



YENİ NESİL İLERİ REAKTÖR TASARIMLARI

Mehmet Hulusi Turgut*

*TAEK-ÇNAEM, Yarımburgaz Mah. Nükleer Araştırma Merkezi Yolu 34303 K. Çekmece-İstanbul

Dünyanın artan nüfusu ve teknolojik gelişmelerle büyüyen enerji ihtiyacı ve gittikçe azalan enerji kaynakları nükleer enerjiyi vazgeçilemeyen bir seçenek haline getirmiştir. Güneş, rüzgâr, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları ancak sınırlı yöresel ihtiyaçlara cevap verebilecek kapasitededir. Büyük çaptaki elektrik ihtiyacı için iyi bir çözüm olan çevre dostu nükleer enerji bu konudaki teknolojik gelişmeler ile uzun yılların deneyim birikimlerini birleştirerek daha da geliştirilmiş, maliyeti öncekilere göre düşük yeni sistemlere yönelmiştir. Yeni nesil reaktörlerin güvenlik ve güvenilirliğinin artırılması, bakımlarının kolaylaştırılması, çevreye uyumluluklarının mükemmel olması hedeflenmiştir. Çevre ve insanı korumanın yanı sıra, yapılan yatırımın ve mülkün korunması da göz önüne alınmıştır. Sistem ve donanım bazında standartlaştırılarak, aktif sistemler yerine pasifler kullanılarak, inşaat süresi kısaltılarak, kullanım ömrü uzatılarak ekonomik yönden fosil yakıtlı sistemlere göre çekici hale getirilmiştir. Önce mevcut sistemler geliştirilerek evrimsel tasarımlar ortaya çıkmış, daha sonra uzun vadeli çözüm olarak, daha da gelişmiş, 4. nesil olarak adlandırılan yeni devrimsel tasarımlara yönelinmiştir. Yeni nesil hızlı reaktörler ve ADS dönüştürücüler kullanılarak radyoaktif atık problemini en aza indirmek için, nükleer silâhların yayılmasına dirençli ileri yakıt çevrim teknolojileri üzerinde çalışmalara başlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yeni Nesil Reaktörler, İleri Yakıt Çevrimi, Radyoaktif Atıklar

* mehmet.turgut@taek.gov.tr

NEXT GENERATION ADVANCED NUCLEAR REACTOR DESIGNS

Growing energy demand by technological developments and the increase of the world population and gradually diminishing energy resources made nuclear power an indispensable option. The renewable energy sources like solar, wind and geothermal may be suited to meet some local needs. Environment friendly nuclear energy which is a suitable solution to large scale demands tends to develop highly economical, advanced next generation reactors by incorporating technological developments and years of operating experience. The enhancement of safety and reliability, facilitation of maintainability, impeccable compatibility with the environment are the goals of the new generation reactors. The protection of the investment and property is considered as well as the protection of the environment and mankind. They became economically attractive compared to fossil-fired units by the use of standart designs, replacing some active systems by passive, reducing construction time and increasing the operation lifetime. The evolutionary designs were introduced at first by ameliorating the conventional plants, than revolutionary systems which are denoted as generation IV were verged to meet future needs. The investigations on the advanced, proliferation resistant fuel cycle technologies were initiated to minimize the radioactive waste burden by using new generation fast reactors and ADS transmuters.

Keywords: Next Generation Reactors, Advanced Fuel Cycle, Radioactive Waste

1. GİRİŞ

Yeni teknolojik gelişmeler ve gün geçtikçe artan dünya nüfusu ile orantılı olarak büyüyen enerji istemi özellikle gelişmekte olan ülkelerde ön plâna çıkmaktadır. Bu istemi karşılamak üzere kullanılan güneş, rüzgâr, jeotermal, gibi yenilenebilir enerji kaynakları ancak sınırlı yöresel ihtiyaçlara cevap verebilecek kapasitededir. Ayrıca bugünkü birim enerji maliyetleri de halâ istenen düzeylere çekilememiştir [1]. Petrol, doğal gaz gibi seçeneklerde ise arz aksamaları ve ciddi ölçüde fiyat dalgalanmaları olmaktadır. Kömür kaynakları çok olmasına karşın küresel ısınma ve asit yağmurları gibi çevresel endişeler yönünden en kötü seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Bazı ülkelerde kullanılan hidroelektrik güç yabanıl hayat, özellikle balıklar, üzerindeki olumsuz etkileri sebebiyle tekrar gözden geçirilmektedir [2]. Bunlara karşılık; nükleer enerji hem büyük çaptaki istemlere cevap verebilmesi, hem de çevre dostu olması nedeniyle bugün için en uygun seçenek olmaktadır. Bu önemli olguyu göz önüne alan bilim insanları, nükleer sahadaki yeni gelişmeler ile uzun yılların deneyim birikimlerini birleştirerek daha da geliştirilmiş, toplam yatırım ve birim enerji maliyetleri önceki sistemlere göre oldukça düşük yeni sistemler üzerinde çalışmalara başlamıştır. Bunlardan birkaç sene içinde enerji üretimine geçebilecek olan evrimsel tasarımlar ile önümüzdeki 20-40 yıl içinde devreye girebilecek devrimsel tasarımlardan kısaca bahsetmeye çalışacağız.

