

TERMONÜKLEER ENERJİ

Doç. Dr. Ordal DEMOKAN *

Mevcut fosil yakıtlarının (petrol, kömür vs.) önümüzdeki 30-40 yıl içinde tükeneceği beklentisinden hareket edilerek, geleceğin enerji gereksinmesinin yarısına yakın bir kısmının nükleer enerji ile karşılanması umulmaktadır. Nükleer enerjinin ortaya çıkarılması iki temel sürece dayanır. Bunlardan birincisi, günümüzdeki reaktörlerin kullandığı fisyon sürecidir. Bu sürecin yakıtları uranyum, toryum gibi ender bulunan elemanlar olup, mevcut teknik olanaklarda bir gelişme olmadığı takdirde elde edilebilen miktarın bu gereksinmeyi ancak bir asır mertebesinde bir süre için karşılaması beklenebilir. Zararlı artıkları da göz önüne alınınca, bilim adamlarının çabaları ikinci süreç olan füzyon, ya da başka bir deyişle, termonükleer enerji üzerinde yoğunlaşmaya başlamıştır.

Termonükleer Enerjinin İlkeleri :

Bu enerjinin dayandığı nükleer süreçler şu şekilde gösterilebilir :

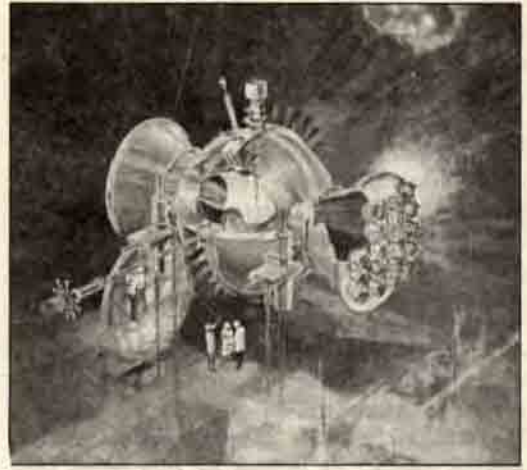
$$D + D = (T + 1.01 \text{ MeV}) + (p + 3.03 \text{ MeV}) \\ (He^3 + 0.82 \text{ MeV}) + (n + 2.45 \text{ MeV})$$

$$D + He^3 = (He^4 + 3.67 \text{ MeV}) + (p + 14.67 \text{ MeV})$$

$$D + He^3 = (He^4 + 3.67 \text{ MeV}) + (p + 14.67 \text{ MeV})$$

$$(He^4 + 3.52 \text{ MeV}) + (n + 14.06 \text{ MeV})$$

Bu denklemlerin anlamı şöyle açıklanabilir : Deuterium (D) ve tritium (T), hidrojen elemanının izotoplarıdır. İki deuterium çekirdeği birleştirilebilirse ya 1.01 Mega-elektron volt enerjisinde bir tritium çekirdeği ile 3.03 Mega-elektronvolt enerjisinde bir proton, ya da 0.82 Mega-elektronvoltluk bir helyum çekirdeği ile 2.45 Mega-elektronvoltluk bir nötron oluşur. Diğer iki denklem de buna benzer biçimde açıklanabilir. Bu denklemlerden görüleceği üzere, 3 deuterium çekirdeğiyle yola çıkılırsa, sonunda bir helyum çekirdeği (α tanecik) bir nötron, bir proton ve toplam olarak 21.61 Mega-elektronvoltluk enerji elde edilir. Bu enerji ise, 9.62×10^{19} kw-saat olarak ifade edilebilir. Bir gram deuterium'da 3×10^{23} çekirdek bulunduğu ve her 3 çekirdek bu kadar enerji verebileceğine göre, 1 gram deuterium yaklaşık olarak 100 Megawat-saat enerji üretebilecek demektir, deuterium izotopunun doğal hidrojen içinde % 0.02 oranında bulunduğu anımsanırsa, 1 gram deuterium'un 50 litre sudan elde edilebileceği görülür. Dolayısıyla, okyanuslardaki suyun dünyanın enerji gereksinmesini 70 milyar sene boyunca karşılayabileceği görülür. Yukarıdaki denklemlerle gösterilen tüm reaksiyonların son ürünü, enerjinin yanı sıra, α , nötron ve proton tanecikleri olup, bu tanecikler kolaylıkla soğurulabileceklerinden herhangi bir uzun ömürlü, zararlı, radyoaktif artık da oluşmazlar.



