

Nükleer Füzyon Enerjisi (Nükleer Kaynaşma Birleşme Enerjisi) **Termonükleer Füzyon Santralleri**

Ahmet Cangüzel Taner

Fizik Yüksek Mühendisi

Fizik Mühendisleri Odası (canguzel.taner@gmail.com)

Füzyon enerjisi, bir başka deyişle, periyodik cetvelde ilk sıralarda bulunan hidrojen, helyum, lityum gibi hafif atomlar ve izotoplarının kaynaşması veya birleşmesi yoluyla güneşi yeryüzünde elde etme çalışmaları insan medeniyetinin en büyük düşleri arasında sayılmaktadır. Diğer taraftan çağımızın en büyük sorunu ise temiz, sürekli ve güvenilir elektrik enerjisi üretimi sağlanmasıdır. Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi perspektifi yoluyla rüzgar, güneş, hidrolik, jeotermal, dalga, gelgit (medcezir) gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından modern yeni nesil nükleer elektrik santralleri geliştirilmesine kadar enerji kaynak çeşitliliği yaratılması dünyadaki tüm ülkelerin varlıklarının devamı için büyük önem arz etmektedir. Böylece, enerji arz güvenliği zafiyeti ile elektrik temini çıkmazı içerisine düşmemek günümüzde hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerin enerji projeksiyonları ile enerji stratejileri perspektiflerinin vazgeçilmez birinci öncelikli çok önemli hedefleri haline dönüşmüştür. İnsan uygarlığının sürdürülebilmesi bağlamında çağdaş yaşam içinde can alıcı ehemmiyete sahip aynı zamanda bilimsel ve teknolojik araştırmaların zirvesinde bulunan temiz enerji kaynağı nükleer füzyon enerjisi insanoğlunun gelecekteki en büyük teminatı olarak görülmektedir. Nükleer füzyon ile elektrik üretimi şimdilik ulaşılması zor bir düş olmasına rağmen Almanya'da inşa edilmekte olan termonükleer füzyon reaktörü sayesinde söz konusu hayalin gerçekleşmesine ciddi katkılar sağlanacağı ümit edilmektedir.

Bilim insanlarının üzerinde yoğun şekilde bilimsel ve teknolojik araştırma yaptıkları insanlığın umut bağladığı temiz enerji kaynakları arasında sayılan termonükleer füzyon enerjisi yakın bir gelecekte hizmete sunulacağı beklenmektedir. Temel yakıtı ağır hidrojen döteryum izotopu olan nükleer füzyon enerjisi yani nükleer kaynaşma enerjisi ya da nükleer birleşme enerjisi dünyamızın ve vücudumuzun

üçte ikisini kaplayan yaşantımızın vazgeçilmezi su vasıtasıyla kazanılmaktadır. Böylece yeryüzünde en bol bulunan su sayesinde sınırsız enerji arz güvenliği sağlanacaktır. Nükleer güç reaktörleri işletilmesi sırasında ağır elementlerin parçalanması kanalıyla meydana gelen radyoaktif bozunma veya nükleer fisyon sonucu oluşan nükleer atıklar ve radyoaktif kalıntılar nükleer füzyon enerjisi tesislerinde bulunmamaktadır. Bu suretle nükleer atık idaresi ile radyoaktif atık yönetimi içeriğindeki radyoaktif atıkların yok edilmesi masrafları ve nükleer atıkların nihai depolanması maliyetleri tarihe karışmaktadır. Ayrıca fosil yakıtlı termik santraller kanalıyla ortaya çıkan aynı zamanda küresel ısınma ve küresel iklim değişiklikleri faili gösterilen sera gazı emisyonları, bir başka deyişle, karbon emisyonları ile karbondioksit salımları da söz konusu teknolojide üretilmemektedir. Daimi, temiz ve güvenilir elektrik üretimi için nükleer füzyon enerjisi teknolojisi umut kaynağı olmasına karşılık söz konusu muazzam enerjinin bu yolla sağlanabilmesi bağlamında nükleer füzyon reaktörü inşaatlarında teknolojik zafiyetler de hâlâ yaşanmaktadır. Şimdiye kadar hüküm süren teknolojik güçlüklerin aşılabilmesi amacıyla İngiltere’de 1950’li yıllarda geliştirilen Zeta nükleer füzyon makinesi sayesinde ancak zamanımızın nükleer füzyon enerjisi elektrik üretimi için bilimsel ve teknolojik yol haritaları belirlenebilmiştir.