2. NÜKLEER POLİTİKALAR

Dünya ülkelerinin enerji rezervlerine sahip olma hırsı, çevre kirliliğinin gün geçtikçe artması, enerjiye sahip olanlarla olmayanlar arasındaki uçurumun büyümesi gibi olumsuz etkilere karşın eldeki rezervlerin akıllı kullanılması, dünya refah seviyesinin yükseltilmesi ve çevrenin korunması yönünde bir tercih yapmak zorundayız [3]. Dünyanın 2100 yılına kadar olan enerji isteminin Şekil-1'de gösterilen değişik kaynaklardan karşılanacağı öngörülmektedir [4]. Şekilden de görüldüğü gibi kaynakları çok dengeli şekilde kullanmamız, gelecek nesillere elden geldiğince çok ve çeşitli kaynak aktarmamız, eğer olanaklı ise yeni kaynaklar yaratmamız gerektiği ortaya çıkmaktadır. Dünyadaki kaynakların bölgelere göre elektrik üretiminde kullanım oranları Çizelge-1'de gösterilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere yenilenebilir kaynaklar çok az yer tutmaktadır. Bu oranların üzerinde çalışılan yeni gelişmelerle önümüzdeki yıllarda biraz daha artması beklenebilir, ama büyük istemlere cevap verebileceği şimdilik öngörülmemektedir. Dünyada çalışan ve inşa halinde olan reaktörlerin bölgelere göre dağılımı Çizelge-2'de verilmiştir. A.B.D.'i önümüzdeki yıllarda 31 yeni reaktörü [5] devreye sokmayı plânlamaktadır (bak Şekil-2). Ana istemi karşılayabilmesi, güvenilirliği, karbon salınımının olmaması, sürdürülebilir uzun vadeli enerji kaynağı olması, gelişmiş enerji altyapısının kullanımını desteklemesi, enerjinin verimli kullanımını artırması, hidrojen üretimi yoluyla enerji taşınımını kolaylaştırması gibi birçok etken nükleer gücü vazgeçilemeyen bir seçenek haline getirmektedir.

3. NÜKLEER GÜCÜN EVRİMİ

Yeni nesil reaktörlerde şu ana hedefler amaçlanmıştır :

- İlk önce artırılmış güvenlik (*Enhanced Safety*),
- Sistemlere olan güvenilirliğin artırılması (*Reliability*),
- Bakım-onarımın kolaylaştırılması, ve
- Çevreye uyumluluk bakımından mükemmel olmalı

- Çevre ve insanı korumanın yanı sıra, yatırımcının yaptığı yatırımı ve mülkü de korumalı. Yani yatırımcı :
 - Öngörülebilir inşaat süresi ve yatırım maliyeti,
 - Lisanslanabilme güvencesi (politik destek),
 - Öngörülebilir işletme ve bakım-onarım masrafları,
 - Kaza riskinin çok düşük olması,

yönlerinden kendini ve yatırımını güvence altına almış olmalıdır.

- Ekonomik olarak alternatif teknolojilerle rekabet edebilmeli,
- Sistem ve donanım bazında standartlaşmış olmalıdır.

Bu konulara kısaca değinecek olursak :

a. Güvenliğin geliştirilmesinde öncelik : Gelecek nesil reaktörler sadece güvenli değil, fakat kamuoyu tarafından da güvenli olarak algılanmalı; halen işletilmekte olan santrallere göre daha güvenli ve daha az riskli olmalıdır. Bunun için :

- Kalp hasar frekansı $< 10^{-5}$ /reaktör-sene
- Ağır kaza sonucu çevreye radyasyon yayma frekansı $< 10^{-6}$ /reaktör-sene
- Toplum dozu < 100 adam-rem/sene; değerlerine hedeflenmiştir.

Yeni tasarımlar yalnızca insanları korumaya değil aynı zamanda santral ve donanımlarını da korumaya yönelik olarak yapılmalıdır.

b. Basitlik : Bugün çalışmakta olan reaktörlerin güvenliği yüksek teknoloji kullanan AKTİF ve PASİF elemanlar ile geliştirilmiş mühendislik önlemlerine dayandırılmaktadır. Bu durum,

- maliyete,
- kullanılabilirliğe,
- işletilebilirliğe,

- bakım ve onarım faaliyetlerine; olumsuz yönde etki etmektedir. Ayrıca, operatörler tarafından sistemin tam olarak anlaşılması zorlaşmaktadır. Bu nedenle sistemleri daha basitleştirmek hedeflerden biri olmuştur. Basitleştirmeye giden temel adımlar, güvenlik sistemlerinde pasif elemanların kullanım oranını arttırmak veya tümüyle pasif elemanlar kullanarak enerji gerektiren pompa, vana, ... vs'den kurtulmaktır.

Aktif sistem : Fonksiyonlarını yerine getirmek için enerji gerektiren sistemler.

- . Elektrik motorları,
- . Pompalar,

- . Elektrikle çalışan vanalar, ... vs.

Pasif sistem : Fonksiyonlarını yerine getirmek için enerji gerektirmeyen sistemler.

- . Doğal dolaşım, ısıyayım (*Convection*),
- . Yer çekimi (*Gravity*),
- . Basınç enerjisi,
- . Buharlaşmayla soğuma,
- . Yoğuşmayla soğuma; gibi olayların kullanımı.

