

YENİ NÜKLEER ENDÜSTRİ - 3



NÜKLEER ENERJİNİN KARŞI SALDIRISI

DÖRDÜNCÜ KUŞAK!..

Nükleer endüstri, çevreci lobi ile on yıllardır süren mücadelede sıkıştığı köşeden çıkmak için sessiz sedasız bir hazırlık içinde. Nedeni küresel ısınmanın giderek yadsınamaz bir olgu haline gelmesi ve bunda insan parmağının, daha doğrusu fosil yakıt kullanımının güçlü izinin belirlenmiş olması.

Nükleer endüstri bu fırsattan yararlanmak için nükleer enerjinin “temiz enerji” kategorisinde sayılması için bir yandan lobi faaliyeti yürütürken, bir yandan da iki zayıf noktasından biri olan santral güvenliği sorununun çözümüne yönelik “4. kuşak” santral tasarımları geliştirmiş bulunuyor. Günümüzde yaygın olarak kullanılan basınçlı su reaktörlerine alternatif radikal tasarımlar, reaksiyona girmeyen helyum gazıyla soğutulan ve en az altı yıl yakıt yenileme gerektirmeyen reaktörlerden, soğutma suyu dolaşım ve ısı değiştirgeç sistemlerinin reaktör kabının içine yerleştirilip atmosfere sızma tehlikesini ortadan kaldıran sistemlerden tutun, suyu “süperkritik” noktaya kadar ısıtan ya da kalpteki reaksiyonlarda ortaya çıkan nötronları, yakıtı yeniden işlemekte kullanan tasarımlara kadar değişiyor.

Nükleer endüstriyi yıllar süren hareketsizlikten çıkartan etkenler arasında kuşkusuz ABD başkanı George W. Bush'un, geçtiğimiz yıl nükleer endüstrinin canlandırılması ve ülkede 20 yıldan bu yana kurulacak ilk nükleer santrallerin inşası için direktif vermesi. Gerçi Bush geleceğin enerji vizyonu olarak hidrojen enerjisini göstermişti; ama aslan payının (14-16 milyar dolar) yapılması hedeflenen altı ya da yedi yeni nükleer santrale sübvansiyon olarak ayrılması bekleniyor. Gerçi bu yeni santrallerin üreteceği 8400 megawatt güç, halen ABD'de faaliyet halinde bulunan ve ülkenin enerji gereksiniminin beşte birini karşılayan 103 nükleer santralin ürettiği toplam gücün yalnızca %1'ini oluşturacak. Yine de nükleer endüstri bunun sera gazları salımının ciddi biçimde azaltılmasına katkıda bulunabilmek için gerekli binlerce yeni santral için ilk adım olacağı konusunda umutlu. Bu umutların, sınırsız, ucuz ve her şeyden öte temiz bir enerji vaadeden füzyon teknolojisinin önümüzdeki on yıllar içinde ticari maliyetlerde kesintisiz üretim hedefini yakalayamaması, hidrojen yakıt pillerinin büyük ölçekli üretimini engelleyen teknolojik sorunların ya da otomobillerde sıvı hidrojen kullanımını engelleyen üretim, depolama ve altyapı sorunlarının kısa sürede aşılamaması halinde yeşereceği açık. Ancak, öyle görünüyör ki, nükleer endüstri, "temiz" kategorisine, bu niteliği tartışılmaz öteki enerji türlerinin sırtında girmenin yollarını da arıyor. Nitekim Amerikan hükümetinin destekleyeceği santrallerden 1,1 milyar dolar fiyat etiketli bir tanesi de bu amaca yönelik. Idaho eyaletinde kurulması planlanan bir deney santrali, üreteceği enerjiyi



kullanarak suyu ayırıştırarak ve yakıt hücreleri için gerekli hidrojeni üretecek. Nükleer enerjinin hidrojen enerjisine sağladığı bu desteğin ardında yatan hedef açık. Günümüzün petrol yakan araba motorları için en gerçekçi alternatif hidrojen yakıt hücreleri olduğundan, dolaylı yoldan da olsa nükleer enerji, petrolün yerini alabilecek. Uzmanlar, bunun nükleer enerji için en iddialı uzun dönem hedefi olabileceğini söylüyorlar.

Nükleer endüstrinin fosil yakıt kullanımından kaynaklanan karbondioksit salımlarına ciddi bir

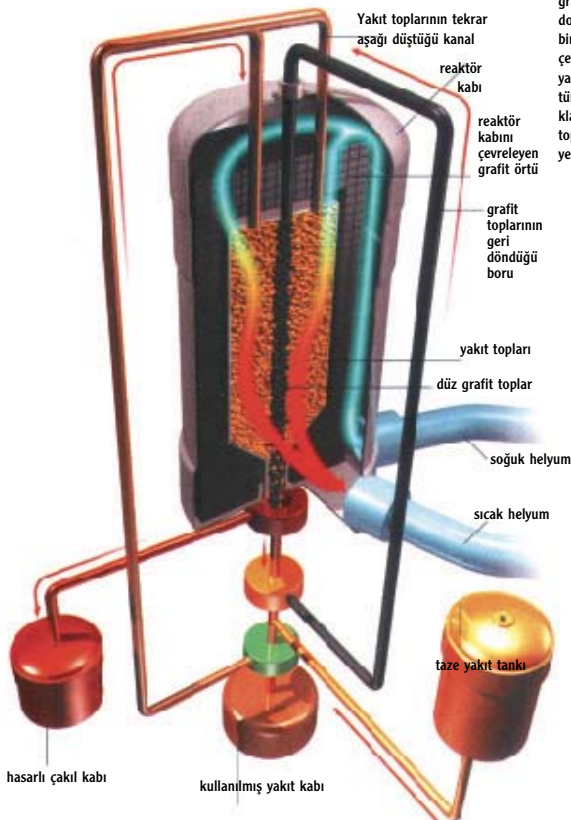
temiz enerji alternatifi olma iddiasının içini doldurmak için büyük düşünmek ve güç sınavları geçmek zorunda. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden nükleer enerji uzmanı Neil Todreas'a göre karbondioksit salımlarını önemli ölçüde azaltabilmek için 2050 yılına kadar 1000-1500 gigawatt (milyar watt) nükleer güç üretim kapasitesi gerekiyor. Bu da halen dünyada faal durumda bulunan 400'ün üzerinde nükleer enerji santralının ürettiğinin 3 ila 5 katı güç anlamına geliyor. Todreas, bu hedefi tutturmanın, günümüzde bilinen uranyum rezervlerinden çok daha fazlasını gerektireceğini de kabul ediyor. Ancak uzmana göre bu durum nükleer enerji için bir darboğaz değil. Ne zaman bir madenin fiyatı iki katına çıksa, yeni rezerv arayışının hızlanması sonucu arzının 10 kat arttığını vurguluyor.

