

Yeşil Nükleer Enerji

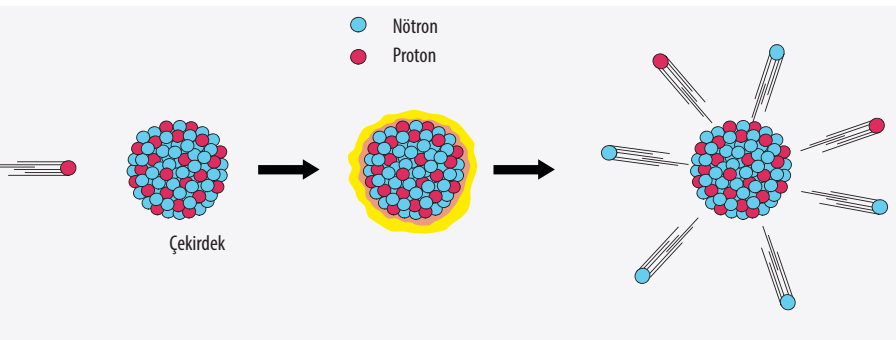
Proton Hızlandırıcıya Dayalı Toryum Yakıtlı Enerji Sistemi

Türkiye'nin zengin toryum rezervlerine hızlandırıcı teknolojisini ekleyebilirsek ülkemizin ve hatta Dünya'nın enerji problemini çözebilir, böylece Profesör Engin Arık'ın rüyasını gerçekleştirebiliriz.

21. yüzyılın stratejik teknolojileri arasında önemli yere sahip parçacık hızlandırıcıları bilim, teknoloji, tıp ve sanayinin birçok alanında kullanılıyor. Ülkemiz açısından belki de en önemli kullanım alanı ise Nobel Ödülü sahibi Carlo Rubbia'nın önderliğinde 1990'larda Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN) tarafından önerilen, Enerji Yükseltici (*Energy Amplifier-EA*) veya Hızlandırıcı Sürümlü Sistem (*Accelerator Driven System-ADS*) teknolojisi. Dünyanın artan enerji ihtiyacını karşılamak için geleneksel nükleer reaktörlere alternatif olarak geliştirilen bu teknoloji, özellikle son yıllarda büyük aşamalar kaydetti. Toryumu nükleer yakıt olarak kullanmaya imkân sağlayacak bu teknoloji Türk kamuoyunun gündemine, 2007'de elim bir uçak kazasında kaybettiğimiz Prof. Dr. Engin Arık'ın 2002'de basına verdiği söyleşi ile taşınmıştı.

Son yıllarda başta Belçika, Çin ve Hindistan olmak üzere birçok ülkede bu konuda ulusal programlar başlatılmış ve uluslararası işbirlikleri oluşturulmuştur. Ülkemizin de en kısa zamanda ulusal bir program başlatması ve uluslararası işbirliklerine dâhil olması şarttır.

Spallasyon tepkimesi:
Yüksek enerjili protonla çekirdeğin çarpışması sonucunda nötronların elde edilmesi



Bu sistemin geleneksel reaktörlerden en önemli farkı, nükleer süreci tetikleyen nötronların reaktörün dışında proton hızlandırıcı kullanılarak üretilmesidir. Bu nedenle de prensip olarak Çernobil'de yaşanan türden kazaların olması mümkün değildir. Diğer bir önemli avantaj da, uzun ömürlü nükleer atıkların çok az olmasıdır.

ADS teknolojisi yapısal olarak proton hızlandırıcıdan, nötron spallasyon (yongalama, bkz. Resim 1) hedefinden ve kritikaltı modda çalışacak yeni tip bir nükleer reaktörden oluşur. Bu sistemde proton hızlandırıcıdan elde edilecek yüksek akımlı ve yüksek enerjili proton demeti, bir nötron kaynağı olarak kullanılacaktır. İstenilen parametrelere sahip proton demetinin bir hedefe çarptırılmasıyla üretilen nötronlar, reaktördeki nükleer yakıtla etkileşip fizyon sürecini başlatacaktır. Dolayısıyla ADS sisteminin gelişimi, GeV (milyar elektron volt) enerjili proton hızlandırıcıya, hedef seçimine ve reaktör tasarımına bağlıdır. Bunlar arasında proton hızlandırıcı kritik rol oynar.

