

DENİZ SUYUNDAN URANYUM ELDE EDİLMİ VETÜRKİYE İÇİN ÖNEMİ

ismet UZKUT*

ÖZET

1973 yılı petrol krizi, özellikle gelişmiş endüstri ülkelerinde nükleer enerjiye doğru bir yönelmeye yolaçmıştır. Oysa, geleneksel uranyum kaynakları dünyaya uranyum gereksinimini ancak 1980 yılları sonuna kadar karşılayabilecek düzeydedir. Bu durum, giderek artan bir oranda dikkatlerin yer kabuğunun en büyük uranyum birikimini simgeleyen deniz suyunda toplanmasına neden olmuştur. Bu çalışmada, şimdiye kadar uygulanan deniz suyundan uranyum elde etme yöntemleri ekonomik uygulanabilirlikleri ile birlikte tanıtılmaktadır. Buradan hareket ederek, geliştirilen ve Japonya'da pilot çapta denenmekte olan "titanyum oksihidrat soğurma yöntemi" ile Türkiye'de Boğazlar'da, Boğazlara yakın kurulacak bir nükleer reaktörün soğutma suyundan, Karadeniz veya Marmara Denizi'nde yetiştirilecek alg kolonileri ve Demirköprü Barajı'nın çıkış suyundan uranyum elde edilebileceği ortaya konulmuştur, özellikle, Boğazlarda kurulacak böyle bir tesiste, Karadeniz'den Akdeniz'e bir günde ulaşan toplam 5,6 t'luk uranyumdan 1,4 t'unu 73 Dolar/lb'lik (Sabit yatırım giderleri hariç) bir maliyetle elde edilebileceği anlaşılmaktadır.

*) Doç.Dr, Ege Üniversitesi

1. GİRİŞ

1.1. GELECEKTEKİ DÜNYA URANYUM GEREKSİNİMİ

Bilindiği gibi, 1973 yılı Arap-İsrail çatışmasını petrol ambargosu izlemiş ve bunun sonucu kendini özellikle gelişmiş endüstri ülkelerinde yoğun şekilde hissettiren bir enerji krizi ortaya çıkmıştır. Bu kriz, genel ekonomik yapıyı olduğu kadar günlük yaşamı bile etkileyecek yoğunluğa ulaşmıştır.

Bu olayın dünya hammadde sektöründeki etkileri daha uzun yıllar tartışılacaktır. Ancak bugün için kesin olarak belirlenmiş en önemli sonuç, özellikle endüstri ülkelerinde bir "enerji bilinci"nin doğmuş olmasıdır. Bunun sonucu, özellikle endüstri ülkelerinde bu ülkelerin bugünkü ve gelecekteki enerji gereksinimlerini saptama çalışmaları büyük önem kazanmıştır. İlk değerlendirmeler 1985 ve 2000 yıllarını hedef alırken, 1977 yılı ortasından itibaren 2030 yılı da değerlendirme kapsamına dahil edilmeye başlanmıştır (Wilson, 1977)

Bu çalışmalarda elde edilen sonuçları şu şekilde özetlemek mümkündür:

— Dünya enerji tüketimi nüfus artışına bağlı olarak her 5-8 yılda bir iki misline çıkacak biçimde üssel olarak artmaktadır;

— Tek bir enerji kaynağına, bağlı olarak bu tüketimkarşılama olanağı yoktur, başka bir deyimle doğada bilinen tüm enerji kaynaklarının hareketete geçirilmesi zorunludur;

— Bu kaynaklardan petrol ve tabii gaz rezervleri 1990 yıllarında bitecek kadar kısıtlı, kömür ve bitümlü şistler masraflı ve çevre sorunu doğrucu, güneş, hidrolik, rüzgar ve jeotermal enerjilerin ise sınırlı potansiyele sahip oldukları belirlenmiştir;

— özellikle gelişmiş endüstri ülkeleri için en uygun enerji kaynağı olarak nükleer enerji olmaktadır. Zira

1. Dünya uranyum rezervlerinin 3/4'üne yakın bir bölümü endüstri ülkelerinde veya o ülkelerin dolaysız kontrolü altındadır. Bu açıdan nükleer enerji hammaddesi yönünden petrolde olduğu gibi bu ülkeler için dışa bağımlılık söz konusu değildir;

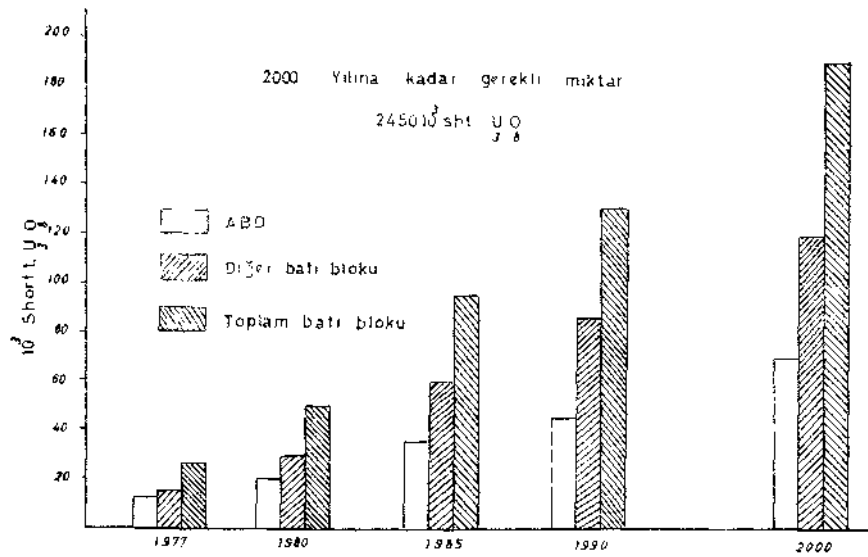
2. Yatırım için gerekli sermaye büyük, gerçekleşme süresi uzun olmasına rağmen, nükleer enerjiye dayalı enerji maliyeti diğer kaynaklara nazaran % 30 daha ucuzdur.

3. Teknolojik gelişme olanakları bu enerji dalında yüksek olup, özellikle 2000 yılından sonra çekirdek-fuzyon reaktör tiplerinin devreye girmesi ile nükleer enerjinin güneş enerjisi gibi "yenilenebilir" enerji kaynakları kapsamına gireceği sanılmaktadır.

Bu değerlendirmelerin doğal sonucu olarak, özellikle gelişmiş endüstri üi-

keleri ve iran ve Suudi Arabistan gibi bazı az gelişmiş ülkelerde nükleer enerjiye yoğun bir yönelme başlamıştır. Halen dünya enerji üretiminde, % 45'lik petrol, % 31'lik kömür, % 16'lık tabii gaz, % 7'lik hidrolik'den sonra % 2'lik bir oranla son sırayı alan nükleer enerjinin 1985 yılında % 7, 2000 yılında da % 11'lik bir paya ulaşması öngörülmüştür.

Öngörülen bu yatırımların gerçekleşmesi halinde, 1977 yılında 23000 short ton U_3O_8 civarında olan Batı Bloku uranyum gereksiniminin 1985 yılında 95 000, 2000 yılında da 196 000 short tona ulaşması gerekecektir. (IAEA ve OECD, Aralık 1975).



Şekil 1: 2000 yılına kadar Batı Bloku ülkelerinde beklenen toplam uranyum gereksinimi (Tails Assay'deki ²³⁵U oranı % 0,25 olarak kabul edilmiştir).

Bu taktirde, yalnızca Batı Blokunun 2000 yılına kadar toplam uranyum gereksinimi 2 450 000 short t U_3O_8 olacaktır. Oysa, International Atom Enerji Ajansına göre 1.1.1976 durumuna göre dünya uranyum rezervleri tutarı 1 554 000 t kadardır. Demek ki, mevcut rezervler, sadece Batı Bloku'nun 1990 yılına kadar olan gereksinimini bile karşılayacak düzeyde değildir. Bir hammadde türündeki darlığın kendisini rezervler sona ermeden çok önce hissettirmeye başladığı düşünülürse, yafan gelecekte önemli bir uranyum krizi ile karşı karşıya kalınacaktır. Nitekim, bu darlığı bugünkü uranyum fiyatlarında bile bulmak mümkündür, zira 1976 yılında 25 dolar/lb civarında olan fiyat bugün 42 dolara kadar yükselmiştir. Bu ise, bugünkü fiyatla 2300 TL/kg demektir.

Tablo No. I-

I. I. 1976 tarihine göre bilinen dünya uranyum rezervleri

Ülke	Rezerv (10 ³ t)		Toplam	Dünyadaki payı
	15 Dolar/lb altı	15-30 Dolar/lb arası		
ABD	320,0	134,0	454,0	25,1
Güney Afrika	186,0	90,0	276,0	15,2
Avustralya	243,0	-	243,0	13,4
Kanada	144,0	22,0	166,0	9,2
Nijer	40,0	10,0	50,0	2,8
Fransa	37,0	18,0	55,0	3,0
İsveç	-	300,0	300,0	16,6
İspanya	10,0	93,5	103,5	5,7
Hindistan	3,4	25,8	29,2	
Gabon	20,0	-	20,0	
Arjantin	9,3	11,3	20,6	
Brezilya	9,7	0,7	10,4	
Orta Afrika Cum.	8,0	-	8,0	
Batı Almanya	0,5	0,5	1,0	
İtalya	-	1,2	1,2	
Japonya	1,1	6,6	7,7	
Kore	-	2,4	2,4	
Meksika	5,0	1,0	6,0	
Portekiz	6,9	-	6,9	
İngiltere	-	1,8	1,8	
Yugoslavya	4,2	2,3	6,5	
Zaire	1,8	-	1,8	
Türkiye	3,6	0,6	4,2	0,2
Cezayir	28,0	-	28,0	
Toplam	1081,1	730,1	1811,2	

Kaynak: M. Timm (1976): Atomic Energy Rev. 13, S. 695.

Başka bir deyimle, mevcut uranyum kaynakları dünyanın pek yakın gelecekteki uranyum gereksinimini karşılayacak düzeyde değildir ve bu nedenle, dünya yeni uranyum kaynakları bulmak ve geliştirmek zorunluluğu ile karşı karşıyadır. Bunun gereği olarak, yan ürün olarak uranyum elde etme çalışmalarına hız verilmiştir. Tablo No 2'de bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bunların

2000 yılındaki tahmini katkıları özetlenmiştir. Buna göre, bu kaynakların 2000 yılındaki katkıları en iyimser tahminle 25 000 t civarında olacaktır; bu ise 2000 yılında beklenen 196 000 t'luk yıllık gereksinimin ancak % 13'ü demektir.

