

## Küçük Kapasiteli Yeşil, Doğa Dostu ve Çevreci Birinci Kuşak Nükleer Füzyon Santralleri Kompleksleri Kurulması İçin Özel Sektör Şirketleri Girişimleri

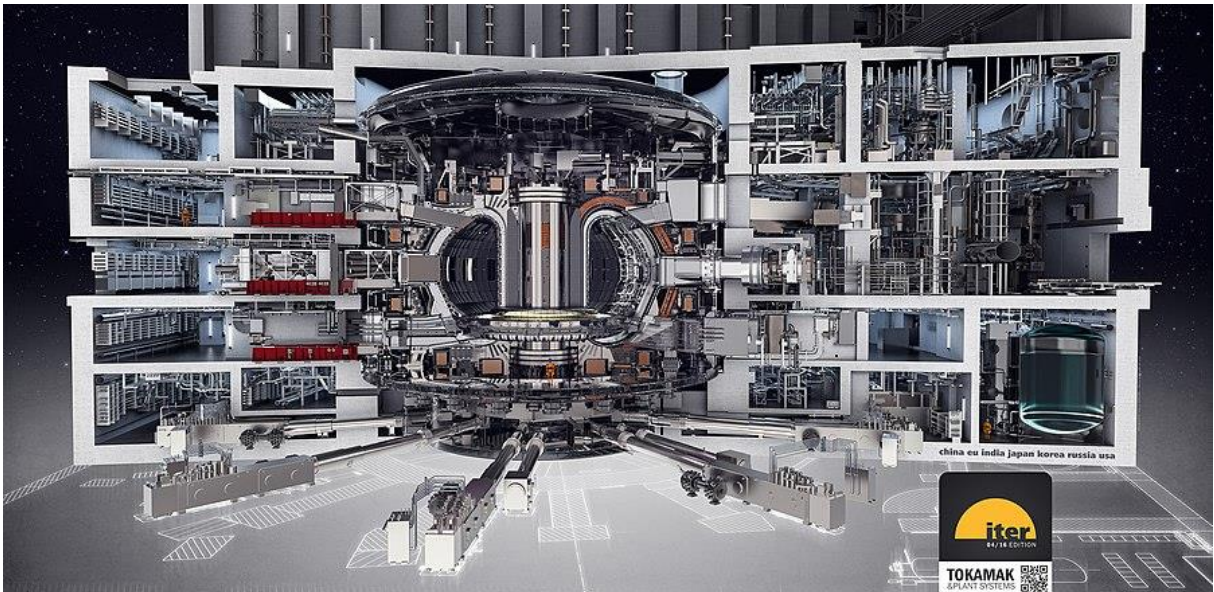
Ahmet Cangüzel Taner

Fizik Yüksek Mühendisi

Fizik Mühendisleri Odası FMO ([canguzel.taner@gmail.com](mailto:canguzel.taner@gmail.com))

Ağır atomlar ve radyoizotopların nükleer bozunma ile nükleer parçalanması, nükleer fisyon ortamı; hafif atomlar ve izotopların nükleer birleşmesi ile nükleer kaynaşması, nükleer füzyon olayı olarak tanımlanmaktadır. Nükleer fisyon reaksiyonları sonucu uzun yarı ömürlü yüksek radyoaktiviteli izotoplar ve nükleer füzyon tepkimeleri neticesi ise daha ziyade kısa yarı ömürlü düşük aktiviteli radyoizotoplar meydana gelmektedir. Nükleer fisyon tepkimeleri ile oluşan uzun yarı ömürlü radyoizotopların nükleer atık yönetimi kapsamında maliyetleri yüksek düzeylere kadar tırmanmaktadır. Öte yandan, nükleer füzyon reaksiyonları kanalıyla ortaya çıkan kısa yarı ömürlü izotopların radyoaktif atık idaresi içeriğinde yok edilmesi maliyetleri ise çok daha düşük seviyelerde kalmaktadır. Küresel özel sektör termonükleer enerji firmaları tarafından karbonsuz temel enerji kaynağı birinci nesil küçük nükleer füzyon enerjisi güç santralleri üniteleri kurulması faaliyetleri bu yazıda araştırılmaktadır.

