



Geleceğin İtki Sistemleri 2: Plazma İtkili Motorlar

Yazı dizimizin bu ikinci bölümünde elektrikli itki sistemlerinin, elektromanyetik modellerinden bahsedeceğiz.

[Daha önceki makalemizde](#) anlattığımız üzere, şu anda uydular ve derin uzay sondalarında kullanımda olan iyon iticileri oldukça verimli teknolojilerdir. Çoğunluğunun yakıtı Xenondur ve yakıt iyonize edilerek, statik elektrik alanları sayesinde hızlandırılır. Bu yöntem ile mevcut yakıtlarını kimyasal roketlerden 10-12 kat daha verimli kullanırlar.

Ancak ne kadar verimli olsalar'da yarattıkları itkinin (thrust) düşük olması onları, küçük uydulardan çok daha fazla kütlenin taşınmasını gerektiren ve uzak gezegenlere yıllarca değil aylarca, hatta haftalarca sürmesi umulan insanlı görevler için pek çekici kılmaz. Neyse ki insanın hayal gücü ve yaratıcılığı sınır tanımıyor. Bugün laboratuvarlarda denenmekte olan VASIMR plazma iticileri, yakın gelecekte nükleer bir reaktörden alacağı elektrik ile, şu anda 6-8 ay sürmesi

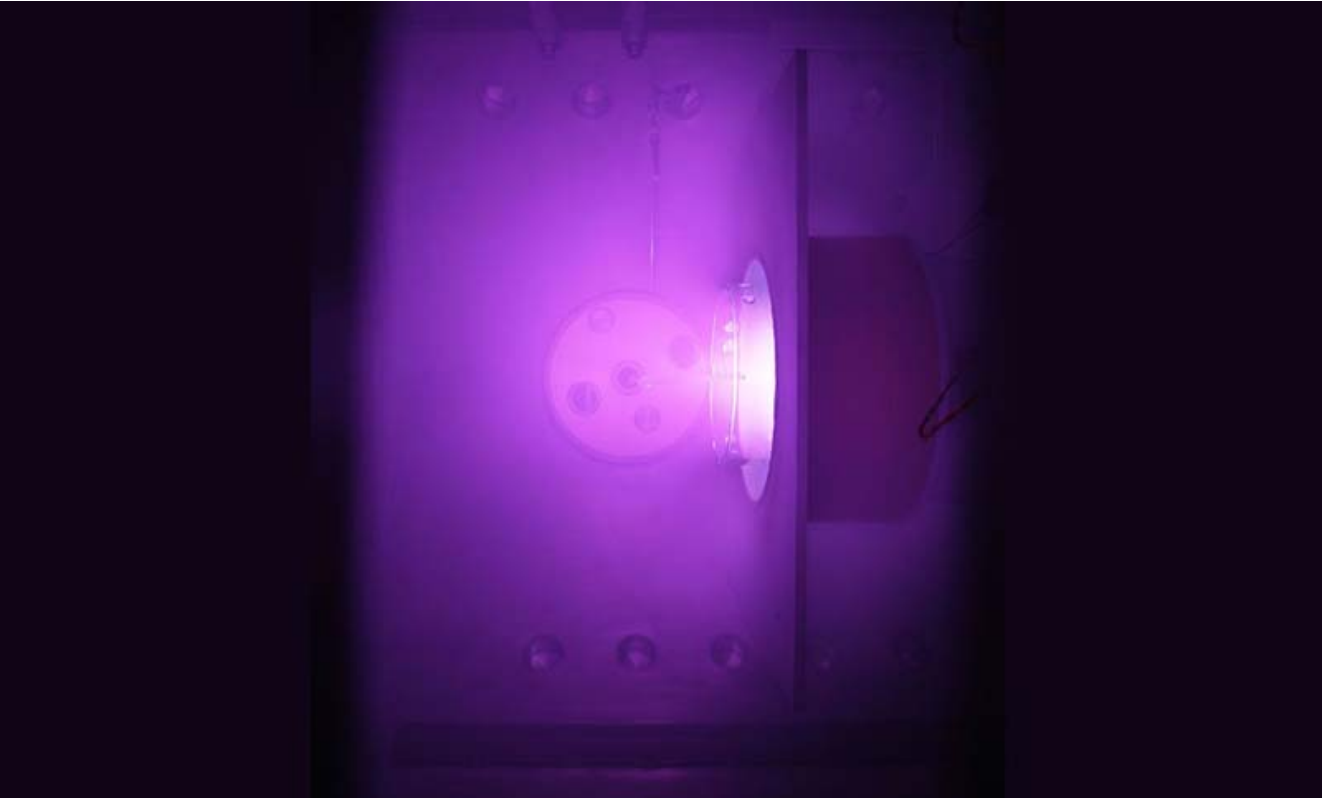
planlanan Mars yolculuğunu 39 güne indirebilir. Bir zamanlar Kolomb'un, ilk keşif yolculuğunun 34 gün sürdüğü düşünülürse, bir gezegene 39 günlük seyahat kulağa güzel geliyor.