Günümüzde ADS teknolojisi, proton hızlandırıcı teknolojisi ile doğru orantılı olarak gelişiyor. Nötron kaynağı olarak pek çok alanda geniş bir uygulama ve araştırma potansiyeline sahip olan proton hızlandırıcıların, özellikle enerji üretimi için kullanılmaları söz konusu olduğunda, güvenilirliği ve kullanılabilirliği ön plana çıkar, çünkü bu sistemlerde ideal olan sürekli enerji üretimidir.

ADS sisteminde Ar-Ge çalışmaları yapılması gereken ikinci konu, spallasyon hedef teknolojisidir. Spallasyon nötronlarını üretmek için kullanılacak malzemenin seçimi, nötron üretimini maksimuma çıkaracak nitelikte olmalıdır. Günümüzde çeşitli merkezlerde tungsten, tantalum, kurşun, kur-

şun-bizmut karışımı malzemeler denenerek, 1 GeV enerjili proton demeti için proton başına 20-30 spallasyon nötronu üretildiği gözlemlenmiştir.

ADS sisteminde Ar-Ge çalışmaları yapılmaması gereken bir diğer alan, reaktör tasarımı konusudur. Geleneksel reaktörlerde yakıt olarak katı uranyum çubukları kullanılırken, ADS reaktöründe sıvı toryum yakıtı kullanılacaktır. Sıvı yakıt kullanan ADS reaktörünün tasarımı standart reaktörlerinden farklıdır. Reaktörün merkezinde spallasyon nötronlarını üretecek hedef bulunur. Sıvı yakıt ise, proton demetinin hedefe çarpmasıyla açığa çıkacak nötronları soğurabilmesi için reaktörün çekirdeğini sarmalayacak şekilde yerleştirilir.

Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler

Yüksek akımlı ve yüksek enerjili proton hızlandırıcılar, atom numarası yüksek olan bir hedeften spallasyon tepkimeleri yoluyla nötron üretebilmeye yeteneğine sahiptir. Bunun için kullanılacak proton demetinin belirli akım ve enerji kriterlerini sağlaması ve kararlı yapıda olması gerekir. Spallasyon hedefinin etrafı uranyum, plutonyum veya toryum gibi bir nükleer yakıt ile çevrelendiği zaman, üretilen nötronların nükleer yakıt ile etkileşerek fizyon tepkimesini başlatması kaçınılmazdır. Nükleer fizyon tepkimesi için nötron kaynağı olarak bir proton hızlandırıcının kullanıldığı ADS teknolojisi, Türkiye'de Hızlandırıcı Sürümlü Sistem (HSS) olarak adlandırılır.

Nükleer yakıt olarak toryum kullanan ADS teknolojisi, temelde güç üretimi için yeni tip bir nükleer reaktör olarak tasarlanmaktadır. Bu teknoloji güç üretiminin yanı sıra ikinci bir uygulama alanı olarak nükleer atık dönüşümü (transmutasyon) için de kullanılacaktır. Atık dönüşümünde, geleneksel nükleer reaktörlerde açığa çıkan uzun yarı ömürlü nükleer atıkların daha kısa yarı ömürlü nükleer atıklara dönüştürülerek yok edilmesi hedeflenmiştir. ADS teknolojisinin nükleer transmutasyon uygulaması, çok sayıda geleneksel nükleer reaktöre sahip gelişmiş ülkeleri daha çok ilgilendirmektedir. Çünkü geleneksel reaktörlerin en büyük problemlerinden biri şüphesiz atık problemidir.

Avantajları

ADS teknolojisinin geleneksel reaktörlere göre pek çok avantajı vardır. Öncelikle yakıt kombinasyonu konusunda daha fazla esneklik sağlamaktadır. Reaktörlerde kullanılan uranyum ve plutonyum

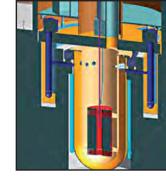
Bir yılda 1 GW kesintisiz güç üretmek için:



3.500.000 ton kömür
Çevre üzerinde önemli etki (özellikle CO₂ yayılımı)



200 ton Uranyum
CO₂ etkisi düşük fakat yeniden işleme zorluğu var. Zararlı atıkların çok uzun süreli depolanması problemi var. Nükleer silahların yayılması problemi var.