Tablo No. 2: Yanürün olarak uranyum Kaynakları ve 2000 yılındaki muhtemel Üretim kapasiteleri

	Güncel örnek	2000 yılındaki kapasite t/yıl
1. Galeri sularından uranyum üretimi	Bingham	2000
2. İn situ leaching	10 ppm U içeren kumtaşları; Texas'da 10'dan fazla işletme	2700
3. Sıvı fosforik asitten	Tampa Florida halen 115 t/yıl kapasiteli	7000
4. Bakır cevherleri	Palabora/G.Afrika 40 ppm U içeren cevherden yılda 1001 U üretimi	850
5. Bitümlü şistler	Ranstad/İsveç	5000
6. Granitlerden	400 ppm içeren Rössing/G. Afrika 200 ppm içeren illimaussağ/Grönland	10000
Toplam		25650
Kaynak: Gaertner (1977)		

özetlenecek olursa, şimdiye kadar bilinen geleneksel uranyum kaynakları ister yan ürün, üsterse ana ürün olsun, dünyanın yakın sayılabilecek gelecekteki enerji ve uranyum gereksinimini karşılayacak düzeyde değildir. Bu nedenle, dikkatler giderek artan bir yoğunlukta yer kabuğundaki en büyük uranyum birikimi olan deniz suyunda toplanmış bulunmaktadır (b. Uzkut, 1977).

Tablo No.3: Deniz suyundaki uranyumun bulunuş şekilleri ve pH derecesine göre duyarlılıkları

İyon	derişimi Mol/l	Toplam kütle-deki oranı %	Duyarlı oldu-ğu pH aralığı	En uygun pH
$(\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3)^{4-}$	$1,37 \cdot 10^{18}$	98,82	7,25-11	8,35
$(\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2)^{2-}$	$5,46 \cdot 10^{-10}$	0,39	6-8,25	
$(\text{UO}_2(\text{OH})_3)$	$2,43 \cdot 10^{-10}$	0,75		
	$1,53 \cdot 10^{-17}$	10^{-7}		
$\text{UO}_2(\text{OH})_2$	$1,53 \cdot 10^{-12}$	10^{-2}		
Kaynak: Ogata ve Diğerleri (1971)		Porter (1957)		

1.2. DENİZ SUYUNDA URANYUM

Gerçekten deniz suyunda, ortalama 3,3 ppb'lik bir derişimde *toplam* 4,52 miSyar t uranyum bulunmaktadır. Bu ise bilinen dünya rezervlerinin 2 500 mislinden fazladır ve hiç olmazsa miktar olarak önemli bir potansiyel oluşturmaktadır (Spence, 1968).

Çeşitli deniz ve okyanuslarda şimdiye kadar yapılan araştırmalar 3,3 ppb'lik derişimin 4000 m'lik deniz derinliğine kadar sabit kaldığını belgelemektedir. 1975 yılında yapılan en yeni araştırma ise, denizlerin karalara yakın bölümlerinde derişimin önemli oranda düştüğünü göstermektedir. Bu konuda, Türkiye için çok önemli bir bulgu da, Karadeniz'in yüzey sularında 7 ppb ile deniz suyu ortalamasının 2,5 misline yakın uranyum içermesidir (Degens, 1977). Bu özelliği ile Karadeniz, yerkabuğunda uranyum içeriği en yüksek denizdir.

Halen akarsularla yılda denize ulaşan uranyum miktarı 27 000 t olarak tahmin edilmektedir. Deniz suyundaki uranyum derişiminin zamanla değişmemiş olduğu gözönüne alınırsa, yılda aynı miktardaki uranyumun tortullarda biriktiği söylenebilir (Keen, 1968 ve 1970)

Deniz suyundaki uranyumun hemen hemen tümü çözünür halde ve Tablo No. 3'de belirtilen iyon kompleksleri halindedir. Süspansiyon halindeki uranyumun çok az olduğu ve toplam deniz suyu uranyumunun % 0,1 ini aşmadığı saptanmıştır.

Tablo No.3'den de görülebileceği gibi, deniz suyunda en önemli iyon kompleksi, toplam uranyumun % 98'den fazlasını kapsayan trikarbonatouranilat olmaktadır. Bu anyon kompleksi aynı zamanda ortamın pH'sına karşı en yüksek duyarlılığa sahip bulunmaktadır.

Öte yandan deniz suyundaki ortalama 3,3 ppb'lik uranyum derişimi, diğer element derişimleri ile kıyaslandığında sanıldığı kadar düşük değildir. Zira Tablo No. 4'den de görülebileceği gibi, uranyum deniz suyunda derişimi en yüksek 22. element olduğu gibi Al, Ti, Cu, Th gibi yerkabuğunda uranyuma nazaran daha yaygın elementlere nazaran birkaç yüz misli daha yüksek bir değere sahiptir.

1.3. DENİZ SUYUNDAN URANYUM ELDE EDİLMİ İLE İLGİLİ GENELSORUNLAR

Deniz suyundan uranyum elde edilmesi ile ilgili kuşkusuz en önemli sorun, uranyumun deniz suyundaki 3,3 ppb'lik düşük derişimidir. Zira, bugün geleneksel uranyum yataklarında minimum işletilebilir tenor olan 300 ppm'e ulaşmak için bile 100 000 mislilik bir zenginleşme faktörüne gerek bulunmaktadır. Buna kar-

şın uranyumun deniz suyunda çözünür halde bulunması, elde etme işleminde diğ er kaynaklara nazaran büyük bir avantaj oluşturmaktadır. Ancak, bunun için çok miktarda deniz suyunun teknolojik işlem den geçirilmesi gerekmektedir.

Örnek olarak, deniz suyundan % 30 bir verimlilikle, bugün için norma! kabul edilebilecek 11 uranyum/gün kapasite ile uranyum elde etme tesisi varsayırsa, önce şu önkoşulların yerine getirilmesi gerekecektir:

1. Günde 1 milyar m³ uranyumu alınmamış taze deniz suyu; başka bir deyimle, uranyumu özütlenmiş deniz suyunun, uranyumu özütlenmesi düşünölen deniz suyu ile karışmayacak bir biçimde tesisten uzaklaştırılmalıdır.

2. 30 000 t kadar özütleme maddesi; ancak bu özütleme maddesinin zenginleştirme faktörünün en az 10 000 olması ve deniz suyunda bozuşmadığı gibi çözünür olmaması da gerekir (b. Şekil No. 2). özütleme maddesinin deniz suyunda çözünür olmaması büyük önem taşır; zira Şekil No. 3'den de görölebileceği gibi, özütleme maddesinin deniz suyundaki çözünürlüğü 1 mg/l bile olsa, 1 t uranyum elde etme işlemindeki özütleme madde kaybı % 30'luk bir verimde 2000 t civarında olacaktır.

3. Günde 1 milyar m³ deniz suyunun dokundurulması üçüncü önemli ön koşuldur; ancak birim zaman başına fazla uranyum elde etmek için de bu sürenin mümkün olduğu kadar kısa olması gerekir.

Tablo No. 4: Deniz suyunda çözünür halde bulunan elementler, derişimleri ve bulunuş şekilleri

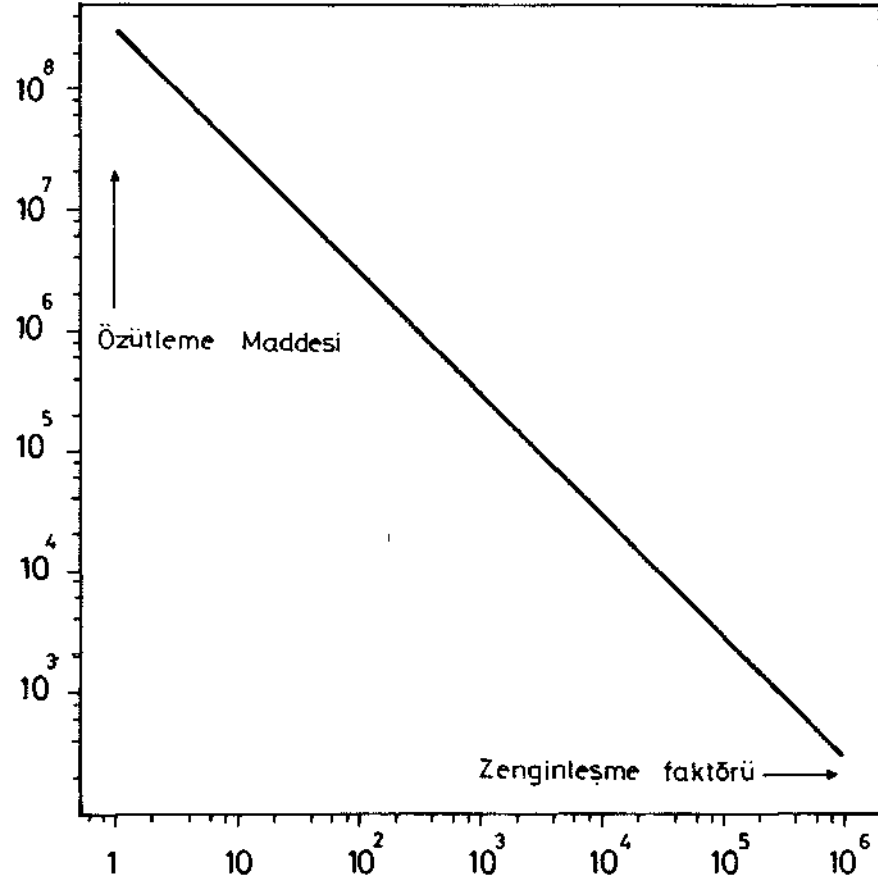
Element	derişimi (ppm)	Bulunuş Şekli
Cl	18 800,00	Cl ⁻
Na	10 770,00	Na ⁺
Mg	1 290,00	Mg ²⁺
S	905,00	SO ⁻² , NaSO ⁻⁴
Ca	412,00	Ca ⁺²
K	380,00	K ⁺
Sr	80,00	Sr ²⁺
Br	67,00	Br ⁻
C	28,00	HCO ⁻³ , CO ²⁻³ , CO ₂
B	4,80	
Si	3,00	
F	1,30	F ⁻ , MgF ⁺
N	0,50	

Li	0,18	Li ⁺
Rb	0,12	Rb ⁺
P	0,06	HPO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻
J	0,06	JO ₃ ⁻ , J ⁻
Ba	0,013	Ba ²⁺
Mo	0,01	MoO ₄ ²⁻
Zn	0,0049	Zn ²⁺
Fe	0,007	(Fe(OH) ₂) ⁺ , (Fe(OH) ₄) ⁻
U	0,0033	(UO ₂ (CO ₃) ₃) ⁴⁻
V	0,002	H ₂ VO ₄ ⁻ , HVO ₄ ²⁻
Al	0,002	(Al(OH) ₄) ⁻
Ni	0,0017	Ni ²⁺
Ti	0,001	(Ti(OH) ₄)
Cu	0,0005	CuCO ₃ , CU(H) ⁺
Cr	0,0003	Cr(OH) ₃ , CrO ₄ ²⁻
Cs	0,0004	Cs ⁺
Cd	0,0001	CdCl ₂
W	0,0001	WO ₄ ²⁻
Co	0,00005	Co ²⁺
Ag	0,00004	AgCl ₂
Hg	0,00003	(HgCl ₄) ²⁻ , HgCl ₂
Pb	0,00003	PbCO ₃ , PbCO ₃
Th	0,00001	Th(OH) ₄
Be	0,0000056	Be(OH) ⁺
Re	0,000004	ReO ₄ ⁻
Au	0,000004	(AuCl ₂) ⁻
Ra	3 . 10 - "	
Ru	9 . 10 - '5	

