

ABD Nükleer Füzyon Deneyi Gelecek İçin Ne Anlama Geliyor?

“Güneşe enerjisini veren, suyu oluşturan, yakıtların tamamında bileşik halinde bulunan, füzyon enerjisinin olmazsa olmazı muhteşem element HİDROJEN, önümüzdeki yüzyılın en çok adından bahsedilecek olan enerji taşıyıcısı olacaktır.”



Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanı *Jennifer M. Granholm* 13 Aralık 2022’de "tarih kitaplarına geçecek bir füzyon atılımı" olarak nitelendirdiği yeni bir deneyin sonuçlarını paylaştı. Bu açıklama sonucu gözler enerji sektörüne etkisinin ne olacağına dair sorularında oluşmasına neden oldu. Bu analizde ABD’de gerçekleştirilen füzyon deneyi ile ilgili bilgiler olabildiğince sade açıklanmıştır. Öncelikle füzyonun tersi olan ve olgunlaşmış bir teknoloji seviyesini yakalamış nükleer fisyonun gelişim aşamalarına bir göz atalım:

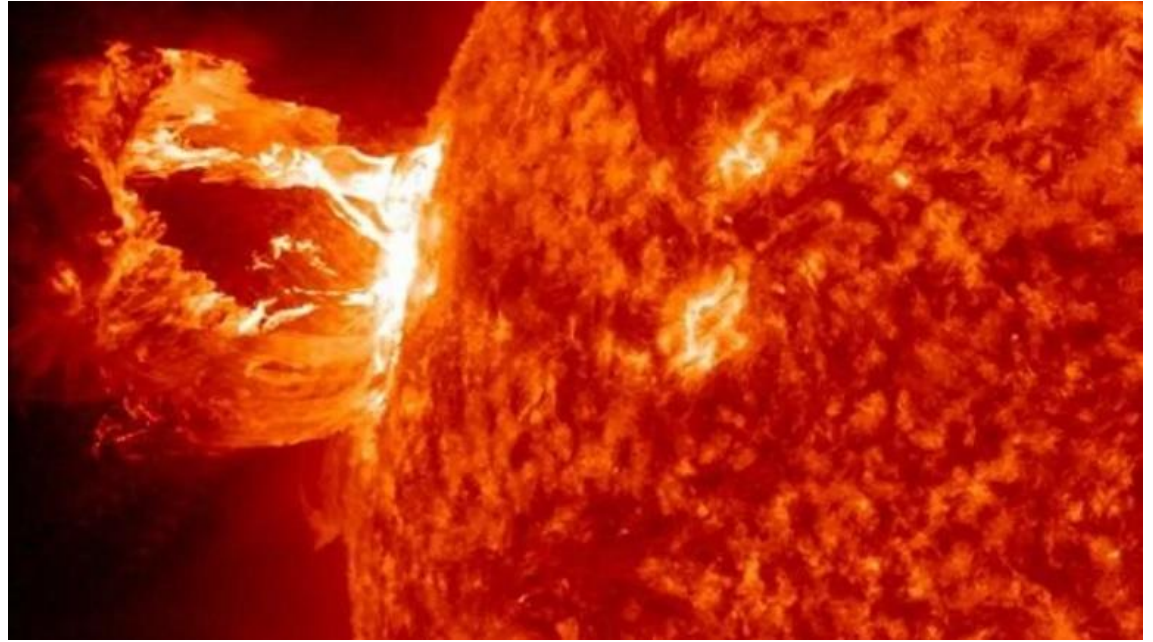
- Atom radyasyonu, atomik değişim ve nükleer fisyon bilimi, 1895’ten 1945’e kadar geliştirildi.
- 1939-45’te çoğu gelişme atom bombasına odaklandı.
- 1945’ten itibaren, bu enerjiyi deniz kuvvetlerinin sevki ve elektrik üretimi için kontrollü bir şekilde kullanmaya özen gösterildi.
- 1956’dan sonra asıl odak noktası, güvenilir nükleer santrallerin teknolojik evrimi olmuştur.
- İlk ticari nükleer santraller 1950’lerde faaliyete geçti.
- Nükleer enerji şu anda yaklaşık 440 güç reaktöründen dünya elektriğinin yaklaşık %10’unu sağlıyor.

