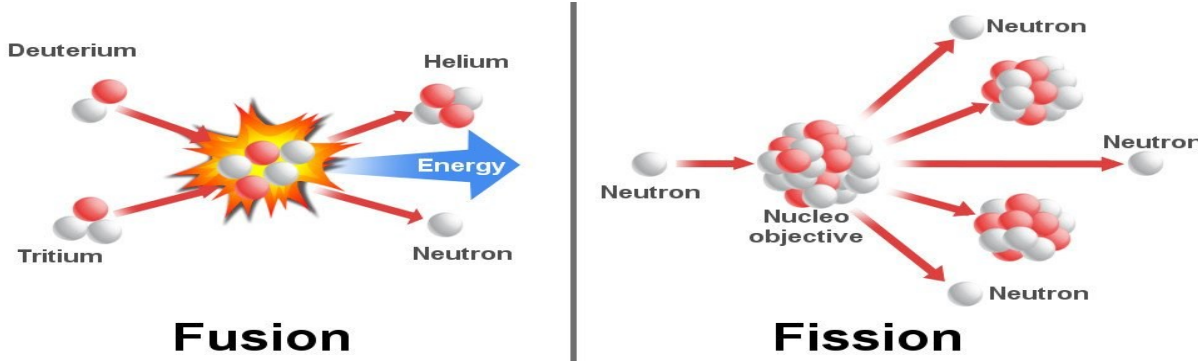


2025 Dünya Füzyon Projelerindeki Gelişmeler Ne Durumda?

Hazırlayan: Yüksel Atakan, Dr.Radyasyon Fizikçisi, Almanya, ybatakan4@gmail.com 03.08.2025

Bilindiği gibi zaman zaman medyada Füzyon'dan kısa süre sonra temiz enerji elde edileceği ve enerji sorunu kalmayacağı gibi çeşitli haberler yer alıyor. Biz aşağıda çeşitli bilimsel kaynaklardan gerçek durumu inceleyen bir yazı hazırladık. Böylelikle 2025 yılında dünyada yürütülen büyük füzyo enerjisi projeleri, hedefleri ve bugünkü durumları açıklanmış olacak. Aşağıda bu konudaki bilgilerin yanı sıra hem Özet hem de Zaman Çizelgeleri yer almaktadır.

Önce konuya yabancı olanlara Nükleer Fission (atom çekirdeği bölünmesiyle ortaya çıkan enerjiyle), Nükleer Füzyon (Atom çekirdeklerinin kaynaşmasıyla ortaya çıkan enerji) farkını Şekiller'le gösterelim: Nükleer fisyon (bölünme) son 80 yıldır nükleer reaktörlerde ortaya çıkarken, Güneşte milyonlarca derece sıcaklıkta olagelen nükleer füzyon, Dünya'da özel laboratuvarlarda ya da araştırma tesislerinde henüz ARGE durumunda: Hafif atom çekirdekleri füzyon ile milyonlarca sıcaklıkta kaynaştırılıken, nükleer fisyon ile Uranyum 235 gibi bazı ağır atom çekirdekleri nötronların bombardımanıyla, yüksek sıcaklıklara gerek kalmadan, bölünüp enerji açığa çıkarılıyor.



Füzyonun Avantajları

- **Temiz Enerji:** Neredeyse sıfır karbon emisyonu ve çok az radyoaktif atık.
- **Sınırsız Yakıt:** Döteryum okyanuslardan, trityum lityumden elde edilebilir.
- **Güvenlik:** Füzyon reaksiyonu kontrolsüz zincirleme reaksiyon yapamaz.
-

Özet Çizelge: 2025 Dünya önemli Füzyon projeleri

Proje / Kuruluş	Yaklaşım / Teknoloji	Hedef / Zaman Çizelgesi	Mevcut Durum (2025)	Ortalama Personel Sayısı	Tahmini Proje Bütçesi (Milyar €)
ITER	Tokamak (uluslararası kamu konsorsiyumu)	İlk D-D plazma ~2034, D-T füzyon ~2039	Büyük gecikmeler; ilk plazma 2034 civarı, tam D-T füzyon 2039; ~1,200 maliyet ~5 milyar € arttı	~1,200	~22
WEST (Fransa)	Uzun süreli plazma için Ti tokamak	Plazma süresi AR-GE	50 milyon °C'de 1.337 saniyelik plazma rekoru	~100	~0.15
EAST (Çin)	Süperiletken tokamak	Endüstriyel prototip için AR-GE	~1.066 saniye plazma; 2035'te endüstriyel reaktör	~800	~1.5
JT-60SA (Japonya)	ITER'e yardımcı süperiletken tokamak	Fizik desteği ve doğrulama	2023'ten beri aktif, ITER optimizasyonu	~600	~1.0
KSTAR (G.Kore)	Tokamak	Plazma tutma AR-GE	~100 milyon °C plazmayı ~48 saniye tuttu	~400	~0.7
CFS/SPARC (ABD)	Kompakt yüksek alan tokamak (SPARC → ARC)	SPARC'ta Q>1 (2027), şebeke ölçeğinde 2030 başı	SPARC 2026'da başlıyor	~250	~1.0
Helion Energy (ABD)	Alan Tersine Çevrimli Konfigürasyon (FRC)	2028'de elektrik üretimi	Orion tesis inşaatı sürüyor	~100	~0.4