Basitleştirmenin temel amacı sistemin işletilmesini basite indirgeyerek, anlaşılmasını kolaylaştırmaktır. Bu şekilde gerçek işletme şartları daha kolaylıkla gözlemlenebilmektedir.

c. Tasarım ve güvenlik marjları : Hem donanım hem de işletme bazında güvenlik marjlarının artırılması hedeflenmiştir. Bileşen bazında imalat marjlarının artırılması sistemin güvenilirliğini arttırmak ve işletme dışı kalma olasılıklarını azaltmayı amaçlamaktadır. Güvenlik ve işletme marjlarının artırılması ise iki yönde gerçekleştirilir :

a. Termik marjların artırılması : Kalp, basınçlayıcı ve buhar üreticilerinin içindeki soğutucu miktarı fazlaştırmakla sistemin termik ataleti yükseltilir. Bu şekilde bir transiyent veya kaza sonucunda operatörün müdahalesi için daha fazla zaman kalır (ölü zaman). Pasif sistemler kullanılıyor ise acil durumda kullanılan su rezervinin fazlaştırmaları gerekir.

b. Kalp güç yoğunluğunu ve yakıt zarfı yüzeyindeki ısı akısını azaltarak sistemi kazalara karşı daha affedici yapmak. Bu yatırımın korunması ve ağır kazaların önlenmesi olanağı fazlaştırmış olur. Reaktör hatalara karşı daha toleranslı olur.

Yeni nesil reaktörlerin güvenlik amaçları ve stratejileri bugünkü tasarımlarla örtüşmekte olup genel güvenlik nedenleri tamamen aynıdır. Kademeli korunma ilkeleri yeni tasarımlarda da aynen geçerlidir. Tasarım marjlarını arttırmak, termik ataleti fazlaştırmak ve kalp erime frekansını azaltmak suretiyle kazaları önleme kademesi takviye edilmektedir. Olası kaza sonuçlarını yumuşatmak ve olumsuz etkilerini en aza indirmek için, son kademe olan koruma kabında, kabın temel görevi aynı kalmak şartıyla yeni tasarımlara gidilmiştir. Bunun en önemli getirisi, çevreye yayılacak olan radyoaktif maddelerin ALARA prensibine uygun olarak en aza indirgenmesi suretiyle çevredeki canlıların alacakları doz miktarlarını azaltmaktır.

d. İnsan faktörü : “Three Mile Island” ve “Çernobil” kazalarından alınan en büyük ders, nükleer güvenlik zincirinde en zayıf halkanın **insan-makine** etkileşmesi olduğudur. Bu nedenle, nükleer, havacılık ve haberleşme alanlarındaki insan faktörü mühendisliğinde elde edilmiş olan gelişmeler ve deneyimlerden, yeni nesil reaktörlerin tasarımında en yüksek derecede faydalanılmıştır. Bu konuda yapılan değişikliklerin belli başlıları :

- Operatörlere gelen bilgi akışındaki düzenlemeler,
- Kontrol odasının daha ergonomik yapılması,
- Monitörlerin yerleşimi,
- Işıklı göstergeler,
- Kaza sonucunda operatörlere daha fazla düşünme zamanının bırakılması,

gibi iyileştirmelerdir.

4. YAPILAN YENİLİKLER

Yeni nesil reaktörlerin birçok karakteristik özelliğini kısaca özetlersek :

- Arttırılmış tasarım ve güvenlik marjları
- Basitleştirilmiş tasarım, daha az test ve bakım
- En aza indirilmiş operatör müdahalesi
- Hatalara karşı toleransın fazlaştırılması (yüksek hata toleranslı, affedici)
- İnşaat süresinin kısaltılması, 3-5 sene arası
- Lisanslamayı kolaylaştırmak için her tip için standart tasarıma gidilmesi
- Yüksek güvenilirlik (*reliability*)
- Reaktör ömrünün uzatılması, 60 sene
- Yakıt yükleme zamanının kısaltılması
- Yakıt değiştirme periyodunun uzatılması, yakıt çevrim zamanı 2 senede bir
- Yüksek yanma oranı 60 000 MWD/TU (senelik atık miktarını azaltıyor)
- Emre amadelik, sistemin çalışabilir durumda bulunması % 87 (ömür boyu ortalama)
- İstem dışı devre dışı kalmalar, senede bir defadan daha az
- Radyoaktif atık 80 m³/sene
- Toplum dozu (radyasyonla çalışanlar için-*occupational*) < 100 adam-rem/sene
- Yeni kalp içi yakıt yönetimi (basınç kabını hızlı nötronlardan korumak ve ömrünü uzatmak için)
- Basınç kabının tasarımında yapılan iyileştirmelerle ömrünün uzatılması
- Kalp erime frekansı <10⁻⁵/reaktör-sene
- Çevreye radyasyon salabilecek ağır kaza frekansı < 10⁻⁶/reaktör-sene
- PWR'ler için soğutucu içinde daha az çözünmüş Bor kullanılarak sıcaklık geri besleme katsayılarını daha fazla negatif yaparak yapısal güvenliği arttırmak (özellikle pasif sistemler için)
- Maliyetteki azalmalar yoluyla serbest rekabete açılan elektrik piyasasında alternatif enerji teknolojileriyle rekabet edebilme kabiliyetinin arttırılması