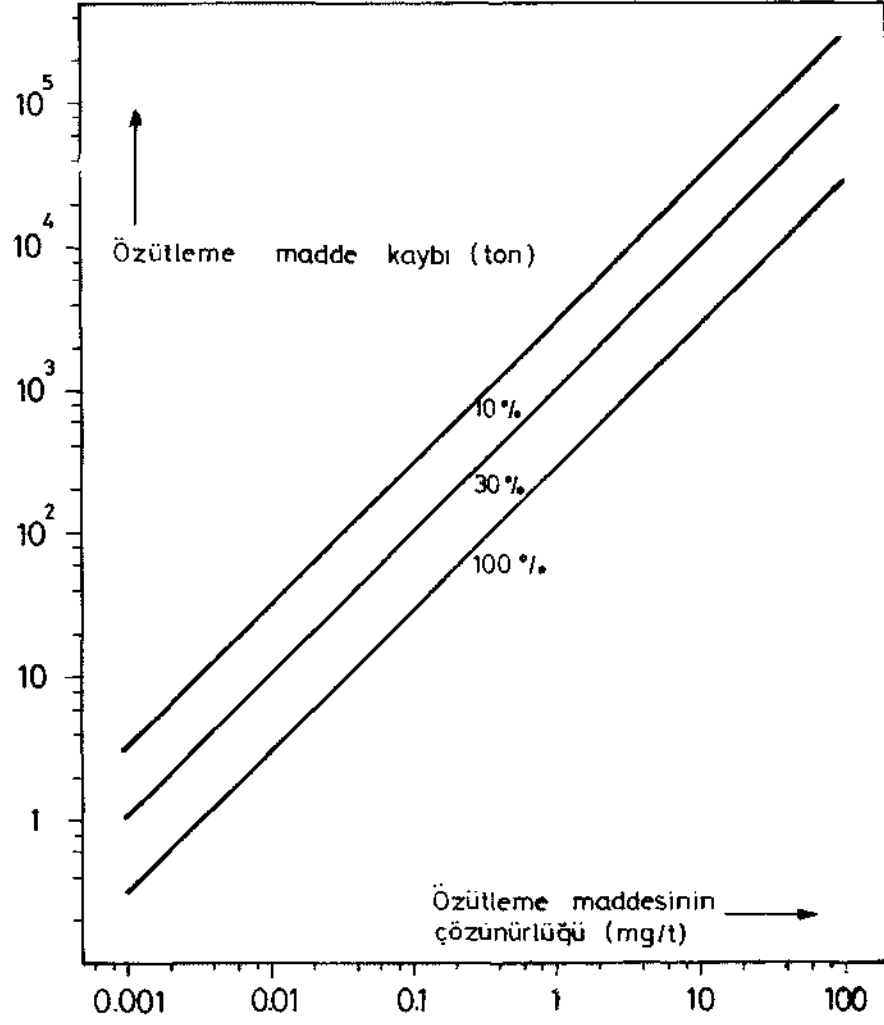
Kaynak: Goldberg (1957)
Wedepohl (1967)

bu ise kısmen özütleme madde temas yüzeyinin artırılması ile gerçekleştirilebilir.

4. özütleme maddesinin, deniz suyunun bileşiminde uranyum içeriği dışında herhangi bir değişiklik yapması özütleme yapması gerekir. Bu önkoşul iki yönden büyük önem taşımaktadır; Birincisi böyle bir değişiklikte deniz suyunun yaşam koşulları değişebilir. İkincisi ise bu taktirde deniz suyunun pH derecesi değişeceğiinden, uranyumun özütlenebilir pH alanı dışına çıkılabılme olasılığı vardır.



Şekil 2: Deniz suyundan 1 t uranyum elde ediliminde zenginleşme faktörü ile özütleme maddesinin miktarı arasındaki ilişki



Şekil 3: Deniz suyundan 11 uranyum elde ediliminde, özütleme madde kaybının deniz suyundaki çözünürlüğe göre değişimi

S. En önemli ve gerçekleştirilmesi her zaman mümkün olmayan ön koşul ise, tüm bu işlemler için 72 milyon kilovatsaatten fazla enerji harcanmadan gerçekleştirilmelidir; zira 1 t uranyumun enerji eşdeğeri 72 milyon kilovat saat olup, bu enerji ile 1 milyar m³ su ancak 26,5 m yüksekliğe pompalanabilecektir. Bu nedenle, suyun dokundurma işlemi hemen hemen hiç bir enerji sarfedilmeden gerçekleştirilmelidir. Bu ise dünyadaki denizler içinde çok cüzi yörelerde mümkündür.

2 . DENİZ SUYUNDAN URANYUM ELDE ETME YÖNTEMLERİ

2.1. ÇÖZÜCÜ ÖZÜTLEME YÖNTEMİ (Solvent extraction)

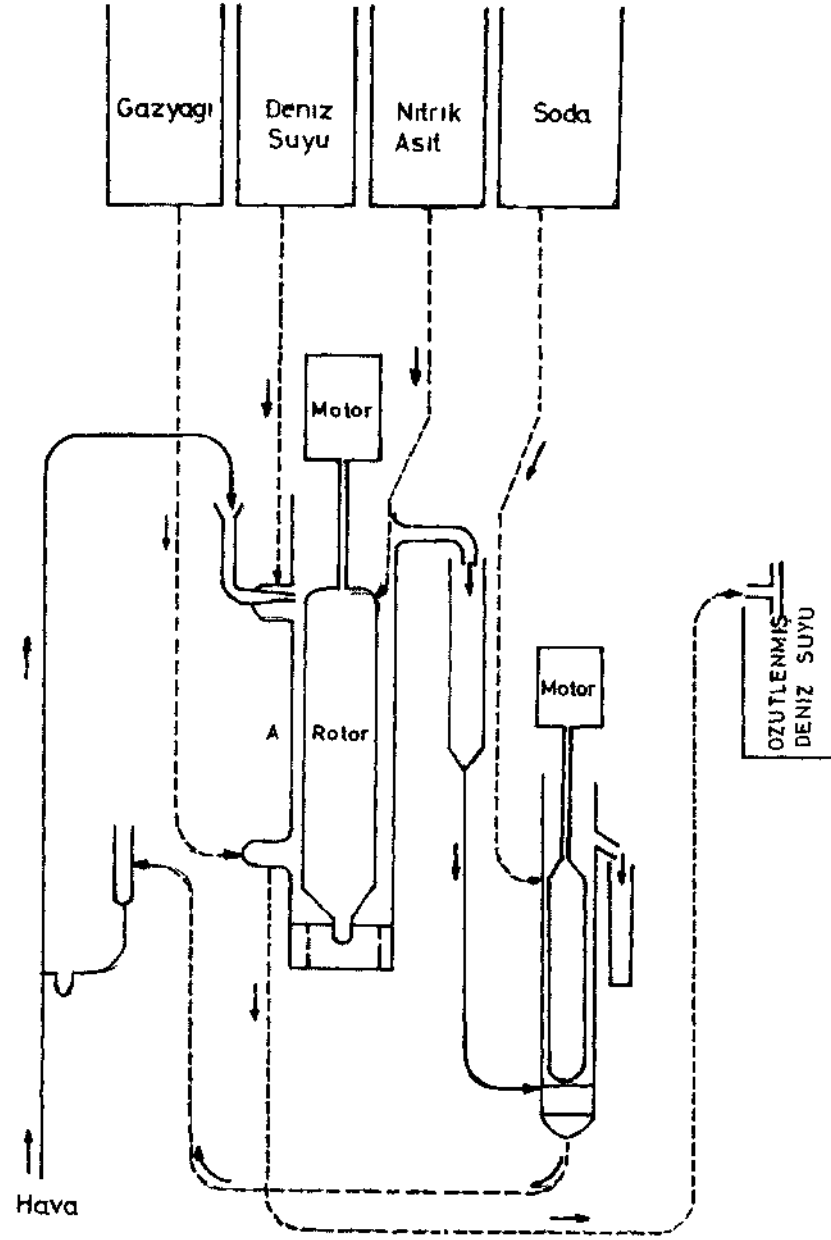
1953 yılında ve Atomic Energy Research Establishment tarafından geliştirilen bu yöntem, deniz suyundaki uranyumun % 10dibütilfosfatlı (DBT) gazyağı çözeltisi ile özütlenilme yeteneğine dayanmaktadır. Şekil No. 4'den de görülebileceği gibi, A özütleme sütununda, % 10 dibütilfosfatlı gazyağı, nitrik asitle muamele edilen deniz suyu ile ters akım prensibine göre karıştırılır. Üstte toplanan U'lu organik faz, üst taraftan B özütleme sütununa aktarılır ve 0,32 mol/lük sulu soda çözeltisi ile gene ters akım prensibine göre karıştırılır. Bu anda, organik fazdaki *uranyum*, yeni oluşan sodyum dibütilfosfatla beraber sulu fazda kalırken katran üstten alınarak tekrar devreye sokulur. Uranyumlu sulu çözelti tekrar A sütununa aktarılır, yeni gelen deniz suyu ile birlikte asitlerin ve tekrar özütlemeye tabi tutulur.

Yöntemin deniz suyundan uranyumu ayırım gücü çok yüksek olmasına rağmen, ekonomik bir yönü yoktur. Tablo No. 5'den görülebileceği gibi, önüne geçilemeyen kimyasal madde kayıpları 1 kg uranyumun maliyetini yaklaşık en az 50 000 DM'a ulaştırmaktadır ki, bu, bu yöntemin hemen hemen hiçbir dönemde ekonomik bir öneme sahip olamayacağını belgelemektedir.

Tablo No. 5: Çözücü özütleme (solvent extraction) yönteminde 1 kg uranyum için gerekli reaktif kayıpları ve DM cinsinden değeri

Reaktif	1 kg için gerekli miktar	Kayıp	Maliyete DM/kg olarak etkisi
Nitrik asit (24 M lik)	200 m ³	200 m ³	20 000
Kerosin (Katran)	3.10 ⁶ litre	30 000 litre	30 000
Dibütil Fosfat	3.10 ⁵ kg	300 kg	1 000
Toplam			51 000

Kaynak: Schwochau ve Diğerleri (1977)



Şekil 4: 1953 yılında Harwell'deki Atomik Energy Research Establishment tarafından geliştirilen çözücü özütlenme (solvent extraction) yönteminin şematik görünümü

2.2. İYON FLOTASYONU

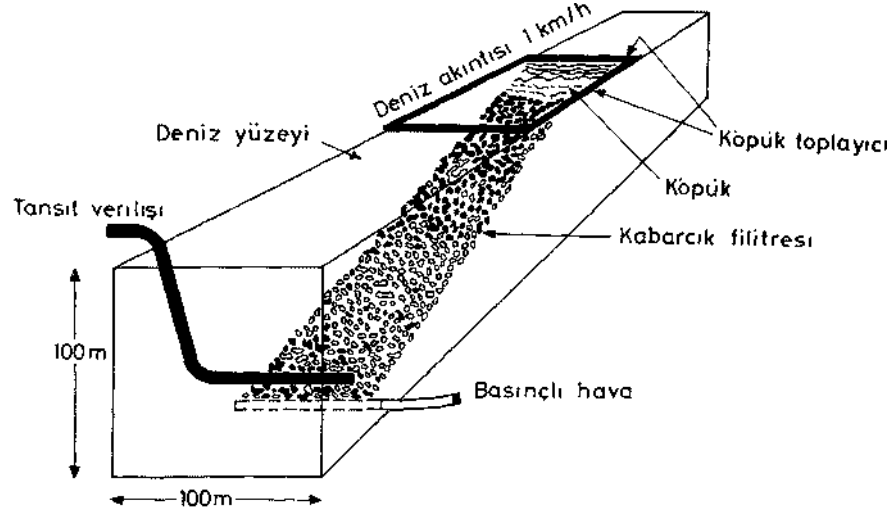
Bu yöntem, uranyum iyonunun çözeltilerden "tansid" adı verilen yüzeyleri aktif bileşikler yoluyla ayrılıp zenginleştirilmesine dayanır. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen denenmiş ve uranyum ayırma yeteneğine sahip tansitlerin listesi Tablo No. 6'da verilmektedir.