Proje / Kuruluş	Yaklaşım / Teknoloji	Hedef / Zaman Çizelgesi	Mevcut Durum (2025)	Ortalama Personel Sayısı	Tahmini Proje Bütçesi (Milyar €)
TAE Technologies (ABD)	Işın tahrikli FRC (p-B11 planlı)	2030'larda ticari kullanım	Demo aşamasında, ticari tesis planı	~200	~0.6
General Fusion (Kanada/İng)	Manyetize Hedef Füzyonu (MTF)	~2026'ya kadar bilimsel denge	2025'te 100 milyon °C hedefi	~150	~0.5
Proxima Fusion (Almanya)	Stellarator	2031'e kadar pilot tesis	Model bobin tasarımı yaygın	~120	~0.3
UK STEP (İngiltere)	Küresel Tokamak (DEMO ölçeği)	~2040'ta işletmeye alma	2025-2032 mühendislik aşaması	~500	~5.0

Kısaltmalar:

- **D-D:** Döteryum-Döteryum füzyonu (iki döteryum çekirdeğinin birleşmesi)
- **D-T:** Döteryum-Trityum füzyonu (döteryum ve trityum çekirdeklerinin birleşmesi, daha verimli enerji üretir)

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) ve **DEMO** gibi projeler tamamlandığında, bilim dünyasında büyük bir dönüm noktası olacak. Ayrıntılı bir açıklama ve temsili görsel betimleme:

1. ITER Füzyon Reaktörünün Çalışma Modeli

ITER, **tokamak** adı verilen manyetik hapsedme sistemi kullanır. Temel işleyiş şu şekildedir:

- **Plazma Oluşturma:** Hidrojen izotopları (döteryum ve trityum) yüksek sıcaklıkta (~150 milyon °C) plazma (eriyik) haline getirilir.

- **Manyetik Hapsetme:** Süper iletken mıknatıslar, plazmayı vakumlu bir halka içinde tutar ve duvarlara değmesini engeller.
- **Füzyon Reaksiyonu:** Plazma çekirdeğinde hidrojen atomları birleşerek helyum oluşturur ve enerji açığa çıkar.
- **Enerji Üretimi:** Açığa çıkan nötronlar, reaktör duvarlarını ısıtır; bu ısı enerjisi, geleneksel buhar türbinleriyle elektriğe dönüştürülür.

2. Görsel Temsili (Betimleme)

ITER'in tamamlandığında nasıl görüneceğine dair temsili bir resim şu öğeleri içerir:

- **Tokamak Halkası:** Dev bir metal halka (plazma odası) ve etrafında sarmal süper iletken mıknatıslar.
- **Enerji Çıkışı:** Reaktörden çıkan buhar türbinlerine bağlı enerji iletim hatları.
- **Kontrol Odası:** Reaktörü izleyen bilgisayar sistemleri ve mühendisler.
- **Soğutma Sistemleri:** Plazmayı stabilize etmek için kriyojenik soğutucular.

The ITER Vacuum Vessel

Vacuum vessel in figures

19.4 m in diameter,
11.4 m high,
Volume: 1,400 m³,
Weight: ~5,200 tonnes.

Sectors in figures

12 m high, 6.5 m wide,
6.3 m deep, 500 tonnes.
150 km of welding beads,
20 000 hours of machining,
100 000 hours of welding.

What is the role of the ITER Vacuum Vessel?

The vacuum vessel will house the fusion reaction. It is a massive double-walled container made of special stainless-steel that will also act as a first safety barrier. The vacuum vessel will be hermetically sealed blocking any dust, air, liquids and impurities entering its chamber. Cooling water will circulate through its double steel walls to remove the heat during operation. Powerful superconducting magnets will embrace the vacuum vessel to help the plasma float without touching its walls.

