

Çok Amaçlı İleri Teknoloji Uygulamaları İçin Geliştirilen Bir Araştırma Reaktörü: MYRRHA

Bugün ülkelerin cevaplamaları gereken en önemli sorulardan biri toplumun gittikçe artan enerji ihtiyacını ve özellikle elektrik enerjisi tüketimini nasıl karşılayacaklarıdır. 20. yüzyılda enerji kaynakları çoğunlukla fosil yakıtlardan sağlanmıştır. Bugünlerde gittikçe azalan hidrokarbon kaynakları ve atmosferin gittikçe artan karbon dioksit kirlenmesi gerçekleriyle karşı karşıyayız. Bu gerçeklerin yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları toplumun enerji ihtiyacını karşılayacak potansiyele sahip değil. Bu yüzden Avrupa Birliği, Japonya, ABD, Kore, Rusya, Çin, Hindistan ve başka ülkeler, nükleer enerjinin ülkenin “enerji torbasının” bir parçası olması gerektiği gerçeğini uzun süreden beri kavramıştır.

Bugün dünyada çalışmakta olan nükleer reaktörlerin pek çoğu yakıt olarak doğal uranyum mineralini kullanmaktadır. Bu reaktörlerin teknolojisi termal nötron tayfına dayalı olduğu için, doğal uranyum mineralinin (U-235) sadece yüzde 0,7 gibi çok küçük bir kısmı yakıt olarak kullanılabilir. Çalışmakta olan ve yapılması planlanan reaktörler termal nötron tayfına dayalı bilinen teknolojiyle çalışmaya devam ederse, 21. yüzyıl sona ermeden doğada bulunan uranyum mineral kaynaklarının çok azalacağı öngörülmektedir. Buna karşın hızlı nötron tayfına dayalı reaktörler doğal uranyumun geriye kalan yüzde 99,3 oranındaki (U-238) ezici çoğunluğunu plütonyuma çevirerek yakıt olarak kullanılabilir. Hızlı nötron teknolojisine dayalı reaktörlerin, bilinen reaktörlerin 50 katına kadar ulaşabilen yüksek verimle çalışabilecekleri ve yeryüzünde bulunan uranyum mineral kaynaklarıyla birkaç bin seneden daha uzun bir süre enerji üretmeye devam edecekleri öngörülmektedir. Ayrıca bu yeni teknolojiye dayalı reaktörler uranyumun yanı sıra toryum mineralini de yakıt olarak kullanabilir. Yeryüzünde toryum mineralinin uranyum mineralinden neredeyse dört kat daha fazla bulunduğu önüne

alınırsa hızlı nötron teknolojisine dayalı reaktörlerin önemi açıkça görülmektedir.

Çalışmakta olan konvansiyonel reaktörler büyük miktarda elektrik enerjisinin yanı sıra yüksek seviyede radyoaktif atık üretmektedir. Bu radyoaktif atıkları (Belçika'nın Boom bölgesindeki kil katmanlarında depolandığı gibi) derin jeolojik tabakaların altına depolamak bir çözüm gibi görünse de, bu atıkların radyotoksin seviyelerinin doğal uranyum seviyesine düşmesi için 0,5 ile 1 milyon sene gibi uzun bir süre gerekmektedir. Dolayısıyla bu atıkların çevreye verdiği zararı en düşük seviyeye indirmek için yeni teknolojiler geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu atıklardaki, aktinit grubundan amerikyum, küriyum ve neptünyum gibi yarı ömürleri çok uzun ve yüksek seviyede radyoaktif elementleri dönüştürerek, atıkların etkinlik ömrünü büyük ölçüde kısaltmak mümkün olmaktadır. Dönüştürme (transmutasyon) esnasında aktinit atomlarının çekirdeklerinin parçalanması sonucu ortaya çıkan fisyon ürünlerinin yarı ömürleri aktinit atomlarının yarı ömürlerinden çok daha kısadır. Dolayısıyla, bu ürünlerin radyotoksin seviyeleri birkaç yüzyıl sonunda doğal uranyum mineralinin seviyesine inmektedir.

Yarı ömürleri çok uzun ve yüksek seviyede radyoaktif olan elementleri etkinliği daha düşük başka elementlere dönüştürmek için hızlı nötron teknolojisiyle çalışan yeni nesil reaktörlere ihtiyaç vardır. Bu hızlı çalışan reaktörlere uyumlu yeni teknolojileri geliştirmek için de geniş tayfla çalışabilen hızlı bir nötron ışınlama sistemine ihtiyaç vardır. Büyük miktarda aktinit atığını dönüştürmek için yeni nesil reaktörler, hızlı bir işleme potansiyeline sahip olmalıdır. Bu atıkları dönüştürecek bir sistemin tasarımı nükleer endüstride yeni uygulamalara yol açacak önemli bir ilk adım olacaktır. Bu amaç için sadece dönüştürme ilkesinin açığa kavuşturulması yeterli değildir, bunun yanı sıra yeni nesil reaktörlerin tasarlanması için gerekli teknolojinin de geliştirilmesi gerekmektedir.