Yine de bu hedefi dünya kamuoyuna satabilmekte nükleer lobi zorlanacağı benziyor. ABD'deki Üç Mil Adası ve Ukrayna'daki Çernobil kazalarının külleri henüz sıcaklığını korurken, şimdi bir de felaket senaryolarına nükleer santrallere terörist saldırısı ya da radyoaktif santral atıklarının teröristlerin eline geçme olasılığı eklendi. Tabii bir de nükleer santral atıklarının uzun süreyle güvenli bir biçimde depolanması sorunu var.

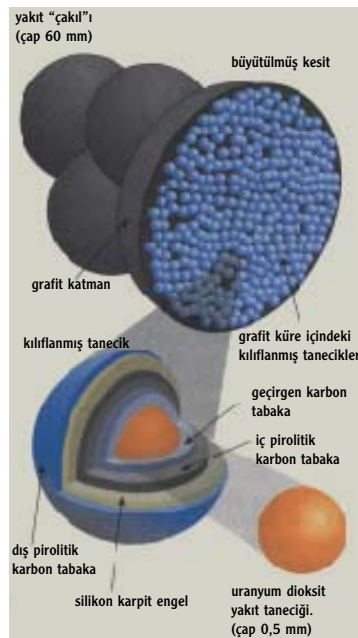
Terörizm tehdidine karşı nükleer santral tasarımcılarının inceledikleri bir kulvar, toryum tabanlı yakıtlarla çalışan reaktörler (Bkz: Toryuma Dönüş mü?, Bilim ve Teknik, Aralık 2003 s. 44-48). Nükleer endüstrinin imaj kabusu olan nükleer atık sorunu için de Bush yönetimi, Nevada eyaletinden gelen protestolar ve açılan davalara karşın, Yucca Dağı altında hazırlanan bir deponun inşasında kararlı görünüyor. Bu arada ABD'nin yanı sıra Avrupa ve Japonya'da da resmi ya da devlet destekli araştırma kurumları, uzun vadeli bir çözüm olarak nükleer santral atıklarını zararsız hale getirecek ya da uzun ömürlü radyoaktif atıkları daha kısa ömürlü hale getirecek dönüştürme (transmutasyon) reaktörleri üzerinde çalışıyorlar (Bkz: Simya'nın Dönüşü, Bilim ve Teknik, Ocak 2004, s.50-55).

Kaza olasılığına karşısya, başta ABD şirketleri olmak üzere çeşitli ülkelerdeki nükleer santral

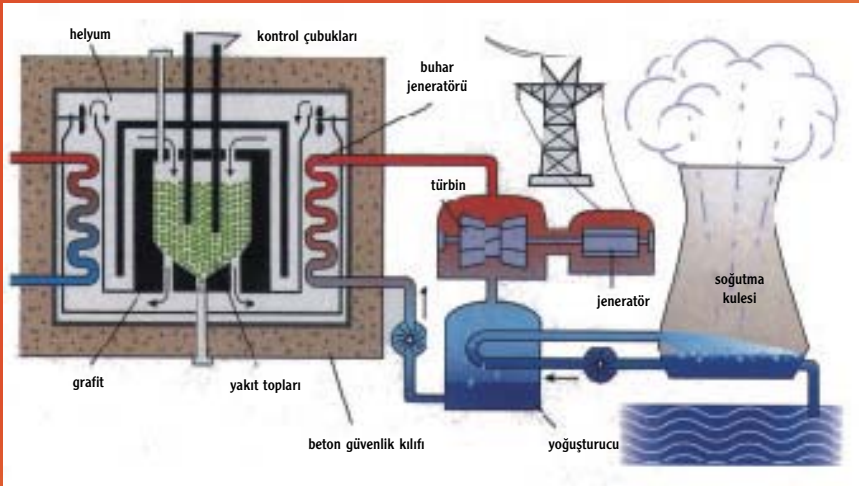
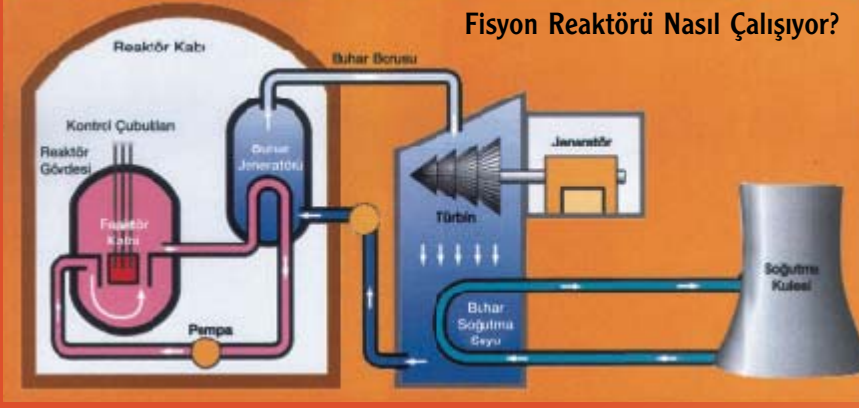
3,5. Kuşak: "Çakıl Yatağı" Reaktörü



Klasik reaktörlerde, uranyumoksit yakıt çubukları, hem nötronları yavaşlatan, hem de reaktör kalbini soğutan su içinde tutuluyor. Çakıl yatağı reaktöründe, uranyumoksit topakçıkları, bilardo topu büyüklüğünde grafitten bir kılıf içine yerleştiriliyor. Bu "çakıl"lar, grafitle çevrelenmiş, helyumla soğutulan reaktör kalbine dolduruluyor. Otomatik sakız makinelerinde olduğu gibi, ortadaki bir kanaldan aşağıya düşen yakıt topları, bir boru aracılığıyla tekrar çevrime alınıyor. Bir yakıt topu, bu şekilde üç yıl içinde 10 tur yapabiliyor. Çakıllardan çıkan nötronların ısıttığı helyum gazı, bir türbin aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülüyor. Tasarımın klasik hafif su reaktörlerine üstünlüğü, kullanılmış yakıtın grafit topları içinde uzun süre güvenli bir biçimde depolanabilmesi ve yeraltı suyunun aşındırıcı etkilerine karşı, çok daha dirençli olması.