*Selahattin Çelik, Doç. Dr., Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi (AYBÜ), Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

“Füzyon enerjisi başarıya ulaştığında kesintisiz bir enerji kaynağı olacaktır.”

Maddenin en küçük yapı taşı olarak öğrendiğimiz atomların parçalanması ile yani fisyon reaksiyonu “nükleer bomba” adını verdiğimiz tahribatı çok yüksek olan savaş aletlerinin ne kadar yıkıcı olduğu II. Dünya Savaşında acı bir şekilde tecrübe ile öğrenilmiştir. 1960’lardan sonra fisyon ile ortaya çıkan muazzam ısı enerjisi kontrollü bir şekilde suyun buharlaştırılması ve termodinamik bir çevrim ile buhar türbinlerinden elektrik üretilmesi amacı ile barışçıl amaçla kullanılmaya başlanmıştır. Radyoaktif elementlerle ilgili teknoloji henüz olgunlaşmamışken birçok ölümcül deneylerde yapılmıştır. Bu elementlerden radyum ve polonyumu keşfeden ve tehlikesinin farkında olmadan çalışan Marie Curie, 1934 yılında kanser olarak yaşamını yitirmiştir. Günümüzde özel taşıma sistemlerinde muhafaza edilen bu elementleri Marie Curie’nin cebinde taşıdığı birçok kaynaktan geçmektedir. 1910’lu yıllarda radyasyon maruziyetinin tesirlerinin tehlikeleri tam anlaşılmadan, karanlıkta parlamasından ve değişik tedavi teorilerinden yola çıkılarak pek çok enteresan ürün ortaya çıkmıştır. Radyum içeren çikolata, ekmek gibi gıda ürünleri 1936 yılına kadar üretilip satılıyordu. Bu ürünlerin şöhreti denizleri aşmıştı. Yapımlarında radyumlu sular kullanılıyordu. Yine radyum içeren oyuncaklar, gece lambaları, radyum ve toryum içeren diş macunları, pudra ve kremler üretilmiştir. Hatta 20. yüzyılın başlarında doktorlar bozuk para büyüklüğünde radyum tabletler geliştirerek romatizmada, zayıflık ve halsizlik durumlarında kullanıyorlardı. Gördüğümüz gibi bilimin alanlarının gelişme aşamasının başındaki acemilikler insanların canlarına mal olacak sonuçlar doğurmuştur. Günümüzde bilim daha ayakları yere basan ve insan yaşamını ön planda tutacak şekilde ilerlediğini söyleyebiliriz. Nitekim füzyon çalışmaları 1960’lı yıllarda başlatılmış ve halen devam etmekte olan bir araştırma alanıdır.

Fisyon bilindiği üzere atomun parçalanması hadisesidir. Radyoaktif olarak adlandırılan uranyum, toryum, plütonyum gibi elementlerin belirli izotoplarına nötron atakları başlattığımız zaman bir dizi zincirleme parçalanma reaksiyonları gerçekleşir. Aynı domino taşlarında olduğu gibi reaksiyonu bir tek taş ile başlatarak tamamının yok olacağı bir zincirleme reaksiyonun oluşmasından bahsedebiliriz. Bu reaksiyonun kontrolsüz olanı atom bombası, kontrollü olanı ise nükleer reaktör olarak çalışır. Günümüzde her ne kadar barışçıl olarak kullanılsa da olası nükleer kazalardan dolayı birçok felaket ortaya çıkmıştır. Bunlardan en bilinenleri Çernobil (1986) ve yakın zamanlarda tsunami ile zarar gören Fukushima (2011) nükleer santralleridir. Fakat yeni nesil santrallerin daha korunaklı olduğu da bir gerçektir.