Elektromanyetik itki sistemleri, temelde plazma üretimini ve güçlü elektromanyetik alanlar yardımıyla bu plazmanın hızlandırılıp püskürtülmesini esas alır. Xenon gibi iletken ve atom numarası büyük bir yakıt, birinci bölüme enjekte edilir. Buradaki elektriksel ve manyetik sahalara yakalanan yakıt, iyonize edilerek plazmaya dönüştürülür. Ardından manyetik alanlar sayesinde hızlandırılır. Motor içindeki manyetik alan yönünde hızlanmaya devam eden plazmanın ısısı ve yoğunluğu manyetik alan ile doğru orantılıdır.

Elektromanyetik itki sistemleri birbirlerinden önemli ölçüde farklılık gösteren modellere sahiptir. Dilerseniz, bunların üstünden geçip şu anki durumlarını ve gelecekte ki kullanım alanlarını inceleyelim.

HDLT (Helicon Double-Layer Thruster - Helikon Çift-Tabakalı İtici)

Bu elektromanyetik iticiye ismini veren elektriksel çift tabaka, bir yüzeyde ki elektrik potansiyelindeki farklılıklar sonucu, yüzeyin zıt yüklü iyonların difüz tabakası ile kaplanması sonucu oluşur.



HDT (Helikon Çift-Tabakalı İtici)

Avustralya Ulusal Üniversitesinde geliştirilen ve şu anda Avrupa Uzay Ajansı ESA tarafından desteklenen bu teknoloji, bir bölmeje enjekte edilen gaz haldeki yakıtın önce elektromanyetik dalgalara ve ardından helikon dalgalarına (*düşük frekanslı elektromanyetik dalga*) maruz bırakılarak plazmaya dönüştürülmesi ve elektriksel çift-tabaka bölümünde elektronların çoğunun yakalanıp pozitif yüklü iyonların hızlandırılması ile çalışır. Birçok diğer elektrikli itici gibi çok yüksek yakıt verimliliği ve düşük itiş (thrust) prensibi kullanır.

En büyük avantajları elektrostatik iyon iticilerin aksine egzozda sistemi nötrleyecek kadar elektron kalır ve plazmayı hızlandırmak için plazmaya maruz kalıp zaman içinde aşınacak parçalar yoktur.

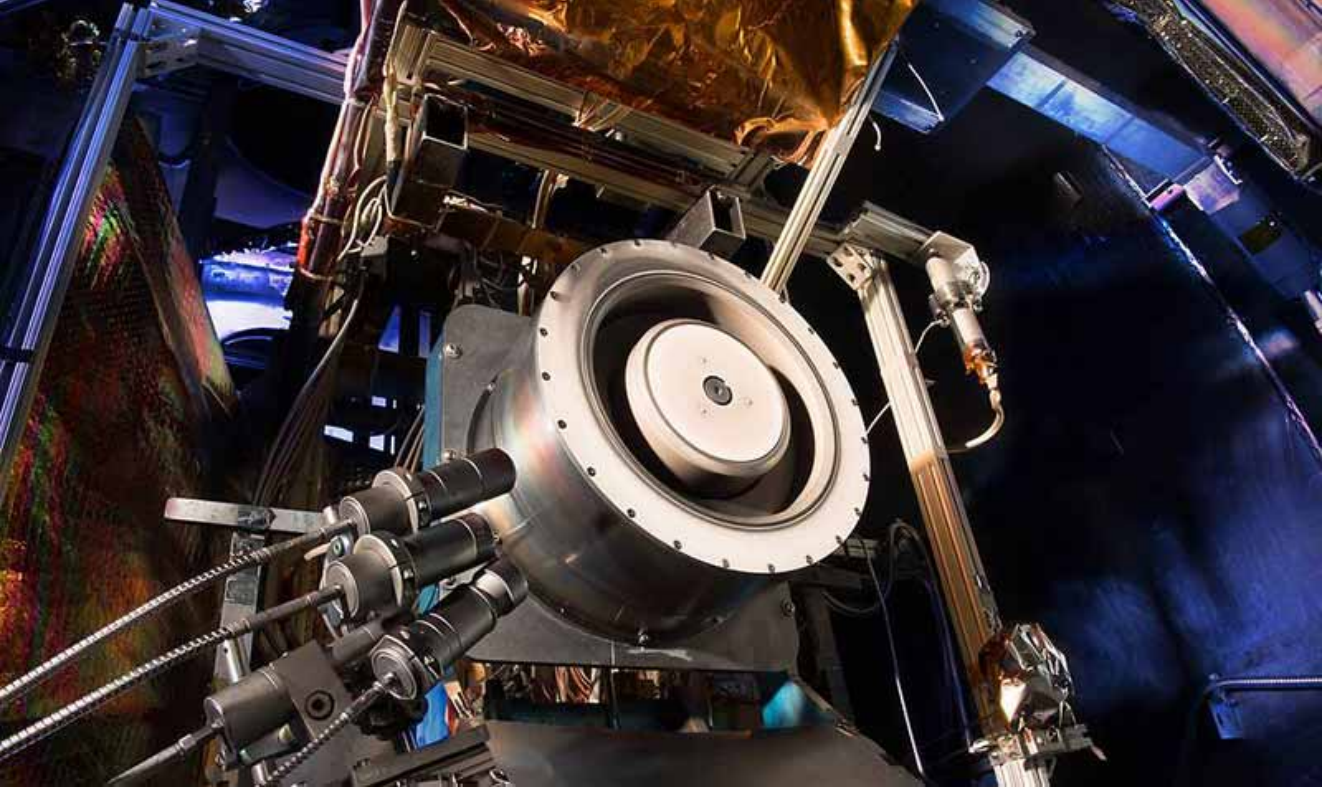
Şu anda Avustralya Ulusal Üniversitesinde geliştirilmekte olan bu teknolojinin yakın gelecekte yaklaşık 50 yıllık cihaz ömrü ile uydularda, istasyonlarda yörünge düzeltmelerinde, derin uzay ve Mars görevlerinde kullanılması planlanıyor.

