



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

URANYUM

SEMA ZARARSIZ

TEKNOLOJİ DAİRESİ

EKİM 2005

İÇİNDEKİLER

1.GENEL BİLGİLER	4
1.1. MALZEME ÖZELLİKLERİ	4
1.2. MİNERALLERİ	4
1.3.KULLANIM ALANLARI	6
2.DÜNYADA URANYUM	7
2.1.REZERVLER	7
2.2.DÜNYA URANYUM KAYNAKLARI	8
2.3.DÜNYA URANYUM TÜKETİMİ	9
2.4.ÜRETİM	10
2.4.1. ÜRETİM YAPAN ÖNEMLİ KURULUŞLAR	14
2.5. FİYATLAR	14
2.5.1. Uranyum Fiyatları	15
2.5.2. Dönüştürme Fiyatları	15
2.5.3. Zenginleştirme Fiyatları	16
2.5.4 Uranyum Yakıt Fabrikasyon Fiyatı ve Yakıt Fabrikasyon Tesisleri	16
KAYNAKLAR	17

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 1: Uranyum Üretimi Genel Akış Şeması

Şekil 2: Kapalı ve Açık Uranyum Yakıt Çevrimi

TABLolarIN LİSTESİ

Tablo 1: OECD/NEA ve UAEA ya göre Uranyum Rezervlerinin Sınıflandırılması

Tablo 2: Dünya Uranyum Kaynakları

Tablo 3: Bazı uranyum mineralleri

Tablo 4: Dünyada Kurulu ve 2020 Yılına Kadar Kurulacak Reaktörlerin Yıllık Uranyum Gereksinimleri

Tablo 5: Kısa Dönem Uranyum Üretim Kapasitesi

Tablo 6: 2003 Yılı Kuruluşların Uranyum Üretimleri

Tablo 7: U_3O_8 Fiyatları

Tablo 8: Dönüştürme Yapan Kuruluş ve Kapasiteleri

Tablo 9: Zenginleştirme Yapan Kuruluş , Kapasite ve Teknolojileri

Tablo10:Yakıt Fabrikasyon Tesisleri

1.GENEL BİLGİLER

1.1. MALZEME ÖZELLİKLERİ

Atom numarası:	92
Simge:	U
Kütle numarası:	238.0289
Kaynama Noktası (°C):	3818
Erime Noktası (°C):	1132
Yoğunluk(gr/cm ³):	19.07
Buharlaştırma Isısı (kcal/g-atom):	110
Kaynaştırma (Füzyon) Isısı (kcal/g-atom):	2.7
Elektriksel iletkenlik(ohm ⁻¹):	0.034
Isıl iletkenlik (cal/(s/cm/°C)):	0.064
Özgül Isı Kapasitesi (cal/g):	0.028

Uranyum 1789 yılında Martin Klaproth tarafından bulunmuştur. Tabiatta hiçbir zaman serbest olarak bulunmayan uranyum, çeşitli elementlerle birleşerek uranyum minerallerini meydana getirir. En kolay oksijenle birleşir. Hemen her tip kayaç içerisinde ve sulara eser miktarda da olsa bulunabilir. Yeraltı su tablasının üstünde, satıh ve satha yakın yerlerdeki mevcut oksidasyon şartlarında +6 değerlikli uranyum içeren ikincil uranyum mineralleri kolayca eriyebilirler (sudaki pH değerinin artmasıyla) ve uranil iyonları halinde solüsyona geçerek yeraltı suları vasıtasıyla uzun mesafelere taşınırlar.

Taşıma sırasında uygun redüksiyon (indirgeme) şartlarıyla karşılaştıklarında +4 değerlikli uranyuma redüklenerek Uraninit ve Pitchblende (uranyum oksit içeren maden cevheri) halinde çökelir ve böylece uranyum yatakları oluşur.

1.2. MİNERALLERİ

Uranyum, doğada +6 ve +4 değerlikli olarak bulunur. +4 değerlikli olan uranyum mineralleri birincil uranyum mineralleri olup suda erimezler. Ancak uygun şartlarda +6 değerlikli uranyum içeren ve suda eriyen ikincil uranyum minerallerine dönüşürler.

Uranyum mineralleri Tablo-1 de verilmiştir.