Şekil 1. Güneş ve içinde gerçekleşen milyonlarca füzyon reaksiyonu

Füzyon reaksiyonu ise atomun parçalanmasının yerine birleşmesi olduğu ders kitaplarında yıllarca kısa bir paragraf ile anlatılarak geçilmiş olan konulardandır. Peki gerçekte füzyon nedir? Aslında her gün füzyon reaksiyonu ile güne uyanıyoruz; güneş enerjisi füzyon reaksiyonu dediğimiz hadisenin ta kendisidir. Güneş içindeki hidrojen atomları milyon derece sıcaklıklarda ve çok yüksek basınç altında plazma haline gelerek kaynaşmakta ve daha ağır olan helyumu oluşturmaktadır. Bu sırada Albert Einstein’ın ünlü $E=mc^2$ denkleminde açıklandığı gibi "kayıp kütle", kütle enerjisi olarak dışarı enerji olarak çıkar ve bu enerji dünyamıza hayat verir. Işık hızının karesiyle çarpılan minik kayıp kütle, bir füzyon reaksiyonu ile oluşturulan ve enerji miktarı anlamına gelen çok büyük bir sayıyla sonuçlanır. Dünyada yapay bir füzyon reaksiyonu gerçekleştirmek için ülkeler arasında oldukça muazzam bir rekabet süregelmektedir. Bu rekabetin odak noktası güneşin merkez sıcaklığı olan 15 milyon derecenin üzerine çıkabilmektir. Ayrıca

“Füzyon enerjisi kullanım ömrü çok uzun olabilecek temiz enerji kaynağı olarak dünya geleceğinin kurtuluş yolu olabilir.”

güneşin merkezi 100 milyar atmosfer basıncında olup bu basınç ve sıcaklıklarda hidrojen plazma halindedir ve füzyon için gerekli ortam sağlanmıştır. Dünyada bu basınçlara çıkmanın çok zor olduğunu düşündüğümüzde füzyon için güneşten daha yüksek sıcaklığa çıkılması gerekmektedir. Dünyada birçok araştırma merkezi 100 milyon derecelerin üzerine çıkmış ancak bu sıcaklıklara kısa süreliğine çok yüksek miktarda enerji tüketerek ulaşmıştır. Fakat ABD tarafından son açıklanan neticeye ulaşabilen henüz olmamıştır. Dünya şartlarında bu derecedeki sıcaklıklara ulaşarak ısının ve reaksiyonun kontrol edilmesi, bu sıcaklıklara dayanıklı malzemelerin olmaması gibi birçok teknolojik eksiklikler sayılabilir. Kaldı ki bu sıcaklığa yükselmek için verilen enerji, reaksiyon sonucu çıkan enerjiden daha fazla olmakta, reaksiyon süreçleri saniyelerle ölçülmektedir. Dünyada yarım asırdır füzyon için gerekli şartları sağlayabilecek özel makineler üzerine çalışmalar yapılmış ancak henüz bu yöntem ile tam kontrollü füzyon enerjisi üretilebilmiş değildir. Adını Rusçadan alan, **Tokamak** (toroidal odadaki manyetik sarmallar) adı verilen, füzyon için kullanılan plazmanın halkasal bir manyetik alan bölgesi içinde hapsedildiği plazma tutucu sistemler kullanılmaktadır. Plazma milyonlarca derece santigrat sıcaklığa sahip olduğundan, sistemin duvarlarına çarpıpması için boşlukta tutulması gerekir, bunun için vakumlu bir bölge içinde manyetik alandan faydalanılır. 1950'lerde Sovyet fizikçiler Igor Yevgenyevich Tamm ve Andrei Sakharov tarafından bulunmuştur. Tokamaklar bu iş için üzerinde çalışılan günümüz sistemleridir. Iron Man filminde Tony Stark'ın göğsüne yerleştirdiği ark reaktörünün de bu Tokamak reaktörlerine benzediğini söyleyebiliriz.

