin proje aşamasında, yapının mühendislik jeolojisinin, temel sorunlarının ve yapı gereci olanaklarının yapılabilirlik aşamasına göre çok daha ayrıntılı ve kesin olarak bilinmesi gerekir. Bu konuları önemsememe, yanlış bilgiler verme, yapım aşamasında çok büyük sorunlar doğurmakta ve kimi zaman projenin tüm olarak başarısızlığına, gecikmesine veya proje bedelinin önceden tasarlananın bir kaç katına yükselmesine neden olmaktadır. Keban ve Gökçekaya bentleri bu konuda en güzel örnekleri vermektedir. Keban bendi yapımında en büyük güçlük, bent yerini oluşturan Keban formasyonundaki (Kireçtaşı, mermer, kalsit, dolomit) çok sayıda fayların ve bu faylar boyunca gelişen karstik boşlukların, mağaraların onarılması, sağlamlaştırılması ve doldurulması işlemlerinden doğmuştur. Bu amaç için 12.000 m boyda galeri açılmış ve kil, kalsit dolgulu mağaraların,

fay zonlarının onarımı için 117.000 m<sup>3</sup> beton dökülmüş, geçirimsizliğin sağlanması için 530.000 m boyda iç-itim yapılmıştır. Bu durum projede nicelik yönünden, öngörülenin yaklaşık 20 katını bulmaktadır. Ayrıca sol yakada ırmağın yakından 320 m. derinde bir raslantı sonucu bulunan 104.000 m<sup>3</sup> hacmindeki içi su ile dolu yengeç mağarasının gövde altına gelen bölümünün (60.000 m<sup>3</sup>) özel yöntemler uygulanarak beton ve çimento serbeti ile doldurulması gerekmiştir. Jeolojik sorunlar ve temel onarımı projenin 3 yıl gecikmesine, yatırım bedelinin birkaç kat artarak 7 milyar TL. sına erişmesine neden olmuştur. Yapım bedelinin yaklaşık %50'si temel onarımı için harcanmıştır.

Gökçekaya bentinin yapımında çevirme tüneli tüm olarak betonla kaplanmama nedeniyle göçmüş; ırmağın, temel kazısının ve beton gövdenin üzerinden aşmıştır. Bent yerinde serpantinleşme ve talklaşma gösteren faylı zonların kazılması, temizlenmesi, betonla doldurulması gerekmiştir. "Temel kayacının bu kadar sağlam olmadığı önceden bilinse idi beton kemer yerine dolgu türü bir bent yapılması uygun olurdu" tartışması bugün bile devam etmektedir.

Ülkemizde karstik kireçtaşı üzerinde yapılan ilk bent, 42 m. yükseklikte ve dolgu türündeki May bendidir. Bentin yapımı tamamlandıktan ve su tutulmaya başlandıktan sonra, göl alanında su ile doymuş silt ve killer, Neojen yaştaki kireçtaşları içersine borulanmış ve taşınmıştır. Karstik kireçtaşında dolinler açılmış ve göl suyu tüm olarak boşalmıştır. Geçirimsizliğin sağlanması için yapılan çalışmalar sonuç vermemiş ve bendde su toplanamamıştır.

Çizelge 5'de ülkemizde jeolojik sorunları ve büyüklükleri yönünden seçilmiş, yapım sonrası, yapım ve proje aşamasındaki kimi bentlerin özellikleri ve jeolojisi verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi her bent yapımı kendisine özgü jeoloji sorunlarını da birlikte getirmektedir. Bent yapımı her şeyden önce kaya ile, toprakla ilişkilidir. Yer kabuğunu fayı, eklemi, ayrışması, çürütmesi, tüm zayıflıkları ile en iyi bilen ve onu iyileştirmesi, sağlamlaştırması gereken yerbilimcidir. Yapımı bittikten sonra bile bu yapıların belirli süreler ile jeolojik yönden gözlenmesi kesinlikle gerekmektedir. Su kaçaklarının denetlenmesi, bent yeri ve göl alanındaki kayaların duraylılığı, depremsellik yönü bir bentin tüm ömrü boyunca izlenmesi gerekli özellikleridir.

Gelecek yıllarda, akarsularımızdan yararlanarak elektrik üretimi amacı taşıyan 225 bendin projelendirilmesi ve yapımı gerekmektedir. Büyükçe bir bentin bu çalışmalarının yaklaşık 10 yıl süre aldığı düşünülürse yerbilimcilerine düşen görevin büyüklüğü, önemi ve güçlüğü açıklıkla anlaşılır.

### DEĞİNİLEN BELGELER

- Dinçer, L., 1975, Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli: Enerji dünyası, WEC Türk Millî Komitesi, Ankara, 75.
- TEK, 1973, Avrupa devletlerinin brüt elektrik enerjisi üretimleri ile nüfusları arasındaki bağıntı: Türkiye Elektrik Kurumu, yayımlanmamış rapor, Ankara, 7.
- Ural, O. ve Ungan, Ü., 1967, Large dams in Turkey: Türkiye Büyük Barajlar Komitesi, Ankara, 38 - 326.