**Füzyon Sanayileri Birliği** (Fusion Industries Association - **FIA**), yakın gelecekte karbonsuz baz yüklü inovatif nükleer termonükleer santraller ünitelerinin kurulumu gerçekleşmesi ile birlikte 2050 yılına kadar global net sıfır karbon emisyonları perspektifleri sağlaması bağlamında nükleer füzyon enerjisi komplekslerinin önemli bir rol oynamasını beklemektedir. Nükleer füzyon enerjisi uzmanları özellikle küçük kapasiteli termonükleer güç kompleksleri maliyetleri düşüklüğü üzerinde durmaktadır. Örneğin Amerikalı füzyon enerjisi yetkilileri, dev **tokamak** tasarımı **Uluslararası Termonükleer Deney Reaktörü** (International Thermonuclear Experimental Reactor - **ITER**) projesi maliyeti rakamlarının 65 milyar dolar düzeyine kadar ulaşacağını hesaplamaktadır. Tokamak dizaynı Avrupa **Uluslararası Termonükleer Deney Reaktörü** ([International Thermonuclear Experimental Reactor](https://www.iter.org/) - **ITER**) Tesisi Konsorsiyumu dahili montaj görüntüsü aşağıdaki resimde verilmektedir.



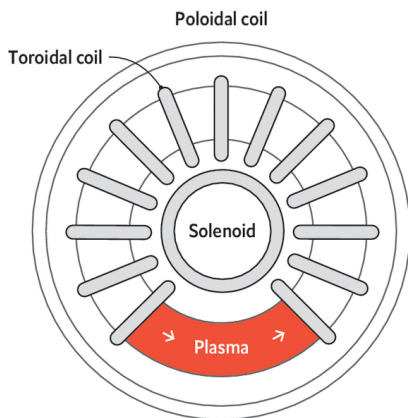
**Kaynak:** Wikipedia Özgür Ansiklopedi

Gelecekte, ayrıntısız basit nükleer füzyon dizaynları kullanımı sayesinde küçük karbonsuz yenilikçi evrimsel ticari nükleer füzyon enerjisi güç sistemleri kurulması hedeflenmektedir. Özel sektöre ait nükleer füzyon enerjisi firmaları yatırımları dikkat çekmektedir. Örneğin, **General Fusion**, **Tokamak Energy**, **Commonwealth**, **Helion** ve **TAE** nükleer füzyon enerjisi şirketleri 250 milyon dolar'dan fazla finansal yatırım kaynakları sağlamıştır. Diğer taraftan, **TAE** 1.2 milyar dolar ve **Commonwealth** 2 milyar dolar finansal destek katkısı temin etmektedir. **First Light** ise 100 milyon dolar finansal yardım almaktadır. Tüm ticari nükleer füzyon şirketleri benzer termonükleer enerji programları yürütmektedir. Nükleer füzyon firmaları 2025 yılına kadar prototip nükleer füzyon santralleri kurulumu gerçekleştirerek 2030 yılı sonrası 200 - 400 **MW** aralığında kapasitesi olan ticari karbonsuz inovasyona dayalı evrimsel nükleer füzyon santralleri güç üretimleri ile ulusal elektrik şebekesi sistemlerine bağlanmaları planlanmaktadır. Güneşin yeryüzünde elde edilmesi bilimsel ve teknolojik görüşü; 1920 - 1930 yılları arasında proton ve hidrojen atomları birleşmesi, kaynaşması ya da nükleer füzyonu suretiyle helyum-4 alfa parçacıklarının oluşması keşfi sonucu başlatılmıştır. Dört serbest proton partikülüne göre daha hafif olan alfa parçacığı, nükleer füzyon tepkimeleri ve nükleer füzyon reaksiyonları olayının en önemli radyoizotopu kabul edilmektedir. Söz konusu nükleer reaksiyonlar neticesi kaybolan kütle sadece enerji dönüşümü ve enerji değişimi prosesine uğramaktadır. Örneğin, dünyaca ünlü