Daha fazla bilgi için: <http://physics.anu.edu.au/prl/sp3/hdlt/>

HET (Hall Effect Thruster - Hall Etkisi İticileri)

1879'da *Edwin Hall* tarafından keşfedilen Hall etkisi, bir manyetik alan içerisinde bulunan ve üzerinden elektrik akımı geçen iletken üzerinde oluşan voltaj farkıdır. Günlük hayatımızda birçok alanda farkına varmadan faydalandığımız Hall etkisinin uzayda kullanılabileceği 1962'de Amerika'da, gelişmiş itki sistemleri sempozyumunda duyurulmuştur. Ancak ilk işlevsel örneğini Sovyetler Birliği 1971'de fırlatmıştır. Hall etkisi iticiler, batıya 1992'de tanıtılmadan önce, yüzden fazla kez uzayda kullanılmıştır. Sadece Sovyetler Birliği ve ardılı olan Rusya, bu motorları 200'den fazla kez hiç bir sorunla karşılaşmadan kullanmışlardır.

İki farklı modeli bulunur, SPT (*Stationary Plasma Thruster*) ve TAL (*Thruster with Anode Layer*). Çalışma prensipleri ve şemaları çok benzerdir, ancak kullanılan materyal ve mekanik konfigürasyonları farklıdır.