Tablo-1: Bazı uranyum mineralleri [1]

Oksitler

Schoepit	2.UO ₃ .5H ₂ O
Uraninit	UO ₂
Uranosiferit	(BiO) (UO ₂) (OH) ₃

Karbonatlar

Andersonit	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{UO}_2)(\text{CO}_3) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Rutherfordin	$(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)$
Schroëckingerit	$\text{NaCa}_3(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)(\text{SO}_4)\text{F} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Sülfatlar

Johannit	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Uranopilit	$(\text{UO}_2)_6(\text{SO}_4)(\text{OH})_{10} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Zippeit	$2\text{UO}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Fosfatlar—Arsenatlar

Otünit	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8-12\text{H}_2\text{O}$
Arsenouranilit	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_4(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Metaotünit	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 6-8\text{H}_2\text{O}$
Torbernit	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Metatorbernit	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 6-8\text{H}_2\text{O}$
Metauranospinit	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Zeunerit	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Vanadatlar

Karnotit	$\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 1-3\text{H}_2\text{O}$
Tyuyamunit	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 7-11\text{H}_2\text{O}$

Silikatlar

Uranofan	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3)_2(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Betauranofan	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3)_2(\text{OH}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Coffinit	$\text{U}(\text{SiO}_4)_{1-4x}(\text{OH})_{4x}$
Boltvodit	$\text{K}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3)(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Niobatlar-Tantalatlar—Titanatlar

Betafit	$(U, Ca) (Nb, Ta, Ti)_3 O_9 \cdot n H_2O$
Brannerit	$U Ti_2O_6$
Pisekit	U, Ti, Th, nadir toprak niobat tantalat

Molibdatlar

Kalkuromolit	$Ca(UO_2)_3 (MoO_4)_3 (OH)_2 \cdot 11 H_2O$
Umohoit	$UO_2 (MoO_4) \cdot 4 H_2O$

1.3.KULLANIM ALANLARI

Yüzyıllar boyu camlara renk verici madde olarak kullanılmış olan uranyum, günümüzde yaygın olarak nükleer santrallerde enerji üretiminde kullanılmaktadır. Uranyum temel nükleer yakıt hammaddesidir. Doğadaki uranyumun binde yedisi (%0.71) bölünebilen (fisol) Uranyum-235 izotopu içerir. Doğal uranyumdan imal edilen yakıt ağır sulu (D_2O , döteryum hidrojenin bir izotopudur) reaktörlerde kullanılmakta iken, hafif sulu reaktörler ve gaz soğutmalı reaktörler için uranyumun, Uranyum-235 izotopu yönünden zenginleştirilmesi gerekmektedir.

Buna ek olarak, uranyumun zırh kaplamalarında ve büyük hava taşıtlarının kanatlarında ağırlık olarak da kullanımı vardır.

2.DÜNYADA URANYUM

2.1.REZERVLER

Dünyadaki nükleer enerji üretim programları paralelinde, nükleer hammadde potansiyeli ve yakıt çevrimleri konusundaki çalışmalar ve araştırmalar sürdürülmektedir. Nükleer gücün uzun süreli enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi, bu santrallerde yakıt olarak kullanılan ve stratejik bir madde olan uranyumun yeterince sağlanabilmesine bağlıdır.

Uranyum rezervleri, jeolojik yapılarına göre aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır;

Görünür Rezervler: Bilinen mineral yataklarında bulunan ve günümüz teknolojisi ile belirlenen üretim maliyet sınırları içinde elde edilebilir uranyumu ifade eder.

Muhtemel Rezervler (I): Görünür rezervlere ilaveten jeolojik yapısı nedeniyle iyi araştırılmış bölgelerin uzantılarında ve jeolojik sürekliliği belirlenmiş yataklarda bulunması beklenen uranyumu ifade eder.

Bilinen Rezervler: Görünür Rezervler ve Muhtemel Rezervler (I)'in toplamı olarak tanımlanır.

Muhtemel Rezervler (II): Muhtemel Rezervler (I)'e ilaveten mineralleşmenin olduğu bilinen yatakların bulunduğu bölgelerdeki veya iyi bilinen jeolojik eğilimlerde bulunması beklenen uranyumu ifade eder. Bu rezervlerin güvenilirliği Muhtemel Rezervler (I)'den daha azdır.

Mümkün Rezervler: Muhtemel Rezervler (II)'ye ek olarak dünyada bulunduğu kabul edilen fakat keşfedilmemiş rezervlerdir.

Diğer Bilinen Rezervler: Yukarıdaki tanımlara tam olarak uymayan rezervlerdir. Bu Rezervler, OECD/NEA ile Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından Tablo 2'de gösterildiği şekilde üretim maliyetlerinin ekonomik değerine ve elde edilebilirlik tahminlerindeki güvenilirliğe göre sınıflara ayrılmaktadır. Bu sınıflardaki rezervlerin üretim maliyetleri, çıkarma, taşıma, işletme, çevre ve atık yönetimi, üretim dışı ünitelerinin bakımı ve yeni üretim ünitelerinin eklenmesi ile amortisman ve vergilerin de dahil olduğu bütün harcamaları kapsar.