Termonükleer Reaktör için Koşullar :

Çok çekici görünen bu sürecin denetimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesinde çeşitli zorluklar vardır. İki pozitif yüklü deuterium çekirdeğini, aralarındaki elektrostatik itme gücüne rağmen kaynaşabilecekleri bir yakınlığa kadar birbirlerine yaklaştırmak için bu çekirdeklerle yaklaşık 10 kilo-elektronvolt mertebesinde kinetik enerji verebilmek gerekir. Bu enerji sıcaklıkla ifade edilirse, çekirdeklerin 100 milyon dereceye kadar ısıtılması anlamına gelir. Yakıtın böylesine yüksek bir sıcaklığa ısıtılabilmesi için reaktöre büyük bir enerji sağlanması gerektiği açıktır. Reaksiyonlardan elde edilecek nükleer enerjinin en az enerjiye eşit olması da ekonomik bir zorunluktur. Bu düzeyde bir nükleer enerji elde edilebilmesi için çok sayıda çekirdeğin reaksiyona sokulabilmesi gerekmektedir. Bu sayı Law-

* ODTÜ Fizik Bölümü

son tarafından saptanmış olup, gerçekleştirilebilmesi için her santimetreküp başına 10^{14} çekirdeklik bir yoğunluğun en az 1 saniye süresince tutulabilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

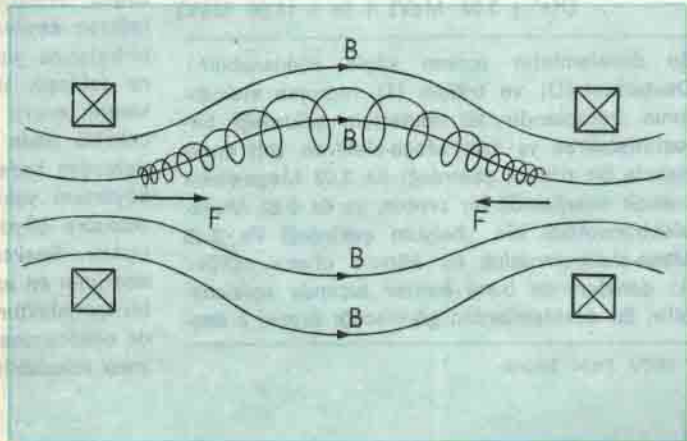
Gerekli koşulları sağlayabilmek için deuterium gazının söz konusu sıcaklıklarda ne durum aldığına bakmak gerekir. 150.000 derece mertebesinde bir sıcaklıkta, deuterium gazı tamamen iyonize olur. Maddenin bu şekilde iyonize olmuş durumuna "plazma" hali denir, elektrik alanları uygulandığında akım geçirir ve ısınır. Magnetik alan uygulandığı zaman ise sıkışır; çünkü yüklü tanecikler magnetik alana dik yönde serbestçe hareket edemez ve dairesel yörüngelere otururlar. Bu nedenlerle, plazmayı magnetik bir alan ile hapsedip sıkıştırmak ve elektrik alanları ile ısıtmak ilk aklı gelen yöntemlerden biri olmuştur. Ancak, düzgün ve yeknesak bir magnetik alanın plazmayı hapsedemeyeceği açıktır; çünkü magnetik alana paralel yönde hareket durdurulamaz. Buna çare olarak magnetik alan şiddetini iki ucta arttıran sistemler geliştirilmiş ve bunlara "magnetik ayna" adı verilmiştir. Şekil 1'de görüleceği üzere, birbirinden belirli bir uzaklıkta, aynı eksen üzerine yerleştirilmiş, halka şeklinde iki sarım, magnetik ayna sisteminin en basit örneğidir. Böyle bir magnetik alan içindeki yüklü bir taneciğin aynalara (sarımlara) doğru yaklaştığında dairesel yörüngesinin çapının ufaldığı ve geriye doğru bir magnetik güç ile itildiği görülür. Bu güç, taneciklerin büyük bir kısmını iki ayna arasında tutabilmekle birlikte, magnetik alana paralel yöndeki hızları belirli bir değerin üstünde olan tanecikler bu gücü yenip aynadan kaçabilmektedirler. Bu kaçış azaltabilmek amacıyla çeşitli yöntemler denenmekteyse de, bu yolla erişilen değerlerin hedeflerin henüz oldukça gerisinde olduğunu itiraf etmek gerekir.