Geniş tayfla çalışan hızlı nötron ışınlama sistemi, enerji üretiminin ve nükleer atıkları değişime uğratmanın yanı sıra ileri seviye teknolojiler üretebilecek araştırmaların yapılması için de çok faydalı olacaktır. İleri seviye teknolojiler arasında uzay araçları bilimi ve telekomünikasyon malzemelerinin geliştirilmesini ve tıp alanında uygulamalar için gerekli radyoizotopların üretim yöntemlerinin geliştirilmesini sayabiliriz.

Bütün bu teknolojileri geliştirmek için, yüksek performansla çalışan, gerek nötron enerjisi gerekse nötron akışı bakımından esnek ve gerçek şartlara uyumlu bir nötron ışınlama sisteminin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu yüzden, yeni teknolojileri geliştirebilmek ve yeni araştırmalara yön verebilecek bir pilot nötron ışınlama sistemini tasarlamak ve hayata geçirmek, çok önemli bir ilk adım olacaktır. Bu amaca ulaşmak için, Avrupa ülkeleri kısa adı ERAER olan deneysel reaktörler üzerinde çalışmayı amaçlayan bir araştırma grubu oluşturmuştur. Bu araştırma gurubunun çalışma amaçları üç noktada özetlenebilir:

1. Esnek ve termal nötron tayfıyla çalışan bir ışınlama tesisi tasarlayıp inşa etmek. Bu tesiste yapılacak araştırmalarda, halihazırda kullanılan nükleer reaktörlerde ve ileride yapılması düşünülen reaktörlerde yakıt performansını artıran ve reaktörlerde kullanılan malzemelerin yapılarını güçlendirici teknolojiler geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu sistem tıp alanında kullanılan radyoizotopların elde edilmesi için de yedek bir tesis oluşturacaktır. Bu amaçlara hizmet etmek için, Fransa'nın Cadarache şehrinde yapımına başlanan Jules Horowitz reaktörünün 2014-2015 döneminde tamamlanıp çalışır hale getirilmesi beklenmektedir.

2. Avrupada tıp alanında kullanılan radyoizotopları üreten seçkin bir nötron ışınlama tesisi tasarlayıp inşa etmek. Bu tesisin aynı zamanda halihazırda kullanılan ve ilerisi için tasarlanan reaktörlerin performanslarıyla ilgili yeni teknolojiler geliştirmede, yukarıda bahsedilen tesis için tamamlayıcı bir rol oynaması düşünülmektedir. Hollanda, HFR reaktörünü PALLAS reaktörüyle yenileyip bu amaçlara hizmet etmesi beklenen bir ışınlama tesisi yapmayı planlamaktadır.

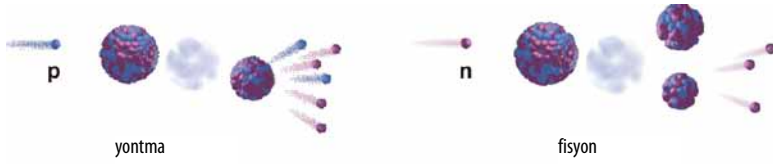
3. Esnek ve hızlı nötron tayfıyla çalışan bir ışınlama tesisi tasarlayıp inşa etmek. Bu tesiste yapılacak araştırmalarda, ileride tasarımı düşünülen yeni nesil reaktörlerde yakıt performansını artıran ve reaktörlerde kullanılan malzemelerin yapılarını güçlendirici teknolojiler geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bir proton hızlandırıcının güdümüyle çalışan MYRRHA projesindeki hızlı nötron reaktörü, bu amaca hizmet etmek için geliştirilmektedir. Bu hızlı nötron reaktörünün yüksek seviyeli radyoaktif nükleer atıkların dönüştürülmesi için çok kullanışlı bir tesis olması beklenmektedir; ayrıca tıp alanında kullanılan radyoizotopların elde edilmesi için yedek bir tesis de oluşturacaktır. Aynı zamanda bu reaktörün, hızlı sodyum reaktör teknolojisinin yeni bir türünün geliştirilmesine önemli katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