1 ton Toryum
CO₂ etkisi düşük. Plütonyum ve radyoaktif atıkların dönüşümü yapılabilmektedir. Depolanan zararlı atıkların miktarı ve yarıömürleri daha azdır. Nükleer silahların yayılması problemi

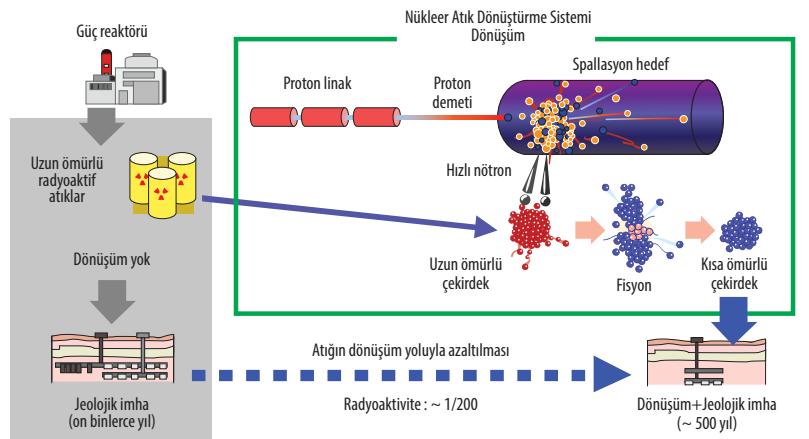
elementlerine ilave olarak bölünebilir olmayan toryum elementinin de kullanılması mümkündür. Toryum-232, doğada uranyumdan yaklaşık dört kat daha fazla bulunur. Toryum elementinin nükleer yakıt olarak kullanılabilmesi, başta Türkiye olmak üzere, toryum rezervi olan ülkeleri doğrudan ilgilendirmektedir. Toryum-232 ADS sisteminde yakıt olarak kullanılacağı zaman uranyumda olduğu gibi bir zenginleştirme gerektirmez. ADS sisteminde süreç, toryum-232'nin spallasyon tepkimesinden gelen bir nötronu yakalaması ile başlar. Toryum elementi, nötron soğurduktan sonra toryum-233 elementine dönüşür. Toryum-233 elementi ise arka arkaya iki beta bozunumu gerçekleştirerek uranyum-233'e bozunur. Uranyum-233 elementi bölünebilir ve bir spallasyon nötronu yakalayarak nükleer tepkimeyi gerçekleştirir.

ADS teknolojisinin bir başka önemli avantajı nükleer tepkime sürecinin tamamen kontrol altında olmasıdır. Bilindiği gibi geleneksel nükleer reaktörlerde, tepkime zincirleme olarak gelişir ve kontrol edilmesi çok zordur. ADS teknolojisinde ise tepkime sürecinin ilerlemesi, proton hızlandırıcı yardımıyla sistemin nötronlarla beslenmesine bağlıdır.

Şekilde, aynı miktarda güç elde etmek için kullanılan kömür, uranyum ve toryum yakıtlarının karşılaştırılması görülmüştür.

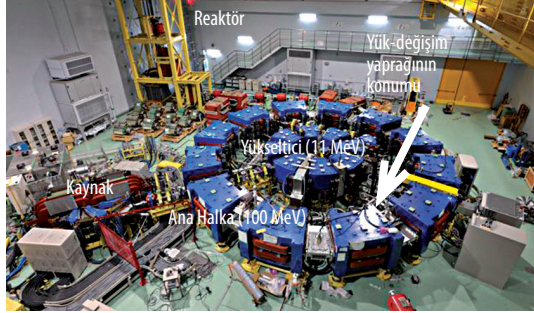
Carlo Rubbia, Energy 2050, Stokholm

Hızlandırıcı sürümlü sistemlerin çalışma prensibinin gösterimi:
Proton hızlandırıcından gelen proton demeti spallasyon hedefine çarptıktan sonra üretilen hızlı nötronlar, uzun ömürlü nükleer atıkların kısa ömürlü ve depolanması kolay atıklara dönüştürür. Bu sistemi enerji üretmek için tasarladığımızda ise uzun ömürlü atıklar yerine toryum kullanılır (şekil J-PARC ADS sistemine aittir ve J-PARC merkezinin web sitesinden alınmıştır).