Tablo No. 6: Uranyumun iyon flotasyonunda kullanılan tensitler

Tensit	özütlenen çözelti ve özellikleri	özütleme verimliliği	Kaynak
Lorülamonyum asetat	Deniz suyu;pH=8 Derişim 3 ppb U	%50	Ogata ve Kakihana (1969)
Sodyumlörüyi sülfat + Fe(OH) ₃	Deniz suyu; pH=5,7 Derişim 15 ppb U	%82	KimveZetlin(1971 a ve b)
Sodyumdodekanoat + Th (OH) ₄	Deniz suyu; pH=5,7 Derişim 11 ppb U	% 93,5	Leung ve Diğerleri (1972)
Tetradecil Dimetilbenzil Amonyum klorit	Deniz suyu; 3 ppbU	%98	Sekine (1975)
Talamin asetat	Galeri suyu;pH= 6,5-7 5 ppb U	%91	Jude ve Fratila (1974)

özellikle Ogata ve Kakikane (1969)'nın yaptığı araştırmalarla, deniz suyundaki uranyumun elde edilmesi için en uygun tansidin lorül amonyum asetat C₁₂H₂₅H₂CH₃COOH olduğu ve en ekonomik çözelti bileşiminin de %'lik bir lorüyl amonyum asetat çözeltisi olduğu saptanmıştır.

Bu yöntemin endüstriyel çapta uygulaması için İlk öneri 1962 yılında ve Sebba tarafından yapılmıştır. Buna göre 100 m deniz derinliğinde 100 m uzunluğundaki bir delikli borudan (b. Şekil No. 5) verilen tansit çözeltisi, deniz suyundaki trikarbonato uranülat anyonu ile reaksiyona girerek suda çözünmeyen kolloidler oluşturur ve bu kolloidler gene alttan verilen hava kabarcıkları yoluyla su yüzüne taşınır ve su yüzünde toplanır. Üstteki uranyumlu köpük toplanarak uranyum elde etme işlemine tabi tutulur. Bu yöntemin uygulanabilmesi için belli bir



Seki! 5: Sebba (1962)'ya göre, iyon flotasyon yöntemiyle deniz suyundan uranyum elde edilebilmesinin uygulaması.

akıntının bulunması gerekmektedir, örneğin saatteki hızı 1 km olan bir akıntıdan bu yöntemle saatte 33 kg, günde 0,8 t uranyum elde etmek mümkündür.

İlk bakışta basit ve kolay uygulanabilir gibi görünen bu yöntemin uygulanabilirliği yok denecek kadar azdır. Zira 1 kg uranyum elde etmek için gerekli hava ve tansitin 100 m deniz suyu derinliğinde verilebilmesi en az 4 milyon kilovat saat enerjiye gereksinim vardır. Oysa, 1 kg uranyumun enerji eşdeğeri 72 000 kilovat saattir. Bunun yanında, sarfedilen tansitler tekrar devreye sokulamadığı için tansit masrafları da yüksek olmaktadır, örneğin 1976 yılı fiyatlarına göre, bu yöntemle 1 kg uranyum elde etmek için yaklaşık 150 milyon TL'lık tanside ihtiyaç vardır. Bu da, bu yöntemin hiçbir şekilde endüstriyel uygulanabilirliğinin gelecekte de bulunamayacağını göstermektedir.

2.3. KOPRESİPİTASYON (Beraber çökeltme)

Deniz suyundan uranyum elde etmek için önerilen başk bir yöntem de, beraber çökeltme veya kopresipitasyondur. En önemlilerinin Tablo No. 7'de sunulduğu belli bileşikler, belirtilen işlemlerle çöktildikleri takdirde, çözelti içinde bulunan uranyumun belli bir bölümünü de beraber çökeitebilmektedirler. Çoğunluğu oksihidrat şeklindeki çöktitlerden uranyum, % 5'lik $(NH_4)_2CO_3$ çözeltisinde çözündürülüp elde edilebilmektedir. Çökelen oksihidratların tekrar kullanılabilmesi için ise uygun bir asitle muamele edilmesi gerekmektedir.

Ancak yöntem, 1 kg uranyum için birinci bileşikte olduğu gibi 401 kadar HCl gerektirdiği gibi, kullanılan bu asit deniz suyunun bileşimini de değiştirdiği için yöntem endüstriyel uygulanabilirliğe sahip değildir. Üstelik yalnızca asit kaybına bağlı olarak 1 kg uranyumun maliyeti en az 20000 TL'sini bulmaktadır.

Tablo No. 7: Uranyumu beraber çökeltebilen bileşikler ve çalışma koşulları

Bileşik	Derişimi	Çökelti Hali	Deniz suyundaki U derişim (ppb)	Verimlilik %	Kaynak
$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	250 mg/l Fe	$Fe(OH)_3$	25	50	1
$AlCl_3 \cdot 6H_2O$	250mg/l Al	$Al(OH)_3$	25	40	1
$TiOSO_4$	250 mg/l Ti	$Ti(OH)_4$	25	75	1
NaH_2PO_4	0,25 mg/l P_2O_5	$Ca_3(P_2O_7)_2$	100	90	2
Ti	2,2 mg/l Ti	$Ti(OH)_4$	3,3	75	3
Ti	41,1mg/l Ti	$Ti(OH)_4$	3,3	70	4

Kaynaklar : 1. Ogata (1968)
 2. Yamabe ve Takai (1970)
 3. Barannik ve Diğerleri (1975)
 4. Kasyanov ve Diğerleri (1975)

2.4. ADSORPSİYON

Deniz suyundan uranyum elde etmede önerilmiş ve hemen hemen tek uygulanabilir yöntem ise adsorpsiyon yöntemidir. Deniz suyundaki trikarbonato-uranilat anyonunu adsorbe edebilen katı maddelerin bir listesi Tablo No.8'de sunulmuştur. Bu tabloda deniz suyunda pratik olarak çözünmeyen ve uranyum elde edilimi için yeterli zenginleştirme faktörü olan maddeler gözönüne alınmıştır. Bu maddeler için başka bir zorunluluk da, uygun yükleme sürelerine sahip ol-

Tablo No. 8: Deniz suyundan uranyum biriktirebilen organik ve anorganik "Adsorber"ler

Türü	Adı	Deniz suyundaki derişimi ppb	Akinti hızı	Yüklenme süresi	Yüklenme ppm	Zenginleştirme Faktörü	Kaynak
Mİneral	Galen Hidroksi Apatit	3,3	—	—	690	2,09.10 ⁵	1
		70	1 saat	—	50	714	2
Sentetik Anorg.	Basik çinko karbonat ve camyünü	3,34	1,5 m/saat	16 gün	540	162 000	3
	Camyünü üzerinde Ti oksihidrat	3,34	1,5 m/saat	34 gün	273	81 700	3
	Cam yünü üzerinde Pb pirofosfat	3,34	1,5 m/saat	21 gün	479	143 000	3
	Camyünü üzerinde Pb Stannat	3,34	1,5 m/saat	44 gün	310	92 800	3
	Camyünü üzerinde Pb sülfür	3,34	1,5 m/saat	25 gün	282	84 400	3
	Camyünü üzerinde Pb silikat	3,34	1,5 m/saat	23 gün	265	79 300	3
	Ti Oksihidrat	3,34	15,1 m/saat	28 gün	198	59 300	3
	Ti Oksihidrat	3,34	—	2 gün	1550	46 400	4
	Camyünü üzerinde Ti Oksihidrat	57	—	21 gün	1000	17 500	5
	Kenevirli Ti Oksihidrat	3,3	—	6 saat	1,27	385	6
	Kömürlü Al Oksihidrat	5000	—	12 saat	80	16	7
	Pb sülfür	3,6	—	6,7 - 12 saat	134	37 200	8
Cr Oksihidrat	3,6	—	6,7 - 12 saat	68	18 900	8	
Sentetik Org.	Camyünü üzerinde Pb Naftalin tetrakarboxilat	3,34	1,5 m/saat	55 gün	890	266 000	3
Doğal Org.	Kemik tozu	1060	—	1,5 saat	1480	1 400	9

Kaynak: (1) Koyonaka (1970); 2 =* Takai et al. (1971); 3 - Davies et al. (1965); 4 - Ogata (1971); 5 - Ninomiya et al (1971); 6 - Lal et al. (1964); 7 - Nlmiya (1974); 8 = Ogata ve Kakihana (1969); 9 = Bain (1959)

maları yanında kullanıldıklarında deniz suyunun bileşimini ve fizikokimyasal koşullarını değiştirmemeleridir.

Tablo No. 8'den de görülebileceği gibi, şimdiye kadar deniz suyundan uranyum elde edilimi için geliştirilen adsorberleri, mineral, sentetik-anorganik, sentetik-organik ve doğal organik olmak üzere 4 grupta bulunmaktadır.

Mineral adsorberlerden galen (PbS), özellikle Japonya'da denenmiş ve başlangıç için çok iyi sonuçlar elde edilmiştir. Nitekim galende 21 000'e yakın zenginleştirme faktörü saptanmıştır (Koyonaka, 1970). Galen tarafından adsorbe edilmiş uranyum 1 M soda veya HCl çözeltisinde çözündürülebilmekte ve galen bu taktirde bile tekrar kullanılabilirliğini yitirmemektedir. Ancak, gerek yükleme süresinin diğer adsorberlere nazaran yüksek olması ve gerekse deniz suyunda çok az da olsa çözünürlüğe sahip olması galenin, endüstriyel çapta kullanılabilirliğini önlemiştir.

Tablo No. 8'de belirtilen adsorberler arasında endüstriyel kullanılabilirliğe sahip olan tek bileşik titanyum oksihidratıdır. Bunda en önemli rolü, bu bileşiğin yüksek zenginleştirme faktörü ve düşük yükleme süresi yanında deniz suyunda hemen hemen hiç çözünür olmaması oynamaktadır. Titanoksîhidrat tarafından adsorbe edilen uranyum da, 1 M HCl veya nitrik asit çözeltisinde çözündürülerek kolayca elde edilebilir.