Fisyon Reaktörü Nasıl Çalışıyor?



Geleneksel basınçlı su reaktörüyle çalışan bir nükleer santral tasarımı (üstte). Isı transferi için helyum gibi gazlar ve nötronları yavaşlatmak için grafit kullanılan yüksek sıcaklık gaz reaktörleri (altta).

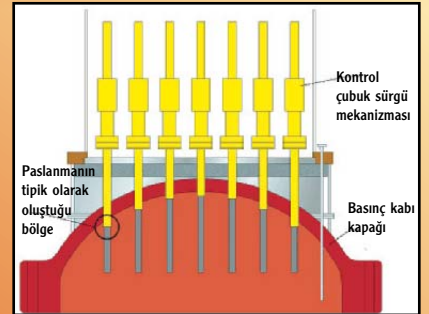
yapımcıları, farklı yöntemlerle güvenliğini öne çıkaran dördüncü kuşak reaktörlerle, piyasa kapma yarışına hazırlanıyorlar. Nükleer reaktörler, parçalanabilir yakıttan sağlanan ısıyı buhara dönüştürülmesi ve buharın da elektrik üreten türbinleri çevirmesi temelinde çalışıyorlar. Sıradan reaktörlerin çok büyük bölümü, suyu aynı zamanda parçalanma tepkilerinin gerçekleştiği reaktör kalbini soğutmak için de kullanıyorlar. Yeni tasarımlardaysa reaktörü soğutmak için gaz, kurşun,

erimiş tuz, sodyum ve hatta süperkritik sıcaklıkta su kullanılması da öngörülmüyor. Bu dördüncü kuşak reaktör tasarımlarının önemli bir avantajı; uranyumun değişik izotoplarının, hatta toriyumu da içeren karma yakıtların kullanımına izin vermeleri. Bunun diğer yarısı, kullanılmış yakıt içindeki radyoaktif ürünlerin miktarının azaltılması ve teröristlerin eline geçmesinden korkulan parçalanabilir plütonyum çekirdeklerinin atık içindeki miktarını en aza indirmek.

Aman Dikkat!..

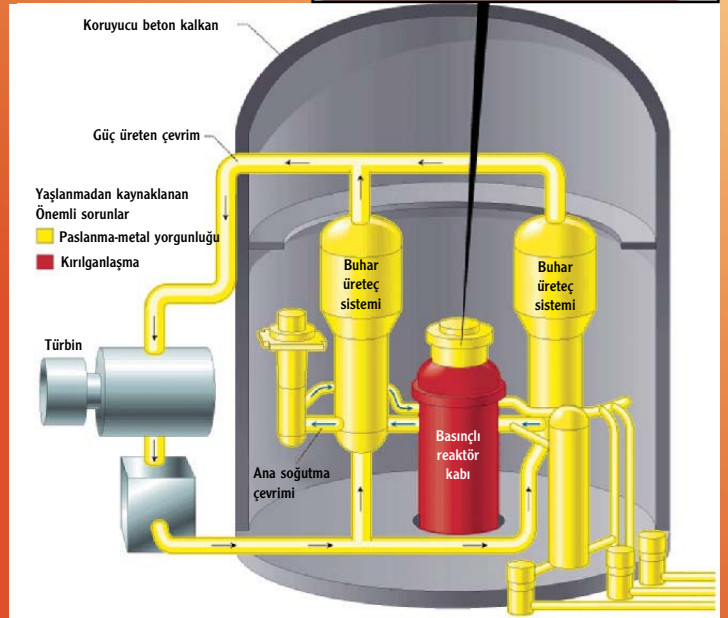
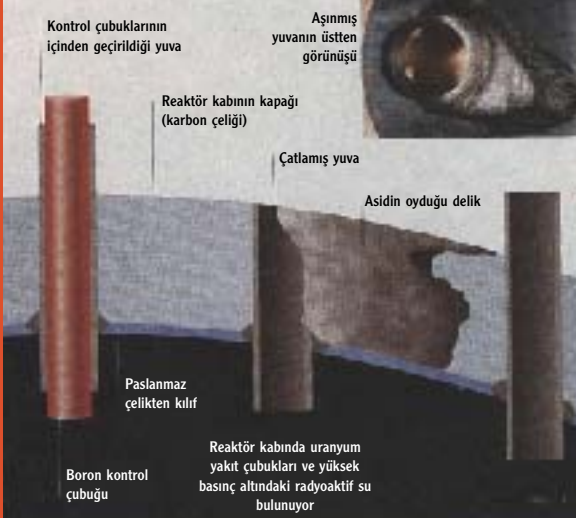
Dördüncü kuşak reaktörlerin, nükleer enerji karşıtlarının üzerinde odaklandıkları bir özelliği, sıradan reaktörlere göre daha yüksek sıcaklıklarda çalışmaları. Nükleer karşıtı lobinin sözcüleri, bu sıcaklıkların kullanılan malzeme ve ekipmanda önceden öngörülmeven bazı hasarlara yol açması olasılığını dile getiriyorlar. Görece daha düşük sıcaklıklarda çalışan günümüz reaktörlerinde, özellikle ABD'de olanlarda ortaya çıkan önemli bir sorun, bu korkunun tümüyle temelsiz olmadığını gösteriyor. İlk kez 1991 yılında Fransa'da ortaya çıkan bir hastalık, ABD'deki nükleer reaktörlerin önemli sayıdaki bir bölümünü etkiler görünüyor: Reaktör kapaklarının üzerinde bulunan ve içlerinden reaksiyonu durduran ya da yavaşlatan kontrol çubuklarının geçtiği yuvalar üzerindeki çatlaklar ve bunlardan sızan borik asidin yol açtığı korozyon. İki yıl önce Ohio'daki David-Besse reaktöründe böyle bir çatlaktan yıllardır sızdığı anlaşılan asidin, reaktörün 138 atmosfer basınca dayanması gereken karbon çeliği kapığında futbol topu büyüklüğünde bir delik meydana getirmiş olduğu anlaşılmış. Reaktör içinde yüksek basınç altındaki radyoaktif suyun delikten dışarıya fışkırmasını önleyen, karbon çeliği kapının tabanında bulunan yalnızca 1 cm kalınlığında-

Nükleer reaktör parçalarının tümü zamanla aşınır. Özellikle güçlü üç yaşlanma olgusu, metal yorgunluğu, korozyon ve kırılma çatlama biçiminde ortaya çıkar. Buhar jeneratörlerinde soğutma suyunun yüksek ısı ve basıncı korozyon (paslanma) ve yorgunluğu hızlandırır. Reaktör kalbinde nötron bombardımanı koruyucu metal yapıyı kırılma hale getirir. Yaşa bağlı olarak ortaya çıktığı görece yeni anlaşılan bir tehlike de kontrol çubuğu sürgü yuvalarının paslanması ve sonunda çatlaması.