ADS teknolojisinde reaktör kritikaltı moda çalışır. Sistemin işleyişi için dışarıdan nötron desteği gereklidir. Bu yüzden ADS teknolojisinde, proton hızlandırıcı kapatıldığında proton demeti akışı kesilecek dolayısıyla nötron üretimi sonlanacak ve nükleer süreç hemen duracaktır. Bu özellik, ADS teknolojisini normal nükleer reaktörlere göre daha güvenli bir sistem yapmaktadır. İşte bu yüzden ADS teknolojisiyle çalışacak reaktörlerde Çernobil türü kazaların olması mümkün değildir.

Dünyadaki ilk ADS deneyi 2009 yılında Kyoto Üniversitesi Reaktör Araştırma Enstitüsü (KURRI) bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde proton hızlandırıcısı için 100 MeV enerjili FFAG teknolojisi kullanılmıştır (Kaynak: "Yusuke Niwa, Development of charge-exchange foil, Fukui University, Kyoto University Nuclear Reactor FFAG Accelerator").



ADS teknolojisinin dikkat çeken bir başka özelliği, açığa çıkan nükleer atıkların çok az olmasıdır. Bilindiği gibi katı uranyum çubuklarıyla çalışan standart reaktörlerdeki nükleer atıklar, en büyük problemlerin başında gelir. Özellikle elektrik enerjisinin büyük bir bölümünü nükleer santrallerden sağlayan gelişmiş ülkeler, bu atıklardan kurtulmak için çeşitli yöntemler geliştirmektedir. Güvenliği artırılmış büyük depoların kullanımı kısa vadede bir çözüm olsa da kalıcı bir çözüm değildir. Bu noktada ADS teknolojisi, gerek transmutasyon yoluyla atıkların dönüştürülerek zararsız hale getirilmesini sağlaması, gerekse de yakıt olarak toryum kullanılacağı için daha az zararlı atık üretmesi bakımından kesin bir çözümdür.

ADS için proton hızlandırıcı teknolojilerinin karşılaştırılması

Teknoloji	Siklotron	Sinkrotron	FFAG	Linak
Avantajları	Yüksek akım	Yüksek enerji	Yüksek akım ve yüksek enerji	Yüksek akım ve yüksek enerji
Dezavantajları	Enerji sınırlı	Akım sınırlı	GeV skalasında henüz dünyada örneği yok	Pahalı

Hızlandırıcı Seçimi

Proton hızlandırıcılarda, hızlandırıcı teknolojisi dairesel ve doğrusal olmak üzere genel olarak iki çeşittir. Doğrusal hızlandırıcılar, demeti lineer bir doğru boyunca hızlandırdığı için linak olarak isimlendirilir. Dairesel hızlandırıcılarda ise yüklü demete dik olarak uygulanan manyetik alan, demetin dairesel

hareket etmesini sağlar. Dairesel hızlandırıcılar kategorisinde üç çeşit hızlandırıcı teknolojisi bulunur: Siklotron, sinkrotron ve FFAG (*Fixed-Field Alternating Gradient*) teknolojileri.

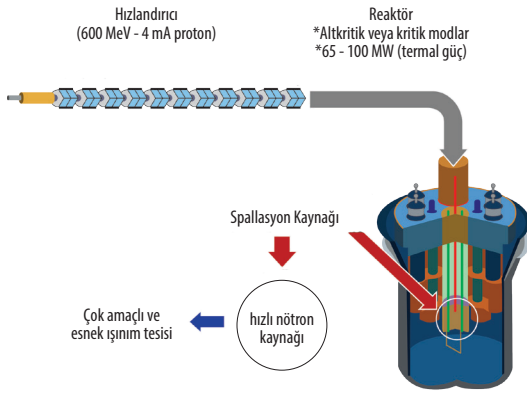
Siklotron hızlandırıcıda, protonlar statik bir manyetik alan yardımıyla merkezden dışa doğru spiral bir yörünge boyunca hareket eder. Demetin hızlandırılması ise iki mıknatıs arasındaki rf (radyo frekans) boşluğunda uygulanan elektrik alanlarla gerçekleştirilir.