What are the main parts?

It is made of nine sectors, with Europe responsible for the manufacturing of five of them and the Republic of Korea of the remaining four together with the equatorial ports (openings), lower ports and gravity supports. India is providing the in-wall shielding blocks and Russia all upper ports.

How is Europe involved?

F4E and the AMW consortium (Ansaldo Nucleare, Mangiarotti/Westinghouse, Walter Tosto) are responsible for the manufacturing of Europe's five sectors. At least 150 professionals and more than 15 companies have been directly involved.

(Kaynak: ITER Organization)

3. DEMO ve Ticari Füzyon Reaktörleri

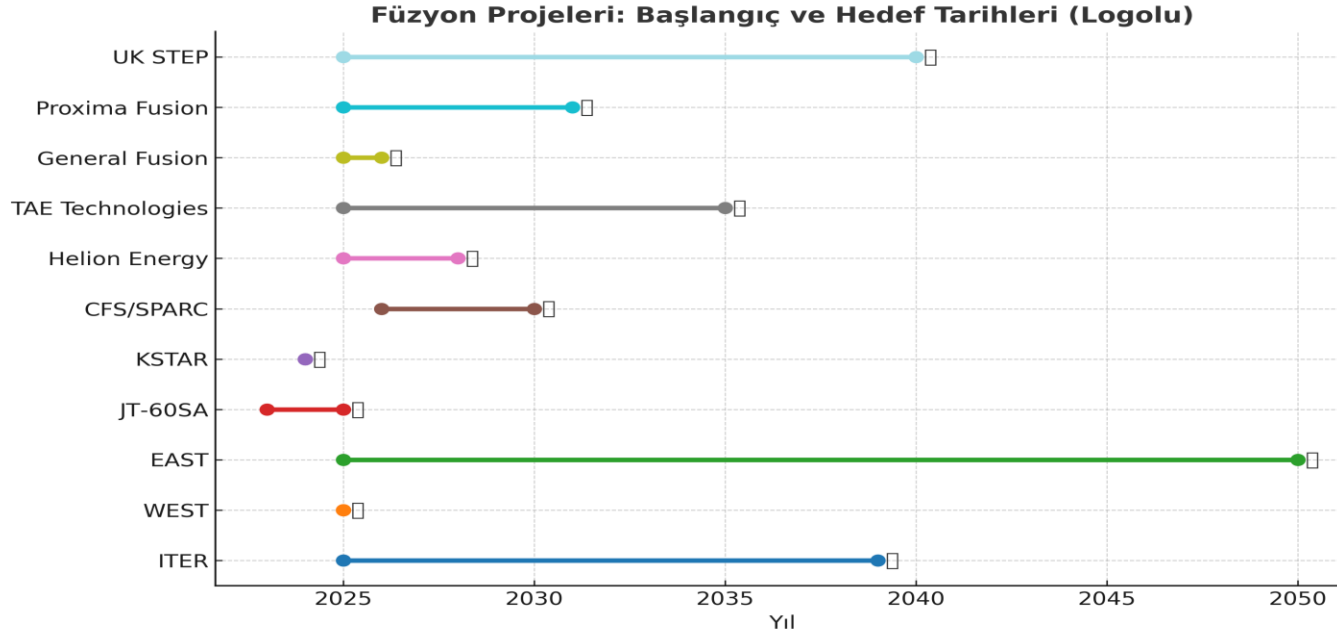
ITER'in ardından inşa edilmesi planlanan **DEMO**, füzyon enerjisini şebekeye bağlayacak ilk ticari prototip olacak. Tahmini özellikler:

- Daha kompakt tasarım (örneğin, **stellarator** alternatifi).
- Lityum bazlı üretken malzemelerle trityum kendi kendine yeten bir sistem.

Kaynaklar:

1. ITER Resmi Sitesi (<https://www.iter.org>)
2. EUROfusion (<https://www.euro-fusion.org>)
3. Çin EAST Projesi Resmi Bilgileri
4. Helion Energy Basın Bülteni
5. UKAEA STEP Programı

PROJELERİN GERÇEKLEŞME HEDEFLERİ ZAMAN ÇİZELGESİ :



Füzyon projeleri arasında işbirliği yapılıyor mu?

Bu projeler arasında **belirli ölçüde işbirliği ve bilgi paylaşımı** yapılıyor, ancak bu işbirliğinin kapsamı projelerin doğasına, finansman kaynaklarına ve stratejik hedeflerine göre değişiyor.