Davis - Besse'de Ucuz Atlatılan Felaket

Boron kontrol çubuklarının reaktörün içine indirildiği yuvalardan birinin üst kenarında meydana gelen çatlaktan sızan borik asit zamanla kapak üzerinde bir delik uyuyor. Radyoaktif suyun dışarıya fışkırmasını önleyen yalnızca ince çelik kılıf.

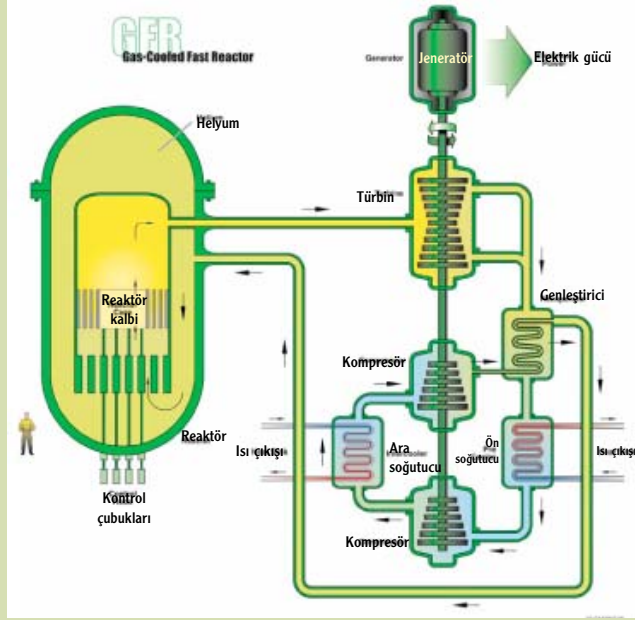


Gaz-Soğutmalı Hızlı Reaktör Sistemi

Gas-Cooled Fast Reactor System - GFR

Sistem, hızlı nötron spektrumlu helyum soğutmalı bir reaktör ve kapalı yakıt döngüsünden oluşuyor. Termal spektrumlu helyum-soğutmalı reaktörlerde olduğu gibi, soğutucu helyum gazının yüksek çıkış sıcaklığı, elektrik, hidrojen ya da işletme ısısında yüksek verim sağlıyor. Tasarımdaki reaktör, 288-megawatt'lık bir helyum-soğutmalı sistem.Yüksek termal verim için direkt Brayton döngülü gaz türbini kullanarak 850°C çıkış sıcaklığıyla çalışıyor. Çok yüksek sıcaklıklarda çalışma ve parçalanma ürünlerini etkili biçimde tutma kapasitesine sahip çeşitli yakıt formlarıyla çalışabilir. Ör: Kompozit seramik yakıt, ileri tasarımda yakıt karşılımları, ya da seramikle kaplanmış aktinid bileşimler. Kalp, prizmatik bloklar ya da iğne ya da plaka tabanlı yakıt blokları kullanımına göre tasarlanabilir. Tasarımda ayrıca santral sahasında atık işleme ve yeniden üretme tesisi de bulunuyor.

GFR, elektrik üretimi için doğrudan döngülü bir helyum türbini kullanabilir, ya da isteme bağlı olarak süreç ısısını hidrojenin termokimyasal yolla üretimi için kullanabilir. Hızlı bir spektrum ve aktinidlerin yeniden işlenmesi sayesinde GFR, uzun yarılanma ömürlü nükleer atık üretimini en aza indiren bir tasarım. GFR'nin hızlı spektrumu, (seyreltilmiş uranyum da dahil) mevcut parçalanabilir ya da üretken yakıtları, tek kullanımlı yakıt döngülerine sahip termal spektrum gaz reaktörlerine kıyasla çok daha verimli kullanma olanağı sağlıyor.



ki paslanmaz çelik astarmış ki, olay farkedildiğinde bu astarın da balonlaşmaya başladığı görülmüş. Reaktör içinde soğutma ve yakıtın parçalanma verimini artırmak için nötronları yavaşlatma görevi yapan suyun reaktörden kaçması, reaktörün aşırı ısınarak erimesi ve yüksek derecede radyoaktif maddelerin atmosfere sızması demek. 1979'da, ABD'nin en büyük nükleer kazasında olan da bu. David-Besse reaktöründe yeni bir felaketin son anda önlenmesi üzerine hızlandırılan denetimler sonucu, 14 başka reaktörde çatlaklar bulunmuş. Nükleer santralleri işleten şirketler, şimdi her biri 25 milyon dolar maliyetle 29 reaktörün kapağını değiştirmeyi planlıyorlar. Santraller yaşlandıkça, bu hastalığın daha da yayılacağı, nükleer karşıtlarınca vurgulanıyor.

Dördüncü kuşak reaktör tasarımlarının bazıları, özellikle bu soruna yanıt getirme iddiasında. Ancak, yeni tasarımlar demek, arkalarında devlet desteği bile olsa bunların hemen yarın devreye

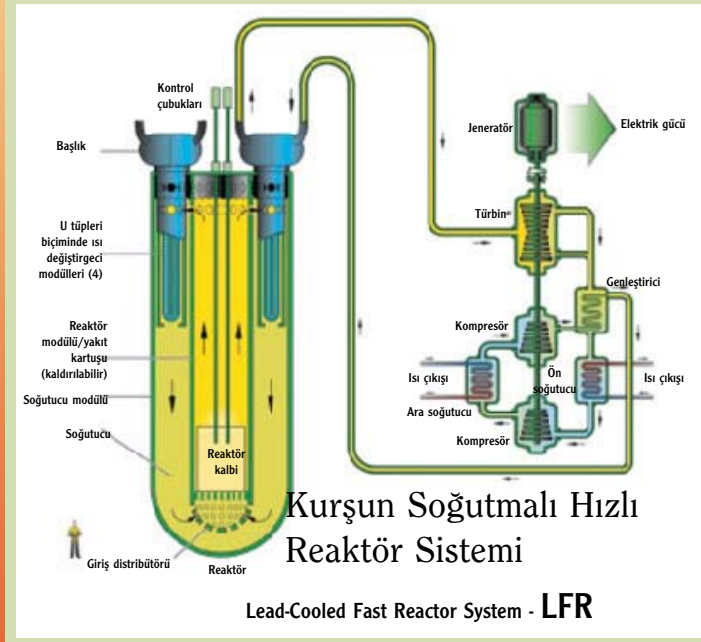
gireceği demek değil. Nedeni, radikal tasarımların henüz kağıt üzerinde olması ve ekonomik sorunlar bir tarafa bırakılacak olsa bile, gerçekleştirmeleri için başka bazı teknik sorunların üzerinden gelinmesi gereği. Tabii bunların ekonomik işletim için gerekli koşulları da sağlamaları gerekiyor. Tüm bunlarsa, radikal tasarımdaki reaktörlerin 20 yıldan önce faaliyete geçmesinin güç olduğunu gösteriyor.