5. İLERİ REAKTÖRLER

İleri reaktörler diye adlandırdığımız tasarımlar, nükleer sahadaki uzun yılların birikimlerinin son teknolojik gelişmelerle birleştirilmesiyle, eldeki sistemlerin evrimsel tasarım anlayışı içinde geliştirilmesinden oluşmuştur. Bazı aktif soğutma ve güvenlik sistemleri pasife dönüştürülerek tasarımın basitleştirilmesi yoluna gidilmiştir. Kontrol odasına bilgi akışı sadeleştirilerek daha kolay anlaşılır duruma getirilmiştir. İnsan-makine

ilişkisindeki hataları azaltmak için reaktörlerin kontrolleri büyük ölçüde bilgisayarlara devredilmiştir. İnşa süresi kısaltılmış, reaktör ömrü uzatılmıştır. Yakıt değiştirme yılda birden iki yılda bir çıkarılmıştır. Bu yenilikler reaktör ilk yatırım maliyetini ve birim enerji fiyatlarını büyük ölçüde düşürmüştür.

Bu serinin en önde gelenleri güçleri 1000 MW_e'in üzerinde olan General Elektrik (A.B.D.) firmasıyla Hitachi ve Toshiba (Japonya) firmasının geliştirdiği ABWR (İleri Kaynar Sulu Reaktör) ile Westinghouse (A.B.D.) firmasıyla Mitsubishi (Japonya) firmasının geliştirdiği APWR (İleri Basıncılı Su Reaktörü)' dir. Bunların dışında Framatome (Fransa) ile Siemens (Almanya) firmalarının geliştirdiği EPR, İsveç'in geliştirdiği BWR 90, Kanada'nın geliştirdiği CANDU-9, Rusya'nı geliştirdiği VVER-1000 (V-392) ve A.B.D.'nde geliştirilen System-80+'den bahsedebiliriz.

Bu seride ayrıca 750 MW_e gücün altındaki orta boy reaktörler olarak AP-600 (A.B.D.), AC-600 (Çin), MS-600 (Japonya), SBWR (A.B.D.), CANDU-NG (Kanada), VVER-500/600 (V-407) (Rusya)'den de söz etmek gerekir.

6. YAKIN GELECEĞİN REAKTÖRLERİ

Bu reaktörler de yine evrimsel tasarımlar olup yakın gelecekte devreye girmeleri beklenmektedir. Burada Westinghouse firmasının geliştirdiği 1090 MW_e gücünde, pasif güvenlik özellikleri artırılmış, ilk yatırım ve bakım-onarım maliyetleri düşük PWR tipi AP-1000; General Elektrik firmasının geliştirdiği 1380 MW_e gücünde, pasif güvenlik sistemleri geliştirilmiş, doğal dolaşımın pompaların yerini aldığı, ekonomik ve basitleştirilmiş BWR tipi ESBWR; ve Kanada'nın geliştirdiği 731 MW_e gücünde, termik verimi yüksek, hafifçe zenginleştirilmiş U kullanan, boşluk katsayısı (-) olan, inşaat süresi 3 yıla indirilmiş ACR-700'den söz edebiliriz.

7. GELECEK NESİL REAKTÖRLER

11 gelişmiş ülke (A.B.D., İngiltere, İsviçre, Güney Kore, Güney Afrika, Japonya, Fransa, Avrupa Birliği, Kanada, Brezilya, Arjantin) nükleer konudaki birikimlerini değerlendirmek üzere 2000 yılında bir araya gelerek 130 değişik reaktör tasarımı arasından sürdürülebilirlik, ekonomiklik, emniyet ve sistemlere güvenilirlik, nükleer silâh yapımına karşı direnç ve fiziksel koruma açılarından en uygun olan 6 tanesini seçti [6,7,8]. Bu konuda yapılacak araştırma faaliyetleri ve sistemlerin öncelikleri belirlendi ve program plânlarının temelleri yazıldı. Bu sistemlerin 2030 yılına kadar kurulabilir olması amaçlandı. Uluslar arası ortak alanlar ve işbirliği ilkeleri saptandı. Yapılan gelişmelerle ilgili düzenli gözden geçirme toplantıları plânlandı. Seçilen 6 devrimsel tasarım; VHTR (Çok Yüksek Sıcaklıklı Reaktör), MSR (Ergimiş Tuz Reaktörü), GFR (Gaz Soğutmalı Hızlı Reaktör), SFR (Sodyum Soğutmalı Hızlı Reaktör), SCWR (Süper Kritik Su Soğutmalı Reaktör), LFR (Kurşun Soğutmalı Hızlı Reaktör) Şekil-3'te basit olarak gösterilmiştir. Bu 11 ülkeye daha sonra Rusya Federasyonu ve Çin Halk Cumhuriyeti de katılmıştır.

