

Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Kapsamında Güneş Kökenli Nükleer Füzyon Enerjisi Güç Üretimi Amaçlı Uluslararası Termonükleer Deney Reaktörü ITER

Ahmet Cangüzel Taner

Fizik Yüksek Mühendisi

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

Güneşin yeryüzünde oluşturulması çalışmaları, bilimsel düzeyde çevre dostu nükleer füzyon (nükleer birleşme – nükleer kaynaşma) enerjisi ya da çevreci termonükleer enerji araştırmaları olarak adlandırılmaktadır. Fizik biliminin önemli dallarından biri olan yüksek enerji fiziği ve plazma fiziği içeriğinde bilim insanları, karbonsuz nükleer füzyon enerjisi kaynaklı güç reaktörleri elektrik üretimi yoluyla hem dünya enerji arz güvenliği zafiyeti sorunlarına hem de global ısınma ve küresel değişikliği mekanizmaları problemlerine yenilikçi evrimsel teknolojik çözümler bulmaya çalışmaktadır. Karbonsuz nükleer füzyon santralleri kurulması ile birlikte gelecekte çok daha tehlikeli olacak küresel karbon emisyonları ve global karbondioksit salınımlarının sınırlandırılması projeksiyonları büyük oranda sağlanacaktır. Söz konusu doğa dostu karbonsuz nükleer füzyon güç santralleri bilimsel araştırmaları doğrultusunda atom fizikçileri ve plazma fizikçileri tarafından Uluslararası Termonükleer Deneysel Reaktör (International Thermonuclear Experimental Reactor – ITER) geliştirilmektedir. Fransa, Avrupa Birliği AB, Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Hindistan, Japonya, Rusya Federasyonu ve Güney Kore'nin de finansal katkılarıyla inşa edilecek nükleer füzyon santrali ITER maliyeti 22 milyar dolar civarındadır. Fransa'nın güneyinde Cadarache kenti yakınlarında kurulmakta olan ITER termonükleer tesisi, konvansiyonel nükleer fisyon reaktörleri işletilmesi sonucu hâsıl olan ve dünya kamuoyunun yoğun tepkisine yol açan yüksek aktiviteli uzun yarı ömürlü nükleer atıklar üretmeyecektir. Termonükleer reaktörler, klasik uranyum yakıtlı nükleer güç santralleri NGS elektrik üretimleri sırasında oluşan nükleer atıklara kıyasla nükleer atık yönetimi kapsamına girmeyen sadece çok kısa yarı ömürlü radyoaktif maddeler meydana getirmektedir. Bu yazıda termonükleer füzyon reaktörü tasarımı safhasından inşaat safhasına doğru bir geçiş süreci yaşayan yeşil, doğa dostu ve çevreci perspektifler aynı zamanda küresel elektrik arz güvenliği temini açısından can alıcı öneme sahip dev temiz enerji kaynağı karbonsuz nükleer füzyon projesi ITER santrali yapımı sorunları ele alınmaktadır.

Nükleer füzyon ile enerji elde edilmesi için plazma olarak tanımlanan iyonize hidrojen atomlarının bulunduğu karmaşık ortamı sınırlamak aynı zamanda söz konusu plazmayı güneşin kor sıcaklığının on katına kadar ısıtmak gerekmektedir. Isınma sırasında bazı çok yüksek hızla hareket eden ve çarpışan atom çekirdekleri ise nükleer kaynaşma ve nükleer birleşme amacıyla yeterli enerjiye erişecektir. Hızlı hareket eden parçacıkların çarpışmaları sonucu biriken güç sayesinde ise hidrojen atomları bol olan sınırsız ve doğa dostu bir enerjiye ulaşılacaktır. Ortaya çıkan muazzam güç, füzyon enerjisi, termonükleer enerji, nükleer birleşme enerjisi ve nükleer kaynaşma enerjisi şeklinde çeşitli adlarla anılmaktadır. Yarım asrı aşkın süredir termonükleer güç ile ilgili ileri sürülen bilimsel görüşler ancak günümüzde laboratuvar çalışmaları düzeyine gelmektedir. ABD, AB ülkeleri, Çin, Hindistan, Japonya, Rusya Federasyonu ve Güney Kore'nin ekonomik desteği ile oluşturulan füzyon enerjisi yanlısı uluslararası konsorsiyum tarafından başlatılan proje ile beraber