Ara Sıcaklar...

Ancak, geleneksel reaktör yapısına görece yakın bir tasarım, şimdiden ringe atılmış görünüyor. Bu, küçük ölçekteki modelleri Almanya ve Çin'de denenmiş olan "çakıl yataklı reaktör". Güney Afrika hükümeti, deneme amaçlı değil, ilk kez büyük ölçüde güç üretecek olan 1200 megawatt kapasiteli "çakıl yataklı" santralinin inşasını başlatmış durumda. Çakıl yataklı reaktörlerin

önemli bir özelliği, modüler yapıda olmaları. Bunun anlamı, her biri 120 megawatt güç üretmek üzere tasarlanmış reaktörleri, gereksinimlerinize göre istediğiniz sayıda yan yana koyarak daha küçük ya da daha büyük santraller kurabilmeniz.

Dünyada halen faal durumdaki santrallerin büyük çoğunluğunda kullanılan basınçlı su reaktörlerinde yakıt, uzun çubuklar içine yerleştirilmiş tablet biçimli kapsüllerden oluşur. İçinde çok sayıda kapsülün dizili olduğu binlerce çubuk, reaktör kalbine yerleştirilir. Yakıtta meydana gelen nükleer tepkimelerin ürettiği ısı, reaktör içinde yüksek basınç altında dolanan soğutma suyunca alınır ve reaktör dışındaki bir ısı değiştiricisinde, daha düşük basınçlı buhara aktarılır. Buhar da bir türbin içinde genişler ve bir jeneratörü çevirerek elektrik üretir. Geleneksel reaktörlerdeki yakıt çubuklarının her iki yılda bir, bir bölümünün değiştirilmesi gerekir. Bu da nükleer santralin bir süre devre dışı kalması anlamına gelir.



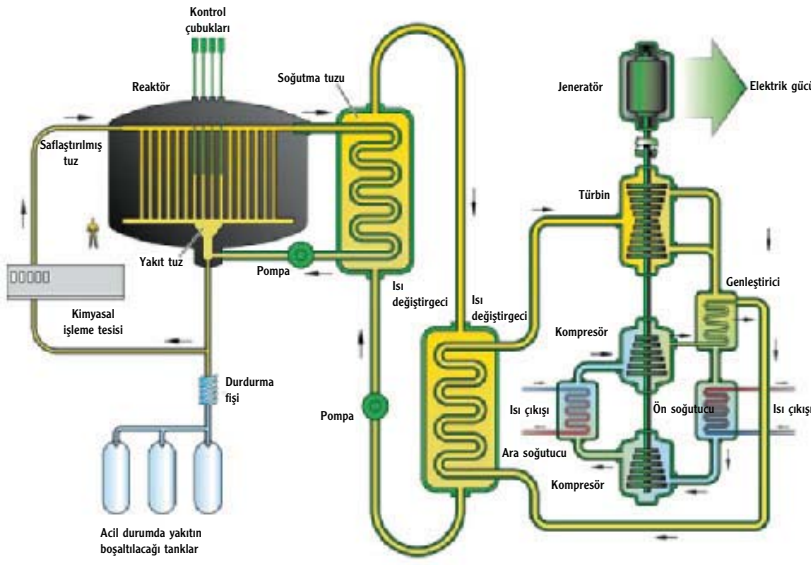
Kurşun Soğutmalı Hızlı Reaktör Sistemi

Lead-Cooled Fast Reactor System - LFR

Üretken uranyumun işlenmesi ve aktinidlerin etkin biçimde azaltılması için hızlı-spektrumlu, kurşun ya da kurşun/bizmut ve yüksek erime yetenekli metalle soğutulan bir reaktörle kapalı bir yakıt döngüsünden oluşuyor. Sistem, merkezi ya da yerel yakıt döngü tesisleriyle aktinidlerin tümüyle yeniden işlenmesini sağlayan bir yakıt döngüsüne sahip. Reaktörler, isteme bağlı olarak 50-150 megawatt'lık, uzun süre yeni yakıt gerektirmeyen bir güç kaynağı, 300-400 megawatt gücünde bir modüler sistem (şekilde) ya da tek üniteli 1200 megawatt'lık büyük bir santral olarak inşa edilebiliyor. Üretken uranyum ya da transuranik elementler içeren yakıt, metal ya da nitrid temelli olabilir. LFR, doğal konveksiyon yoluyla soğuyor. Soğutucunun 550 °C olan reaktör çıkış sıcaklığı, daha ileri teknolojiye malzeme kullanımıyla 800 °C'ye kadar yükselebilir. Yüksek sıcaklık, hidrojenin termokimyasal yoldan eldesi için gerekli.

LFR güç kaynağıysa, çok uzun yakıt yenileme aralıklarıyla (15-20 yıl) ve kapalı bir yakıt döngüsüyle çalışan, bir kaset kalp ya da yenilenebilir reaktör modülüne sahip bir güç üretim düzeneği. Performans özellikleri, küçük ağırlara elektrik üretimine yönelik olması ya da nükleer enerji sistemlerinde entegre bir yakıt döngü altyapısı da kurmak istemeyen gelişme yolundaki ülkelerin gereksinimlerine yanıt vermek üzere tasarlanmış bulunması. Bu güç kaynağı, dağıtım amaçlı elektrik ya da öteki enerji kaynaklarının (Ör: hidrojen) ya da içme suyunun üretiminde kullanılabilir.