8. ATIKLARIN SAKLANMASI

Dünyadaki çevre problemlerini azaltmak ve daha fazla enerji üretimini gerçekleştirebilmek için :

- Mevcut nükleer santrallerden çıkan kullanılmış yakıtlardan biraz daha enerji elde etme olanağı sağlamak,
- Son depolamaya gönderilecek yüksek seviyeli radyoaktif atıkların toksisitesini azaltmak,
- Dünyadaki Plütonyum envanterini azaltmak,
- Silâh yapımına dirençli yakıtlar üretmek,
- Jeolojik depolama maliyetini azaltmak,

üzere yeni yakıt çevrimi teknolojileri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu konudaki 3 ayrı yakıt çevrimi ile ilgili bilgiler Şekil-4'te özetlenmiştir. Şekilden de görüleceği gibi çalışan reaktörlerden çıkan kullanılmış yakıtlar, en son halka olan ileri yakıt çevrimlerinde, geridönüşümden sonra önce LWR, ALWR veya 4. nesil ısı reaktörlerde yakıldıktan sonra bir kere daha 4. nesil hızlı reaktörlerde kullanılıp ADS (*Accelerator Driven System* : Hızlandırıcı Güdümlü Sistem) dönüştürücülere gönderilmektedir. Bu sayede son depolamaya gönderilecek atıklar çok daha az U, Pu ve ağır elementler içeren çok daha küçük miktarlara indirgenebilmektedir.

9. İRDELEME

Gelecek günlerin enerji istemini karşılamak üzere güvenli, sürdürülebilir, çevreye duyarlı, ekonomik, silâh yapımına dirençli, ve fiziksel olarak güvenli enerji üretimi koşullarını sağlayacak gelişmiş nükleer enerji sistemlerini gerçekleştirmek hedeflenmiştir. Bunu sağlamak üzere :

- Nükleer enerji sistemlerinde yukarıdakilere cevap verecek yenilikler üzerinde,
- Atık problemini en aza indirmek için daha gelişmiş yakıt çevrimleri üzerinde,

çalışmalara başlanmıştır.

Nükleer Endüstrideki bu gelişmeler, geleceğin enerji probleminin çözümünde en uygun seçeneklerden biri olarak nükleer santralleri öne çıkarmaktadır. Petrol ve gaz fiyatları, güvenlik, karbon vergisi, yapım maliyetindeki azalmalar, ... gibi itici faktörler gelecek plânlarını büyük ölçüde etkileyecektir. 4. Nesil reaktörlerle kaynaşma (*fusion*) reaktörleri teknolojileri arasında birçok ortak özellik bulunmaktadır. Aralarında yapacakları işbirliği bu yöndeki gelişmeleri hızlandıracaktır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Türker, T., karşılıklı görüşmeler ve bilgi alışverişi, notlar (2009)
- [2] IAEA Training Program, "Motivation for Advanced Reactor Designs" (2001)
- [3] Weaver, K.D., "Future Nuclear Energy Systems : Generation IV", 50th Annual Meeting of the Health Physics Society, Washington USA (July 11, 2005)
- [4] Rogner, H.H., "Climate Change Mitigation : Nuclear Power and Climate Change", WNU-SI, Idaho Falls, ID (2005)
- [5] Matthews, D., "Status of Nuclear Licencing Activities" (Sept 13, 2006)
- [6] Petty, D., "Generation IV Systems : Key Technological Challenges for Fission Reactors and What It Means for Fusion", APS-DPP (Oct 31, 2006)
- [7] Bruna, G.B., "Generation IV Nuclear Reactors : Concept Overview and Preliminary Safety Considerations", IRSN (2009)
- [8] Lüle, S.Ş., "Course on the Next Generation Nuclear Reactors", EC DG JRC Institute for Energy, Petten, Kurs Raporu (29 June – 3 July 2009)

Çizelge-1 : Dünyadaki kaynakların bölgelere göre elektrik üretiminde kullanım oranları (2006)

Bölge	Termal ^a		Hidro		Nükleer		Yenilenebilir ^b		Toplam	
	Kül. (EJ)	%	Kül. (EJ)	%	Kül. (EJ)	%	Kül. (EJ)	%	Kül. (EJ)	%
Kuzey Amerika	22,21	65,71	2,43	14,53	9,61	18,99	0,63	0,77	34,87	100
Latin Amerika	4,42	38,28	2,46	58,31	0,33	2,61	0,32	0,81	7,54	100
Batı Avrupa	15,56	52,32	1,72	15,86	9,56	29,14	0,53	2,68	27,37	100
Doğu Avrupa	17,36	64,95	1,12	17,21	3,51	17,80	0,02	0,05	22,01	100
Afrika	4,89	80,01	0,35	17,74	0,11	1,84	0,04	0,41	5,40	100
Orta Doğu ve G. Asya	14,42	82,42	0,64	15,51	0,20	1,57	0,02	0,50	15,28	100
G.doğu Asya ve Pasifik	5,81	88,17	0,26	10,73	-*	-*	0,21	1,10	6,28	100
Uzak Doğu	32,61	75,65	2,04	12,50	5,70	11,52	0,47	0,33	40,83	100
Dünya toplamı	117,27	66,46	11,02	17,46	29,03	15,18	2,26	0,89	159,83	100