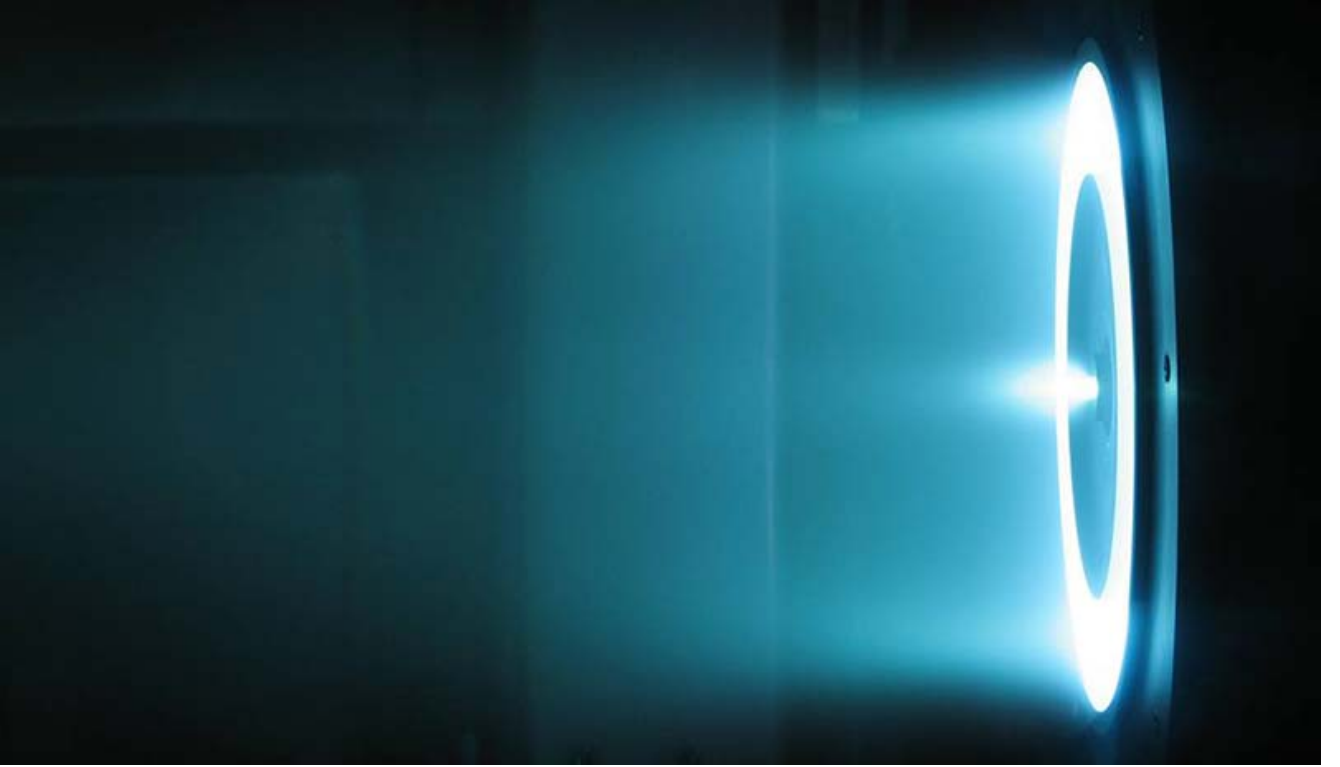
Hall Effect (Hall Etkisi) İtici

HET nasıl çalışır, nerede kullanılır.

Hall-Etkisi İtici, hem elektrostatik hemde elektromanyetik sınıfına girerler. Sistem oldukça geniş bir yakıt yelpazesine sahip olmasına rağmen, çoğunlukla Xenon tercih edilir ve yakıt anot bölmelerine püskürtülür. Katot'da üretilen elektronlar ise elektromanyetik bir alana yakalanarak, bu alanı yüksek enerjiyle takip edip, motora ismini veren Hall akımını oluştururlar. 150-800 volt aralığındaki bu Hall akımı, Xenon atomlarını iyonize eder ve pozitif yüklenen iyonlar Hall akımının etkisiyle saniyede 15 kilometreye kadar hızlanırlar. Motordan çıkış esnasında iyonlar kendileriyle eşit sayıda elektron çekerek nötr yüklü hale gelirler.

Manyetik alan elektronların bir kısmını yakaladada, egzoz akımının %20-30 kadarını bu itki üretmeyen elektronlar oluşturur. Egzoz akımının geri kalan %70-80'ini oluşturan iyonlar, sistemin enerji verimliliğinin de ölçütüdür. Hall akımının, yakıtın %90-99 arasında ki bir değerini iyonize etmesi de yakıt kütlesi verimliliğini temsil eder. Hall iticilerinin net verimliliği %63 ve %75 arasında değişmektedir.

Kimyasal roketlerle kıyaslandığında 1.5kW, 300V değerlerinde çalışan bir sistemin itkisi (thrust) 80mN (milinewton) ile çok küçüktür ve bir bozuk paranın yere uyguladığı ağırlıktan biraz daha fazladır.



Hall Effect Thruster deneme ateşlemelerinden biri.

Ancak çok yüksek özgül itici kuvvete (specific impulse) sahip olmaları, taşıdıkları yakıtı kimyasal roketlerden on kat daha verimli kullanmalarını sağlar. Üstelik elektrik yükü üretmezler bu sebeple sistemi nötrleyecek fazladan ekipmana ihtiyaç olmadığından diğer iyon motorlarından çok daha küçük boyutlu üretilebilirler. Başka bir avantajda çok çeşitli yakıtlar kullanabilmeleridir. Özellikle uydularda kullanmak için oldukça ideallerdir.

Hall-Etkisi iticileri günümüzde rutin olarak yüzlerce ticari iletişim uydusunda kullanılmaktadırlar, önceki yazımızda bahsettiğimiz SMART-1 uydusu da bu motorların bir modelini kullanmıştır.

MPD (Magnetoplasmadynamic / Manyetoplazmadinamik) Roket

MPD teknolojisi, Lorentz kuvvetini kullanarak, yüklü parçacıkların elektromanyetik bir alanın etkisi ile hızlandırılıp itki elde edilmesiyle çalışır. Gezegenler arası görevlerde ve özellikle insanlı görevlerde kullanılabilecek güçlü

bir motor türüdür. Çok yüksek yakıt verimliliğine yani özgül itici kuvvete (*specific impulse*) ve itkiye (*thrust*) sahiptir. Öyle ki, özgül itici kuvvet olarak bir tek VASIMR modeli daha verimli olsa'da, MPD'nin ürettiği itki (*thrust*) elektrikli itki sistemleri arasında ki en güçlü olanıdır.

Peki neden henüz uzayda kullanmıyor?

Çünkü, ciddi teknik problemlerin yanında, MPD ile Mars'a bir kaç hafta sürecek bir seyahat için güneş panelleri yetersiz kalır. MPD ve VASIMR gibi iticiler sadece nükleer enerjiden elde edilebilecek yüksek miktarlarda enerji ile tam kapasitede çalışabilirler.