küresel termonükleer enerji bilimsel araştırmaları hız kazanmaktadır. Füzyon enerjisini sürekli elde etmeyi hedefleyen proje kapsamında 80000 kilometre uzunluğundaki süperiletken tel ile halka halinde sargılanan 23000 ton ağırlığındaki kap **tokamak** olarak adlandırılmaktadır. Halka içindeki süperiletken teller kanalıyla sağlanan uygun geometri sayesinde manyetik olarak nükleer plazma sınırlanmakta, böylece düzenli ve devamlı karbonsuz füzyon enerjisi temin edilmektedir. Çok uluslu füzyon enerjisi projesine de Uluslararası Termonükleer Deneysel Reaktör (**International Thermonuclear Experimental Reactor – ITER**) ve kısaca **ITER** adı verilmiştir. Ayrıca, 7 adet ortağa da sorumluluk yüklenen proje çerçevesinde satın alma ve üretim konularında iş bölümü yapılmıştır. Teknolojik ilerlemelere uğraması kaçınılmaz olan ve yeni muhtemel gelişmeler karşısında dev nükleer füzyon projesi tasarım değişiklikleri de ilgili tüm taraflarca kabul edilecektir. Termonükleer reaktör projesi ekonomik destekçilerine eşitlikçi bir yaklaşım sergilemektedir. Ancak, füzyon projesinin süreci ve programı tam olarak belirlenememesi nedeniyle ise gecikmeler vuku bulacak ve bu arada termonükleer reaktör yatırım maliyetleri artacaktır. Söz konusu sorunlar birbirini tetikleyerek karbonsuz termonükleer füzyon projesi bitiş tarihi de uzayacaktır. Ayrıca, geçen süre zarfında projeden ayrılmalar ve politik temelli değişen koşullar bağlamında uluslararası füzyon enerjisi projesine katılımlar da öngörülmektedir. İfade edilen olumsuz projeksiyonlar ve zafiyetlere rağmen Eylül 2014 'dün ilk haftasından itibaren Fransa'nın güneyinde Cadarache kenti yakınlarındaki kompleksin inşaat temelleri bitmek üzere iken çevreci **ITER** füzyon tesisi sahası içerisine reaktörün ilk parçaları da gelmeye başlamıştır. Ekim 2014'de duvarların ve nükleer füzyon tesisinin nüvesi sayılan halka (doughnut) şeklinde olan vakum kabının inşaatları programlanmıştır.

Aşağıdaki haritada Fransa Akdeniz kıyısındaki Marsilya şehrine yakın Cadarache kenti civarında inşa edilen karbondioksit emisyonları olmayan temiz enerji kaynağı yeşil ve doğa dostu **ITER** termonükleer tesisi kırmızı nokta ile işaret edilmektedir.



Dev ITER kompleksi inşaat sahası yakın ve uzak cepheden aşağıda gösterilmektedir.