a) Katı, sıvı, gaz, biokütle ve atık yakıtların hepsi

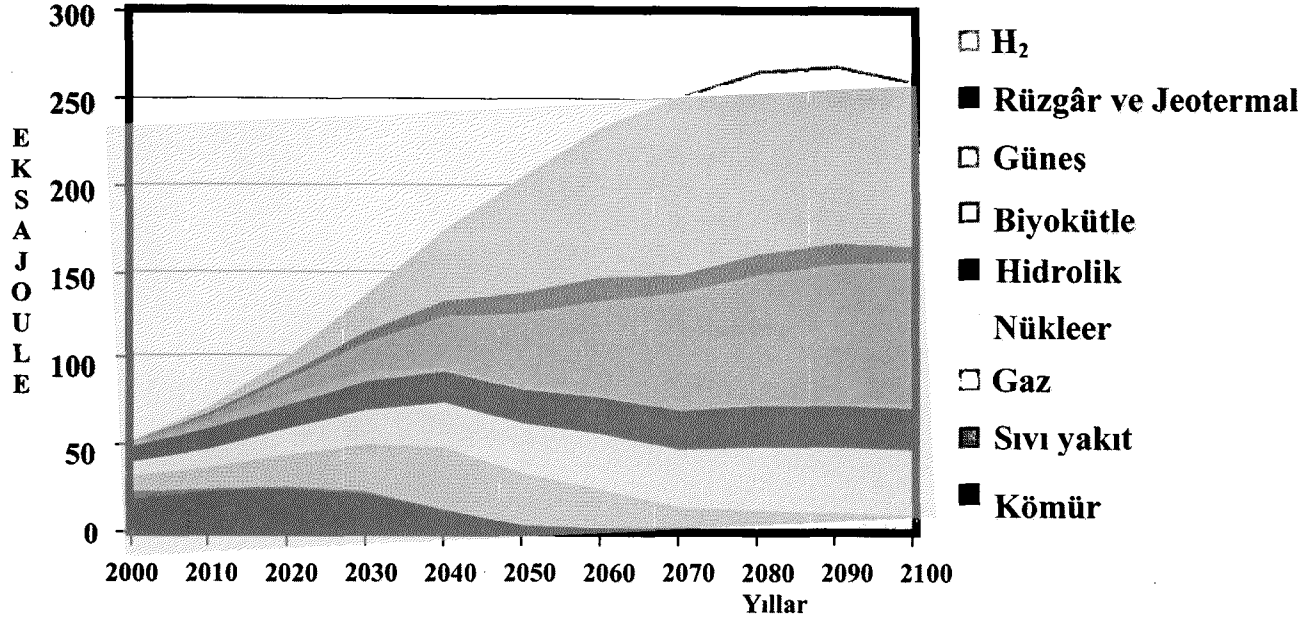
b) Jeotermal, rüzgâr, güneş ve gel-git enerjilerinin hepsi

^{a)} Eksajoule = 10¹⁸ joule

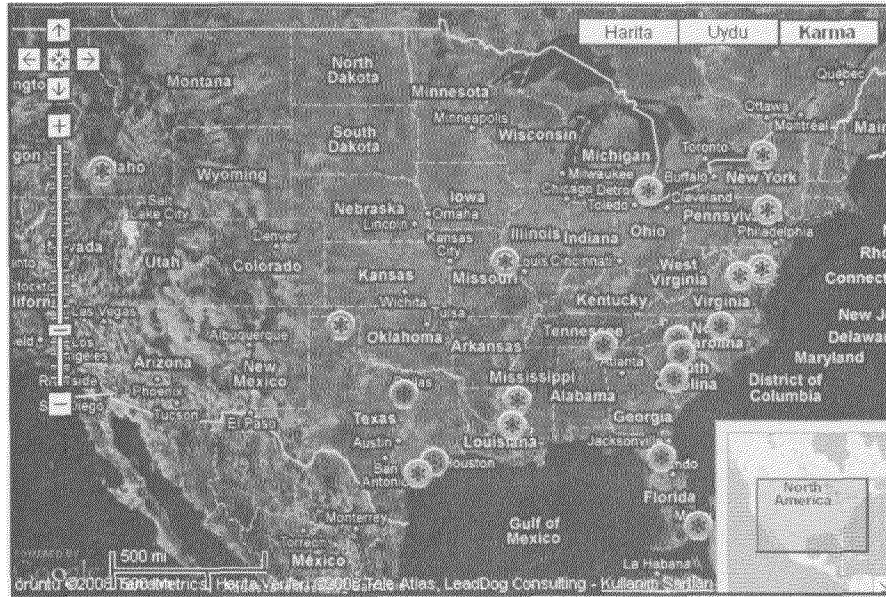
^{b)} Güneydoğu Asya ve Pasifik'te hiç nükleer reaktör olmadığı için buralardaki elektrik üretimine nükleer enerjinin katkısı yok.