Adsorberlerden başka, deniz suyundan uranyum elde edilimi için düşünülmüş iyon değiştiriciler de mevcuttur. En önemlilerinin listesi Tablo No. 9'da sunulmuştur. Ancak bunların hemen hemen hepsi ya uzun yükleme süreleri veya deniz suyunda bir süre sonra bozulmaları veya deniz suyunu kirletmeleri nedeniyle endüstriyel çapta kullanılma olasılıkları olmayan bileşiklerdir.

Buna karşın biyolojik adsorberlerin, deniz suyundan uranyum elde etmede gelecekte büyük bir öneme sahip olacaklarını şimdiden söylemek mümkündür.

Bilindiği gibi, mikroorganizmalar çeşitli metalleri bünyelerinde biriktirme yeteneklerine sahiptir. Özellikle agler bu konuda çok büyük bir öneme sahiptirler. 1975 yılında Kuzey Denizi'nde yapılan denemelerde en başarılı sonuçların elde edildiği alg türlerinin listesi Tablo No. 10'da sunulmuştur. Bu denemelerde deniz suyundan uranyum elde etmede en başarılı uygun alg türünün bir mavi alg olan *Oscillatoria* olduğu anlaşılmıştır. Lifsel bir yapıya sahip bu algler, 3,3 ppb uranyum derişimine sahip bu algler, 2' gün içinde kuru madde içindeki derişimi 2 ppm olacak biçimde uranyum biriktirebilmektedirler. İlginç olan husus, deniz suyundaki *uranyum* derişimine bağlı olarak bu alglerin kuru madde içinde % 5'e kadar uranyum biriktirme yeteneğine sahip olmalarıdır, örneğin, Karadeniz'in suyundaki uranyum derişimine (Karadeniz'deki uranyum derişimi ortalama

Tablo No. 9 : Deniz suyundan uranyum özütleyebilen iyon değiştiriciler

Adı	Sudaki U (ppb)	Akıntı hızı	Yüklenme süresi	Yüklenme ppm	Zenginleşme Faktörü	Kaynak
Resorsinol arsenik formaldehid Kopo-HmeNa ₂ RAp/NCL/343	3,34	5,92 m/saat	332 gün	1112	333 000	1
Ultramaren	81600		2 saat	35	0,4	2
AN-2F (Anyon-değiştirici)	3,0	2,65-3,98 m/saat	-	19,5	6 500	3
Poli Akriil Hidrok-sam asidi	0,5	15 m/saat	-	50	100 000	4
Poli-gliyoksal-triaminofenol	0,5	15 m/saat	-	50	100 000	4

Kaynak: 1 = Davies ve Diğerleri (1965)
 2 = Riedel (1970)
 3 = Ryabinin ve Diğerleri (1973)
 4 = Bayer ve Fiedler (1960)

ma 7 ppb, Degens (1977)) yakın 6 ppb uranyum içeren bir deniz suyundan Oscillatoria 3 gün sonra kuru maddesinde 20 ppm uranyum bulunacak bir şekilde uranyum biriktirebilmektedir (b. Tablo No. 10).

Genel olarak alglerin,

- Kolayca ve masrafsız bir biçimde denizlerin uygun yörelerinde yetiştirilebilir olmaları,
- 2 gün gibi çok kısa bir sürede maksimum uranyum derişimine ulaşmaları
- Yakılma suretiyle, hem elde edilebilir ve hem de nisbi de olsa uranyum derişimin! artırma olasılığına sahip olmaları
- Deniz suyunda herhangi bir değişiklik meydana getirmemeleri nedeniyle

Tablo No. 10: Çeşitli Alg türlerinin deniz suyundan uranyum biriktirme Yetenekleri

Alg türü	Sudaki U (ppb)	Süre	Yüklenme Kapasitesi mgu/ Kuru Madde	Maksimum Zenginleştirme Faktörü	
Yeşil alg türü olan	U5	6	7 saat	18	3 000
	U6	6	5 saat	4,8	800
Dicteria'nın çeşitli tipleri	U7	6	7 saat	35	5 800
	U8	6	2 saat	41	6 800
	U13	6	2 saat	70	12000
Dunaliella parva	6	10 saat	45	7 500	
Chlorella pyrenoidosa	3,3	1 saat	0,64	190	
Spirulina	6	1 saat	10	1 700	
Oscillatoria	6	3 gün	20	3 300	
	3,3	2 gün	2	600	
	3,3	9 saat	1,2	360	
	9	13 saat	9,6	1 100	

Kaynak: Heide ve Diğerleri (1975)

gelecekteki deniz suyundan uranyum elde edilimi için önemli ve uygulanabilir bir yöntem olarak nitelendirilmektedir. Bu yöndeki araştırmalara özellikle Japonya'da büyük hız verilmiştir (b. Ogata, 1974). Bu araştırmalarda en önemli sorun olarak alg kolonilerinin birim zaman içinde mümkün olduğu kadar fazla deniz suyu ile dokundurulması olmuştur. Bu nedenle, bu alg kolonilerinin uygun hızla sahip akıntı yörelerinde yetiştirilmesi planlanmıştır.

3. TİTANOKSİHİDRAT HAVUZLAMA YÖNTEMİ

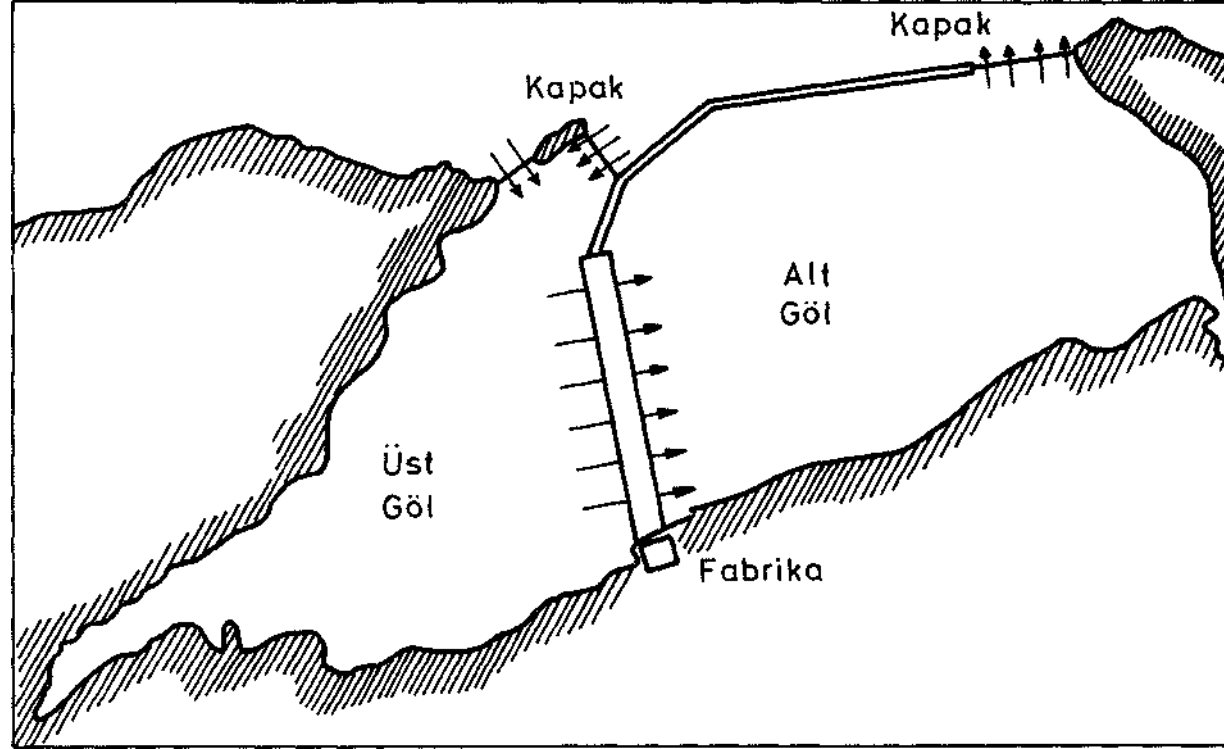
Belirtilen adsorberler ve iyon değiştiriciler içinde gerek yüksek zenginleştirme faktörü ve gerekse deniz suyundaki çözünürlüğünün olmaması nedeniyle en uygun adsorber türü olarak titanyum oksihidrat olduğu daha önce de belirtilmişti.

Buna dayalı ilk deniz suyundan uranyum elde etme tesis projesi Harwell'deki İngiliz "Atomic Energy Research Establishment" tarafından geliştirilmiştir (Keen, 1968, 1970). Denizdeki gel-git olayına dayalı bu projede, uygun biçimli bir barajda biriken deniz suyu baraja eklenen adsorpsiyon havuzlarından geçirilerek uranyumu özütlenmektedir. Projeye göre, havuzların kirlenmesini önlemek için deniz suyu önce porös bir filtreden geçirilmekte ve su akım yönü sık sık değiştirilerek tek yönlü kirlenme önlenmektedir (b. Şekil No. 6).

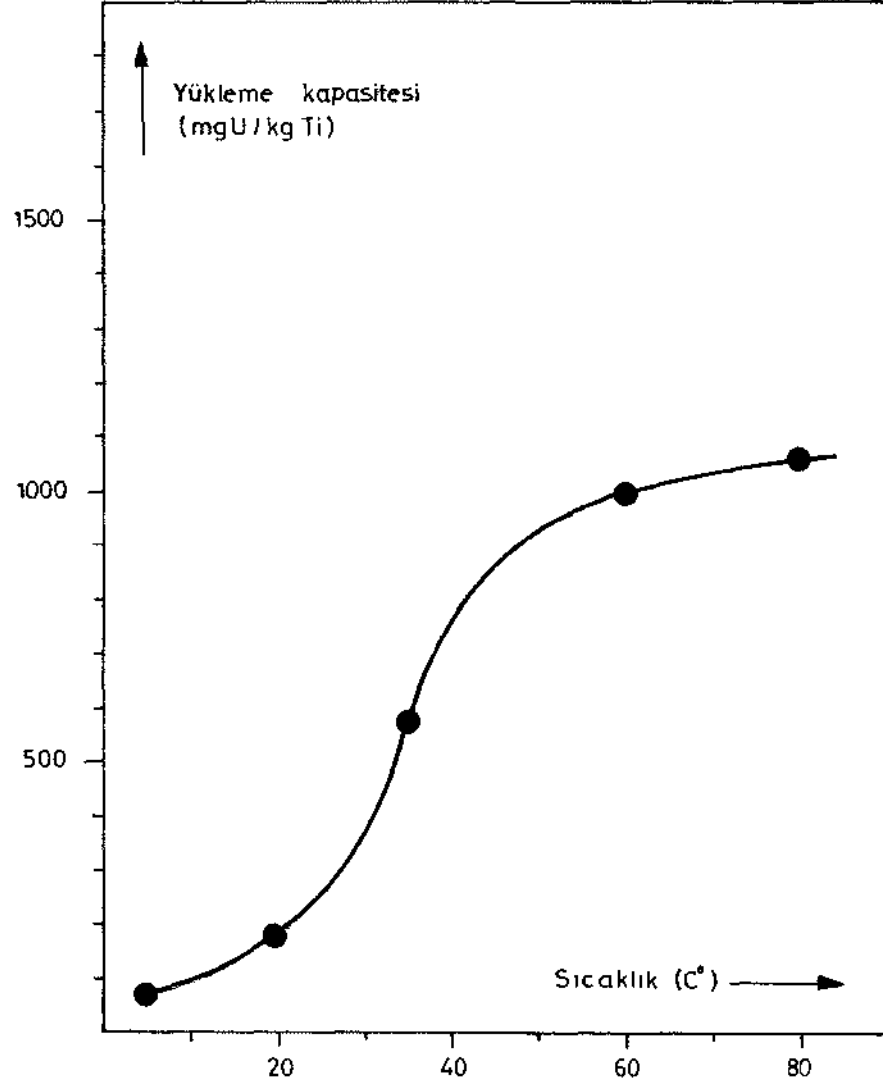
Bundan başka, Japonya'da titanyum oksihidratla deniz suyunda uranyum özütleme veriminin sıcaklıkla artmasından yararlanılarak (Şekil No. 7) soğutma suyu olarak deniz suyunun kullanıldığı büyük nükleer enerji santrallerine bağlı uranyum elde etme tesisleri geliştirilmiştir. Buna göre, nükleer enerji santralında soğutma suyu olarak kullanılan deniz suyu titanyum oksihidratlı adsorpsiyon havuzlarından gecikilerek uranyumu özütlenmektedir (b. Şekil No. 8). Böylece elektrik enerji üretiminde harcanan uranyumun belli bir bölümü elde edilebilecektir. Haigh'e (1974) göre bu oran % 7 civarındadır. Normal bir nükleer enerji santralında soğutma suyu olarak 1 ile 10* m³ deniz suyu gerektiğine göre (Schwochau ve Diğerleri 1976), bu yolla günde yaklaşık 10 kg uranyum elde etmek olasılığı sözkonusudur. Eğer soğutma suyu olarak Karadeniz suyu kullanılırsa, bu taktirde elde edilebilecek uranyum miktarı yaklaşık 25 kg/gün'e çıkmaktadır. Bu ise enerji üretimi için kullanılan uranyumun yaklaşık % 20'sidir.