Nükleer reaksiyonlar çok yüksek miktarlarda ve oranlarda enerji açığa çıkarabilmektedir. Mevzu bahis nükleer reaksiyonlardan biri yüksek atom numaralı elementlerin parçalanması bir önceki paragrafta değinilen nükleer bozunma (nükleer fisyon) diğeri de düşük atom numaralı elementlerin birleşmesi ve kaynaşması nükleer füzyon (nükleer birleşme, nükleer kaynaşma veya nükleer bir araya gelme) olarak adlandırılmaktadır. Nükleer santraller; nükleer fisyon, termonükleer reaktörler ise nükleer füzyon esasına göre çalışmaktadır. Uzay fiziği bilimsel araştırmaları veya astrofizik çalışmalar uzayda bulunan yıldızların güçlerini termonükleer füzyon reaksiyonları vasıtasıyla almakta olduklarını ve sonuçta tüm hafif elementleri ürettiklerini göstermektedir. Dünyada da termonükleer füzyon enerjisinden yararlanmak için en etkin olan nükleer reaksiyon döteryum-trityum reaksiyonu (DT füzyon reaksiyonu – DT fusion reaction)’dur. Söz konusu nükleer reaksiyon ile Döteryum (D) ve Trityum (T) iki hidrojen izotopu çekirdekleri elektrik yükü engellerine

ve iki izotop arasındaki çok yüksek nükleer bağlanma kuvvetine rağmen bir araya gelmeye yani birleşmeye kaynaşmaya zorlanmaktadır. Nükleer reaksiyon sonucunda ise çok yüksek kinetik enerjiye sahip bir helyum çekirdeği ve bir nötron açığa çıkmaktadır. Teknolojik olarak nükleer füzyon tesislerinde sıcaklık, yoğunluk ile çalışma sürelerindeki kısıtlamaları aşmak aynı zamanda yeterli füzyon reaksiyonları oluşturmak için çeşitli manyetik sınırlama makineleri tasarlamak ve geliştirmek gerekli görülmektedir. İşte bunlar arasında dünyada en gelişmiş makinelerden biri de tokamak reaktörü olarak tanınmaktadır.

Günümüzde de nükleer füzyon enerjisi bilim insanları tüm umutlarını Uluslararası Termonükleer Deney Reaktörü (**International Thermonuclear Experimental Reactor - ITER**)'e bağlamış durumdadır. Nükleer füzyon araştırma santrali ITER 840 metre küp sıcak ve gaz halinde olan yakıtı içerisinde bulundurmaktadır. Güney Fransa'da kurulu ITER santrali maliyeti yaklaşık 22 milyar dolar (15 milyar euro)'dur. ITER; Zeta ile hemen hemen aynı zamanda faaliyette geçmiş Rusya'da icat edilmiş halka (doughnut) şeklindeki vakumlu kap tokamak reaktörü olarak da bilinmektedir. Döteryum (ya döteryum ya da lityumun nötronlarla bombardımanı suretiyle üretilen hidrojenin daha ağır izotopu trityum ile birlikte) halka (doughnut) içine enjekte edilmektedir. Döteryum ve trityum karışımı yakıt 150 milyon santigrat dereceye (150 million°C) kadar ısıtılmış çok sıcak bir termonükleer plazma içerisinde bulunmaktadır. Böylece manyetik alan ile de sıkıştırılmış nükleer plazma içindeki elektronlar serbest hale gelmektedir.

Çekirdeklerin hızı (erişilen sıcaklık sonucu) ve yoğunlukları (çok kuvvetli manyetik alan neticesi) yeterli yüksekliğe ulaşabildiği takdirde karşılıklı itme gücü çekirdeklerin pozitif elektrik yükleri sayesinde aşılabacaktır. Çok güçlü nükleer kuvvet veya çekirdek kuvvetleri olarak anılan kısa menzilli olay çekirdeklerin birleşmesi ve kaynaşması yani nükleer füzyon ile sonuçta helyum oluşmasına neden olmaktadır. Bu şekilde nükleer reaksiyonlar neticesi helyuma dönüşen döteryum ve trityumun nükleer füzyon, nükleer birleşme, nükleer kaynaşma reaksiyonları ile enerji açığa çıkmaktadır. Termonükleer santral tesisinde açığa çıkan fazla enerji elektriğe dönüştürülmektedir.