Sinkrotron hızlandırıcıda, protonlar sabit bir dairesel yörüngede hareket eder. Hızlandırma işlemi, yörüngenin üzerine yerleştirilen rf boşlukları sayesinde yapılır. Protonları sabit yörüngede tutmak için enerji artışına paralel olarak manyetik alanın şiddeti artırılır.

FFAG teknolojisi, siklotron ve sinkrotron hızlandırıcıların bazı özelliklerini barındıran ve özellikle son zamanlarda büyük gelişim gösteren önemli bir dairesel hızlandırıcı çeşididir. Siklotronların sürekli demet yapısı özelliği ile sinkrotron hızlandırıcının halka özelliğini birleştiren FFAG teknolojisinin, Hızlandırıcı Sürümlü Sistemlerde kullanımı gündemdedir. Dünyadaki ilk ADS deneyi, 2009 yılının Mart ayında FFAG hızlandırıcı teknolojisi kullanılarak yapılmıştır. Kyoto Üniversitesi Reaktör Araştırma Enstitüsü (KURRI) bünyesinde gerçekleştirilen ADS deneyindeki FFAG proton hızlandırıcı bir enjektör, 11 MeV'lik bir ara halka (*booster*) ve 100 MeV'lik bir ana halkadan oluşmaktadır.

Dünyadaki çalışır konumda olan proton hızlandırıcılar incelendiğinde, üç merkezdeki hızlandırıcılarda, demet gücü 1 MW'tan daha büyük olan proton demeti üretildiği görülür. Bunların ilki İsviçre'deki PSI Enstitüsü'nde kurulu bir siklotron hızlandırıcıdır. Bu hızlandırıcıdan gücü 1,2 MW olan, sürekli yapıda proton demeti elde edilmektedir. İkincisi Los Alamos Laboratuvarı'ndaki LANSCE normal iletken lineer proton hızlandırıcısıdır. Burada ise gücü 1 MW olan atmalı proton demeti üretilmektedir. Üçüncü proton hızlandırıcı ise SNS Laboratuvarı'ndaki (Spallasyon Nötron Kaynağı, Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı, ABD) süperiletken lineer proton hızlandırıcısıdır, burada 1,1 MW'lık atmalı proton demeti elde edilmektedir.

Proton hızlandırıcı teknolojilerinin karşılaştırıldığı Tablo 1'de de görüldüğü gibi, siklotron için enerji değerindeki ve sinkrotron için de akım değerindeki yetersizlikten dolayı bu iki teknoloji ile 10 MW'lık güç değerine ulaşmak imkânsızdır. Dünya genelindeki ADS projeleri incelendiğinde, bu projelerin ADS sistemi süperiletken linak teknolojisine



MYRRHA projesinin genel görünüşü

<http://myrrha.sckcen.be/>

veya FFAG teknolojisine dayandığı görülür. FFAG teknolojisinin şimdilik tek olumsuz yönü, GeV skalasında bir örneğinin olmamasıdır. Linak teknolojisinin dezavantajı ise sistemin pahalı olmasıdır. Fakat endüstriyel seri üretime geçildiği zaman maliyet düşecektir.

Dünyadaki ADS Projeleri

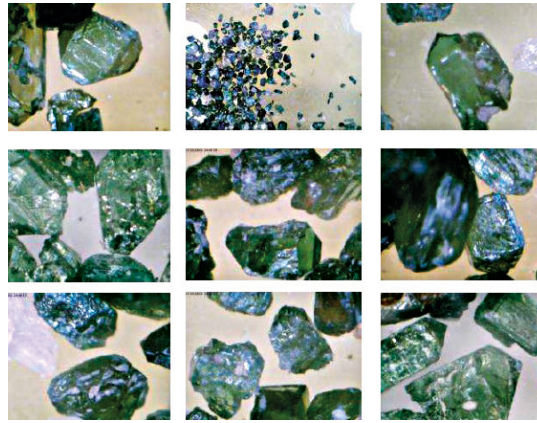
MYRRHA projesi: Belçika'nın Mol şehrindeki Belçika Nükleer Araştırma Merkezi'nde (SCK. CEN) kurulmakta olan MYRRHA projesinin amacı, bir ADS sistemi kullanarak nükleer yakıt dönüşümü teknolojisini gösterilmesidir. MYRRHA projesi proton hızlandırıcı, spallasyon hedefi ve MOX yakıtlı bir reaktörden oluşacaktır. Reaktör sıvı kurşun-bizmut karışımı ile soğutulacaktır. MYRRHA projesinde süperiletken teknolojiye dayanan 600 MeV'lik bir lineer proton hızlandırıcı kullanılacaktır. Sürekli modda çalışacak olan proton hızlandırıcının maksimum demet akımı 4 mA, demet gücü ise 2,4 MW olacaktır.