Tablo -2: OECD/NEA ve IAEA ya göre Uranyum Rezervlerinin Sınıflandırılması[2]

130-260 \$/kg U	Görünür Rezervler (a)	Muhtemel Rezervler(I) (b)	Muhtemel Rezervler(II) (c)	Mümkün Rezervler (d)	Ekonomik Değer Azalışı ↑
80-130 \$/kg U	Görünür Rezervler (a)	Muhtemel Rezervler (I) (b)	Muhtemel Rezervler (II) (c)	Mümkün Rezervler (d)	
80 \$/kg U 'a kadar	Görünür Rezervler (a)	Muhtemel Rezervler (I) (b)	Muhtemel Rezervler (II) (c)	Mümkün Rezervler (d)	
Tahmin Güvenilirliğindeki Azalış →					

(a) Görünür Rezervler (Reasonably Assured Resources)

(b) Muhtemel Rezervler (I) (Estimated Additional Resources (I))

(c) Muhtemel Rezervler (II) (Estimated Additional Resources (II))

(d) Mümkün Rezervler (Speculative Resources)

2.2.DÜNYA URANYUM KAYNAKLARI

Görünür Uranyum Kaynağı: 3 169 238 ton U

Muhtemel (1)Uranyum Kaynağı: 1 419 450 tonU

Muhtemel (2)Uranyum Kaynağı: 2 254 500 tonU

Mümkün Uranyum Kaynağı :7539 300 ton U

Tablo-3: Dünya Uranyum Kaynakları (TonU) [2]

b: bilinmiyor

Ülkeler	Görünür Kaynaklar			Muhtemel Kaynaklar I		
	80 \$/kgU altı -rezerv-	80-130 \$/kgU arası	130\$/kgU altında Toplam	80 \$/kgU altı	80-130 \$/kgU arası	130\$/kgU altında Toplam
Arjantin	4880	2200	7080	2860	5700	8560
Avustralya	702 000	33000	735000	287000	36000	323000
Cezayir	19500	b	19500	-	-	-
Çin	35060	0	35060	14690	0	14690
Brezilya	86190	0	86190	57140	0	57140
Kanada	333834	0	333834	104710	0	104710
Bulgaristan	1665	4205	5870	6300	0	6300
Finlandiya	0	1125	1125	-	-	-
Fransa	-	-	-	0	9510	9510
Gabon	0	4830	4830	0	1000	1000
G. Afrika Cum.	231664	83666	315330	0	2550	2550
Yunanistan	1000	0	1000	6 000	0	6 000
Almanya	0	3000	3000	0	4000	4000
Endonezya	320	4300	4620	0	1155	1155
Hindistan	b	b	40980	b	b	18995
İtalya	4 800	0	4800	-	1300	1300
Danimarka	0	20250	20250	0	12000	12000
Japonya	b	b	6600	-	-	-
Meksika	0	1275	1275	0	525	525
Namibya	139297	31235	170532	73650	13525	87085
Nijerya	102227	0	102227	125377	0	125377
Peru	1215	0	1215	1265	0	1265
Portekiz	7470	0	7470	1450	0	1450
Çek Cum.	830	0	830	90	0	90
Kazakistan	384625	145835	530460	237780	79380	317160
Malavi	8775	0	8775	-	-	-
Mongolia	46200	0	46200	15750	0	15750
Romanya	0	3325	3325	0	03608	03608
Şili	b	b	560	b	b	885
Slovenya	2 200	-	2 200	5 000	5000	10000
İran	0	370	370	0	700	700
Somali	0	4950	4950	0	2550	2550
Rusya Fed.	124050	18970	143020	34260	86960	121220
Ukranya	34630	30030	64660	4735	6675	11410
İsveç	0	4 000	4 000	0	6 000	6 000
Orta Afrika	6000	6000	12000	-	-	-
İspanya	2 460	2 465	4 925	0	6 380	6 380
ABD	102000	243000	345000	-	-	-
Tayland	0	5	5	0	5	5
Türkiye	9130	-	9130	-	-	-
Özbekistan	61510	18110	79620	31760	7080	38840
Vietnam	-	-	1005	820	4615	5435
Zaire(Kongo)	1350	0	1350	1275	0	1275
Zimbabve	1350	0	1350	-	-	-

Toplam	2458152	661941	3169238	1078762	320868	1419450
---------------	----------------	---------------	----------------	----------------	---------------	----------------

2.3.DÜNYA URANYUM TÜKETİMİ

Ülkelerin kurulu reaktörlerinde tükettikleri ve 2020'ye kadar kurmayı planladıkları reaktörlerinde uranyum gereksinim projeksiyonları Tablo-4'te verilmiştir.