Nükleer füzyon enerjisi elektrik santralleri üzerinde çalışan bilim insanları ve mühendisler termonükleer reaksiyonlar sonucu oluşan nötronları ayrıca trityum üretmek için de kullanmayı planlamaktadır. Böylece füzyon santrali nükleer yakıt çevrimi de sağlanmış olacaktır. Ancak teknolojik uygulama temelinde ne yazık ki büyük bir engel bulunmaktadır. Füzyon reaktörü'nün geometrisi sıkıştırmayı meydana getiren manyetik alana göre tasarlanmış olup, bu suretle aşırı sıcak plazma (superhot plasma) reaktör duvarlarından uzak tutulması sağlanırken halkanın (doughnut) iç ve dış bölmelerinde farklı kuvvetler oluşmasına sebep olunmaktadır. Böylece plazmanın kendisinden kaynaklanan elektrik akımı ile yaratılmış ikinci manyetik alan etkisiz hale getirilmediği sürece termonükleer plazma içerisinde bir düzensizlik veya türbülans ortaya çıkmaktadır. Oluşan elektrik akımı ve düzeyi çok değişken olduğu takdirde ise sistem bozulmaktadır. Şöyle ki, nükleer füzyon reaktörü sürekli şekilde bir çalışmaya başlamakta ve hemen ardından durmaktadır. Bu durum ticari düzeyde elektrik üretimi yapan güç santralleri için kesinlikle uygun değildir. ITER'in ana hedeflerinden biri de çalışma süresini 50 dakika'ya kadar çıkarmaktır. ITER'den önceki Ortak Avrupa Torus (**Joint European Torus-JET**) adlı nükleer füzyon makinesi ancak saniye mertebesinde çalıştırılabilmiştir. ITER'in planlanan bir saat'e yakın çalışma süresi bile yeterli görülmemektedir. Bu kapsamda şimdilerde diğer bir füzyon reaktörü tasarımı olan stellarator'a ilgi duyulmaktadır. Bir zamanlar tokamak'a rakip stellarator 1960'lı yıllarda önemini yitirmesine rağmen günümüzde rağbet görmeye başlamıştır. Stellarator; kontrollü füzyon reaktörü temini için manyetik alanlarla sıcak plazmayı sınırlamak amacıyla tasarlanmıştır. 1950'li yılların başlarında Lyman Spitzer tarafından icat edilen en eski kontrollü nükleer füzyon makinesi Princeton Plazma Fiziği Laboratuvarı'nda kurulmuştur. Adı yine bir yıldız (stellar) olan güneş ve stellarator ise "güneşin kendi gücünü kullanma olasılığı" anlamına gelmektedir. 1950'li ve 1960'lı yıllarda popüler olan stellarator 1970'li yıllarda tokamak tasarımı füzyon reaktörü faaliyete geçmesi ile önemini kaybetmiştir. 1990'lı yıllara gelindiğinde ise tokamak dizaynı nükleer füzyon reaktörleri teknolojik zafiyetleri stellarator tasarımı nükleer füzyon reaktörleri'ni ön plana çıkarmış ve böylece birkaç adet yeni nesil stellarator nükleer füzyon reaktörleri inşa edilmiştir. Stellarator dizaynı nükleer füzyon reaktörü geometrisi

değiştirilmiş bir tokamak tasarımı nükleer füzyon reaktörü'dür. Daliesque geometrisi olarak adlandırılan düzenek sayesinde makine içerisinde hareket eden her parçacığın eşit kuvvetlere maruz kalması sağlanmaktadır. Bu nedenle stellarator; plazmayı yönetmek için sadece tek bir manyetik alana gereksinim duymaktadır. Böylece nükleer füzyon makinesi birkaç dakika yerine süresiz şekilde çalışabilmektedir.

Eski nesil stellarator nükleer füzyon makineleri manyetik alanları reaktördeki plazmayı tokamak termonükleer füzyon reaktörleri'ne kıyasla çok daha hızlı biçimde sızdırmaları nedeni ile çağ dışı kalmışlardır. Ancak yeni kuşak stellarator termonükleer füzyon reaktörleri tasarımlarında söz konusu durum tamamen değişmiştir. Yeni nesil stellarator nükleer füzyon santralleri içerisinde manyetik alanı meydana getiren halkalar ve kangallar uygun bir geometri ile karmaşık tarzda düzenlenmiştir. Böylece kuvvetlerin eşit ve düzenli dağılımı sağlanmıştır. Öte yandan günümüzün yenilikçi stellarator nükleer füzyon reaktörleri 1960'lı yılların stellarator füzyon makineleri'ne nazaran plazma yönetiminde uygun geometrileri bulmak için gerekli olan çok karmaşık hesapları yapabilen modern bilgisayarlar ile donatılmıştır.