MYRRHA tesisi 2023 yılında tam kapasiteyle çalıştırılacaktır. 2010-2014 yılları arasında tesisin mühendislik dizaynı ve Ar-Ge çalışmalarının yapılması, 2015-2019 yılları arasında inşaatının tamamlanıp bileşenlerin kurulması, 2023 yılına kadar da devreye alınması planlanmaktadır. Tahmin edilen toplam maliyet 690 milyon avrodur.

Proje-X: Chicago'da bulunan FNAL (Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı), yıllar boyunca dünyadaki en yüksek enerjili parçacık çarpıştırıcıya ve en yüksek yoğunluklu, hızlandırıcı temelli nötrino demetine sahipti. Günümüzde LHC (*Large Hadron Collider*) çarpıştırıcısı Tevatron'u enerji uç değeri bakımından geride bıraktı. Japonya'daki JPARC tesisindeki nötrino programı ise Fermilab'daki

program ile büyük bir rekabet içinde. Bu yüzden ABD'deki Temel Parçacık Fiziği Topluluğu, üç sınırlı araştırma alanında stratejik bir plan geliştirdi. Bunlar enerji sınırı, yoğunluk sınırı ve kozmik sınırdır. Proje-X olarak tanımlanan bu plan, yüksek yoğunluklu bir proton hızlandırıcıyı kapsamaktadır.

Proje-X, Fermilab'da kurulması önerilen yüksek güçlü (çoklu-MW) bir proton hızlandırıcı tesisidir. Süperiletken kavite teknolojisini kullanacağı proton hızlandırıcıda, H⁻ iyonları hızlandırılacaktır. Proje-X, Fermilab hızlandırıcı kompleksinin gelecekteki gelişim planının önemli bir parçası olacaktır. Yapımı 2016 yılında başlayacak olan projenin, 2021 yılında tamamlanması öngörülmektedir.



Isparta-Aksu bölgesinden çıkarılan torit minerali

(Kaynak: www.amrminerals.co.uk)

Dünya toryum rezervinin ülkelere göre dağılımı

ÜLKE	TON
Brezilya	606.000
Türkiye	380.000
Hindistan	319.000
ABD	137.000
Norveç	132.000
Grönland	54.000
Kanada	45.000
Avustralya	19.000
Güney Afrika	18.000
Mısır	15.000

Projenin birinci kısmında, enerjisi 3 GeV, ortalama akımı 1mA olan sürekli demet yapılı (CW), süperiletken lineer proton hızlandırıcı kurulacaktır. Buradan elde edilecek proton demeti ile transmutasyon gösterim amaçlı ADS çalışmaları ve oluşturulacak ikincil demetlerle de egzotik çekirdekler, kaon fiziği ve müon fiziği konularında araştırmalar yapılacaktır. İkinci kısımda ise 3-8



Prof. Dr. Metin ARIK
Türk Fizik Derneği Başkanlığı ve
Balkan Fizik Birliği Başkanlığı
yaptı. Boğaziçi Üniversitesi
Fizik Bölümü öğretim üyesidir.
Araştırmalarında kuantum
ve parçacık fiziği, kozmoloji,
müzik ve matematik
konularıyla ilgilenmektedir.

Isparta-Aksu bölgesinden çıkarılan torit minerali

(Kaynak: www.amrminerals.co.uk)



Prof. Dr. Saleh SULTANSOY
Azerbaycan Bilimler
Akademisi Fizik Enstitüsü,
Yüksek Enerji Fiziği
Enstitüsü (Protvino-Rusya)
çalıştı. 2007 yılından
itibaren TOBB Ekonomi
ve Teknoloji Üniversitesi
öğretim üyesidir. CERN'de
ATLAS, CLIC ve LHeC
projelerine katılmaktadır.
Türk Hızlandırıcı
Kompleksi (TAC) projesinin
çeşitli aşamalarında
proje yürütücülüğü ve
danışmanlığı yapmıştır.