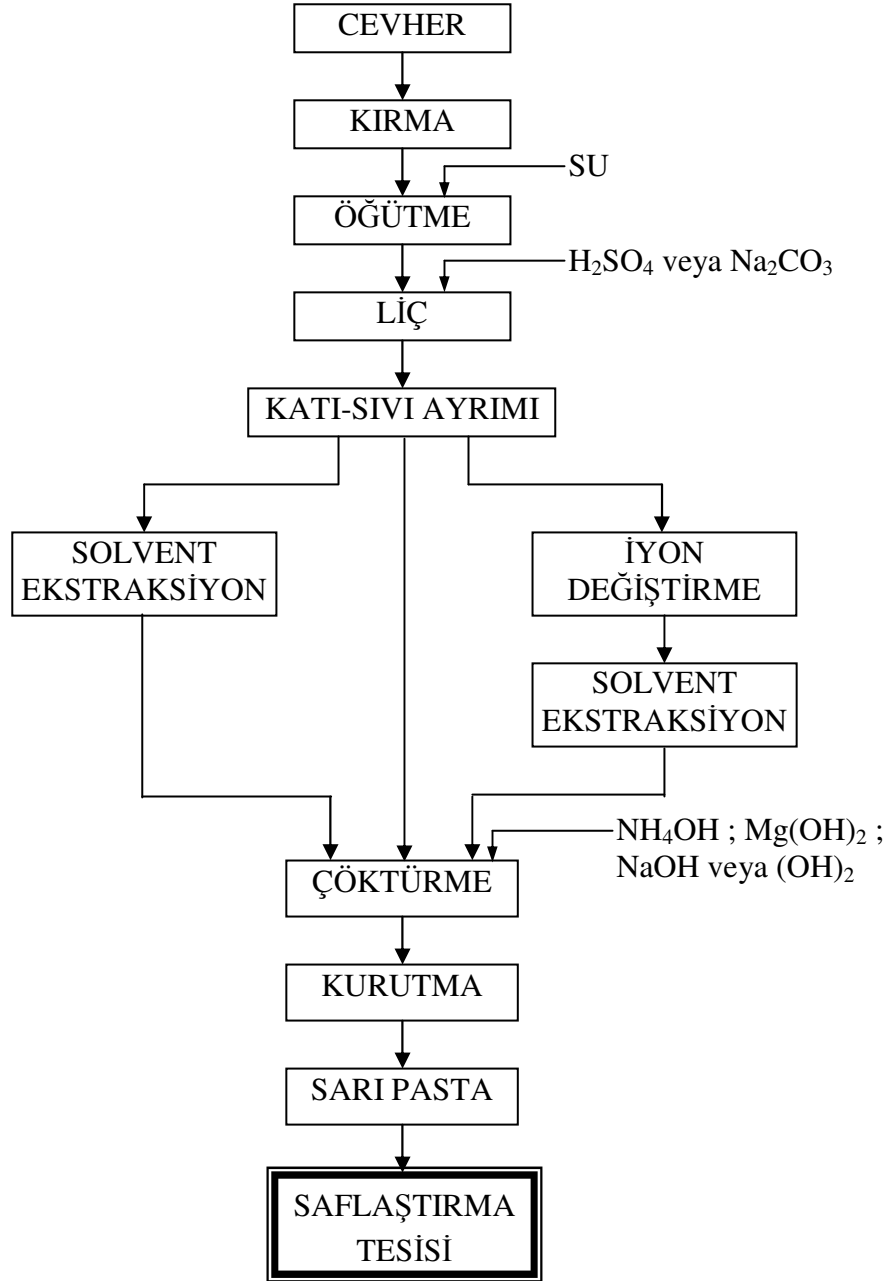
Tablo-4: Dünyada Kurulu ve 2020 Yılına Kadar Kurulacak Reaktörlerin Yıllık Uranyum Gereksinimleri [2]

ÜLKELER	2002	2003	2005	2010		2015		2020	
				Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
ABD	22700	22800	21300	18900	18900	24500	24500	19500	20140
ALMANYA	3150	3200	2950	2600	2600	1500	1700	600	600
ARJANTİN	120	120	120	95	250	95	205	60	205
BELÇİKA	1150	1150	1150	1150	1150	800	1150	800	1150
BREZİLYA	450	450	1040	470	810	470	810	810	810
BULGARİSTAN	840	840	840	450	840	450	840	450	550
ÇEK CUM.	745	745	690	690	700	700	710	345	710
ÇİN	790	1100	1570	2290	2650	3240	4140	3960	5760
BANGLADEŞ	0	0	0	0	0	0	0	0	20
ENDONEZYA	0	0	0	0	0	0	155	0	155
ERMENİSTAN	70	90	90	0	90	0	90	90	180
FİNLANDİYA	500	500	500	500	800	700	800	700	800
FRANSA	8570	8570	8570	8170	8170	7720	7720	7720	8040
GÜN. AF. CUM.	280	280	280	280	300	280	400	280	500
HİNDİSTAN	430	465	505	880	880	880	2140	2770	2770
HOLLANDA	95	95	95	95	95	0	95	0	95
İNGİLTERE	1930	1760	1500	1700	1700	800	1000	400	500
İRAN	0	0	180	180	180	180	640	180	640
İSPANYA	1470	1500	1120	1560	1560	1560	1560	1400	1680
İSVEÇ	1600	1600	1600	1400	1600	1400	1600	1400	1600
İSVİÇRE	360	375	265	585	585	390	585	390	585
JAPONYA	7840	8380	10850	11820	11820	12870	13040	12870	14270
KANADA	1400	1700	2000	2000	2300	2000	2300	2000	2300
KAZAKİSTAN	0	0	0	0	0	0	190	190	190
KORE CUM.	2780	2780	3230	4120	4120	4770	4900	4770	6040
KORE, DPR	0	0	0	0	0	0	320	160	320
KÜBA	0	0	0	0	0	0	0	0	50
LİTVANYA	360	310	100	0	180	0	200	0	200
MACARİSTAN	370	370	370	370	370	370	370	370	370
MEKSİKA	330	230	360	180	180	180	180	360	360
MISIR	0	0	0	0	0	0	100	0	100
PAKİSTAN	65	65	65	110	110	90	90	200	300
ROMANYA	100	100	100	200	200	200	200	300	300
RUSYA	4600	5100	5300	5500	5500	6800	7200	7300	8600
SLOVAK CUM.	500	500	450	300	460	300	460	300	460
SLOVENYA	190	230	230	230	250	230	250	230	250
TÜRKİYE	0	0	0	0	0	0	0	240	240