Magnetik alanın uçlarından tanecik kaybını önlemek amacıyla, magnetik alan çizgilerinin

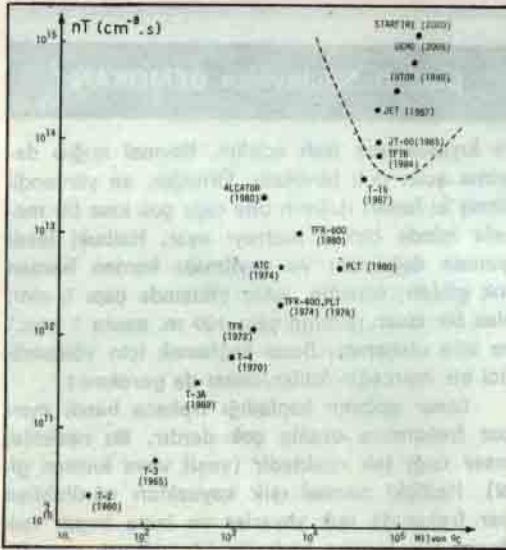
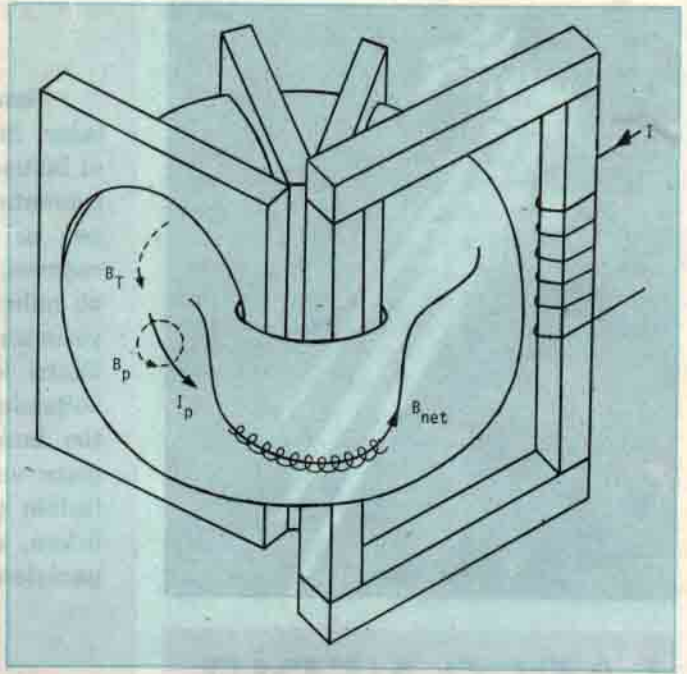
kapalı birer daire oluşturdukları magnetik torus konfigürasyonu akla gelen ikinci çare olmuştur. Simit şeklinde bir nüve üzerine sarılan bobinden geçirilen akım yoluyla oluşan magnetik alan, bu konfigürasyonun en basit örneğidir. Bu tür alanın kullanıldığı araştırmalar, "Tokamak" ve "Stellerator" adlarıyla tanımlanan iki ana grupta toplanmıştır. Tokamaklar, şekil 2'de gösterilmiş olup, karmaşık bir transformatörden ibarettir. Transformatorün sekonder sarımı, simit şeklinde bükülmüş paslanmaz çelikten bir borunun içine doldurulmuş deuterium gazıdır. Alçak güçte bir radyo frekans alanı ile gaz önce iyonize edilerek iletken durumuna sokulur. Hemen sonra, transformatorün çok sarımlı primer devresine akım verilir ve tek sarımlık bir sekonder oluşturan gazdan çok yüksek bir akım geçmesi sağlanır. Bu akımın çelik boru ile paylaşılmaması önlemek için, boru çeşitli yerlerinden yalıtkan şeritlerle kesilmiştir. İçinden geçen yüksek akım nedeniyle deuterium plazması çok yüksek derecelere kadar ısıtılabilir. Isınan taneciklerin çelik cidara kaçarak nötralize olmalarını önlemek amacı ile de çelik boru çevresince dizilmiş yassı sarımlardan geçirilen akım yoluyla toroidal magnetik alan (B_T) oluşturulur. Bu arada deuterium gazından geçen akımın poloidal yönde oluştuğu magnetik alan (B_p)'de $I \times B_p$ gücü nedeniyle gazı daha da sıkıştırarak yoğunluğunu artırır. Stelleratorların tek farkı, yassı sarımlar yerine heliks şeklinde sarımlarla hem B_T alanının tümünü, hem de B_p alanının bir kısmını üretmesidir. Bu şekilde B_p alanının plazma akımına bağımlılığı ve bu akımdaki bozulmalardan çok fazla etkilenmesi önlenir.