Eriyik Tuz Reaktör Sistemi Molten Salt Reactor System - MSR



Sistem içinde dolaşan eriyik tuz karışımıyla beslenen bir 'termal üstü spektrum' (epitermal) reaktörüyle (aşağıdaki şekil) nükleer güç üretmek için tasarlanmıştır. Sistem aktinidleri tümüyle yeniden işleyen bir yakıt döngüsü içeriyor. MSR sisteminde kullanılan yakıt, sürekli dolanan ve sodyum, zirkon ve uranyum floridlerinden oluşan bir karışım. Eriyik tuz yakıtı kalp içindeki grafit kanallardan geçerek epitermal bir spektruma yol açıyor. Eriyik tuzda oluşan ısı, bir ara ısı değiştirgeciyle ikincil bir soğutma sistemine, daha sonra da üçüncü bir ısı değiştirgeciyle de güç çevrim sistemine aktarılıyor. Güç santrali 100 megawatt güç üretim kapasitesine sahip. Sistem, istenirse 800 °C'ye kadar yükseltilebilen, 700 °C'lik bir soğutucu çıkış sıcaklığıyla çalışıyor. Kapalı yakıt döngüsü, plütonyum ya da küçük aktinidlerin etkin biçimde yakılması için de ayarlanabiliyor. MSR'nin sıvı yakıtı, plütonyum gibi aktinidlerin eklenmesine uygun ve yakıtın fabrikada yapımına gerek bırakmıyor. Aktinidler ve parçalanma ürünlerinin büyük çoğunluğu, sıvı soğutucu içinde foridler oluşturuyor. Erimiş florid tuzları, mükemmel ısı transfer yeteneğine sahip. Ayrıca bunların düşük buhar basınçları, reaktör kabı ve borulardaki gerilim düzeylerini de azaltıyor.

Çakıl yataklı reaktörse yüksek sıcaklıkta çalışan bir gaz soğutmalı reaktör. Reaktöre adını veren "çakıllar" da ikide bir yakıt yükleme sorununu ortadan kaldırıyor. Bir kere, bu çakıllar plajda gördüklerimize benzemiyorlar. Yaklaşık bir bılardo topu büyüklüğünde (6 cm çapında) grafit küreler. Grafit kabuğun içindeyse herbiri bir haşhaş tohumu büyüklüğünde 15.000 adet küçük uranyum dioksit tanecği bulunuyor. Taneciklerin özelliği, herbirinin, parçalanma (fasyon) ürünlerini hapseden yüksek yoğunlukta karbondan yapıyla birkaç kat kılıfla çevrili olmaları. Bu "pyrolitik" kılıflar, sıkıştırılmış karbon) üzerine metal atomları püskürtülerek hazırlanıyor. Böylece hem dayanıklılık hem de esneklik kazanan kılıflar, birbirinin üzerinden kayıp dururken kolayca aşınmadıkları gibi yüksek sıcaklıkta biçimlerini değiştirebiliyor ve çatlayıp içlerindeki yakıtı saçmıyorlar.

Bir reaktör modülüne, grafit kaplı ve içi tıka-

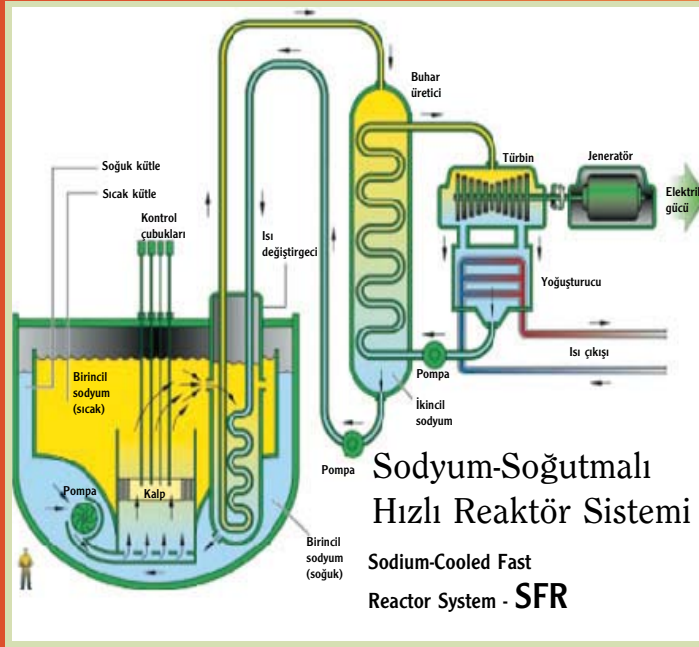
basa tanecik dolu toplardan ya da "çakıllardan" 330.000 tane konuyor. Bunlara ek olarak 185.000 tane de içi boş "çakıl" konuyor. Bunların göreviyse reaktör içindeki ısı dağılımını eşitlemek ve uranyumun parçalanması sonucu serbest kalan nötronları yansıtır yavaşlatarak tepkilerin şiddetini azaltmak.

Çakıl yataklı reaktörler, 900 °C gibi, basınçlı su reaktörlerinin çalışma sıcaklığından çok daha yüksek bir sıcaklıkta çalışmak üzere tasarlanmıştır. Bu nedenle, termal verimi iyi ve enerjisinin büyük bölümünü elektrığe dönüştürebiliyor. Soğutma için helyum gazı kullanılıyor. Helyum, sıcaklığı iyi ileten bir element ve suyun aksine, öteki malzemelerin paslanarak aşınmasına yol açmıyor.

Bu reaktörlerin önemli bir avantajı da, reaktörün kapatılmasına gerek olmaksızın yakıtın sürekli olarak yenilenebilmesi. Yakıt yandıkça, "çakıllar" bir ciklet makinesinde olduğu gibi yavaş yavaş aşağı doğru iniyor ve dakikada bir tane ol-

mak üzere reaktör kalbinin altından dışarı çıkıp sonra yeniden reaktörün tepesinden içeri giriyorlar. Her top, reaktör kalbi içinden on kez geçecek şekilde tasarlanmış ve çakıl yataklı reaktörlerin üreticisi Eskom şirketi, reaktörün yeni yakıt yüklenmeksizin 6 yıl kadar çalışabileceğini söylüyor.

Nihayet, çakıl yataklı reaktörün tasarımcılarının üzerine basa basa vurguladıkları bir başka özellik de, "pasif güvenlik" sistemi. Yukarıda da değinildiği gibi geleneksel basınçlı su reaktörlerinde en büyük tehlike, herhangi bir su kaybı nedeniyle reaktörün aşırı ısınması ve çevreye radyasyon saçması. Oysa, çakıl yataklı reaktördeki helyumun tümü kaçsa bile reaktör yalnızca durup doğal bir biçimde sıcaklığını yitirmeye başlar. Bu nedenle de reaktörün geleneksel reaktörlerde olduğu gibi betondan bir kubbe içine yerleştirilmesine gerek olmuyor. Acil bir durum nedeniyle ya da bakım için reaktörü kapatmak gerektiğinde reaktör kalbine kontrol çubuklarının sokulması yeterli.