UKRAYNA	2200	2200	2350	2500	2650	1950	2600	950	2600
VİETNAM	0	0	0	0	0	0	0	120	120
TOPLAM	66815	68435	70600	70605	73280	76705	84410	73495	86070

2.4.ÜRETİM

Dünyada uranyum cevherleri Liç (Leach) ve takiben solvent ekstraksiyon (SX) yöntemleri uygulanarak işlenmekte olup genel akış şeması Şekil -1'de verilmiştir [3]



Şekil 1: Uranyum Üretimi Genel Akış Şeması

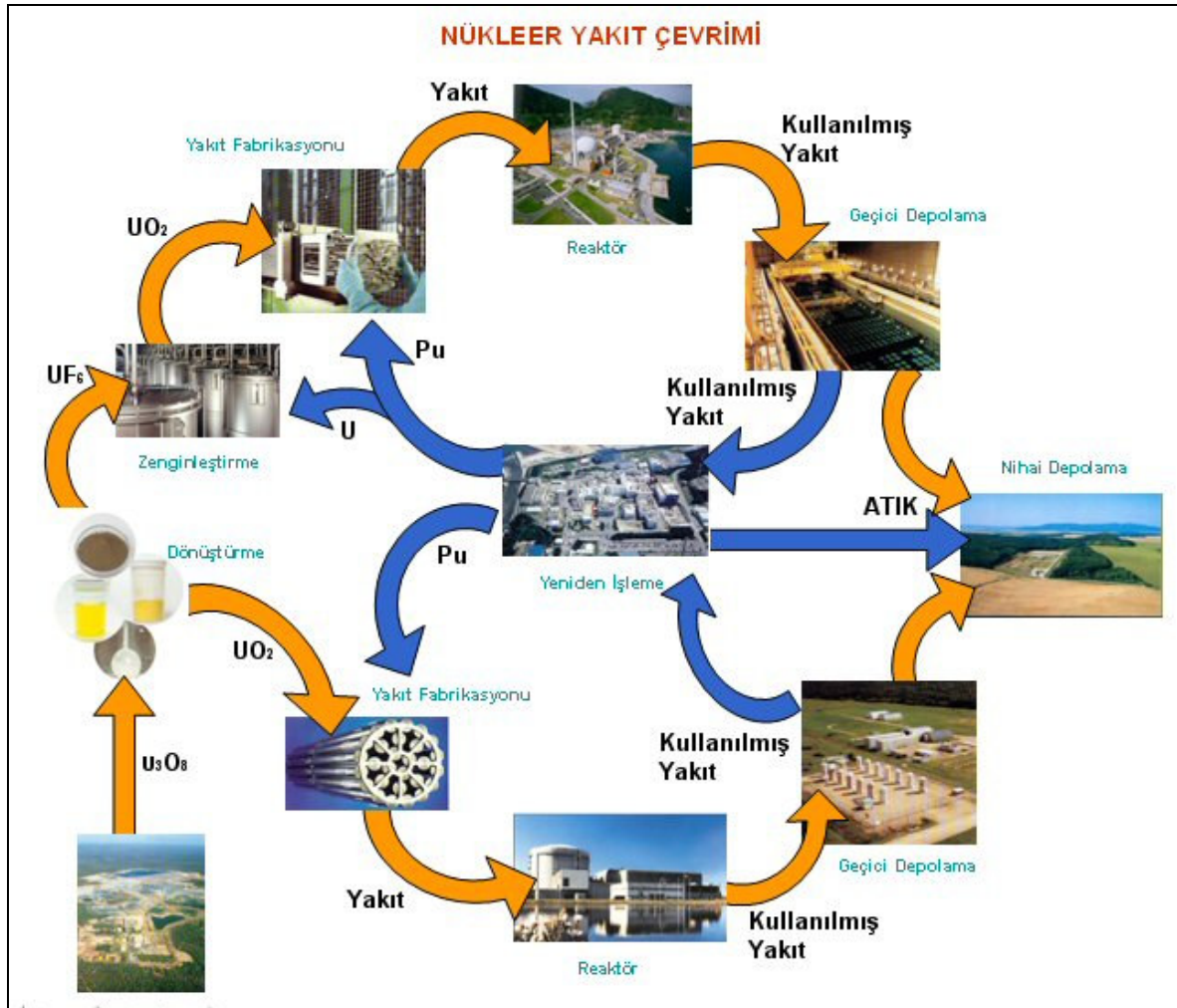
Uranyum üretimi, nükleer reaktörlerin gereksinimleri paralelinde değişiklik göstermekte ve bu gereksinimin bir kısmı önceki yılların nükleer hammadde stoklarından karşılanmaktadır.