MYRRHA: Güvenli ve Esnek Bir Araştırma Tesisi

MYRRHA reaktörü yukarıda belirttiğimiz amaçları karşılayan hızlı nötron ışınlama yöntemiyle çalışan bir araştırma tesisi olacaktır. Ulusal ve uluslararası ortaklarıyla birlikte Belçikada, Mol şehrinde yer alan Nükleer Araştırma Merkezinde (SCK-CEN) zengin bir araştırma ve geliştirme programının desteğiyle, böyle bir tesisi tasarlamak ve inşa etmek için 1988 yılından beri çalışmalar yapılmaktadır. MYRRHA "Hızlandırıcı Sürücü Sistem" (HSS) ilkesine dayanmaktadır ve aynı zamanda "almaşık" (hibrid) reaktör olarak da bilinmektedir.

HSS İlkesi

HSS asıl itibarıyla dışarıdan sağlanan hızlı bir nötron kaynağına dayalı olarak "kritikaltında" çalışan bir reaktördür. Buradaki "kritikaltı" teriminin anlamı şudur: Reaktör çalışmaya devam ederken, herhangi bir adımdaki fisyon reaksiyonunda ortaya çıkan nötronlardan ortalama olarak bir tanesinin

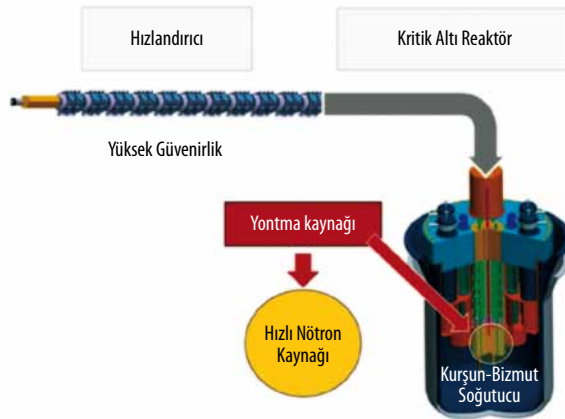


Şekil 1. Fisyon ve yontma reaksiyonları

den daha azı, takip eden ikinci adımda yeni bir fisyon olayı başlatabilir ve yeni nesil nötronların açığa çıkmasına sebep olur. Bu nedenle reaktörde zincirleme reaksiyonun kendiliğinden devam etmesi mümkün olamaz. Buna karşın kritik düzeyde çalışan konvansiyonel reaktörlerde her nesilde ortaya çıkan nötronların en az bir tanesi bir sonraki fisyon olayını başlatabilir ve bu şekilde zincirleme reaksiyon kendiliğinden devam eder. Dolayısıyla, HSS reaktörünün devamlı çalışabilmesi için harici bir nötron kaynağına ihtiyaç vardır. Harici hızlı nötronlar reaktöre bağlanan bir proton hızlandırıcısıyla, yüksek enerjilere kadar hızlandırılmış bir proton demeti reaktörün korunağına yerleştirilen, ağır bir metal hedefe örneğin kurşuna çarpar. Bu çarpışmaların hedef çekirdeklerde yol açtığı “yontmalar” (spallation) sonucunda, hedefe yerleştirilmiş metal kaynaktan çok sayıda nötron açığa çıkar. Açığa çıkan nötronların enerji tayfı iki kısımdan oluşur: Alışıldık fisyon tayfı ve hızlandırıcıdan çıkan proton enerjisine kadar uzanan yüksek enerji kuyruğu. Fisyon ve yontma reaksiyonları Şekil 1’de gösterilmiştir.

HSS reaktörün çalışması “kritikaltı” seviyede olduğu için, reaktör güvenli bir şekilde çalışabilir ve sistemin çalışması değişik şartlar altında, hatta çok miktarda aktinit elementleriyle dolu olduğu zaman bile, kolayca kontrol edilebilir. Kısacası, HSS yüksek derecede radyoaktif nükleer atığı dönüştürmek için ideal bir sistemdir.