♦ ITER ve WEST örneği

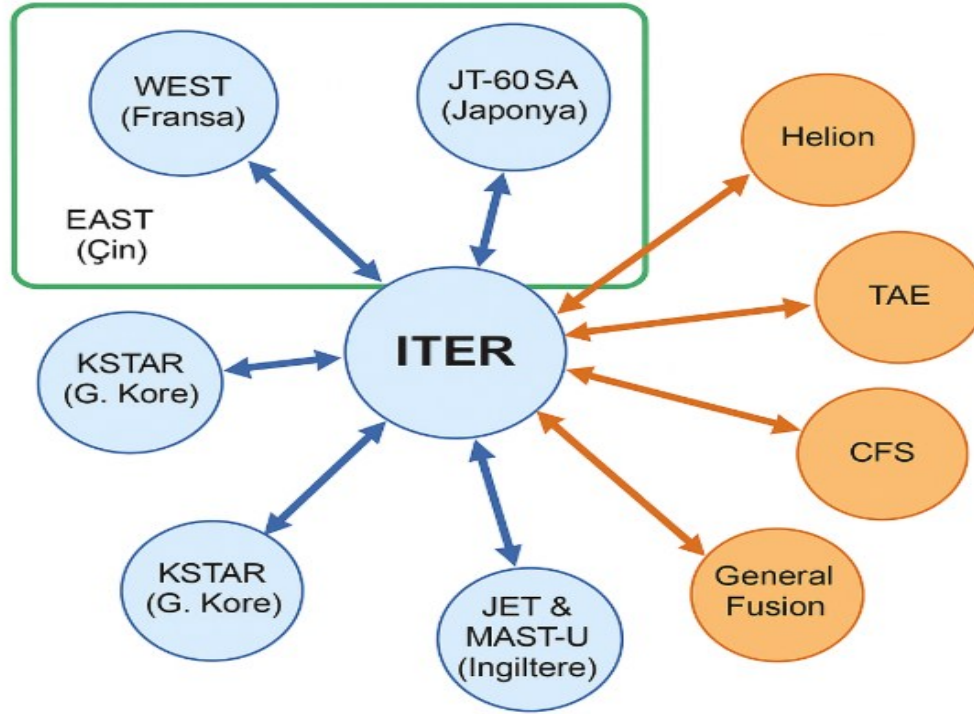
- **İkisi de Fransa'da** bulunuyor:
 - **ITER:** Cadarache, Fransa'da inşa edilen 35 ülkenin katıldığı uluslararası dev tokamak.

- **WEST:** Fransa'daki CEA Cadarache laboratuvarında bulunan, eski Tore Supra tokamağının modifiye edilmiş hâli.
- **İşbirliği:** WEST, ITER'in gerektirdiği uzun süreli plazma operasyonları ve tungsten duvar malzemeleri üzerine **deneysel veri sağlıyor**.
- WEST'te geliştirilen teknolojiler (örneğin tungsten kaplı divertör) doğrudan ITER tasarım ve operasyon stratejilerine girdi sağlıyor.
- WEST ekibinde çalışan bazı bilim insanları ITER'e de danışmanlık veriyor veya kısa süreli görevler yapıyor.

◆ Genel olarak füzyon projelerinde işbirliği

1. **Büyük kamu projeleri arasında (ITER, JT-60SA, EAST, KSTAR):**
 - Uluslararası konferanslarda düzenli veri paylaşımı (örnek: IAEA Fusion Energy Conference).
 - Ortak deney kampanyaları (ITER öncesi plazma fiziği testleri).
 - Personel değişim programları (mühendis ve bilim insanı değişimi).
2. **Kamu projeleri ile özel sektör arasında (Helion, TAE, CFS):**
 - Daha sınırlı, çünkü özel şirketler **fikri mülkiyet** konularında daha kapalı.
 - Yine de malzeme testleri, süperiletken mıknatıs üretimi gibi alanlarda üniversiteler üzerinden dolaylı işbirliği oluyor.
3. **Avrupa içindeki koordinasyon (EUROfusion):**
 - Avrupa'daki WEST, JET, MAST-U gibi cihazlar ortak program dahilinde çalışıyor.
 - Hedef, ITER'e veri sağlamak ve DEMO reaktör tasarımını hızlandırmak.

2025 Füzyon Projeleri İşbirliği Haritası



Not: Bu yazımız bugün için Füzyon projelerinin genel durumunu özetlemektedir. Bu bilgilerde bazı eksikler ve yanlış değerlendirmeler de olabilir. Her bir projenin gelişimiyle ilgili daha ayrıntılı ve tam bilgiler ilgili kaynaklardan alınmalıdır.