MPD nasıl çalışır?

Temel olarak iki metal elektrota sahiptir; merkezde bir katot ve katot çevresinde silindirik şeklinde bir anot. Anot ve katot arasında yüksek gerilimli bir elektrik akımı oluşunca katot elektron saçmaya başlar. Bu elektronlar iyonize edilmiş yakıt ile çarpışınca plazma oluşur. Katot yolu ile güç kaynağına geri dönen elektronlar bir manyetik alan oluşturur ve bu manyetik alan anot ve katot arasında ki elektron/elektrik akımı ile etkileşerek plazmayı dışarı iten bir elektromanyetik kuvvet oluşturur (*Lorentz*). Bu işleyiş ek olarak uygulamalı-alan (*applied-field*) ve öz-alan (*self-field*) denen iki konfigürasyonu mevcuttur. Uygulamalı-alan'da egzoz çemberi manyetik alan üreten mıknatıs bobinleri ile çevrilidir, bu itki üreten plazma akımını daha stabil hale getirirken, hızını da arttırır. Öz-alanda ile merkezdeki katot geriye doğru uzatılmış halde bulunmaktadır. Yakıt olarak en yüksek performansı veren Lityum olsa da, Baryum, Xenon, Neon, Argon, Hidrojen ve Hidrazin de kullanılabilir

Şu anki durumu:

MPD teknolojisi 1960'lardan beri, Rusya, Japonya, NASA ve günümüzde bazı özel şirketler tarafından hala araştırma ve geliştirme aşamasındadır. Şu ana kadar uzayda 1995'te fırlatılan ve 1996'da STS-72 mekik görevi ile dünyaya geri getirilen Japon EPEX uydusu haricinde başka bir MPD denemesi olmasa da, Rusya, Japonya, NASA Glenn Araştırma Merkezi, NASA JPL ve Princeton Üniversitesi, MPD teknolojisinde önemli aşamalar katetmişlerdir. Özellikle Glenn araştırma merkezi, MW (*megawatt*) enerji seviyelerinde çalışan kendi modelleri ile, 1 MW ile saniyede 100 kilometrelik egzoz hızı ve 100 Newton itiş gücü üretebilmektedir. Kıyaslamak gerekirse, bu egzoz hızı, bildiğimiz uzay

mekiklerinden 10 kat daha hızlı hareket eden araçlara ve görevlere olanak sağlar. Daha düşük güçlü MPD modelleri de özel şirketler tarafından AR-GE aşamasındadır. Bunlar yüz kW'dan (*kilowatt*) daha düşük enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar.

MPD'nin avantajları ve problemleri:

Şu anki iyon motorlarının 3 katına ve kimyasal roketlerin 20 katına çıkan egzoz hızı ve potansiyel olarak 200 newton'a çıkan itki ile elektrikli itki modelleri arasındaki en verimli teknolojidir. Derin uzayda insanlı bir aracın başka bir gezegenin yörüngesine giriş işlemi gibi hızlı delta-v manevraları gerektiren görevlerde dahi elektrikli bir itki sistemi kullanılmasına ve onlarca kat yakıt verimliliğine olanak sağlar.

Akademik ilgi oldukça yüksek olsa da, ticari olarak çeşitli problemler MPD'nin tercih edilmesini ve kullanılmasını engellemiştir. Örneğin zaman içerisinde katot parçalarının yüksek akımdan dolayı aşınması MPD'nin ömrünü kısaltmaktadır ancak en büyük problem, optimum performans için gereken yüzlerce kilowattlık güç ihtiyacıdır. Şu anki gezegenler arası görevlerde kullanılan güneş panelleri ve RTG bataryaları (*nükleer radyoizotop termoelektrik jeneratörleri*) yüzlerce kilowatt değerinde enerji üretmekten uzaktırlar. Bu enerjiyi şu anda sadece nükleer reaktörler veya futbol sahaları büyüklüğünde güneş panelleri üretebilir. Önceki yıllarda Sovyetler tarafından uzayda test edilmiş örnekleri olsa da, şu anda uzayda çalışmaya uygun nükleer reaktörler araştırma - geliştirme aşamasındadırlar. Az sonra bahsedeceğimiz VASIMR roketi de aynı yüksek elektrik ihtiyacına sahiptir, ancak MPD gibi aşınma problemi olmaması ve yüksek yakıt verimliliği - düşük itki ile düşük yakıt verimliliği - yüksek itki arasında "vites değişikliği" yapabilmesi, VASIMR'i daha cazip kılmaktadır.



VASIMR yörünge aracı konsepti.

VASIMR (Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket / Değişken Verimlilikli (özgül itici kuvvet) Manyetoplazma Roketi) ve 39 günde Mars:

VASIMR radyo dalgaları ile plazmaya dönüştürülen yakıtın manyetik alanlar ile hızlandırılmasıyla çalışır. Yakıtı plazmaya dönüştürmekte kullanılan bu metot, nükleer füzyon araştırmaları sonucu geliştirilmiştir.