Nükleer enerjinin temel yakıtı olan uranyum, ağır sulu reaktörlerde kullanıldığında zenginleştirme işlemine gerek duyulmaz, ancak hafif sulu reaktörlerde fisil izotop olan U-235 miktarı arttırılarak yani uranyum U-235 bakımından zenginleştirilerek yakıt olarak kullanılır.

Halen dünyada kullanılmakta olan uranyum madenleri, U_3O_8 cinsinden %0.1–%1 oranında zengindir. Bu sebeple çıkarılan maden yerinde bir ön yoğunlaştırma işlemine tabi tutulur. Ön yoğunlaştırma sonucu %50 ile %70 U_3O_8 ’den oluşan uranil nitrat elde edilir, TBP (tri-n-butyl phosphate) kullanılarak solvent ekstraksiyonu ile saflaştırılır ve nükleer saflıkta uranyum bileşiği olarak çöktürülür. Çökelti kavrularak UO_3 elde edilir. UO_3 kullanım amacına göre UO_2 veya UF_6 ’ya dönüştürülür. UF_6 ’ya dönüştürmenin amacı hafif sulu reaktörlerde kullanılan zenginleştirilmiş uranyum yakıtı elde etmektir. Doğal uranyumdaki U^{235} oranını yaklaşık %0.71’den daha yüksek oranlara çıkarmak için zenginleştirme işlemi gerekmektedir.

Uranyum Yakıt Çevrim Seçenekleri

Nükleer enerji kullanan ülkelerin değişik teknoloji ve politika tercihleri, değişik nükleer yakıt çevrimlerini ortaya çıkarmıştır. Günümüzde uranyum yakıt çevriminde açık ve kapalı çevrim olarak adlandırılan iki seçenek mevcuttur (Şekil-2). Açık çevrimde, madenden alınan uranyum işlenip reaktörde kullanıldıktan sonra ortaya çıkan kullanılmış yakıt doğrudan gömülmektedir. Kapalı çevrimde ise reaktörden çıkan kullanılmış yakıt yeniden işlenerek içinde bulunan kullanılabilir uranyum ve plütonyum gibi maddeler ayrıştırılmakta ve bunlar yeniden enerji üretiminde yakıt olarak kullanılmaktadır. Kaynakların verimli kullanımı açısından kapalı çevrim cazip görülmektedir ancak kullanılmış yakıt içindeki uranyum ve plütonyumun tekrar kazanılması sürecinde kullanılacak olan kimyasalların radyoaktif hale gelmeleri ve radyoaktif madde miktarında artışa sebep olmaları dezavantaj oluşturmaktadır. Yüksek radyoaktivite sebebiyle yeniden işleme tesisleri de reaktörler gibi özel güvenlik önlemleri gerektirir.



Şekil 2: Kapalı ve Açık Yakıt Çevrimi

Uranyum üreticisi ülkelerin kurulu ve 2020 yılına kadar kurmayı planladıkları uranyum üretim kapasiteleri Tablo-5'de verilmiştir.

Tablo-5: Kısa Dönem Uranyum Üretim Kapasitesi (ton U/yıl)[2]