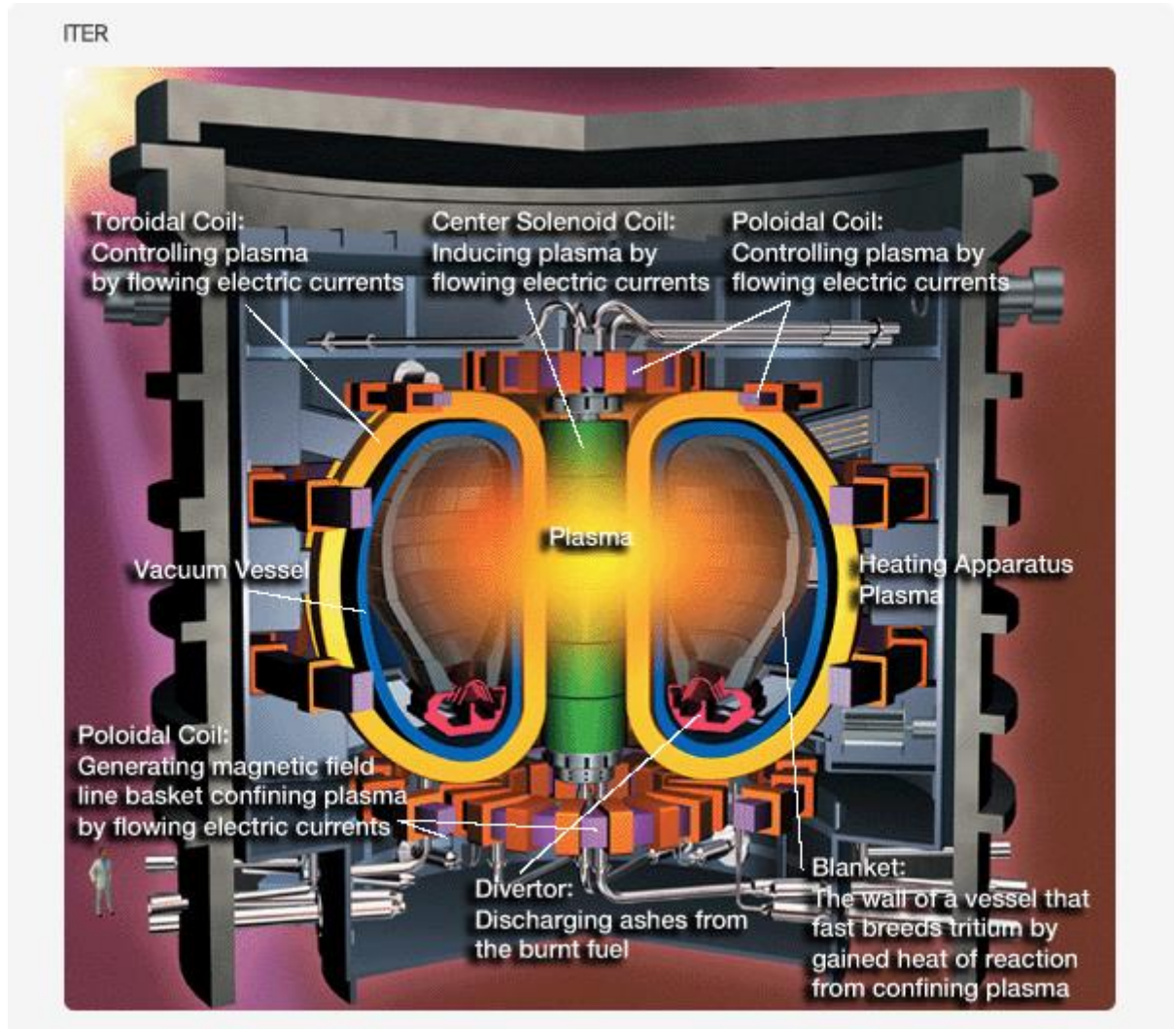


Her Őeye rağmen yetkili hiç kimse evreci **ITER** füzyon enerjisi tesisi inşaat süresi hakkında kesin bir tarih ve periyot verememektedir. Reaktör vakum kabı imalatının gecikmesi nedeniyle daha Őimdiden projede 30 aylık bir tehir söz konusudur. En son yayımlanan termonükleer reaktör projesi zaman izelgesi kapsamında 2020'de füzyon santrali vakum kabı içinde ilk nükleer plazma ortamının oluŐturulacađı açıklanmıŐtır. Ancak, termonükleer reaktör vakum kabı üretimi sürecindeki aksaklıklar nükleer plazma oluŐumu için açıklanan tarihi 2023 ya da 2024 yıllarına doğru kaydıracaktır. Bununla beraber revize edilmiŐ doğa dostu **ITER** nükleer füzyon reaktörü montaj programı, 2015 yılı ortalarına kadar yayınlanmayacaktır. Son gelişmeler ile beraber **ITER** nükleer füzyon santrali projesi maliyetleri üzerindeki tartıŐmalar da gündeme taŐınmaktadır. Hlihazırda 20 milyar dolar hesaplanan toplam termonükleer füzyon tesisi maliyeti rakamlarının ise yükseleceği öngörülmektedir. **ITER** projesinin baŐladıđından beri ağır aksak yürümesi aslında nükleer fizik ya da çok geniŐ boyutlu mühendislik dallarının bilimsel ve teknolojik endiŐelerinden kaynaklanmamaktadır. Sorunların gerçek nedeni olarak st düzey proje yönetimi gösterilmektedir. Projenin ilk tasarımının yeterliliği ve projenin denetimi konusunda 7 ortaklı tesis sahipleri de tam yetkili kılındığı takdirde aksaklıkların giderileceği beklenmektedir. Projedeki gecikmeler ile birlikte tesis ortakları arasında hüküm süren anlaŐmazlıklar da su yüzüne çıkarken **ITER** yönetimi, projeye destek veren diğer kuruluŐları bilgilendirmemiŐ ve hem son derece uygunsuz hem de çok uzun olan proje zaman çizelgesine saplanıp kalmıŐtır. Projede çok daha sıkıcı geliŐmelerin yaŐanması da sürüp gitmektedir. Bu yılın baŐlarında kamuoyuna sızan haberde Ekim 2013'de tesis yönetimi tarafından reaktörün eksik görülen nükleer güvenlik kültürü ilkesinin projeye dhil edilmesi de alay konusu olmuŐtur. Öte yandan, **Amerika Birleşik Devletleri** 2014 