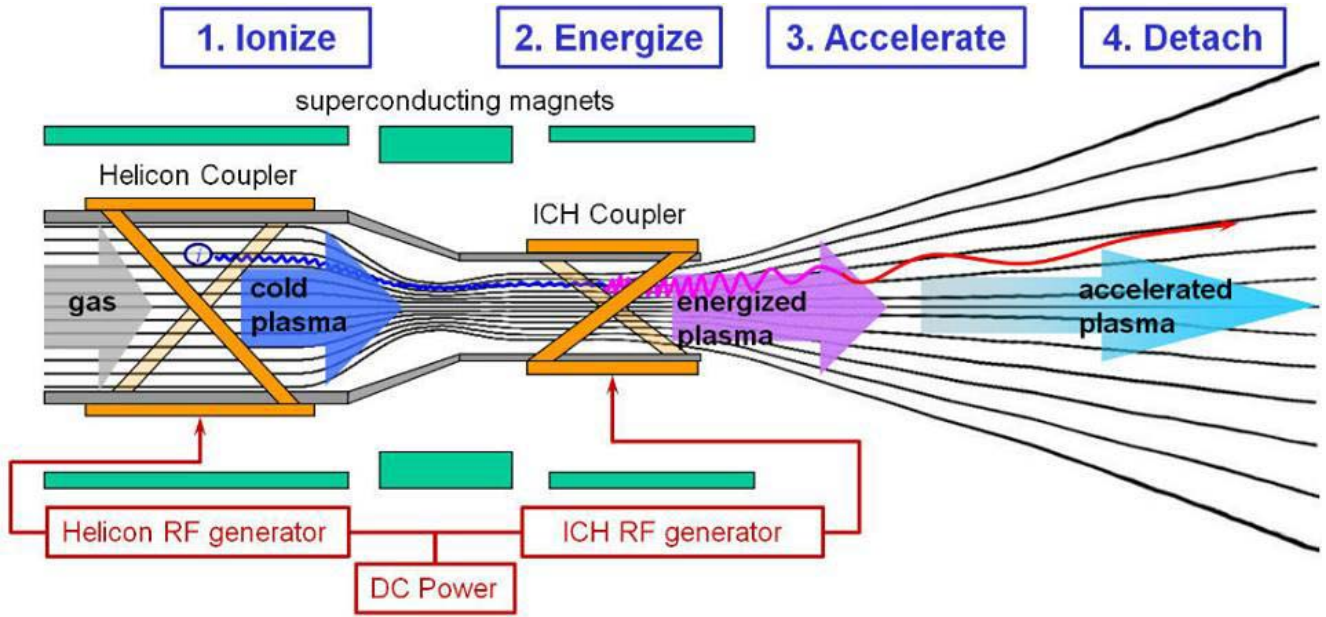
1977'de Astronot Dr. Franklin Chang Diaz tarafından yaratılan VASIMR konsepti o tarihten beri geliştirilmektedir ve bizzat Dr. Diaz'ın 2005'te kurduğu Ad Astra Roket Şirketi, NASA tarafından fonlanmakta ve ödeneğini VASIMR'i geliştirmek için harcamaktadır.

VASIMR tasarımı ve çalışma prensibi:

"Elektrotermal manyetoplazma roketi" olarak anılan VASIMR, elektrot kullanmadan yakıtı radyo dalgaları ile ısıtıp iyonize ederek plazmaya dönüştürdükten sonra, manyetik alanlar ile püskürtür. Elektrot kullanmaması, elektrikli iticilerde yaygın olan elektrotların aşınması probleminin önüne geçer ve iyon iticilerinin görece kısa ömürlerine karşı çok daha uzun ömürlü bir rakip olur.

Üstüne üstlük bütün parçaları manyetik alanlar ile kaplı olduğundan motorun hiç bir parçası plazma ile direk temasa geçmemektedir. Bu da potansiyel ömrünü bütün iyon ve plazma motorlarından çok daha fazla kılmaktadır.

Hidrojen, Argon ya da Xenon olabilen yakıt, elektromıknatıslar ile çevrili bir bölmeye püskürtülür. Burada öncelikle bir helikon radyo frekans anteni, yakıtı elektromanyetik dalgalara maruz bırakarak, atom çekirdeklerinden elektronları ayırır ve iyonize halen gelen yakıtı "soğuk plazma" seviyesine kadar ısıtır.



Radyo anteninin enerjisinde ve bu bölmeye püskürtülen yakıt seviyesinde değişiklikler yapılarak yüksek yakıt verimliliği (specific impulse) - düşük itki (thrust) ile düşük yakıt verimliliği - yüksek itki modları arasında "vites değiştirilebilir". Böylece yörüngeye giriş gibi yüksek itki gerektiren manevralar gerçekleştirilebilirken, yüksek yakıt verimliliği gerektiren ve Mars yolculuğunu 39 güne indirebilecek sabit ivmelenme değerleri korunabilir.