Şekil 2. Reaktör tasarımı

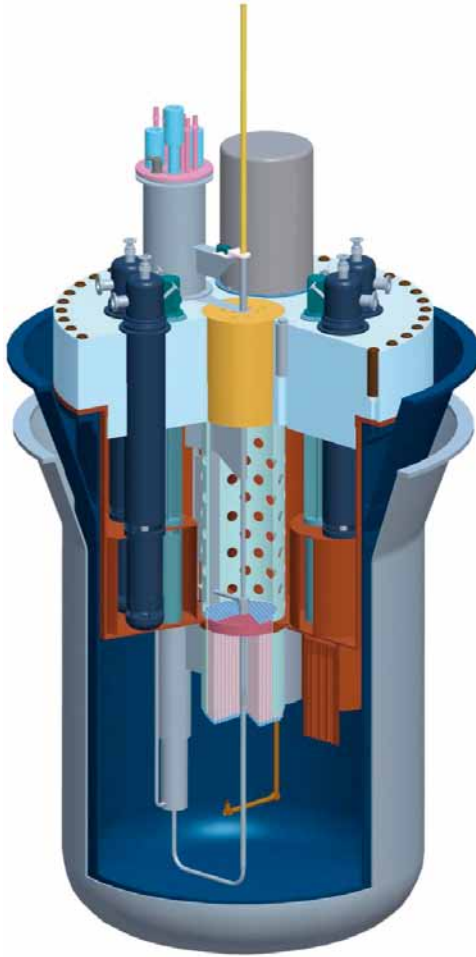


Belçika Nükleer Araştırma Merkezinde, MYRRHA adıyla anılan ve proton hızlandırıcı tarafından güdümlenen almaşık bir reaktör tasarlanmaktadır. MYRRHA dışardan verilen hızlı nötronları kullanarak oksit bileşimindeki plütonyumla zenginleştirilmiş çubuklar kullanarak “kritikaltı” seviyede çalışan bir araştırma reaktördür. Öncül hızlı nötronlar, yoğun akılı ve 600 MeV enerjili bir proton demetiyle kurşun-bizmut gibi ağır metal hedefler bombalanarak üretilir. Bu projenin amaçları, malzemelerin yüksek enerjili nötron (>1,0 MeV) ışınlaması altında davranışını incelemek için Avrupa ülkeleri işbirliği çerçevesinde uluslararası bir nötron ışınlama tesisi kurmak, konvansiyonel reaktörlerde üretilen uzun ömürlü radyoaktif atıkları daha az tehlikeli çekirdeklere dönüştürme mekanizmasını araştırmak, yeni nesil reaktörlerin tasarımı için teknolojiler geliştirmek ve kontrol edilebilir termonükleer füzyon reaktörlerinin geliştirilmesini incelemek olarak özetlenebilir. Ayrıca, MYRRHA proton hızlandırıcısında üretilen demetin bir kısmı, nükleer deneyler için gerekli olan yoğun akılı ve düşük enerjili radyoaktif iyon demeti üretiminde de kullanılabilir.

Teknoloji

MYRRHA sıvı kurşun-bizmut karışımından oluşan “yontma” kaynağına bağlı 600 MeV enerjili proton üreten ve 3,5 mA akışı olan bir proton hızlandırıcısından oluşur. Yontma kaynağı ile metal karışımından oluşan hedef kaynak, “kritikaltı” çalışan reaktör kalbinin merkezinde yer alır ve sıvı kurşun-bizmut karışımıyla soğutulur. Reaktör havuz yapısında bir reaktördür, kurşun-bizmut yontma kaynağı ve kaynağı soğutan sıvı metal karışımı ayrı devrelerde dolaşır. Reaktör tasarımı Şekil 2’de gösterilmiştir.

Halen çalışmakta olan tasarımda, tipik hızlı reaktörlerde olduğu gibi, reaktörün kalbinde plütonyum miktarı % 35 olan ve uzunluğu 0,6 metre olan oksit yakıt çubukları yer almaktadır. Yontma kaynağı-metal karışımının yanı sıra reaktör kalbinde hızlı ve termal nötron ışınlama konumları yer almaktadır. Reaktör aygıtında, birincil pompalar, reaktörün birincil pompalarını soğutmak için ısı aktarma mekanizması ve ayrıca reaktör yakıtını yönlendirmek için robotlar bulunur. Reaktör aygıtının iç çapı 4,4 metre, yüksekliği 7 metre civarındadır ve aygıt yer altında kuruludur. Reaktör aygıtının bir kesiti Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 3. Reaktör aygıtından bir kesit

Bilinen tüm gazların en hafifi olan hidrojen gazı ile normal şartlar altında doldurulmuş bir olimpik yüzme havuzu yaklaşık 1 kg'dır. Dışarı sızan radyasyonu minimuma indirmek için reaktör çift duvarla kaplanmıştır, dış yüzeyi de biyolojik yalıtımla kapatılmıştır. Programın araştırma ve geliştirme çalışmaları için gerekli kaynaklar birkaç Avrupa ülkesi tarafından ortaklaşa karşılanmaktadır. Belçika Nükleer Araştırma Merkezi'nde MYRRHA projesinin ve genel olarak HSS reaktörlerinin geliştirilmesi için yürütülen araştırma ve geliştirme programı şu kilit noktalara odaklanmıştır:

(i) Yontma kaynağının tasarımı: HSS reaktörlerindeki bu tipik tasarım, konvansiyonel reaktörlerle hızlandırıcı teknoloji arasındaki bağlantıyı kurmaktadır.