Prof. Dr. M. Atif ÇETİNER
Kastamonu Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü Başkanıdır.
Araştırmalarında radyasyon
uygulamaları, nükleer fizik
ve hızlandırıcı sürümlü
sistemler konularıyla
ilgilenmektedir. Türk Fizik
Derneği üyesidir.



Dr. Abdullatif Çalışkan,
TÜBİTAK desteği ile TOBB
Ekonomi ve Teknoloji
Üniversitesi'nde doktora
sonrası araştırmacı
olarak proton hızlandırıcı
tasarımı, toryum yakıtlı
hızlandırıcı sürümlü
sistemler ve Büyük Hadron
Elektron Çarpıştırıcı (LHeC)
konularında çalışmalarını
sürdürmektedir.



Pehlül Serkan BİLGİN
Türk Hızlandırıcı Merkezi
Projesi'nin Proton
Hızlandırıcı Grubu'nda
çalıştı. Uzmanlık alanı
proton hızlandırıcı ve
hızlandırıcı sürümlü
sistemlerdir. Özel
bir kuruluşta çalışmakta
ve hızlandırıcı sürümlü
sistemler konusunda
çalışmalarına
devam etmektedir.

GeV'lik atmalı lineer proton hızlandırıcı kurula-
caktır. 3 GeV'lik iyonları 8 GeV'e hızlandıracak
olan bu ikinci hızlandırıcı, 120 GeV'lik ana enjek-
tör (sinkrotron) halkasında ara halka olarak kulla-
nılacaktır. 3 GeV'lik hızlandırıcıdan gelen H⁻ de-
metinin yaklaşık % 5-% 9'u 8 GeV'lik ikinci hızlan-
dırıcıya aktarılacaktır. 120 GeV'lik sinkrotron hal-
kasından üretilen nötrinolar ile nötrino deneyle-
ri yapılacaktır.

CADS Projesi: Büyük bir nüfusa sahip olan Çin,
hızla gelişen ekonomik büyümeye bağlı olarak ar-
tan enerji talebini karşılamak için son yıllarda nükleer
güç yatırımlarını artırdı. Bunun için, çeşitli ens-
titülerin de katılımıyla Çin Bilimler Akademisi tara-
fından organize edilen ve nükleer transmutasyon ve
güç Üretimini amaçlayan bir ADS çalışma progra-
mı başlatıldı. Programın anahtar kısmı 10 mA akımlı,
1,5 GeV enerjili ve CW demet yapılı bir süperilet-
ken proton hızlandırıcıdır. Yüksek Enerji Fiziği Ens-
titüsü (IHEP) bünyesinde geliştirilen proton hızlan-
dırıcı, sırasıyla 40 MeV, 600 MeV ve 1,5 GeV olmak
üzere üç aşamada inşa edilecektir.

Süperiletkenlik lineer proton hızlandırıcılar için
çok iyi bir teknik çözümdür. Günümüzde süperilet-
ken kavite ler birçok hızlandırıcı laboratuvarında
kullanılmaktadır. Düşük güç kullanımı, daha büyük
demet tüpleri ve bağımsız olarak güçlendirilebilir
özellikleri ile süperiletken kavite ler, ADS uygulama-
ları için mükemmel bir adaydır.

Dünyada ve Türkiye'de Toryum Rezervi

Dünyada toryum rezervinin ülkelere göre dağı-
lımı, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın (IAEA)
2005 yılında yayımladığı rapora göre aşağıdaki gibidir:

Türkiye'de 1977'de MTA tarafından yapılan tor-
yum rezervi çalışmasında, Eskişehir-Sivrihisar böl-
gesinde 380.000 ton toryum rezervi tespit edil-
miştir. Ayrıca Malatya-Kuluncak bölgesinde hava-
dan ön arama yapılmış, fakat rezerv tespitine yöne-
lik çalışma yapılmamıştır. Profesör Carlo Rubbia'nın
1990'lardan itibaren yaptığı sunumlarda Türkiye'nin
toplam toryum rezervinin 880.000 ton civarında ol-
duğu belirtilmektedir (dünya toryum rezervinin %
20'si). Son bulgular Rubbia'nın görüşünü destek-
lemektedir. AMR madencilik firması 2008 yılında
yaptığı çalışmada Isparta-Aksu bölgesinde önemli
miktar da toryum rezervleri bulunduğunu tespit et-
miştir. Bu bölgedeki toryum, Eskişehir-Sivrihisar rez-
ervlerinden farklı olarak, çok daha kolay işlenebi-
lir niteliktedir.