kuramsal Fizikçi **Albert Einstein**'in  $E = mc^2$  görelilik kuramı formülü ve izafiyet teorisi denklemleri vasıtasıyla ısı enerjisine bir transformasyon, dönüşüm ve değişim sağlanmaktadır. Nükleer füzyon teknolojik olarak ümit ışığı oluşturmaya rağmen yapay güneş enerjisinin yerkürede kazanılması çalışmaları çok geçmeden beyhude çabalar haline dönüşmüştür. Isı ve basınç altında çekirdeklerin nükleer birleşmeleri ve nükleer kaynaşmaları için optimum koşulların sağlanması gerekli görülmüştür. Çekirdekler ısı ile yeterince hızlı hareket etmek suretiyle sadece kısa menzildeki güçlü nükleer kuvveti ve **Coulomb barrier** engeli olarak bilinen elektrostatik itme gücünü yenmektedir. Böylece, son derece şiddetli kuvvet sayesinde protonlar ve nötronlar bir arada tutularak nükleer çekirdekler meydana gelmektedir. **Coulomb bariyeri** aşılması da yeni ve daha büyük nükleer çekirdekler oluşması yönünde önemli katkı sağlamaktadır. Güneşin kütlelerinin dünyaya göre muazzam büyük aynı zamanda çekim kuvvetinin son derece güçlü olması nedeni ile nükleer füzyon olayı takribi 15.5 milyon °C derece santigrat seviyesinde oluşmaktadır. Dünyada ise 250 milyar atmosfer basıncı altında 100 milyon °C derece santigrat ve üzeri sıcaklıklara ulaşılarak yerkürede yapay nükleer plazma ve suni termonükleer enerji kazanımı temin edilmektedir. Güneşin nükleer füzyon ham maddeleri bir tür çetin ceviz materyaller ve ürünler olarak bilinmektedir. Helyum parçacığının hareketi boyunca ilk etapta iki farklı proton ile birleşerek bir proton ve bir nötrondan ibaret olan ağır hidrojen izotopu döteryumu oluşturmaktadır. Söz konusu döteryum izotopu oluşması için beklenen gerekli süre ise yaklaşık 9 milyar yıl düzeyinde hesaplanmaktadır. Sorunun aşılması bağlamında nükleer plazma fizikçileri ve nükleer füzyon enerjisi mühendisleri tarafından güneş benzeri nükleer füzyon reaksiyonları ve termonükleer tepkimeler önerilmektedir. **General Fusion**, **Tokamak Energy**, **Commonwealth Fusion** ve **First Light** özel sektör firmaları ile **JET** ve **ITER** gibi devlete ait şirketler döteryumu, bir proton ve iki nötrondan ibaret trityumu birleştirme yolu ile nükleer füzyon tepkimeleri ve termonükleer reaksiyonları kullanmaktadır.

Baz yüklü karbonsuz nükleer füzyon enerjisi güç santralleri türleri arasındaki dördü 3. sayfada şematik şekillerde gösterilmektedir. 1) **Tokamak** 2) **Magnetic confinement fusion** 3) **Field-Reversed Configuration** 4) **Inertial confinement fusion** .

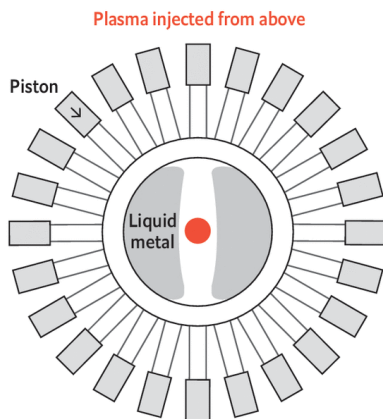
## → A beginner's guide to fusing nuclei

### 1 Tokamak



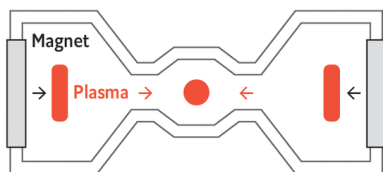
Plasma fuel is confined and heated by electromagnets arranged around a toroidal reaction chamber