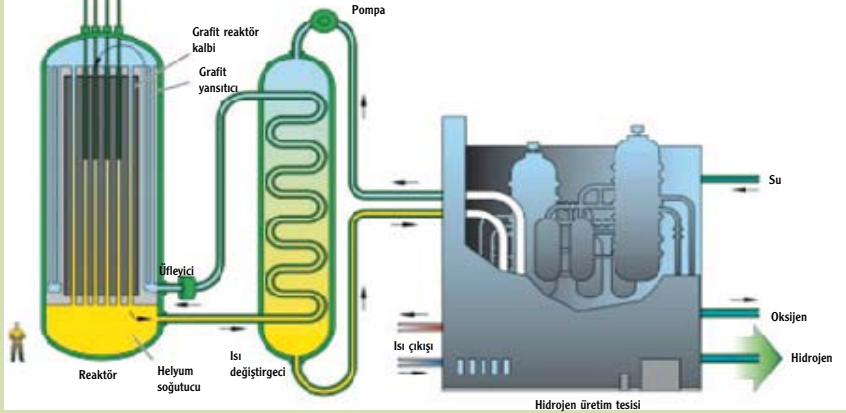
Sodyum-Soğutmalı Hızlı Reaktör Sistemi
Sodium-Cooled Fast Reactor System - SFR

Hızlı spektruma sahip sodyum soğutmalı bir reaktör ve kapalı yakıt devresinden oluşuyor. Aktinidlerin kontrolü ve üretken uranyumun çevrimi için uygun. Yakıt döngüsü, iki seçenekle aktinidleri yeniden işliyor. Birinci seçenek, uranyum-plütonyum-küçük aktinid-zirkon metal bileşimi yakıtla çalışan ve reaktörle entegre edilmiş bölmelerde pirometalurjik süreçlere dayanan bir yakıt döngüsüyle desteklenen 150 -500 megawatt arası güç üretmek için tasarlanmış orta ölçekli bir reaktör. İkinci seçenekse, birden çok reaktöre hizmet veren ileri sıvı işleme süreçleriyle çalışan merkezi bir yakıt döngüsüyle desteklenen, yakıt olarak uranyum-plütonyum oksitlerinin karışımını kullanan, sodyum soğutmalı, orta-yüksek ölçekli (500-1500 megawatt) bir reaktör. Her iki tipte reaktörün soğutucu çıkış sıcaklığı 550 °C.

SFR, başta plütonyum ve öteki aktinidler olmak üzere yüksek düzeyde radyoaktif atıkların yok edilmesi ya da azaltılması için geliştirilmiş bir tasarım. Sistemin önemli güvenlik avantajları arasında uzun bir termal tepki süresi, soğutucunun kaynama noktasına varmasını önleyecek bir çalışma sıcaklığı, atmosfer basıncı civarında çalışan bir ana sistem ve ana sistemdeki radyoaktif sodyum ile güç üreticisindeki su ve buhar arasında dolanan bir ara sodyum sistemi. Yatırım maliyetini düşürecek yeniliklerle, sistem elektrik üretimi için pazar bulabilir görünüyor. SFR'nin hızlı spektrumu, (seyreltilmiş uranyum da dahil) mevcut parçalanabilir ya da üretken yakıtları, tek kullanımlı yakıt döngülerine sahip termal spektrum gaz reaktörlerine kıyasla çok daha verimli kullanma olanağı sağlıyor.

Çok Yüksek Sıcaklık Reaktör Sistemi

Very-High-Temperature Reactor System - VHTR



Grafit yavaşlatmalı, helyum soğutmalı, tek kullanımlı uranyum yakıt döngüsüne sahip bir reaktör (aşağıdaki şekil). Kalp çıkış sıcaklığı 1000 °C olan ısı sağladığından, hidrojen üretimi ya da petrokimya ve benzeri sanayiler için çalışma ısısı olarak kullanım alanları var. Standart reaktör, 600 megawatt'lık, çalışma ısısı sağlamak için bir ara ısı değiştiricisine bağlanmış bir kalp. Reaktör kalbi, halen Japonya'da kullanılan HTTR gibi bir prizmatik blok reaktörü, ya da Çin'de deney amaçlı kullanılan HTR-10 gibi bir çakıl yataklı reaktör olabilir. Hidrojen üretimi için sistem, termo-

kimyasal iyot-kükürt sürecinde etkin biçimde kullanılabilecek ısı sağlayabilir. VHTR sistemi, çok çeşitli bir yelpazede elektrik kullanımına dayanmayan, yüksek sıcaklık gerektiren enerji yoğun süreçlere çalışma ısısı sağlamak üzere tasarlanmış bir yüksek verim sistemi. Ama sisteme, istenirse ısısının yanında elektrik üretecek sistemler de eklenebiliyor. Sistem ayrıca U/Pu yakıt döngülerini de kullanabilecek kadar esnek ve atık miktarını önemli ölçüde azaltıyor. Ayrıca, yüksek sıcaklıkta çalışan gaz soğutmalı modüler reaktörlerin taşıdığı güvenlik mekanizmalarını da taşıyor.

Tüm bu çekici özelliklerine karşın çakıl yataklı reaktörlerin nükleer endüstrinin hazırlandığı geleceğe birinci mevki biletle gitmesi zor gibi görünmüyor. Önemli bir sorun, reaktörün fiyatı. Uzmanlar, Güney Afrikalı şirket bu reaktörü, örneğin İngiltere'deki reaktörlerin yarı fiyatına mal etse, güvenlikle dünya standartlarının üzerine yükselse ve santrali işletme masraflarını Amerika'dakilerin seviyesine düşürse bile, bunların hâlâ doğal gaz santrallerinden daha pahalı olacağına vurgu yapıyorlar. Santralin yüksek teknolojisi de, iş maliyet hesaplarına geldiğinde pazarlamacıların karşısına dikiliyor. Nedeni, 10 reaktör modülünden oluşan bir enerji santrali için her yıl, her biri kusursuz hazır-

lanmış 10 milyar yakıt tanecığının gerekmesi. Bu, aynı kapasitede bir basınçlı su reaktörü için gerekli yakıt kapsülü sayısının bin katı.