“Dünyada yarım asırdır füzyon için gerekli şartları sağlayabilecek özel makineler üzerine çalışmalar yapılmış ancak henüz bu yöntem ile tam kontrollü füzyon enerjisi üretilebilmiş değildir. Adını Rusçadan alan, Tokamak (toroidal odadaki manyetik sarmallar) adı verilen, füzyon için kullanılan plazmanın halkasal bir manyetik alan bölgesi içinde hapsedildiği plazma tutucu sistemler kullanılmaktadır. 1950'lerde Sovyet fizikçiler Igor Yevgenyevich Tamm ve Andrei Sakharov tarafından bulunmuştur. Tokamaklar bu iş için üzerinde çalışılan günümüz sistemleridir.”

Peki neden başarıdan henüz uzakta olan bu füzyon reaktörleri için çalışmalar yapılmaya devam ediliyor. Bilimsel araştırmanın yanı sıra temiz enerjiye nesiller boyunca yetecek miktarda bir enerji potansiyeline sahip olduğu için gelişmiş ülkelerin araştırma projelerinde yer almaktadır. Füzyon enerjisi başarıya ulaştığında kesintisiz bir enerji kaynağı olacaktır. Bununla birlikte insanoğlunun yaşamını olumsuz etkilemeyecek ve çevre kirliliğine yol açmayacak bir enerji kaynağıdır. Füzyon enerjisinde diğer nükleer güç santralleri gibi tehlikeli atık üretmez sadece helyum gazı ve nötron çıktısı sağlar. Bunlar da çevreye zararlı atıklar değildir. Bu atıklar herhangi bir patlamaya sebep olmaz ve radyasyon tehlikesi yoktur. Yani Füzyon enerjisi kullanım ömrü çok uzun olabilecek temiz enerji kaynağı olarak dünya geleceğinin kurtuluş yolu olabilir.