Çizelge-2 : Dünyadaki reaktörlerin bölgelere göre dağılımı (2007)

Bölge	Çalışan		İnşa halinde		2007 yılında üretilen elektrik [TW-sa]
	Reaktör sayısı	Net kapasite [MWe]	Reaktör sayısı	Net kapasite [MWe]	
Kuzey Amerika	122	113 171	1	1 165	895
Latin Amerika	6	4 090	1	692	28
Batı Avrupa	130	122 638	2	3 200	827
Doğu Avrupa	68	47 765	10	7 445	325
Afrika	2	1 800	-	-	13
Orta Doğu ve Güney Asya	19	4 207	8	4 125	18
Uzak Doğu	92	78 531	11	10 566	502
Dünya Toplamı	439	372 202	33	27 193	2 608



Şekil-1 : Dünya öngörülen elektrik enerjisi isteminin yıllara göre değişimi



Sembol Adet

TASARIM



2

ABWR : General Electric (GE) Nuclear Energy's Advanced Boiling Water

Reactor Design (Amerikan yapımı İleri Kaynar Sulu Reaktör)



14

AP-1000 : Reactor by Westinghouse Electric Company

(Amerikan yapımı İleri Basınçlı Sulu Reaktör)



7

EPR : U.S. Evolutionary Power Reactor by AREVA Nuclear Power

(Avrupa yapımı İleri Kaynar Sulu Reaktör)



6

ESBWR : Economic Simplified Boiling Water Reactor by General Electric

(Amerikan yapımı Ekonomik Basitleştirilmiş Kaynar Sulu Reaktör)

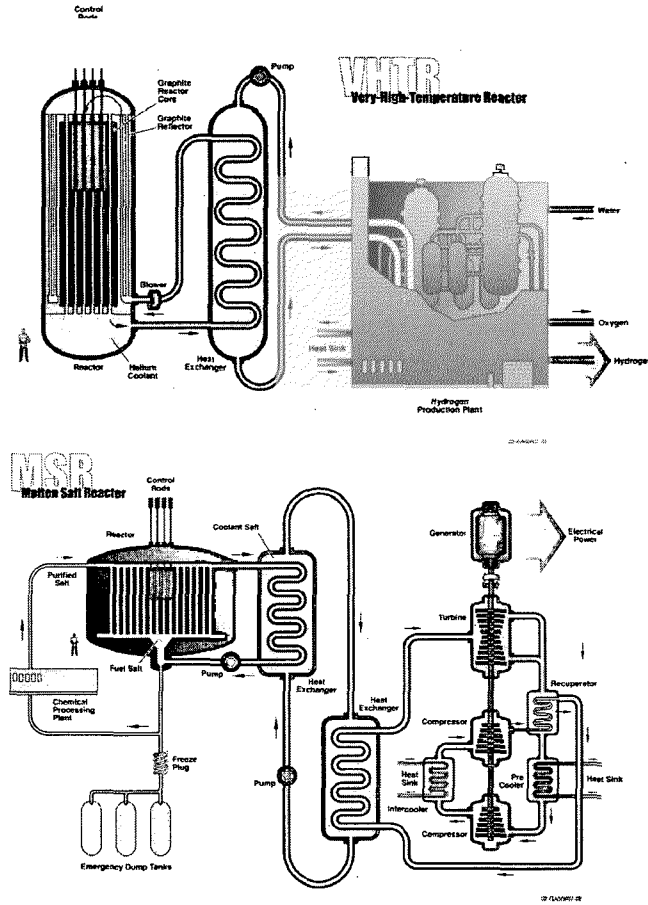


2

UASPWR : U.S. Advanced Pressurized Water Reactor by Mitsubishi Heavy

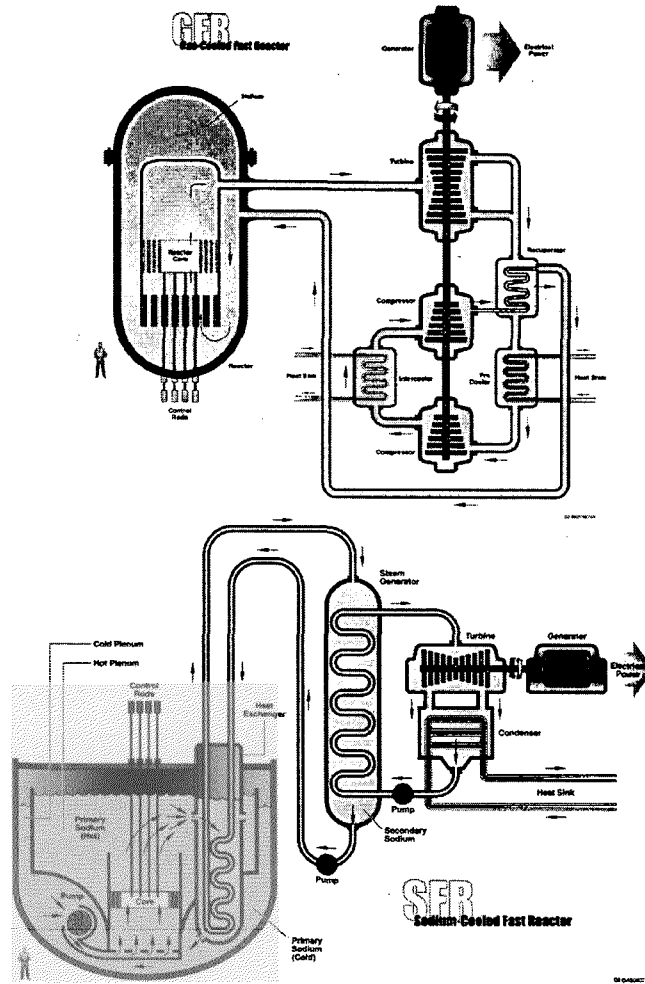
Industries, Ltd. (Japon yapımı İleri Basınçlı Sulu Reaktör)