Almanya Garching'te Max Planck Institute (IPP) tarafından tokamak nükleer füzyon reaktörleri'ne alternatif olarak Wendelstein 7-AS çağdaş stellarator nükleer füzyon makinesi geliştirilmiştir. Tokamak nükleer füzyon reaktörleri'nin aksine yenilikçi stellarator nükleer füzyon makineleri daha önce anlatıldığı gibi plazma akımı ile meydana gelen manyetik alanı engellemek suretiyle plazmayı sınırlamaktadır. Böylece reaktörde sadece dış kangallar ve halkalar tarafından oluşturulan iyi hesaplanmış düzenli bir manyetik alan kullanılmaktadır. Diğer taraftan, tokamaklar yardımcı sistemler sağlanmadıkça yalnızca pulse modunda çalıştırılabilmektedir. Wendelstein 7-AS stellarator santrali 1988 yılında işletmeye alınmıştır. İleri stellarator nükleer füzyon reaktörü olarak kurulan 7-AS stellarator; yenilikçi 3D şekilli kangallar tarafından oluşturulan geliştirilmiş manyetik alan ile ayrıca çok karmaşık hesapları yapabilen modern bilgisayar donanımı sayesinde emsallerine göre evrimsel olarak tasarlanmıştır. 7-AS model stellarator santral; plazma hacmi 1

metreküp olan çok küçük yakıt kapasitesine sahiptir. Gerçekte mini bir yapıya sahip 7-AS stellarator, çalıştırıldığı süre zarfında tokamak'a eşdeğer bir performans sergilemiştir. 2002 yılına kadar çalıştırılan 7-AS yerine stellarator teknolojisi ile çalışan 30 metreküp plazma hacmine sahip çok daha büyük Wendelstein 7-x nükleer füzyon reaktörü yine Max Planck Enstitüsü (IPP) tarafından bu defa Almanya Greifswald'da inşa edilmektedir. 2015 yılında tamamlanması planlanan Wendelstein 7-x stellarator nükleer füzyon santrali maliyeti 377 milyon euro civarında olacaktır. Finansmanı Alman Hükümeti, Yerel Alman Hükümeti ve Avrupa Birliği'nce karşılanmaktadır. Öte yandan, Temmuz 2011'de Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı (**Department of Energy-DOE**) mıknatıslar (magnets), reaktör duvarı kılıflama sistemleri (wall cladding) ve ölçüm cihazları teminini taahhüt etmiştir. Böylece Amerika Birleşik Devletleri söz konusu projeye 7.5 milyon dolar değerinde bir mali katkı sağlamaktadır. ITER reaktörü kadar hacimli olmasa da Wendelstein 7-x stellarator nükleer füzyon makinesi göze çarpan bir büyüklüktedir. Son bilimsel ve teknolojik gelişmelerin ışığı altında ileri stellarator termonükleer füzyon reaktörleri sayesinde geleceğin garantisi nükleer füzyon enerjisi elektrik üretimi yol haritası belirlenmesi bağlamında çok önemli ilerlemeler kaydedilmesi olası gözükmektedir.

Kaynaklar:

- Nükleer Atıkların Yok Edilmesi veya Nihai Depolanması, Ahmet Cangüzel Taner, FMO Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006.
- Nükleer Reaktörler, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2007.
- Nükleer Güç Santralleri ve Nükleer Enerjinin Geleceği, Ahmet Cangüzel Taner, FMO Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2007.
- Radyoaktif Atıkların İdaresi veya Yönetimi, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2007.
- Nükleer Enerji Santralleri, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Geleceği ve Enerji Kaynak Çeşitliliği, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2008.
- Nükleer Santraller ve Gelecekteki Nükleer Enerji Projeksiyonları, Ahmet Cangüzel Taner, FMO Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2008.

- İngiltere’de Enerji Arz Güvenliği, Enerji Kaynaklarının Çeşitlendirilmesi, Nükleer Santraller ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2008
- Atom, Radyoaktivite, Radyoizotoplar ve Radyasyon Çeşitleri, Ahmet Cangüzel Taner, FMO Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2008.
- İleri Nükleer Santraller, İklimsel Değişim Mekanizmaları, Küresel Isınma ve İklim Değişiklikleri Bilimsel Raporları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2010.
- Temiz Enerji Kaynakları, Nükleer Elektrik Reaktörleri, Küresel Mali Kriz ve Küresel Ekonomik İflas, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011.
- The Economist Dergisi (03 Eylül- 09 Eylül 2011).

İnternet Sitesi: www.fmo.org.tr/_yayinlar/faydali-bilgiler