öte yandan 1974 yılında, ABD'deki Oak Ridge'de bulunan National Laboratory'de yapılan bir araştırma, titanyum oksihidrat adsorpsiyon havuzlarına dayalı bir deniz suyundan uranyum elde etme tesisindeki maliyetler hakkında bir hesaplama yapılmıştır (Harrington ve Diğerleri 1974). Maliyet hesabının dayandırıldığı tesis (b. Şekil No. 9), günde 1,4 t uranyum üretebilecek biçimde planlanmıştır. Bunun için yüksekliği 40 cm olan ve toplam adsorpsiyon yüzeyi 1 milyon m² olan 60 ayrı adsorpsiyon havuzu düşünölmüştür. Havuzlarda deniz suyu saatte 27 km hızla akacak, adsorpsiyon işlemini çapı 1 mm olan ve üzeri 0.03 mm kalınlığında titanyum oksihidratla kaplanmış küreler gerçekleştirecektir. Verimlilik olarak % 80'lik bir değer temel kabul edilmiştir.

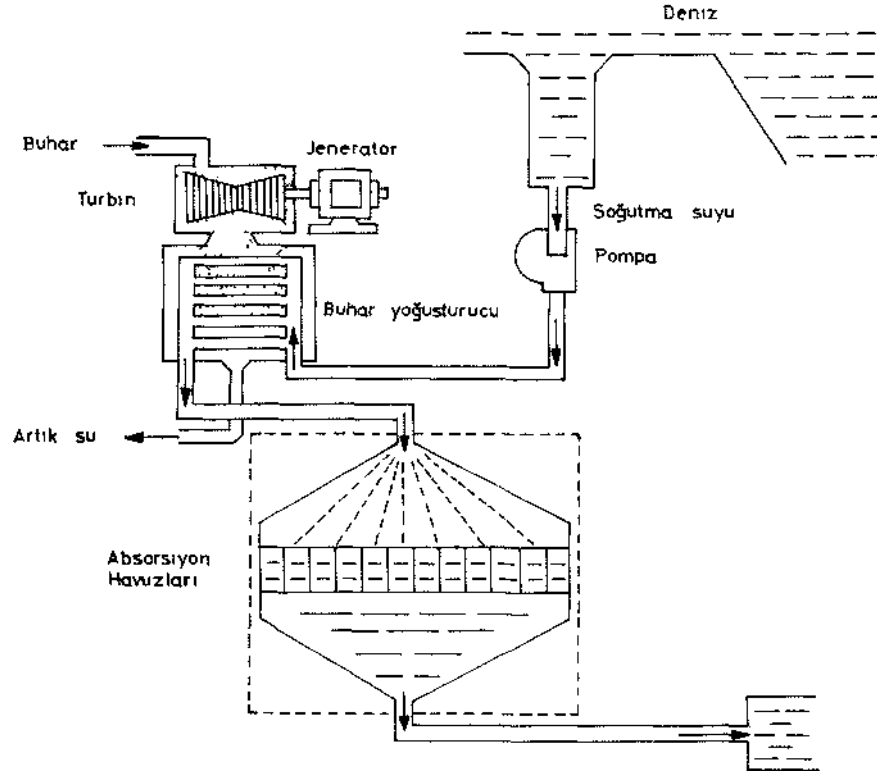
Adsorbe edilmiş uranyum, titanyum oksihidrat kaplı kürelerde yerinde (in situ) 1 M Tık (NH₄)₂CO₃ çözeltisi ile tekrar çözöndürölmektedir. Bundan önce ve sonra havuzlar kendi hacimlerinin 3 ve 4 misli miktardaki suyla yıkanmakta-



Şekil 6: Gel-git olayına dayalı bir deniz *suyundan* uranyum elde etme tesisinin şematik görünümü



Şekil 7: Titanyum oksihidrat adsorberlerinin uranyum yükleme kapasitesinin deniz suyu sıcaklığıyla değişimi (Ogata, 1971)

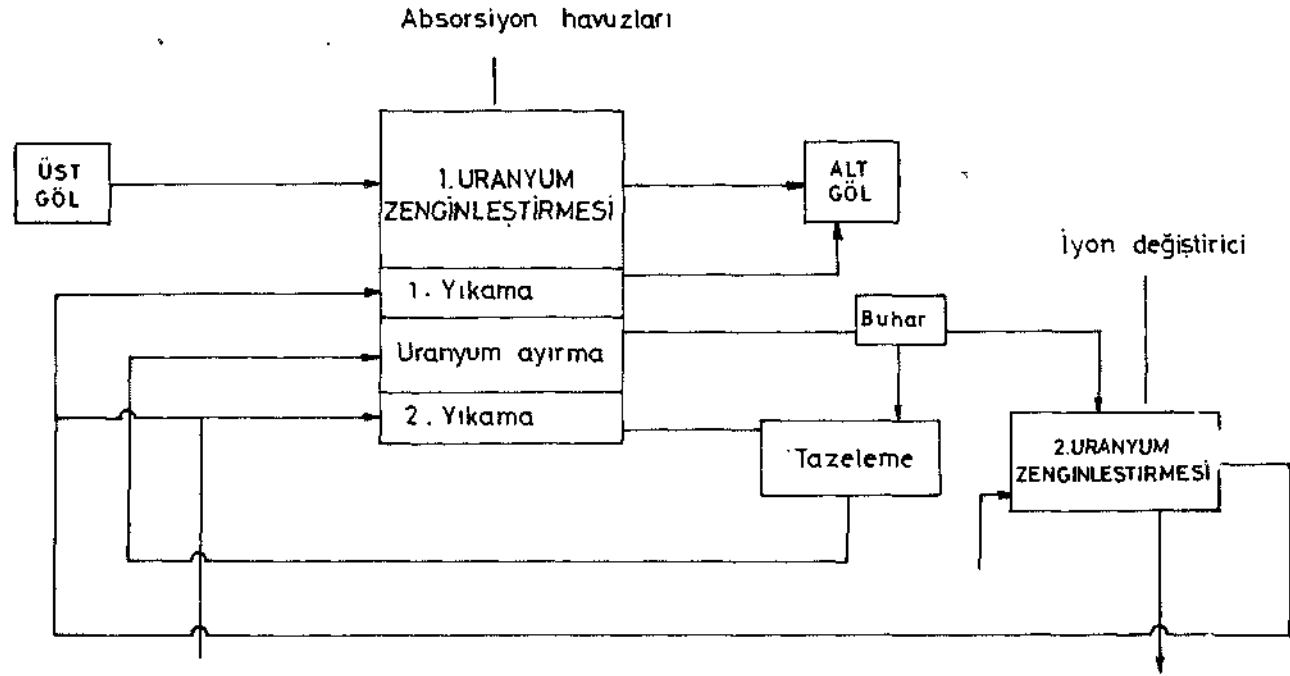


Şekil 8: Nükleer enerji santralinde soğutma suyu olarak kullanılmış deniz suyundan uranyum elde etme tesisinin şematik görünüşü

dır (b. Şekil No. 9).

Adsorpsiyon 4, yıkama ve uranyum elde etme işlemi de 1 gün sürmekte ve 60 havuz değişimli olarak devreye sokulduğundan sürekli bir uranyum üretimi mümkün olmaktadır.

Adsorpsiyon havuzları, boru sistemleri ile yakında bulunan bir fabrikaya bağlanmıştır. Uranyumu titanyum oksinidrat küreciklerinden çözüdüren amonyum karbonat çözeltisi su buharı ile ve tekrar amonyum karbonat elde edilmek üzere amonyak ve CO₂*e buharlaştırılıp Uranyum ise özel anyon değiştiriciler yoluyla tekrar çözüdüreler ve nihayet NaCl çözeltisi ile çöktürülür.



Şekil 9: Ocak Ridge National Laboratory tarafından geliştirilen deniz suyundan uranyum elde etme tesisinin akım şeması (Harrington ve diğerleri 1974) Adsorpsiyon havuzlarının toplam hacmi 420.000 m³ olarak saptanmıştır.

1974 yılı durumunu belgeleyen ve bu tesise dayalı olarak elde edilmiş 1 kg uranyumun maliyeti Tablo No. 11'de sunulmuştur. Görüldüğü gibi, 1974 yılı durumuna göre ortaya çıkan 673 dolarlık uranyum maliyeti, bugünkü uranyum fiyatı yaklaşık 93 Dolar/kg olduğu düşünülürse gerçekten çok yüksektir. Ancak sabit yatırım masrafları hariç tutulursa bu değer 401 dolara inmektedir. Ayrıca 1974 yılından sonra, deniz suyundaki çözünürlüğü eskisinden çok az olan titanyum oksihidrat türleri elde edilmiş ve böylece % 22,3 ile en önemli maliyet ögesi önlenmiş olmaktadır. Bu taktirde, maliyet 251 Dolar/kg'a indirgenmiş olmaktadır. Üstelik gene Japonya'da aynı anda deniz suyundan Sr, V, P ve Li elde etme projeleri geliştirilmiştir. İş olup, bu yolla hali hazırdaki maliyet yüksekliği yan ürünle giderilmeye çalışılmıştır.