	2003		2004		2010		2015		2020	
ÜLKELER	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Arjantin	0	0	120	120	500	500	500	500	b	b
Avustralya	9400	9400	9400	10300	8600	12000	8600	12000	8600	12000
Brezilya	340	340	340	340	850	1100	1100	1100	1100	1100
Kanada	14890	14890	12885	12885	7200	16425	7200	16425	7200	14125
Çin*(a)	850	850	850	850	1050	1560	1050	1560	1050	1560
Çek Cum.	440	440	440	440	84	84	87	87	80	80
Hindistan*(b)(c)	230	230	230	230	510	880	510	1560	510	2890
İran*(c)	0	0	0	0	180	410	180	410	180	410
Kazakistan	3315	3315	3500	3500	4000	4500	4000	4500	4000	4500
Mongolya(d)	0	0	0	0	150	1100	150	1100	150	1100
Namibya	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Nijerya	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800
Romanya*(c)	100	100	100	100	200	300	200	300	300	400
Pakistan *(c)	65	65	65	65	65	110	65	200	65	250
Rusya	3060	3060	3200	3200	4700	4700	4700	4700	4700	4700
G. Afrika(d)	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270
Ukrayna	1000	1000	1000	1000	1500	1500	2000	2000	2000	2000
ABD	2200	2800	2500	3600	1900	7200	1200	5200	1000	5000
Özbekistan	2300	2300	2300	2300	2500	2500	3000	3000	3000	3000
TOPLAM	47260	47860	46000	48000	43059	63939	43612	63712	43005	62185

A: Kurulu ve kurulmakta olan tesisler.

B: Kurulu, kurulmakta olan, planlanmış ve muhtemel tesisler.

b: bilinmiyor

*:Sekreteryah tahmini

(a) Çin 'in kısa dönem ihtiyaçlarını belirten rapor esas alınmıştır.

(b) Maliyeti kg U başına 130 \$ a kadar

(c) Ülke ihtiyaçlarına göre üretim planları.

(d) Maliyeti kg U başına 40 \$ a kadar

2.4.1. ÜRETİM YAPAN ÖNEMLİ KURULUŞLAR

Dünyada 2003 yılında uranyum üreten kuruluşların üretim miktarları Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo- 5: 2003 Yılı Kuruluşların Uranyum Üretimleri (ton U) [4]

Kuruluş	ton U
Cogema	6881
Cameco	6113
ERA	3804
KazAtomProm	2800
Priargunsky	2700
WMC	2451
Rossing	2333
Navoi	1860

2.5. FİYATLAR

Dünya piyasasındaki uranyum fiyatları, piyasadan temin edilme şekline bağlı olarak farklılıklar göstermektedir [2]. Bunlar;

- ❑ Uzun vadede bir kontrata bağlı olarak yapılan anlaşmalarda belirlenen uranyum fiyatları,
 - ❑ Üretici ve tüketicilerin ellerindeki stokları dengelemek için yaptığı alım satımlardaki market fiyatları,
- olmak üzere iki şekildedir.

Uranyum fiyatlarında, ticari öneminin anlaşıldığı 1960'lı yılların sonlarından günümüze kadarki bazı dönemlerde değişiklikler olmuştur. 1972 yılında stokların oluşması nedeniyle 13 \$ /kg U'nun altına düşen uranyum fiyatları 1974 yılı başlarında nükleer enerjiye ağırlık verilmesine paralel olarak artmış ve 1978 yılında 115 \$/kg U'ya yükselmiştir. 1979 yılı ortalarından itibaren düşmeye başlayan fiyatlar, 1984 yılı ortalarında 42 \$/kg U civarında olmuştur. 1986 yılında 70 \$/kg U'ya yükselen fiyatlar daha sonra tekrar düşmeye başlamıştır. 90'lı yılların başlarında 25 \$/kgU'ya kadar düşen fiyatlar daha sonraki yıllarda da düşüşe devam etmiş, arada görülen hafif yükseliş ve düşüşlerden sonra 2003 yılından itibaren artarak Mayıs 2005'de 75,4 \$/kgU, Ekim 2005'de ise 81,25 \$/kgU gibi yüksek bir değere ulaşmıştır. 1990 – Ekim 2005 yılları arasında uranyum fiyatlarındaki değişimler Tablo 7'de verilmektedir.

2.5.1. Uranyum Fiyatları

Tablo 7: Uranyum Fiyatları [5]

YIL	\$/ lb U ₃ O ₈	\$ / kgU
1990	9,65	25
1991	8,75	22,75
1992	10	26
1993	9,9	25,75
1994	9,6	24,96
1995	12,75	33,15
1996	14,70	38,22
1997	12,15	33,15
1998	8,75	22,75
1999	9,60	24,96
2000	7,10	18,46
2001	9,60	24,96
2002	10,20	26,5
2003	14,50	37,7
2004	20,70	53,82
2005 Mayıs	29	75,4
2005 Ekim	31,25	81,25

2.5.2. Dönüştürme Fiyatları

Sektördeki dönüştürme fiyatı ortalama 11.50 \$/kgU, UF₆'ya dönüştürme fiyatı ise 93.15\$/kgU civarındadır.

Bu alanda hizmet veren kuruluşlar Tablo-8' de verilmiştir.