Sonuç

Hızlandırıcı sürümlü toryum yakıtlı sistemle-
rin, gelecekte en önemli enerji kaynaklarından bi-
ri olması kuvvetle muhtemeldir. Fosil yakıt rezerv-
leri tükendikçe petrol ve diğer konvansiyonel enerji
türlerinin fiyatının artmaya devam etmesi nedeni-
yle ADS teknolojisinin en ucuz ve en güvenli enerji
üretim mekanizmalarından biri olması kaçınılmaz-
dır. Günümüzde bir ülkenin petrol rezervlerine sa-
hip olması sadece geçici bir ekonomik değer oluş-
turmaktadır. Gelecekte ise bir ülkenin hem toryum
rezervlerine hem de onu güvenle kullanacak, ken-
di ürettiği ADS teknolojisine sahip olması kalıcı bir
ekonomik ve stratejik değer oluşturacaktır.

Geleceğin enerji kaynağı olarak düşünülen ADS
teknolojisini geliştirme çalışmaları, Avrupa (Bel-
çika merkezli), Çin ve ABD'nin yanı sıra Japonya,
Hindistan, Brezilya, Rusya ve Güney Kore'de de de-
vam etmektedir. Bunlardan sadece ABD, Hindistan,
Brezilya ve Rusya'da toryum rezervi bulunmaktadır.
Dünyadaki tahmin edilen toryum rezervinin yak-
laşık beşte birinin Türkiye'de bulunduğu göz önü-
ne alınırsa, ülkemizde de ADS teknolojisi ile ilgi-
li AR-GE çalışmalarının acilen başlatılması gerek-
lidir. Öncelikli olarak Türkiye'nin toryum rezervle-
ri ile ilgili spekülasyonları giderecek çalışmalar baş-
latılmalı ve gerçek durum en kısa zamanda ortaya
konulmalıdır. AR-GE çalışmaları nükleer reaktör ve
proton hızlandırıcı teknolojilerini içermelidir. GeV
enerjili yüksek akımlı proton hızlandırıcının kurul-
masını öngören ulusal bir programın gerçekleştiril-
mesi, ülkemizin enerji gereksinimini karşılamasının
yanı sıra bilim ve teknolojinin birçok alanında kul-
lanılan nötron spallasyon kaynağına da sahip olma-
mızı sağlayacaktır.

Türkiye'deki toryum rezervinin insanlığın ener-
ji ihtiyacını yüzyıllar boyunca karşılayacak miktar-
da olduğu unutulmamalıdır.

(Çizimler: Rabia Alabay)

Kaynaklar

- Rubbia, C., Rubio, J. A., "A tentative programme towards
a full scale energy amplifier",
CERN/LHC/96-11 (EET), 15 Temmuz 1996.
- Sultansoy, S., "Parçacık Hızlandırıcıları: Dün, Bugün, Yarın",
UPHUK1, TAEK, Ankara, 2001.
- Abderrahim, H. A. ve ark., "Accelerator and target technology for
accelerator driven transmutation and energy production",
White Paper, USA Department of Energy, 2010.
<http://myrrha.sckcen.be>
<http://thorea.hud.ac.uk/>
- Hargraves, R., Moir, R., "Nükleer enerjide eski bir fikir yeniden öne çıkarıyor:
Toryum reaktörleri", Çeviren: Şakir Ayık,
TÜBİTAK *Bilim ve Teknik*, s. 58-63, Ekim 2011.
- International Atomic Energy Agency (IAEA), "Thorium fuel cycle -
Potential benefits and challenges", IAEA-TECDOC-1450, May 2005.
- Sultansoy, S., "Toryum yakıtlı yeni nesil nükleer teknolojiler",
PetroGaz, 38, s. 28, Nisan 2003.
- İnce, Ö., "Kurtarcının adı toryum: Prof. Engin Arık ile söyleşi",
Hürriyet, 27 Temmuz 2002.