İyonize plazma, motorun bir sonraki bölümünde elektromıknatıslar ile sıkıştırılır ve burada Ion Cyclotron Heating (İyon ivmeleyicisi ile ısıtma) mekanizması plazmayı elektromanyetik dalgalar ile bombardımana tabi tutarak ısıyı 1.000.000 Santigrat dereceye, yani Güneş'in yüzey ısısının 100 katından fazlasına kadar çıkartır. (Burada tekrar bütün bu ısının manyetik alanlar içerisinde güvenle hapsediğini ve motorun kesinlikle etkilenmediğini söylemekte yarar var, zira ısınmış yakıtı manyetik alanlar içerisine hapsetmek, nükleer füzyon denemelerinde de uygulanan bir yöntemdir.) Bu sıcak plazma elektromıknatıslar ile motor boyunca hızlandırılır, saniyede onlarca kilometrelik hızlarla püskürtülür

ve itki elde edilir.

VASIMR Araştırma ve geliştirme safhası:

İlk VASIMR deneyi, 1983 yılında MIT’de manyetik ayna plazma aygıtı ile yapılmıştır. Takip eden 90’lı yıllarda roketi tamamen elektrotsuz hale getiren helikon radyo frekans anteni kaynaklı plazma üretimi gibi birçok geliştirme yapılmıştır. 1995’te ASPL (*advanced space propulsion laboratory / gelişmiş uzay itki sistemleri laboratuvarı*) MIT’nin deneylerini ve manyetik ayna plazma aygıtını devralmış; birçok üniversite ve araştırma enstitüleri ile işbirliği başlatmıştır. Burada 1998 yılında tasarım VASIMR ismini almış ve şu anki modellere oldukça benzeyen son prototipi kullanılmaya başlanmıştır. VX-10 denen bu model 10kW’lik helikon akımı üretirken, 2002’de VX-25, 25 kW ve VX-50, 50 kW ile çalışmıştır. 2005’te ASPL, tam ve verimli plazma üretimi ve roketin ikinci aşamasında plazmayı oluşturan iyonlarının hızlandırılması konusunda önemli aşamalar elde etmiştir.

2005 yılında NASA, Ad Astra şirketi ile ilk “*Space Act Agreement*” isimli anlaşmayı imzalayarak VASIMR teknolojisini özelleştirmiştir. 2006’da Ad Astra şirketinin Costa Rica departmanı VX-CR denen modelin testine başlamıştır.

2007’de VX-100, 100 kW VASIMR deneyi verimli plazma üretimini sunmuş ve VX-50’ye kıyasla plazma üretimini 3 katına çıkarmıştır ancak elektrik akımının radyo frekansına dönüştürülmesinde verimlilik sorunları yaşanmıştır. 2008’de üretilen ve 2008-2013 arasında deneyler yapıp geliştirilen VX-200, 200 kW ile daha önceden VX-100’de yaşanan sorunlar giderilmiştir. Bu sürede 10.000 den fazla ateşleme deneyi yapıp, Argon yakıt ile saniyede 50 kilometre egzoz hızı, 5.7 Newton itki (thrust) ve %72 itici verimliliği elde edilmiştir.

VX-200 test ateşlemesi:

Şu anda Ad Astra, 2016’da fırlatılmak üzere; Uluslararası Uzay İstasyonuna gönderilecek VF-200’ü, her biri 100 kW’lik iki VASIMR roketinden oluşan sistemi hazırlamaktadır. Uzay İstasyonu’nun güç kaynağı 200 kW’nin altında olmasından dolayı sistem 15 dakikalık şarjlı bataryalar ile çalışacaktır.

Bu sistem alçak Dünya yörüngesinde atmosferik sürtünmeden dolayı periyodik irtifa düzeltme manevraları yapan UUI için kritik önem taşımaktadır. Şu anda bu

düzeltilmeleri istasyonda ki kimyasal roketler yapmaktadır. Bu yörünge düzeltilmelerinin şu anki maliyeti yıllık yaklaşık olarak 170-200 milyon dolar arasındadır. İstasyona yerleştirilecek VASIMR ile bu maliyet 7-10 milyon dolar değerlerine çekebilir.

Gelecekteki kullanımı:

VASIMR Dünya'dan yörüngeye yük taşımak için yeterli itkiyi üretemez ve çalışmak için vakuma muhtaçtır. Uzayda düşük güçlü VASIMR roketleri, uzay istasyonlarında ve uydularda irtifa düzeltilmeleri yapıp, Ay'a ucuza kargo + mürettebat transferine ve çok hızlı sonda görevlerine olanak sağlayacaktır.