En son olarak, İngiltere'de 1975 yılı sonunda yapılan bir çalışmada, (b. Taylor ve Walford, 1975; Nicholson, 1976), gel git enerjisinden yararlanılan bir uranyum üretim tesisinin tüm maliyeti enerji eşdeğeri olarak hesaplanmıştır.

Ancak, tüm bu değerlendirmelerde, deniz suyunu adsorpsiyon havuzlarından geçirmek için enerji sarfiyatı varsayımından hareket edilmiştir. Oysa, deniz suyunun zaten hareket halinde olduğu bölgelerde bu tür üretim tesisleri varsayılırsa bu taktirde değerlendirme sonuçları daha olumlu olabilmektedir. Nitekim, son olarak İngiltere'de yapılan bir çalışmada (b. Taylor ve Walford, 1975), gel git enerjisinden yararlanılan bir uranyum elde etme tesisinin tüm maliyeti enerji eşdeğeri olarak hesaplanmıştır (b. Tablo No. 12). Buna göre, bu tür bir tesiste 1 t uranyum elde etmek için sarfedilen enerji tutarı 1 t uranyumun enerjisi eşdeğerinin % 6,26'sına eşit olmaktadır. Başka bir deyimle, bu tür bir tesiste, elde edilen enerji tutarı sarfedilen enerjinin 16 misline yakındır. 300 ppm uranyum içeren Ranstad alümit şistlerinde uranyum elde ediliminde bu değer % 7 olarak bilinmektedir (Nicholson, 1976). Salt enerji bilançosu açısından düşünülürse, deniz suyundan uranyum elde edilmesi 300 ppm uranyum içeren bir kayaçtan uranyum elde edilimine nazaran daha avantajlı olmaktadır.

Nitekim özellikle Japonya ve İngiltere gibi, uranyum kaynakları açısından kısıtlı olanaklara sahip ülkelerde deniz suyundan uranyum elde edilim çalışmalarına büyük hız verilmiştir. Japonya'da daha 1975 yılında günde 40 000 m³ deniz suyu özütleyen bir deneme tesisi faaliyete geçirilmiştir. Japonya Ticaret ve Endüstri Bakanlığı'nca (MITI) hazırlanan bir rapora göre, yılda 3400 t uranyum elde eden bir tesis 1985 yıllarında faaliyete geçecek ve Japonya'nın o yıl için beklenen gereksiniminin yaklaşık 1/3 ünü karşılayacaktır (b. Japan Atomic Industrial Forum, Ocak 1975 ve Ozean und Technik, Ocak 1975).

4. TÜRKİYE'DE DENİZ SUYUNDAN URANYUM ELDE ETME OLANAKLARI

Bundan önceki Maden Mühendisleri Odası 5. Bilimsel ve Teknik Kongre'de sunulan bir bildiriye, Boğazların deniz suyundan uranyum elde etme yönünden ideal koşullara sahip olduğu vurgulanmış ve bu yöndeki araştırmalara hız verilmesi gerektiği savunulmuştu (b. Uzkut, 1977). Aradan geçen zaman içinde, yapılan yeni araştırmalarla bu yargı daha da kuvvetlenmiş ve Boğazların bu açıdan büyük bir enerji kaynağı olabileceği yargısı hemen hemen kesinlik kazanmıştır. Nitekim,

- İstanbul Boğazı'ndan üstteki akıntı yoluyla mevsime göre saniyede 6100 - 12600 m³ su Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır (Möller, 1928 ve Gunnerson ve özturgut, 1974). Bu ise günde Ortalama 800 milyon, yılda 300 milyar m³ su demektir.

- Doğal olarak gerçekleşen bu olay, akıntı hızını yer yer saatte 13 km'ye çıkarmaktadır (b. Gunnerson ve özturgut, 1974).

- Bu akıntı yoluyla Karadeniz'den Marmara Denizi'ne geçen deniz suyunda 5,9 - 7,0 ppb gibi tüm denizlerin en yüksek uranyum derişimini simgeleyen bir

Tablo No. 11: Günlük kapasitesi 1,4 t uranyum olan bir tesisteki 1 kg uranyumun maliyeti (ABD Dolan olarak

Maliyet Kaynağı	Değer	Pay (%)
Boru, pompa, baraj, vs. yapımı	202	30,0
Titanoksidhidrat kaybı	150	22,3
Fabrika inşaatı	90	13,3
Deniz suyu temizleme işlemi	62	9,2
Buhar	57	8,5
Karbon Dioksit Kayıpları	55	8,2
Amonyak Kaybı	33	4,9
Titanoksidhidrat için yatırım	9	1,4
Enerji ve personel	9	1,4
İyon değiştiriciler	4	0,4
Yıkama suyu	2	0,3
TOPLAM	673	99,9

1 kg uranyumun bugünkü fiyatı yaklaşık 93,0 Dolar

Kaynak: Harrington ve Diğerleri (1974)

Tablo No. 12: Titanyum oksihidratla çalışan ve gel-git enerjisinden yararlanan bir uranyum elde etme tesisindeki enerji bilançosu

Bölüm	Enerji eşdeğeri/t uranyum milyon kilovat saat
Sermaye	0,51
Adsorber	0,083
Reaktifler	3,9
Pompalama	0,017
Toplam	4,51

11 uranyumun enerji eşdeğeri 72. 10

11 uranyumun enerji eşdeğeri 72:10⁶ kilovat saat

300 ppm U içeren uranyum cevherinde« uranyum elde etmek için gerekli enerji 5,01 . fO* kilovat saat

Kaynak: Taylor ve Walford (1975)
Nicholson (1976)

değerde uranyum bulunmaktadır (b. Degens, 1977). Bu yolla, günde boğazlardan ortalama 5,6 t, yılda da yaklaşık 2000 t uranyum Marmara'ya geçmektedir. Bu ise enerji eşdeğeri olarak 140 milyar kilovatsaat enerji demektir ki, toplam Türkiye enerji üretiminin 5 misline yakındır.

- öte yandan, akıntı içinde, yüksek uranyum derişimine karşın adsorpsiyon olayında titanyum oksihidratın uranyum adsorpsiyon yeteneğini önemli oranda indirgeyen Ca ve Mg derişimleri, normal deniz suyu ortalamasının yarısı kadardır (Keen, 1968). Muhtemel bir deniz suyundan uranyum elde etme tesisi için bu olgu, büyük bir avantaj olarak değerlendirilmelidir.

- Akıntı suyu içindeki uranyum derişiminin normal deniz suyunun 2 mislinden fazla olması, birim uranyum üretimi başına teknolojik işlemde geçen gereken deniz suyu miktarını en az yarı yarıya azalttığı gibi, en önemli maliyet unsurlarından biri olan titanyum oksihidrat kaybını da önemli oranda düşürecektir.

Bu olgular ışığında ve Tablo-11 ve Şekil-9 da belirtilen veriler İstanbul Bo-

gazı koşullarına uyarlanmış ve elde edilen maliyet ögeleri Tablo-13'de sunulmuştur. Buna göre, sabit yatırım masrafları hariç 1 kg uranyumun maliyeti 72 dolar olmaktadır. Sabit yatırım masrafları konusunda herhangi bir yorumda bulunmak mümkün değildir. Ancak bu değer ne olursa olsun, Boğazlarda geçen deniz suyu-na dayalı uranyum kaynağının rezervinin sonsuz olduğu ve bu nedenle amortismanın da hemen hemen sıfır kabul edilebileceği düşünülürse, ilk yatırım finansmanı dışında büyük bir sorun olmadığı ortaya çıkar.

Tablo No. 13: İstanbul Boğazında Kurulması düşünülen uranyum elde etme tesisinin beklenen teknolojik nitelikleri

Günlük Kapasitesi	: 1,41 uranyum
Özütlenecek deniz suyu miktarı	: 280 milyon m ³ /gün
Gerekli adsorpsiyon yüzeyi	: 10 ⁶ m ²
Adsorpsiyon havuz sayısı	: 60
Toplam havuz hacmi	: 4,2.10 ⁵ m ³
Havuzdaki deniz suyu akıntı hızı	: 27 m/saat
Titanyum oksihidrat başlangıç miktarı	: 7,2.10 ⁴ t
Adsorpsiyon süresi	: 4gün
Yıkama ve elüasyon	: 1 gün
Beklenen titan kaybı	: 3,5 kg Ti/kg U
Verimlilik	: %80
Deniz suyundaki uranyum derişimi	: 6 ppb

1 kg uranyumun beklenen maliyeti

ABD Doları

Titanyum oksihidrat kaybı	28,0
Temizleme	11,0
Buhar	10,0
Amonyak kaybı	16,5
İyon değiştirici	2,0
Enerji ve personel	4,5
TOPLAM	72,0

Not: Sabit yatırım giderleri hariç tutulmuştur.

1 kg uranyumun bugünkü fiyatı 93 ABD Doları

Bu açıdan değerlendirilirse, Boğazlar, "yenilenebilir" tükenmeyen bir enerji kaynağıdır ve kesinlikle değerlendirme yoluna gidilmelidir.

Kuşkusuz bu tür bir kaynağın değerlendirilmesi, başta çevre sorunu olmak üzere çok çeşitli ve karmaşık sorunlar yaratacaktır. Bunların başında uygun yer seçimi gelmektedir. Ancak sorunlar ne kadar karmaşık olursa olsun, Uzkut (1978) tarafından da belirtildiği gibi, Türkiye'nin gelecekteki enerji gereksinimi açısından başka alternatifi yok gibidir.

Türkiye için küçük de olsa başka bir tükenmeyen uranyum kaynağı da Demirköprü Barajıdır. Bilindiği gibi, Türkiye'nin en büyük ve en önemli uranyum yatak ve anomalileri, Gördes, Demirci, Selendi ve Kula arasında kalan yörede ve Demirköprü Barajı'nın su toplama havzası içinde bulunmaktadır. Uranyumun yer kabuğunun en mobil elementlerinden biri olduğu ve bu yöredeki uranyum birikimlerini yıkayan yerüstü sularının bu barajın toplanma havzası içinde birikeceği olgularından hareket ederek, Demirköprü Barajı'nın çıkış sularından numune alınmış ve MTA Enstitüsü Laboratuvarlarında flüorimetrik yöntemle analize tabi tutulmuştur. Nitekim, beklendiği gibi, suda oldukça yüksek bir 15 ppb'lik bir uranyum derişimi saptanmıştır. Demirköprü Barajı'nın yılda ortalama 700 milyon m³ su boşalttığı (DSİ Genel Müdürlüğü'nden Mayıs 1978 de alınan bilgi) düşünülürse, Demirköprü Barajı yoluyla % 80'lik bir verimle günde 24 kg, yılda 8,7 t uranyum elde etmek mümkün olacaktır. Bu ise enerji eşdeğeri olarak barajdan elde edilen hidrolik enerjiden daha fazladır.