yılı **ITER** füzyon projesi yatırım fonlarının %12'sini elinde bulundurmaktadır. Her yıl **ABD ITER** yatırım fonları değerlendirmeye tabi tutulmakta ve **ITER** projesi ile ilgili gerekli görülen öneriler açıklanmaktadır. Amerikan Senatosu alt komisyonu, **ITER** bütçesi müzakereleri sırasında 2015 yılında Amerika'nın füzyon projesinden tamamen ayrılması teklif edilmiŐtir. Birleşik Devletler 1999 yılında da projeden ayrılmasına rağmen 2003'de **ITER** füzyon projesine yeniden katılmıŐtır. Maliyet artıŐları ve gecikmeler ile eleŐtiri yağmuruna tutulan termonükleer proje kapsamında füzyon enerjisi sorunlarını aŐmak suretiyle ülkeler arası riskleri, bilimsel çabaları ve dlleri paylaŐmak ise **ITER**'in ana felsefesi olarak değerlendirilmektedir. Projeye destek veren kuruluŐların eŐgüdümü ile eriŐilen bilgilerin uygulamaya konulması halinde söz konusu felsefe de doğrulanacaktır. **ITER** tesisi, sürekli füzyon plazması kanalıyla harcanan enerjiye kıyasla yaklaŐık 10 kat daha yüksek olan 500 megawatt'lık güce eriŐtiđi takdirde projenin baŐarısı kanıtlanacaktır. Reaktörün sözü edilen güce ulaŐması açısından bilimsel olarak hiçbir engel de görülmemektedir. Bununla beraber talihsiz Amerikan çabası olarak nitelendirilen ve **National Ignition Facility – NIF** tarafından geliŐtirilen füzyon oluŐturmak için manyetik alanlar yerine laser kullanımı da dikkate alınmaktadır. Konu ile ilgili yayımlanan bilimsel makalede, mühendisler belirli büyüklükte aynı zamanda uygun Őekil ve kompozisyondaki hedefe odaklanan laser kullandıkları takdirde net enerji kazanımı sağlanacağı ifade edilmektedir. Bazı bilim insanları kullanılacak laser cihazının dünyanın en büyükleri arasında olması gerektiğini vurgulamaktadır. Laser ve hedefleri uygun biçimde seçilmesine rağmen yeterli verimlilikte füzyon enerjisi temin edilememiŐtir. **NIF** alıŐmalarını Őimdilik atom bombaları modelleme araştırmaları kapsamındaki nükleer silah stoku yönetimi projelerine doğru odaklanmaktadır. Her Őey iyi görünse de gerçek durumlar farklı görüntü