Şekil-2 : A.B.D.'nde plânlanan yeni nükleer güç santral tasarımları



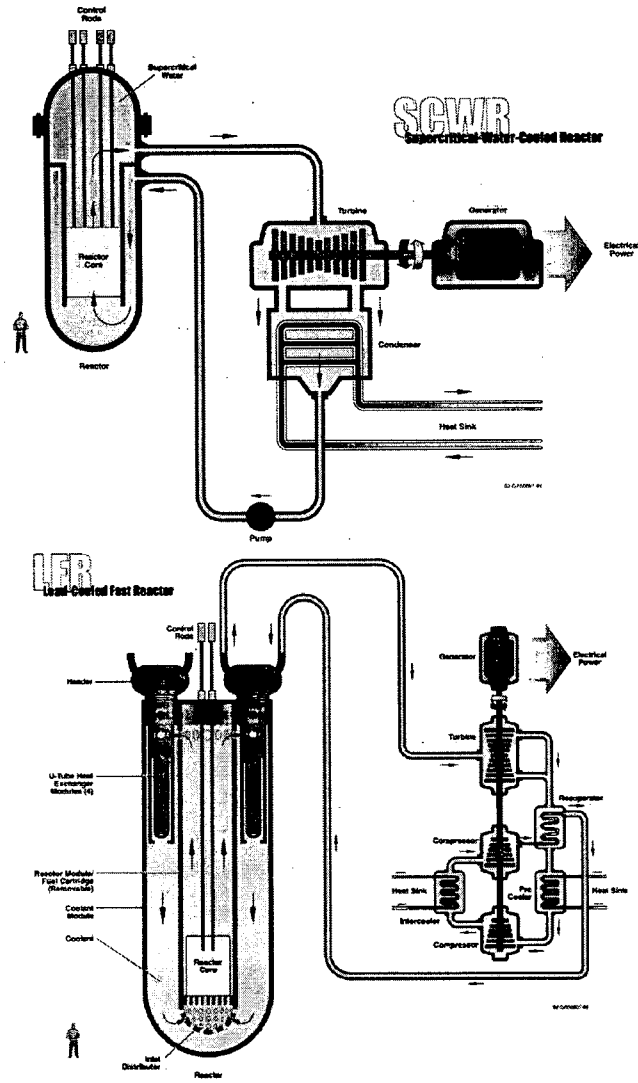
a) Çok Yüksek Sıcaklıklı Reaktör

b) Ergimiş Tuz Reaktörü



c) Gaz Soğutmalı Hızlı Reaktör

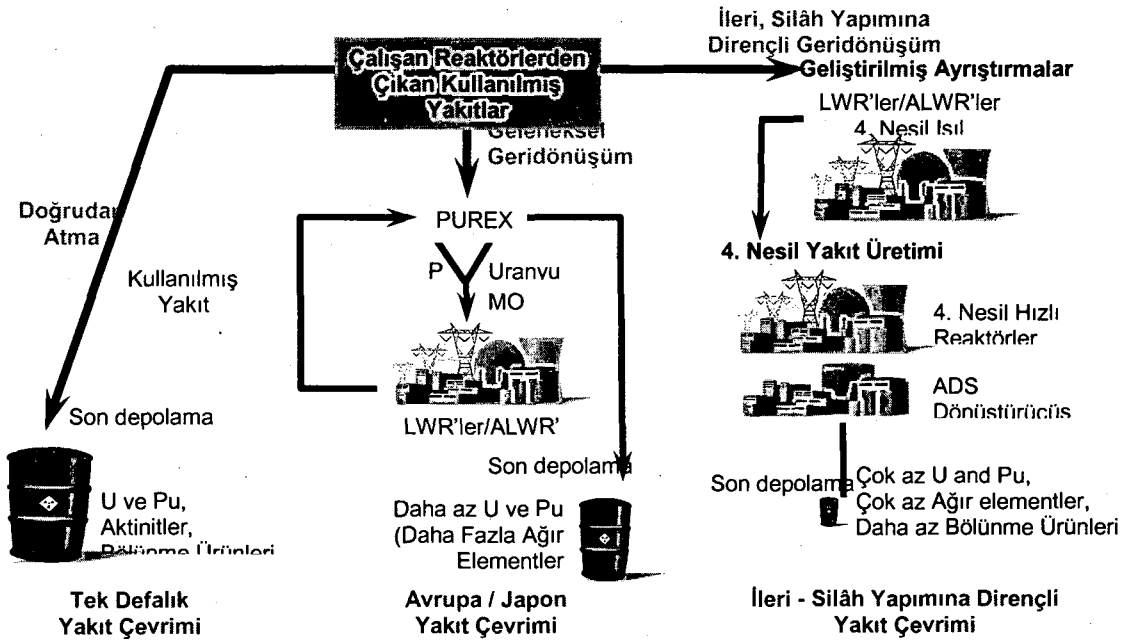
d) Sodyum Soğutmalı Hızlı Reaktör



e) Süper Kritik Su Soğutmalı Reaktör

f) Kurşun Soğutmalı Hızlı Reaktör

Şekil-3 : Gelecek nesil reaktörler



Şekil-4 : İleri yakıt çevrim teknolojileri