Denizden uranyum elde etmek için başka bir olanak da, alglerdir. Ayrıntısı daha önce sunulan (b. Tablo -10), bu yöntemle özellikle Karadeniz ve Marmara Denizinde oldukça başarılı sonuçların elde edilebileceğini şimdiden söylemek mümkündür. Bu yargıda en büyük etken, her iki denizin suyundaki normal okyanus suyuna nazaran 2 mislinden fazla olan uranyum derişimidir. Ortalama 6 ppb'lik değer esas alınrsa, Karadeniz veya Marmara Denizi'nin uygun yörelerinde yetiştirilecek ve toplam yüzeyi 2,5 km² olan bir alg kolonisinden günde 1 t uranyum üretilebilecektir. Bu yolla ayrıca termik yolla da enerji üretimi mümkün olabilecektir. Ancak bu tür bir koloninin Karadeniz veya Marmara Denizi'nin akıntı hızı en uygun bir yöresinde yapılması zorunluluğu vardır. Kesin ve somut sonuç, çok yönlü bir araştırma ve deneme çalışmaları sonucunda ortaya çıkacaktır.

Türkiye için deniz suyundan uranyum üretimi de kurulması düşünülen nükleer enerji santrali ile ilgilidir. Bilindiği gibi, bu tür bir santral Silifke'nin Akkuyu mevkiinde ve 600 megavatlık bir güçte kurulması amaçlanmış bulunmaktadır. Ancak, her nükleer santralde olduğu gibi, bu santralde ortaya çıkan en önemli sorun, soğutma suyu ve bu soğutma suyunun tekrar denize verilmesi ile ortaya çıkan muhtemel ekolojik değişimlerdir. Nitekim bu nedenle, adı geçen santralin

bu yörede kurulması gerek yöre halkı ve gerekse kamuoyunda tepki ile karşılanmıştır. Gerçekten de, bu tür bir santral için 3 saniyede 35 m³ soğutma suyuna gereksinim vardır ve bu su denizden alındıktan sonra sıcaklığı 6-10°C artırılarak tekrar denize geri verilecektir. Ancak bu geri verişin denizden alınacak ve sıcaklığı düşük taze deniz suyuyla karışmayacak bir biçimde gerçekleştirilmesi gerekir. Akkuyu gibi bir yörede bu bir sorun yaratacağı gibi Akdeniz'in su sıcaklığının zaten yüksek olması soğutma sonrası sıcaklık artışının da yüksek olmasına yol açacak ve dolayısıyla denizdeki biyolojik yaşamı da etkiler duruma gelecektir. Bu açıdan, nükleer santralin bu yörede kurulması sakıncalı olmaktadır.

Bu sakıncaları ortadan kaldıracak bir çözüm yolu da, bu santralin Çanak-kale veya İstanbul Boğazı'nın yakınına kurulması olacaktır. Hele bu santral, Şekil - 8'deki gibi soğutma suyundan uranyum elde etme tesisi ile bağlantılı bir biçimde kurulursa, tüm sakıncalar ortadan kalktığı gibi, şu avantajları da beraberinde getirecektir:

- Bu yolla, elektrik enerji üretiminde kullanılan uranyumun % 25'ine yakın bir bölümü elde edilmiş olacaktır. Bunda en önemli rolü, Marmara ve Karadeniz'in suyundaki Akdeniz'e nazaran 2 misli uranyum derişimi ve soğutma suyunun sıcaklığının yükseltilerek uranyum özütleme olayının kolaylaştırılması olacaktır.

- Sıcaklığı artırılmış uranyumu alınmış soğutma suyu, Boğazlarda ortalama 20 m. derinden Karadeniz'e akan ağır ve sıcaklığı yüksek suya verilecek ve herhangi bir ekolojik sorun yaratmadan açık denize ulaşabilecektir.

- Karadeniz'den gelen suyun sıcaklığı hemen hemen daima Akdeniz suyunu nazaran daha düşük olduğundan, soğutma işlemi daha kolay gerçekleştirilebilecektir.

Bu nedenle, Akkuyu yöresinde kurulması planlanan nükleer santralin Boğazlar yöresinde kurulması ile tüm çevre sorunları en iyi bir biçimde çözümlendiği gibi, uranyum tüketiminin 1/4'ü gibi önemli bir bölümü aynı işlem esnasında elde edilebilme olasılığı doğmaktadır.

5. SONUÇ

Deniz suyu, yerkabuğunun en büyük uranyum birikimidir. Bu birikimden endüstriyel çapta uranyum elde edilimi henüz örnekleri olmamasına rağmen pek yakın gelecekte mümkün olacak ve mevcut verilere göre bu yolla elde edilmiş uranyum, maliyet açısından diğer geleneksel uranyum kaynakları ile pekala rekabet edebilecektir. Bu kaynağın en büyük avantajı, güneş, hidrolik ve jeotermal enerji gibi "yenilebilir" nitelikte olmasıdır.

Deniz suyundan uranyum elde etme açısından Türkiye, Boğazlar sayesinde

ideal koşullara sahiptir. Bunda en önemli rolü, denizler içinde en yüksek uranyum derişimine sahip Karadeniz suyunun Boğazlar'da enerji yüklü hareket halinde olması oynamaktadır. Yapılan bir maliyet analizi, Boğazlar'da kurulacak bir tesisten, sabit yatırım masrafları hariç bugünkü uranyum fiyatının altında yılda yaklaşık 5001 uranyum üretilebileceğini ortaya koymaktadır.

Gene Karadeniz veya Marmara Denizi'nin akıntı hızı uygun yörelerinde yetiştirilecek alg kolonileri yoluyla da bu üretimi yılda 3001 daha artırmak olasılığı vardır. Böylece Boğazlar yoluyla, oldukça ekonomik koşullarla yılda 57 milyar kilovat saate eşdeğer (Türkiye üretiminin 2 misli) uranyum elde etmek mümkündür. Boğazlar yoluyla, yılda 2000 t uranyumun Akdeniz'e ulaştığı düşünülürse, kurulacak ek tesislerle bu miktar daha da artırılabilir.

Az da olsa Türkiye'de "yenilenebilir" başka bir uranyum kaynağı da, Demirköprü Barajı'dır. Kurulacak küçük çaptaki bir tesisle yılda 600 milyon kilovatsaate eşdeğer 8,71 uranyum üretimi mümkün görünmektedir.

Bu arada, Akdeniz kıyısında Akkuyu'da kurulması düşünülen nükleer santralin yer seçimine de değinilmiş ve bu santralin Boğazlar yakınına kurulması ile soğutma suyundan ekonomik olarak uranyum üretilebileceği ve aynı zamanda soğutma suyu ile ilgili tüm çevre sorunlarının çözümlenebileceği vurgulanmıştır.

6. BİBLİYOGRAFYA

- G.W.Baln (1959): US Patent Nr. 2S85258.
V.P. Barannik, V.A.Zhorov, A.A. Bezbodov, A.G. Koblyanskaya ve T.M. Abakumova (1975): Dopov. Akad. Nauk Ukr. RSR.Ser. B,S. 771.
E.Bayer ve H.Fiedler (1960): Angew. Chem., 72, S. 921.
R.V. Davles, J.Kennedy, J.W.A. Peckett, N.K. Robinson ve R.J.W. Streston (1965): AERE - R - 5024 No.lu rapor.
E.T. Degens (1977): Nature, vol. 269, Oct., S. 566.
E. Gaertner (1977): Braunkohle, 1/2, S. 1.
E.D. Goldberg (1957): Geol. Soc. Amer. Mem., 67, 1, S. 345.
C.G. Gunnerson ve E. özturgut (1974): E.T. Degens ve Ross, "The Black Sea—Geology, chemistry and Biology", S. 99.
C.P. Halgh (1974): Central Electricity Generating Board, Symposium on Long-term Studies, CERT, 24 Ekim 1974.
F.E. Harrington, R.Salmon, W.E. Unger, K.B. Brown, C.F. Coleman ve D.J. Crouse (1974):ORNL-TM-757 numaralı ve Kasım 1974 tarihli rapor.
E.A. Heide, K.Wagener, M.Paschke ve M.Wald (1975): Naturwiss., 60, S. 431.
IAEAve OECD (1975): Uranium resources, production and demand Including other nuclear fuel cycle data. A Joint report, Aralık 1975).
Japan Atomic Industrial Forum (1975): Atoms in Japan, Janauar 1975.
E.Jude ve N.Fratila (1974): Proc. Int. Miner. Procès., 10 th, ed. M.J. Jones, Inst. Min. Metall., London.
A.V. Kasyanov, A.A. Bezbodov, V.A. Zhorov ve A.G. Kbylyanskaya (1975): Radiokhimiya, 17, S. 477.
N.J. Keen (1968): J. Brit. Nucl. Energy Soc, 7, S. 178.
N.J. Keen (1970): Indian East. Engl., 112, S. 337.
Y.S. Kim ve H. Zeitlin (1971 a):Chem, Commun., 13, S. 672.

Y.S. Kim ve H. Zeitlin (1971 b): Anal. Chem., 43, S. 1390,
Y. Koyonaka(1970):J. Nucl. Sel. Techn., 7, 5.426.
O. Lal, J.R. Arnold ve B.L.K. Somayajulu (1964):Geochim. Cosmochim. Acta, 28, S. 1111.
G. Leung, Y.S. Kim ve H. Zeitlin (1972): Anal. Chlm. Acta, 60, 229.
L. Möller (1928): Veroff. Inst. Meereskunde, Uniö. Berlin. Neue Folge A, H. 18.
R.L.R. Nicholson (1976): Report of the working party on extraction of uranium from seawater.
A. Niimiya (1974): 7400 numaralı Rapor, S. 648.
A. Niimiya, K. Sugasaki ve A. Fujii (1971) : Kogyo Kagaku Zasshi, 74, S. 1486.
N.Ogata (1968): Nippon Gen. Gakkishi, 10, S. 672.
N. Ogata (1971) : Nippon Kalsul Gakkai-Shi, 24, S. 197.
N. Ogata ve H. Kakihana (1969):Nihon Gen. Gakkai-Shi, 11, S. 469. Ozean und Technik, Ocak 1975.
H.J. Riedel (1970): Kerntechnik 12, S. 16.
A.J. Ryabinin, E.A. Lazerava ve O.A. Doroshenko (1973): Radlokhimlya, 15, S. 437.
K. Schwochau, L. Asthelmer, H.J. Schenk ve J. Schmitz (1977): Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jül-1415 No.lu rapor, 71 Sayfa.
F. Sebba (1962): Ion flotation, Elsevier, Amsterdam.
K. Sekine (1975):Microchim. Acta, S. 313.
R. Spence (1968):Talanta, 15, S. 1307.
N. Takai ve T. Yamabe (1971): Mizu Shori Gijutsu, 12, S. 3.
K. Taylor ve F.J. Walford (1975): Programmes Analysis Unit, Shilton, Didcot, Oxon, Pau R14/74 No.lu rapor.
M. Timm (1975) : Atomic Energy Rev., 13, S. 695.
I. Uzkut (1977): Maden Mühendisleri Odası, Türkiye Bilimsel ve Teknik 5. Kongresi, Ankara 10 S.,
i. Uzkut (1978): Yeryuvarı ve insan. Mayıs 1978.
K.H. Wedelpohl (1967) : Sammlung Göschel, Bd. 1224a, b ve c, 220 s.
C.L. Wilson (1977): Energy: Global prospects 1985-2000, McGraw-Hill, New York, 291 S.
T. Yamabe ve N. Takai (1970) : Nippon Kalsul Gakkai-Shi, 24, S. 16.