sergilemektedir. Sonuçta, **ITER**'in bilimsel düzeyde geleceğini test etmek için öncelikle yönetim ve insan kaynakları sorunları çerçevesinde düzenlemelerin gerçekleştirilmesi zorunluluk arz etmektedir.

Çevre dostu **ITER** nükleer füzyon güç santrali şematik iç görünümü aşağıdaki taslak şekilde gösterilmektedir. Taslakta soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla,

- **Toroidal Halka veya Toroidal Bobin (Toroidal Coil)**: Akan elektrik akımları ile nükleer plazma ortamını kontrol altında tutar.
- **Merkezi Solenoid Halkası veya Bobini (Center Solenoid Coil)**: Akan elektrik akımları vasıtasıyla nükleer plazma çevresini kontrol eder.
- **Vakum Kabı (Vacuum Vessel)**
- **Plazma (Plasma)**
- **Plazmayı Isıtma Donanımı (Heating Apparatus Plasma)**
- **Poloidal Halka veya Poloidal Bobin (Poloidal Coil)**: Akan elektrik akımları yoluyla nükleer plazma ortamını sınırlayan manyetik alanı oluşturur.
- **Divertor**: Tüketilen ve kullanılan yakıtın atıklarını ve küllerini tahliye eder.
- **Üretken Alan (Blanket)**: Nükleer plazma ortamının sınırlandırılması sırasında nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan yüksek sıcaklık sayesinde çok hızlı trityumun üretildiği kabın duvarı.



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.
- Nükleer Füzyon Enerjisi (Nükleer Kaynaşma Birleşme Enerjisi) Termonükleer Füzyon Santralleri, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011.
- Çin, Yeni Kuşak Nükleer Enerji Santralleri, Global Yenilikçi Nükleer Santral İnşaatları ve Dünya Sera Gazı Emisyonları, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
- Almanya Enerji Reformu Düşük Karbon Ekonomileri Yenilenebilir Enerji Kaynakları **YEK** Devrimi ve Energiewende Enerji Çevrimi Açmazı, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
- İngiltere Elektrik Arz Güvenliği Sarmalı ve Çıkmazı Kapsamında Elektrik Kısıntıları ve Enerji Kesintileri Riski ile Karbonsuz Baz Yük Kaynağı Modern Yeni Nesil Nükleer Güç Santralleri Kurulması Çalışmaları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2014.
- İngiltere Karbon Yakalama ve Hapsetme (**CCS**) Teknolojileri Uygulamaları ile Karbondioksit Emisyonlarının Yeraltında Depolanması Projeleri, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2014.
- Almanya Düşük Karbon Ekonomisi Enerji Dönüşümü Paradoksu ile Temel Yük Kaynağı Karbonsuz Nükleer Güç Santralleri Kapatılması ve Elektrik Devrimi (**Energiewende**) Çelişkisi, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2014.
- Japonya 2011 Yılı Deprem ve Süpürtü Dalgaları Doğal Felaketler Sonucu Fukushima Nükleer Elektrik Santrali Kapatılması Sonrası Nükleer Enerji Teknolojileri Stratejisi, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2014.
- The Economist Dergisi (20 Eylül 2014 – 26 Eylül 2014).

Fizik Mühendisleri Odası Resmi İnternet Sitesi:

[www.fmo.org.tr/ yayinlar/faydali-bilgiler](http://www.fmo.org.tr/yayinlar/faydali-bilgiler)