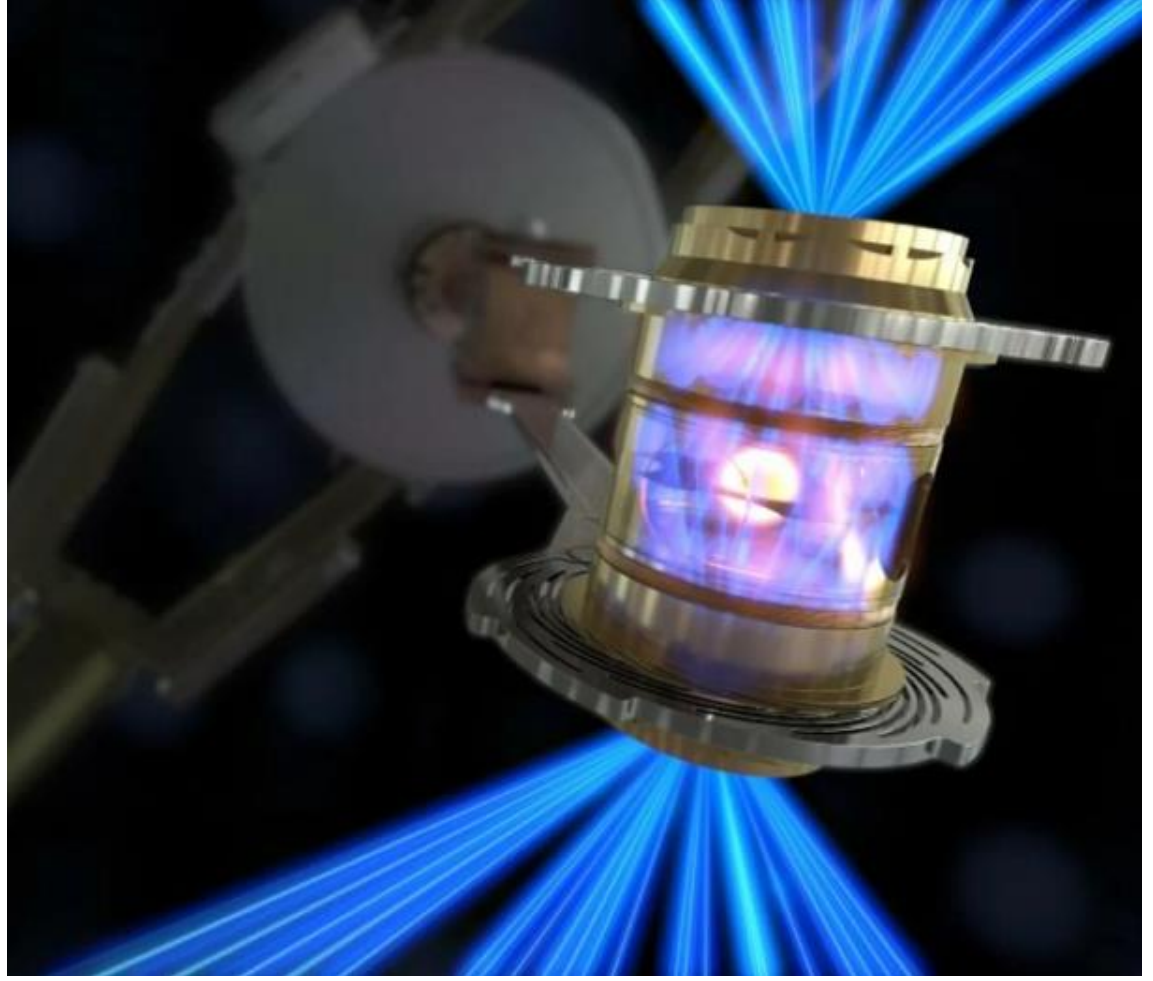
Şekil 2. Iron Man filminde Tony Stark'ın Arc Reaktörü

Peki ABD tarafından büyük bir heyecan uyandıran tarihi füzyon açıklamasında neler yapılmıştır? Kuzey Kaliforniya'daki **Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı'nda (LLNL)** yapılan deneyde 192 adet lazer kullanarak hidrojen elementine odaklatılmış ve ilk kez **“füzyon ateşlemesi (fusion ignition)”** olarak bilinen füzyon deneyi noktasına ulaştırmıştır. Basın toplantısında, Enerji Bakanı **Jennifer M. Granholm** bunu "tarih kitaplarına geçecek bir füzyon atılımı" olarak nitelendirdi.

Bu, evinizdeki elektriğin yarından itibaren on yıllar boyunca füzyon enerjisini kullanarak sağlanacağı anlamına gelmese de tarih gerçekten de bugünü bir buluş olarak kaydedecektir. 5 Aralık 2022'de LLNL ekibi birçok lazeri bazı hidrojen atomlarına hedeflemiş ve ateşlemiştir. Bir salise için atomlar bir füzyon reaksiyonu oluşturan bir plazma haline gelmiştir. Lazerler 2,05 megajule enerji tüketmiş ve bu enerji, atomları milyonlarca santigrat dereceye kadar ısıtan bir reaksiyona neden olmuştur. Güneş benzeri koşullar altında, atomlar birleşmiş ve helyuma dönüşmüştür. Buradaki en önemli sonuç ise bu füzyon sonucu 3,15 megajule enerji elde edilmiş olmasıdır. Yani bu füzyon reaksiyonu, lazerlerin ışınlarıyla yaydıkları enerjinin yaklaşık 1,5 katı kadar füzyon enerjisi üretmiştir. Tokamak tasarımıyla farklı bir metot ile ateşleme işlemi başarılı olmuştur. Fakat devamında nasıl bir yol izleneceği ile ilgili bir bilgi verilmemiştir.