Tablo-8: Dönüştürme Yapan Kuruluşlar ve Kapasiteleri [5]

ÜLKE/KURULUŞ	KAPASİTE Milyon kgU (Ekim 2005)
 BNFL (UK)	6.0
 Cameco (Kanada)	12.5
 CNNC (Çin)	1.0

 Comurhex (Fransa)	14.0
 ConverDyn (ABD)	14.0
 IPEN (Brezilya)	0.1
 Minatom (Rusya)	22.0
Toplam	69.6

2.5.3. Zenginleştirme Fiyatları

Sektörde zenginleştirme fiyatları yaklaşık olarak ortalama 114 \$/SWU'dır.(SWU: Separative Work Unit- ayırıştırma birimidir)

Bu alanda hizmet veren kuruluşlar Tablo-9' da verilmiştir.

Tablo-9: Zenginleştirme Yapan Kuruluş , Kapasite ve Teknolojileri [5]

ÜLKE/KURULUŞ	KAPASİTE Milyon kgU (Ekim 2005)	Teknoloji
 CNNC (Çin)	0.8	Gaz Diffüzyon&Santrifüj
 Eurodif (Fransa)	10.8	Gaz Diffüzyon
 JNC (Japonya)	0.9	Santrifüj
 Minatom (Rusya)	20.0	Santrifüj
 Urenco (Almanya)  Urenco (Hollanda)  Urenco (İngiltere)	7.4	Santrifüj
 USEC (ABD)	8.0	Gaz Diffüzyon
Toplam	47.9	

2.5.4 Uranyum Yakıt Fabrikasyon Fiyatı ve Yakıt Fabrikasyon Tesisleri

Sektördeki yakıt fabrikasyon fiyatı ortalama 250\$/kgU'dır.

Tipik bir hafif sulu reaktör için, 1 kg UO₂ yakıtının maliyeti (hammadde+dönüştürme+zenginleştirme+fabrikasyon) yaklaşık olarak 1000 \$ civarındadır.

Tablo-10: Yakıt Fabrikasyon Tesisleri [6]

ÜLKE	KURULUŞ	YER	YAKIT TİPİ*	KAPASİTE (t Ağır Metal/yıl)
Belçika	FBFC	Dessel	LWR	500
	Belgonuclear	Dessel	MOX-LWR	40
Brezilya	INB	Resende	LWR	500

Çin	CNNC	Yibin	LWR	100
Fransa	FBFC	Romans	LWR	800
	CISN	Veurey-Voroise	FBR	150
	COGEMA	Cadarache	LWR,FBR	40
	COGEMA	Marcoule-Melux	LWR	100
Almanya	ANF Gmbh	Lingen	LWR	650
Hindistan	DAE	Hyderabad	UO ₂ peleti	300
	DAE	Hyderabad	BWR	25
	DAE	Hyderabad	PHWR	300
	DAE	Trombay	PHWR	135
Japonya	MNF	Tokai	PWR	440
	NFI	Kumatori	PWR	284
	NFI	Tokai	BWR	200
	JNF	Kurihama	BWR	750
	JNC	Tokai	MOX-ATR	10
	JNFL	Rokkasho	MOX-FBR	5
Kore	KNFC	Yusung	PWR	400
Rusya	Mashino-Stronitelny	Elektrostal	UO ₂ peleti	800
	Mashino-Stronitelny	Elektrostal	LWR(VVER)	620
	TVEL	Novosibirsk	LWR(VVER)	1 000
	Minatom	Elektrostal	FBR	50
	Minatom	Chelyabinsk	MOX-FBR	60
İspanya	ENUSA	Juzbado	LWR	300
İsveç	ABB	Vasteras	LWR	600
İngiltere	BNFL	Springfields	LWR	330
	BNFL	Springfields	AGR	1300
	BNFL	Springfields	UO ₂ AGR	290
	BNFL	Springfields	MOX-LWR	128
Arjantin	CNEA	Ezeiza	PHWR	160
Kanada	KAERI	Kaeri	PHWR	400
ABD	ABB-CE	Hematite	LWR	450
	Westinghouse	Kolombiya	PWR	1 150
	FC Fuels	Lynchburg	PWR	400
	Framatome	Richland	LWR	700
	GE	Wilmington	BWR	1 200

*LWR: Hafif Sulu Reaktör, PHWR: Basıncılı Ağır Sulu Reaktör, PWR: Basıncılı Su Reaktör
BWR: Kaynar Sulu Reaktör, MOX: Karışık Oksitli Yakıt, FBR: Hızlı Üretken Reaktör
AGR: İleri Gaz Soğutmalı Reaktör.

KAYNAKLAR

- [1] Yılmaz, H; 1988, Uranyum ve Toryum Jeokimyası, MTA Eğitim Serisi No:29, Ankara
- [2] "Uranium 2003: Resources, Production and Demand", UAEA
- [3] "Uranium Extraction Technology A Joint Report", OECD Nuclear Energy Agency and The International Atomic Energy, 1983, Paris.
- [4] www.uic.com.au/nip41.htm
- [5] www.uxc.com

[6] Trends in the Nuclear Fuel Cycle, OECD 2001