Bu yöntemin amaca ulaşması yolunda iki önemli engel kalmıştır. Bunlar, gaz akımı hal-kasında bazı kararsızlıklardan oluşan dirsek ya da benzeri şekilde bozulmalar ile, plazma direncinin ısındıkça düşmesidir. Akım halkasının dışı

Şekil 1 : Magnetik ayna yöntemi : Bu şekildeki kareler, iki magnetik alan sarımının kesitlerini göstermektedir. B, magnetik alan çizgilerini, F ise yüklü tanecikler üzerindeki magnetik gücü temsil etmektedir. Bu konfigürasyon içindeki bir yüklü tanecik, şekilde görülen helizon tipi bir yörüngeyi izler.



Şekil 2 : Tokamak sistemi : Çevresinde sarım bulunan dikdörtgen çerçeve, transformator çekirdeğini göstermektedir. Genel uygulamada, yüzeyleri birbirine dik ve birer kenarı plazma halkasının içinden geçen dört çerçeve kullanılır. Primer sarımı ise bu ortak kenarın çevresine sarılmıştır. B_T , plazma halkasının çevresine eşit aralıklarla dizilmiş yassı sarımların oluşturduğu eksenel magnetik alan, B_p ise I_p plazma akımının oluşturduğu magnetik alandır. Yüklü tanecikler, bu iki alanın bileşkesi olan B_{net} çevresinde şekilde görülen helikon tipi yörüngeleri izler. I , transformator primer akımını göstermektedir.



Şekil 3 : Tokamak sistemlerinin kronolojik durumu : Dikey eksen, tanecik yoğunluğu ile sürenin çarpımını, yatay eksen ise, tanecik sıcaklığını göstermektedir. Kesikli eğri ile gösterilen bölgenin içi, termonükleer reaksiyonların gerçekleştiği ve reaktörün ekonomik olabildiği bölgedir. Parantez içindeki sayılar, yılları göstermektedir.

doğru dirsekler yapması plazmanın cidara değip nötrale olması, elektrik direncinin düşmesi ise, belli bir sıcaklıktan sonra akımın plazmayı artık ısıtamayacağı anlamına gelir. Bu engellere rağmen geçen 20 yılda aşılınan yol şekil 3'de de görüleceği gibi oldukça ümit vericidir. DEMO ve STARFIRE reaktörlerinde, çelik boru üzerine yerleştirilen lityum tabakası, termonükleer enerjiyi taşıyan nötronları durdururken ısınacak ve bu tabakayı soğutan akışkanın buharından elde edilecek elektrik enerjisi insanlık hizmetine sunulacaktır. Bu reaktörler için öngörülen büyüklükleri de şöyle özetleyebiliriz: torus dış çapı : 12 metre, iç çapı : 4 metre, plazma akımı : 7 milyon amper ve magnetik alan : 6 tesla mertebesinde olacaktır.

Son olarak, güçlü laser demetlerinin küçük deuterium hedefleri üzerine uygulanarak termonükleer sıcaklık ve yoğunlukların sağlanmaya çalışıldığı, ancak bu amaç için gereken laser gücünün günümüzdeki laserlerden 100 kat daha büyük olduğunu ve bu yöntemin tokamaklara göre daha yavaş ilerlediğini de belirtmekte yarar vardır.

● Güneş rüzgarı olarak adlandırılan, Güneş'ten ayrılan yüklü partiküllerden oluşan ve Dünya'dan da geçen sürekli akıntının hızı, ses hızının 1.200 katıdır.