

## Küresel Tokamaklar Hedefe İlerliyor

Amerika'da ve İngiltere'de gerçekleştirilen iki füzyon deneyinin sonuçları, tokamak diye adlandırılan reaksiyon kabını simit ya da pasta kalıbı yerine, ortasında ince bir delik bulunan bir küre biçimde yapmanın daha verimli olabileceğini gösterdi. Yıldızların sıcak merkezlerinde çok yüksek basınç altında gerçekleştirildikleri süreç olan nükleer füzyon, sınırsız, ucuz ve temiz bir enerji vadediyor. Ancak bunu yapabilmek için atom çekirdekleri arasındaki elektromanyetik itmeyi yenmek gerekiyor. Çekirdekler birbirlerini itiyorlar, çünkü artı elektrik yüklü protonlar ve yüksüz nötronlardan oluşuyorlar. Füzyon içinse hafif atom çekirdeklerini çiftler halinde bir araya getirip, kütlesi orijinal kütlelerin toplamından biraz küçük olan daha ağır bir çekirdek oluşturacak biçimde birleşmelerini sağlamak. Aradaki fark, enerji olarak açığa çıkmakta. Bunu yapabilmek için tokamak türü deney reaktörlerinde ağır hidrojen izotopları olan döteryum ve trityum karışımı yakıt kullanılıyor. Önceden ısıtılarak iyonlaştırılan yani artı yüklü atom çekirdekleriyle, serbest kalmış, eksi yüklü elektronların karışımı olan bir plazma haline getirilmiş gaz, güçlü mıknatıslarla soğumamamsı için reaktör kabının çeperlerine değmeyecek biçimde havada asılı tutuluyor. Plazma içindeki atomları sıkıştırmak için, basınç olmadığından yıldızların merkezlerinden çok daha yüksek sıcaklıklar gerekiyor. Güneş'in son derece yoğun merkezindeki basınç, hidrojen çekirdeklerinin yaklaşık 15 milyon °C'de birleşerek helyum çekirdekleri oluşturmasına olanak sağlıyor. Tokamak reaktörlerinde böyle bir basıncın yanına bile yaklaşamayacağı için sıkıştırmayı, plazma içinden geçen elektrik akımları ve plazmaya dışarıdan enjekte edilen yeni atomlarla

150 milyon dereceye kadar yükseltilebilir. Ancak, plazmayı duvarlara değmeyecek şekilde aran manyetik alan çizgilerini, sarmal yapıları bozulup dağılmadan tutmak çok güç. Bu nedenle füzyon süreci şimdilik saniyenin küçük kesirlerinde gerçekleşebiliyor ve deney reaktörleri, genelde deney çıktısı olan füzyon enerjisini üretebilmek için kat kat daha fazla enerji girdisi kullanmak zorunda kalıyorlar. Oysa hedef, füzyonu yeni yakıtla besleyerek sürekli kılmak ve tükettiğinden çok daha fazla enerjiyi ticari ölçekte ve maliyetlerde üretebilmek. Bu hedefe ulaşmak için füzyon fizikçileri farklı yollar deniyorlar: Daha fazla güç, ve daha değişik tasarımlar.



Daha fazla güç seçeneğinin temsilcisi, kurulmak için nihai bir karar ve 4.2 milyar dolarlık maliyetin üye ülkeler tarafından taahhüt edilmesini bekleyen Uluslararası Termonükleer Deney Reaktörü (ITER). Bu, dev boyutlarda, ancak klasik pasta tenceresi biçimli tasarlanan bir füzyon makinesi. Değişik tasarımlardaysa başı, pasta kalıbı yerine küresel bir geometriyi ve ortada küçük bir boşluğu içeren küresel tokamak düzenekleri çekiyor. Bunların avantajı, aynı düzeyde plazma kontrolü sağlamak için klasik tokamaklara göre daha az manyetik alana gereksinim duymaları. Bir tokamakta manyetik alan çizgileri, ortadaki boşluğun çevresine helezon gibi sarıldıktan sonra tabanı ve kabın dış duvarlarını izleyerek yeniden orta boşluğun üst tarafına çıkıp halkayı tamamlar. Reaktör halkası içinde hızla dönen plazmayı kararlı kılan, merkezi çubuk (ya da boşluk) çevresindeki

manyetik alan sarmalı. Bir küresel tokamak tasarımı, merkezdeki deliği ince ve uzun bir tüp haline dönüştürdüğünden, manyetik alan çizgilerinin hem daha sıkı bir yay oluşturacak biçimde sarılmasını, hem de bu sargının çok daha uzun bir bir eksen boyunca oluşmasını sağlıyor. Dolayısıyla küresel tokamaklar manyetik alanlarını çok daha verimli biçimde kullanıyorlar ve plazmanın kontrolden çıkma eğilimine karşı daha iyi direnç gösteriyorlar. Bata ABD, Japonya ve İngiltere olmak üzere birçok ülke küresel tokamak makineleriyle deneyler yürütüyor. Bu ülkeler arasında, ancak bir konsept ya da model olarak geliştirilmiş küçük bir makine geliştirmiş olan Türkiye de var (Bkz. Bilim ve Teknik Mart 2000 s60). Ancak bu makinelerin en gelişmiş örnekleri olarak, İngiltere Culham'daki Mega Amper Küresel Tokamak (MAST) ile ABD'nin Princeton üniversitesindeki Ulusal Küresel Torus Deneyi (NSTX) sayılıyor. Araştırmacıların bu makinelerde sağladıkları en yeni ilerleme, çalkantı sorununu gidererek plazmayı, klasik biçimli büyük tokamakların yaptığı gibi sakin ve yoğun biçimde tutabilmeleri. Bu düzgün plazma durumu, füzyon için gerekli önemli bir koşul. Ancak gerek MAST, gerekse de NSTX plazma kontrolünde gösterdikleri başarılı performans karşın, henüz bir rektör olmaktan çok uzaklar. ITER ve halen Avrupa'nın en büyük tokamakı olan, JET'in (Joint European Torus) eriştiği 150 milyon °C sıcaklık, bu en güçlü küresel tokamakların erişebildiğinin 10 katı. Dolayısıyla füzyon araştırmacılarının istek listesinin başında, şimdilik ITER'in gerçeklik kazanması. Araştırmacılar, bununla birlikte hem ITER'in hem de küresel tokamakların bir arada geliştirilmesinin önemini vurguluyorlar. MAST araştırma ekibinin başkanı Alan Sykes'a göre ITER'in ardından bir füzyon güç santralını devreye sokmak isteyen işletmeciler, küresel tasarımı çok daha ekonomik bulabilirler.