(ii) Hızlı nötron kaynağı olarak kullanılan kurşun-bizmut teknolojisinin geliştirilmesi

(iii) Reaktör içinde yer alan malzemelerin ve kurşun-bizmut kaynağının nötron ışınlamasına davranışının incelenmesi

(iv) Işınlama altında yakıt ve kurşun-bizmut karışımının etkileşmesinin incelenmesi

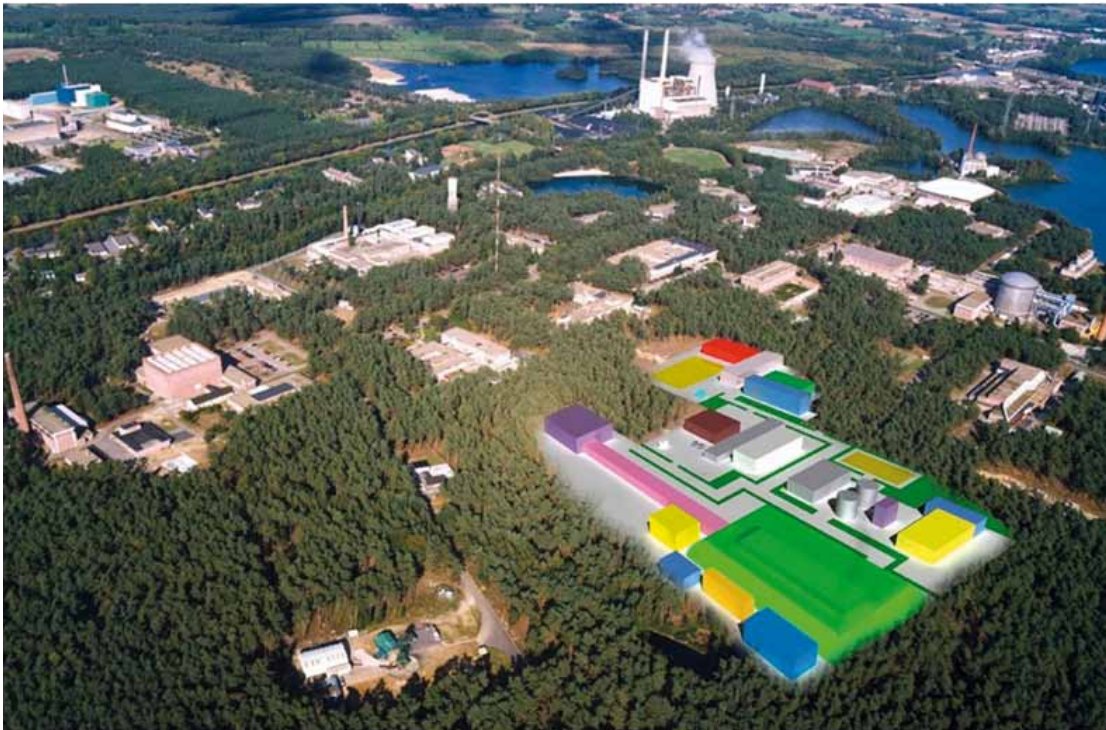
(v) Yüksek frekanslı ses dalgalarıyla algılama teknolojisinin geliştirilmesi

(vi) Sıvı metal ve radyasyon ortamında çalışabilen robotların geliştirilmesi

(vii) "Kritikaltı" ve "kritik" seviyelerde reaktörün çalışmasının incelenmesi ve reaktör kalbini gözetleme teknolojisinin geliştirilmesi.



Prof. Dr. Şakir Ayık 1947'de Ankara'nın Çamlıdere ilçesinde doğdu. 1969'da Ankara Üniversitesi Fizik Bölümü'nde TÜBİTAK-NATO bursiyeri olarak lisans eğitimini tamamladı. Ardından burslu olarak Yale Üniversitesi'ne giderek kuramsal nükleer fizik alanındaki doktora çalışmalarını 1974 yılında bitirdi. Bir süre Almanya'da, Heidelberg Üniversitesi'nde, GSI nükleer araştırma merkezinde ve Münih Teknik Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. Sonra tekrar ABD'ye döndü ve 1985'ten beri Tennessee Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.



Kaynaklar

<http://iks32.fys.kuleuven.be/wiki/brix/index.php/Workshops>.
V. N. Fedosseev et al., NIM B 266 (2008) 4378.
N. Lecesne et al., NIM B 266 (2008) 4338.