IV. Kuşak

Artlılarıyla, eksileriyle çakıl yataklı reaktörün, geleneksel basınçlı su reaktörlerinden radikal ölçüde farklı özelliklere sahip olduğunu gördük. Yine de bu tasarım, IV. Kuşak Uluslararası Forumu (Generation IV International Forum - GIF) diye adlandırılan uluslararası bir uzmanlar komitesince belirli ölçütlere göre seçilen 6 değişik tasarım arasında girebilmiş değil.

Komitenin, seçimini yaparken üzerinde durduğu ölçütler arasında yaratıcı çözümlerle sağlanacak uzun işletme ömrü, kabul edilebilir işletme maliyetleri, proje riskini azaltacak modüler tasarım gibi ekonomik öğelerin yanı sıra "sürdürülebilirlik" ve "güvenlik", ağırlıklı önem taşıyor. Komite, sürdürülebilir nükleer enerjinin, kirlenici enerji kaynaklarına alternatif olarak çevreye olumlu bir etki yapması gerektiğinin altını çizmiş bulunuyor. Bu arada, nükleer enerjiyle üretilmiş hidrojen de önemli hedefler arasında sayılıyor. Ayrıca, nükleer atıkların uzun sürelerle (1000 yıl ve ötesi) yer altı depolarında güvenli biçimde saklanabilmesi ve atıkların, depolanmadan önce (dönüştürme yoluyla) yarılanma ömürlerinin ve zehirliliklerinin önemli ölçüde azaltılması da vurgulanan öncelikler arasında. Nükleer enerjiden gelecek kuşakların da yararlanabilmesi için yakıt kaynaklarının hızlı tüketmesini engellemek üzere, kullanılmış yakıtın yeniden işlenmesi ve U-238'in parçalanabilir yakıtla dönüştürülmesi de "sürdürülebilirlik" için gereken adımlar olarak sayılıyor.

Komite ayrıca, reaktör ve santrallerin güvenli biçimde işletilebilmesi için tasarımların içsel güvenlik mekanizmalarının, konunun uzmanı olanlara da güven verici biçimde geliştirilmesi, böylece kamuoyunun nükleer enerjiye güveninin artırılması gereğine de işaret ediyor. Nihayet 4. kuşak için konulan ölçütler arasında parçalanabilir radyoaktif malzemenin nükleer silah yapımı için kullanılması ya da teröristlerin eline geçmesini önlemek için reaktör tasarımlarında içsel engeller ve santrallerin harici güvenliğiyle ilgili etkili önlemler de yer almış bulunuyor.

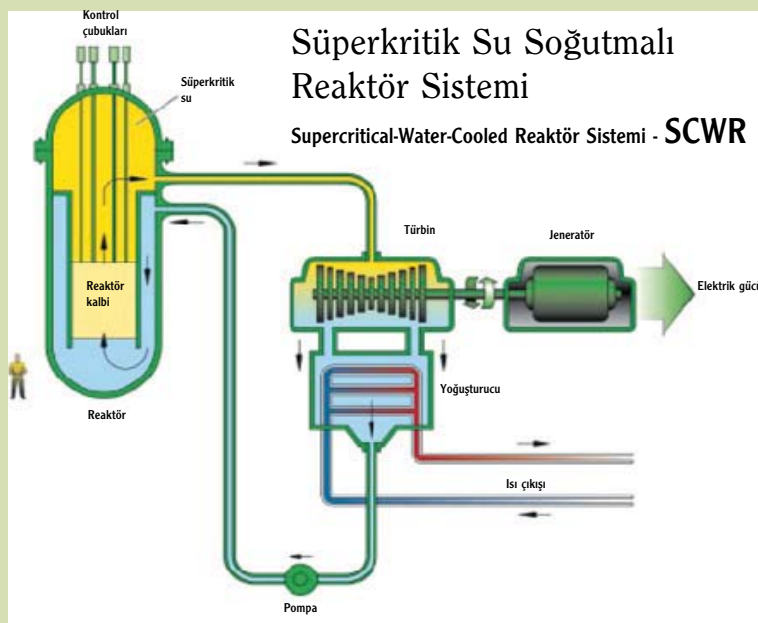
Bu gereksinimlere yanıt verdiği sonucuna varılan 6 adet IV. kuşak tasarım, çerçevelerde özetleniyor.

Derleyen: Raşit Gürdilek

Kaynaklar
Durrani, M., "New Designs on Nuclear Energy", Physics World, Temmuz 2002
Chandler, D., "America Steels Itself to Take the Nuclear Plunge", New Scientist, 9 Ağustos 2003
Overview of Generation IV Technology Roadmap, Roadmap Backgrounder RQ07-01, 18 Eylül 2002
<http://www.spectrum.ieee.org/WEBONLY/publicfeature/nov01/nrecof1.html>

Süperkritik Su Soğutmalı Reaktör Sistemi

Supercritical-Water-Cooled Reactör Sistemi - SCWR



Yüksek sıcaklıkta, yüksek basınçta suyla soğutulan reaktör (şekilde), suyun termodinamik kritik noktasının (374 °C, 22,1 megapascal) üzerindeki (süperkritik) sıcaklıkla çalışıyor. Süperkritik soğutma suyu, günümüzde kullanılan hafif su reaktörlerinininkinden üçte bir daha fazla termal verim sağlamanın yanı sıra, santralin kararlılığının basitleştirilmesine olanak tanıyor. Santral kararlılığının basitleştirilmesinin nedeni, soğutucunun reaktör içinde faz değişikliğine uğramaması ve doğrudan güç çevrim sistemine bağlanabilmesi. Standart sistem, 1700 megawatt gücünde bir reaktör. Çalışma basıncı 25 Mpa. 510 °C'lik reaktör çıkış sıcaklığı, 550 °C'ye yükselebilir. Kullanılan yakıt, uranyum oksit. Basitleştirilmiş kaynak su reaktörlerindeki benzer pasif güvenlik özellikleri taşıyor.

SCWR sistemi, temel olarak verimli elektrik üretimi için tasarlanmış. Ancak, kalp tasarımında iki ayrı seçenekle aktinid azaltmak için de kullanılabiliyor. SCWR termal ya da hızlı bir spektruma sahip olabilir. Bu nedenle de iki yakıt döngü seçeneğiyle çalışabilir. Bunlardan birincisi, hızlı spektrum reaktörüyle çalışan açık yakıt döngüsü, ikincisiyse hızlı spektrum reaktörüyle çalışan ve aktinidleri yeniden işlemek için merkezi konumlu sıvısal işleme tesisi içeren kapalı yakıt döngüsü.