Şu anda Mars için kimyasal roketler ile ulaşım süresi 6-8 ay olarak planlanmaktadır. Böylesi aylar boyu radyasyon ve yer çekimsiz ortamda sürecek bir yolculuktan sonra mürettebatın sağlıklarını korumaları zorlaşacak ve Mars koşullarına uyum sağlaması zaman alacaktır. Mars'a gidecek ilk gemiler için merkezkaç kuvveti ile [yapay yer çekimi](#) üretilmesi planlanmazken, Güneş kaynaklı ve kozmik radyasyona karşıda ciddi bir önlem düşünülmezken, yolculuk süresinin olabildiğince kısa tutulması kritiktir.

Haftalar sürecek bir yolculuk, aylar sürecek bir yolculuğa kıyasla risk faktörünü onlarca kat azaltacaktır. Bu nedenle bizzat NASA, Ad Astra'nın VASIMR'i geliştirmesi için ödenek ayırmaktadır. 1MW'lık yüksek güçlü bir VASIMR roketinin aylar sürecek bir Mars yolculuğunu 39 güne düşürmesi vaadi fazlasıyla caziptir.

Yüksek güçlü bir VASIMR, 39 günde Mars yolculuğu için Güneş enerjisinin yanında nükleer bir reaktörün üretebileceği miktarda elektriğe ihtiyaç duymaktadır. Böyle bir yolculuk için tahminen 1MW (*megawatt*) elektriğe ihtiyaç duyacak roket, Mars yolculuğunu kısalttığı gibi şu anda 5-6 yıl olan Jüpiter yolculuğunu da 1 yıla indirebilir. 1 MW enerji ihtiyacını sadece Güneş panelleri kullanılacaksa, Mars yörüngesi sınırları içerisinde yaklaşık 2-3 futbol sahası boyutlarında Güneş panelleri karşılayabilir. Küçük kompakt bir nükleer reaktörle kıyaslandığında bunca Güneş paneli kütleyi arttıracaktır. VASIMR roketleri, ilk Mars görevleri için sadece Güneş panelleri kullansa da, gelecekteki görevlerde kütle verimliliğini arttırmak ve de Mars ötesine kısa sürede ulaşmak için nükleer enerji şart görünüyor. Mars ötesinde bildiğiniz gibi Güneş enerjisinin verimliliği [daha da azalacaktır](#). Örneğin Jüpiter'in, Dünya'da aldığımız Güneş enerjisinin

sadece %4'ünü aldığını düşünecek olursak, Güneş Sistemi içinde VASIMR ile ulaşımın nükleer reaktörler ile desteklenmesinin şart olduğunu görürüz.

Kullanılması planlanan geleneksel fisyon reaktörlerinin yanında nükleer füzyon teknolojisi de sürdürülebilir ve ekonomik seviyelere getirildiğinde uzayda VASIMR gibi yüksek elektrik ihtiyaçlı sistemlere fisyon reaktörlerinden çok daha fazla güç sağlayacaktır.

Sonuç:

Toplumun nükleer enerji konusunda fikri ve korkuları ortada olsa da, nükleer enerji; Güneş Sistemi içinde ulaşım sürelerinin kısaltılması için orta ve uzun vadede şart. Uzay çalışmalarını yürüten taraflardan birinin bile uzayda nükleer enerji kullanımına yatırım yapması, geri kalanları da bu alanda yatırım yapmaya zorlayacaktır. Örneğin NASA'nın Jüpiter'e ulaşım süresi 6 yılken, Avrupa'nın veya Rusya'nın 1 yıla indirebilecek bir sistem geliştirip bu konuda söz sahibi olması bile dengeleri değiştirebilir.

Neyseki büyük uzay çalışmaları artık tek kutuplu yürütülmüyor. Büyük çalışmaların uluslararası düzeyde yapılması şart. Ancak böyle bir kooperatif ortamda bile bir ülkenin/kurumun teknolojik üstünlük elde etme girişimi, diğer ülkelerin/kurumların bu alana yatırım yapıp arayı kapamaya çalışmaları ile sonuçlanacaktır. Nasıl ki şu anda Uluslararası Uzay İstasyonu'na ulaşımın Rusya tekelinde olmasından dolayı Amerikalılar son derece rahatsızsa ve özel şirketlere uzaya insan çıkarmak için yüklü miktarda ödenek sağlıyorlarsa, Güneş Sistemi'nin insanlı keşfi de büyük güçlerin birbirleri ile orantılı bir rekabet ve işbirliği içinde hareket etmelerini gerektirecektir.

Burada nükleer enerji konusuna biraz giriş yaptığımıza göre yazı dizimizin bir sonraki bölümünde uzayda nükleer fisyon enerjisi kullanımından, nükleer termal roketlerden ve diğer nükleer fisyon bazlı teknolojilerden bahsetmemiz uygun olacaktır.

Berkan Alptekin