Daha önceki füzyon deneylerini, kıvılcım çıkaran ama yanmayan çakmaklar gibi olduğunu düşünebilirsiniz. Bu, çakmağın gerçekten bir alev ürettiği ilk seferdir. Ancak bu alev hala çok kısa ömürlüdür ve bir kâğıdı yakmak için yetersizdir.

“Kuzey Kaliforniya'daki Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı'nda (LLNL) yapılan deneyde 192 adet lazer kullanarak hidrojen elementine odaklatılmış ve ilk kez “füzyon ateşlemesi (fusion ignition)” olarak bilinen füzyon deneyi noktasına ulaştırmıştır. Basın toplantısında, Enerji Bakanı Jennifer M. Granholm bunu ‘tarih kitaplarına geçecek bir füzyon atılımı’ olarak nitelendirdi.”



Şekil 3. Ulusal Ateşleme Tesisinde bir yakıt kapsülünü sıkıştıran mavi lazerler
Kaynak: LLNL / Ulusal Ateşleme Tesis

Bilim adamları, İngiliz fizikçi Arthur Eddington'ın 1926 tarihli "Yıldızların İç Yapısı" adlı makalesinin yayınlanmasından bu yana, neredeyse 100 yıldır böyle bir gösteri için çalışıyorlar. Aslında araştırmacılar onlarca yıldır atomları kaynaştırıyorlar. İsterseniz garajınızda bir füzyon reaktörü bile yapabilirsiniz. Buradaki zorluk, bu atomları, büyük bir enerji kaybı yerine bir enerji kaynağı olarak adlandırmak için yeterince verimli bir şekilde kaynaştırmaktı ve bir bakıma, ilerlemeye devam eden zorluk olmaya devam ediyor.

“Füzyon bir noktada, potansiyel olarak bu yüzyılın sonlarında tüm temiz enerji kaynaklarının kralı olabilir. Ancak füzyonun gelişim zaman çizelgesi ne yazık ki, çığır açsın ya da açmasın, iklim krizi için kısa vadede bir çözüm aracı maalesef olamayacaktır.”

Füzyon bir noktada, potansiyel olarak bu yüzyılın sonlarında tüm temiz enerji kaynaklarının kralı olabilir. Ancak füzyonun gelişim zaman çizelgesi ne yazık ki, çığır açsın ya da açmasın, iklim krizi için kısa vadede bir çözüm aracı maalesef olamayacaktır. Ülkeler enerji politikalarını aynı şekilde devam ettirirken önümüzdeki 50 yıl boyunca yapılacaklar listesine füzyon reaktörlerini de eklemekten öte bir atılımları olacağını düşünmüyorum. İngiltere Atom Enerjisi Kurumu (UKAEA) sözcüsü, ilk ticari prototip füzyon santralin 2040'ların başında faaliyete geçmesinin planlandığını açıklamıştır. Birleşik Krallık hükümeti, Birleşik Krallık Atom Enerjisi Kurumu'nun 2024 yılına kadar bir konsept tasarım üretmesini sağlayacak olan prototipin ilk aşaması için 220 milyon pound fon sağlayacaktır. İngiltere'nin verdiği bu tarih 1950 yılında başlamış olan füzyon çalışmaları eğilimine bakıldığında gerçekçi olmasa da füzyonun gelecekte yer bulabilmesi açısından önemli bir hedef niteliği taşımaktadır. Ayrıca füzyon alanındaki yapılan her gelişme bilimsel camiada ülkelerin Ay'a inen ilk insan misali rekabet unsuru haline gelmiştir. İngiltere'nin bu hedefini açıklamasından sonra (22 Ekim 2022) ABD'nin bu deney sonucunu en üst makamdan açıklaması tesadüf olamaz. Önümüzdeki aylarda/yıllarda füzyon çalışan ülkelerden de gövde gösteri niteliğindeki gelişim paylaşımlarını bekliyorum.