### 2 Magnetised target fusion



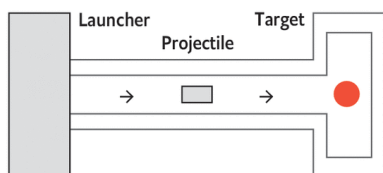
Plasma is compressed by the liquid-metal lining of the reaction chamber, itself pushed inward by pistons

### 3 Field-reversed configuration



Plasma toroids at each end of the reaction chamber are propelled to the centre, where they collide

### 4 Projectile-based inertial fusion



A projectile is accelerated down a tube. Hitting the target compresses a fuel capsule, triggering fusion

Sources: Tokamak Energy; General Fusion; Helion Energy; First Light Fusion; *The Economist*  
The Economist

Sonuçta, Çin ve Hindistan haricindeki diğer ülkelerin 2050 yılına kadar global karbondioksit emisyonlarının sıfırlanması perspektifleri yönünde çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları **YEK** menşeli güç üretimi sistemlerinin yetersiz kalması karşısında özellikle gelişmiş ülkelerde baz enerji kaynağı karbonsuz inovatif ticari termonükleer elektrik üretimi kompleksleri kurulması programları son derece önem taşımaktadır.

### **Kaynaklar:**

- Nükleer Füzyon Enerjisi (Nükleer Kaynaşma Birleşme Enerjisi) Termonükleer Füzyon Santralleri, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011.
- Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Kapsamında Güneş Kökenli Nükleer Füzyon Enerjisi Güç Üretimi Amaçlı Uluslararası Termonükleer Deney Reaktörü **ITER**, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2014.
- İnovasyona Dayalı Yeni Nesil **Stellarator** Termonükleer Füzyon Makinesi ve Yenilikçi **Tokamak** Füzyon Enerjisi Reaktörü Arasındaki Teknolojik Rekabet, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2015.
- Dünyanın En Büyük Termonükleer Deneme Reaktörü **ITER** Projesi Kanalıyla Nükleer Karbonsuz Füzyon Güç Santralleri Yapımları Gerçekleştirilmesi, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2019.
- Olumlu Termonükleer Bilimsel Araştırmaları Doğrultusunda Ticari Karbonsuz Nükleer Füzyon Elektrik Santralleri Kurulması Hakkında Özel Sektör İlgisi, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2019.
- İngiltere **Tokamak** Tipi Nükleer Füzyon Reaktörü Çalıştırılması ve Geleceğin Karbonsuz Baz Yüklü Termonükleer Güç Santralleri İçin Öncü Rolü, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2020.
- Amerikalı Nükleer Füzyon Enerjisi ve Nükleer Plazma Fizikçileri Termo Nükleer Elektrik Santralleri Kurulması Mali Destekleri için İşbirliği Çalışmaları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2020.
- Küresel Karbonsuzlaştırma Teknolojileri Perspektifleri ile 21. Yüzyıl Global Isınma ve İklim Değişiklikleri Sorunları Dizginlenmesi Stratejileri, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2020.
- Küresel Termonükleer Araştırmaları ve Karbonsuz Temel Enerji Kaynağı Birinci Nesil Nükleer Füzyon Elektrik Santralleri Kurulması Çalışmaları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2021.
- Global Sıfır Karbon Emisyonları Projeksiyonları Yönünde Ticari Sürdürülebilir Temel Enerji Kaynağı Karbonsuz Nükleer Füzyon Santralleri Kurulması, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2021.
- Termonükleer **Ar-Ge** Çalışmaları Kapsamında Amerikan Havacılık ve Uzay Dairesi **NASA** Tarafından Füzyon Yakıtlı Uzay Araçları Geliştirilmesi, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2022.
- ABD** Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı İklim Dostu Birinci Nesil Nükleer Füzyon Santralleri Kurulması Yönünde Enerji Verimliliği Artırılması Keşfi, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2022.
- Küresel Termonükleer Araştırma Geliştirme Çalışmaları ile Kurulması Planlanan Baz Yüklü Çevreci Karbonsuz Nükleer Füzyon Santralleri, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2023.
- The Economist Dergisi, (25 Mart 2023 - 31 Mart 2023).

**Fizik Mühendisleri Odası FMO Resmi İnternet Sitesi:**

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