“Kısa ve orta vadede füzyon çalışmaları dünya enerji politikasına somut bir etki etmeyeceği fakat bilimin her dalında olduğu gibi bu alanda da ülkemizin varlık göstererek akademik gelişim sürecinde bilimsel kopukluk yaşamaması en önemli hedeflerden olmalıdır.”

Lawrence Livermore'un son füzyon reaksiyonu, deneyin kendi sınırları içinde net bir enerji kazanımı sağlamıştır, ancak asıl yapmadığı şey deneyi yapan tesise, deneyi tekrar yapmaya yetecek kadar artı kalanla güç sağlamak için yeterli enerjiyi üretmektir. Böylece elektrik şebekesine elektrik sağlayan kendi kendini idame ettiren bir santral haline gelmesi biraz daha zaman alacağı benziyor. Bunu onaylar nitelikte bir açıklama ise Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı yöneticisi Kim Budil'den geldi, "Lazer, üç megajul füzyon verimi sağlayan iki megajul lazer enerjisini sürmek için duvardan yaklaşık 300 megajul enerji gerektiriyor." dedi ve ekledi, "Hesaplamalarımız, ölçekli bir lazer sistemiyle yüzlerce megajule verim elde etmenin mümkün olduğunu gösteriyor. Dolayısıyla, yeterli verim sağlayan bir hedefe giden bir yol var, ancak şu anda bundan çok uzağız."

Görüldüğü üzere kısa ve orta vadede füzyon çalışmaları dünya enerji politikasına somut bir etki etmeyeceği fakat bilimin her dalında olduğu gibi bu alanda da ülkemizin varlık göstererek akademik gelişim sürecinde bilimsel kopukluk yaşamaması en önemli hedeflerden olmalıdır. Yine unutulmamalıdır ki dünya kademeli bir şekilde sıfır karbon emisyonu anlaşmaları ile 2050 yılı için bir dizi eylem planlarını devreye almış durumdadır. Bunlardan en önemlisi hidrojen yakıtının temiz ve çevreci olarak üretilmesidir. Hidrojen güneş enerjisini veren, Big Bang olarak adlandırılan büyük patlamadan sonra ortaya çıkan helyumdan sonraki ikinci elementtir. Big Bang ile ilgili teoriler yeni yeni ortaya çıkmasına rağmen Kuran'da Fussilet süresi 11. Ayette; “Sonra, (sadece) gaz/duman halinde olan göklere şekil verdi; ona ve yeryüzüne: ‘İkinizde isteyerek veya istemeyerek (varlık alanına) gelin.’ buyurdu. O ikisi de ‘İsteyerek geldik/uyum sağladık.’ dediler.” Burada bazı güncel meallerde gaz halinden kasıt; evrenin bütün maddî unsurlarının kaynağını teşkil eden asal bir element olan hidrojen gazı olduğu belirtilmiştir. Güneş enerjisini veren, suyu oluşturan, yakıtların tamamında bileşik halinde bulunan, füzyon enerjisinin olmazsa olmazı bu muhteşem element **HİDROJEN** önümüzdeki yüzyılın en çok adından bahsedilecek olan enerji taşıyıcısı olacaktır.



Kaynaklar:

1. <http://opereysin.com/arastirma/4963-tehlikesi-bilinmezken-radyasyonun-kullanim-alanlari/>
2. <https://www.kuranmeali.com/AyetKarsilastirma.php?sure=41&ayet=11>
3. <https://www.gov.uk/government/news/site-of-uks-first-fusion-energy-plant-selected>
4. <https://www.energy.gov/articles/doe-national-laboratory-makes-history-achieving-fusion-ignition>
5. https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1650.html