

HİBRİD REAKTÖRLER VE ENERJİ EKONOMİSİ

Hüseyin YAPICI, Nuran BALTACIOĞLU

Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ekiilet Yolu KAYSERİ-TÜRKİYE

Ertuğrul BALTACIOĞLU

Erciyes Üniversitesi Kayseri Meslek Yüksek Okulu Talas Yolu KAYSERİ-TÜRKİYE

ÖZET

Bu çalışmada, füzyon-fisyon hibrid reaktörlerinin enerji ekonomisindeki yeri, işletmeye başlama zamanları, nükleer yakıt tedarik problemleri ve kullanılmış yakıtın yeniden kullanılabilir hale getirilmesi üzerine yapılan çalışmalar araştırıldı. Bulunan sonuçların yorumları yapıldı.

ABSTRACT

In this study, importance of fusion-fission hybrid reactor in energy of economy, time of beginning for running, problems of supplying nuclear fuel and re-searchs for re-using of used nuclear fuel are investigated. Commentary of conclusions achieved are done.

GİRİŞ

Dünyada enerji kaynaklarının sınırlı olması; insanoğlunu ucuz, temiz, tükenmeyen kaynaklara hızla yöneltti. En fazla kullanılan enerji kaynağı petrolün 2000 li yıllarda bitebileceği endişesi nükleer enerjiyi ön plana çıkardı. Nükleer enerjinin faydalı yönde kullanılması fisyon reaktörleri ile başladı. Burada da problem hem kullanılmış yakıtın radyasyon etkisinden zarar görülmeden depolamak, hem de yine de sınırlı sayılabilecek bu tür reaktörlerin yakıtını temin etmek oldu. Yeni teknolojilerle, önce füzyon reaktörleri geliştirilmeye çalışılmış daha sonra da hibrid reaktörler gündeme gelmiştir. Bu reaktörler füzyon-fisyon reaksiyonları ile çalışıp, bir yandan da kullanılmış yakıtı yeniden kullanılabilir hale getirmekte diğer yandan normal fonksiyonlarını yapmaktadır. Böylece yakıt ihtiyacını karşılayanın yanında çevre kirliliği de önlenmektedir. Bu konuda bilim adamlarının çalışmaları devam etmektedir [1-7].

21. yüzyıl başlarında enerji ekonomisi aşağıda sıralanan zorluklarla karşı karşıya gelmiştir:

1) Fisil yakıtların kaynaklarının ekonomik olarak azalması

- 2) Petrole ve kömüre olan ihtiyacın artması
- 3) Nükleer artıkların depolanması.

Bu zorlukların aşılmasında hibrid reaktörler enerji ekonomisine iki yolla katkıda bulunabilir. Birincisi fertil yakıtları fisil yakıtlara çevirir, diğeri kritikaltı kaynak sürücülü fisyon güç reaktörlerinin tasarımını sağlar. Çok amaçlı hibrid reaktörler, kullanılmış yakıtı tekrar yanabilir yakıt haline getirilmesini sağlar.

Hibrid Yakıt Fabrikalarından (HYF) sınırsız ve yüksek kalitede de U233-Pu239 sağlanabilir. Bu fabrikaların bir başka özelliği önemli ölçüde Uranyumu zenginleştirmeye katkıda bulunmasıdır. Zenginleştirme üniteleri sınırlı miktarda olan U235'i zenginleştirirken HYF'ler ise sınırsız fertil yakıt kaynaklarını (Th ve U238) fisil hale getirebilir. Bunun yanında Uranyum zenginleştirme enerjisi gerektirirken HYF'lerde de enerji üretilir. HYF için düşünülen bir alternatif de yakıt yenilemedir. Hibrid reaktör blanketinde kullanılmış veya taze yakıt fisyon reaktörlerinde kullanılacak hale getirilebilir. Üretken olmayan fisyon reaktörlerinin nötron ihtiyacı HYF'lerde üretilen fisil yakıt üretimiyle (füzyon nötronları ile) sağlanır. Fisyon reaktörlerinin ihtiyacı olan nötronlar bir bir füzyon nötron kaynağından sağlanır. Sonuçta hibrid güç reaktörleri (HGR) yakıtı kendinden beslemeli veya fisil yakıt üretecek şekilde (üretim reaktörleri) şeklinde tasarlanmaktadır. HYF ve HGR ile nükleer enerji ekonomisinin gelişmesinde aşağıda açıklanan çok sayıda fikir gelişmiştir [8].

Fisyon Teknolojisi İçin Yakıt Sağlanması:

HYF'lerle U238'i Pu239'a çevirmede fisyon enerji ekonomisi LWR ve HWR'leri kullanarak bugünün teknolojisiyle bin yıllık ilerleme sağlamıştır.

Günümüz Reaktör Tiplerindeki İyileştirmeler:

Günümüz LWR'lerinin kor tasarımı ve yakıt kontrolündeki iyileştirmeler onların yakıt kullanımını arttırmakta ve ekonomikliklerini iyileştirmektedir. HYF'ler LWR ve HWR'lerin dizaynında daha köklü gelişmeler için yeni ufuklar açmıştır. Th/U233 yakıt çevrimi daha iyi bir yakıt ve (termal nötron spektrumunda)

U233 nötron ekonomisi temin eder. U/Pu çevrimli LWR'lere göre Th/U233 çevrimli LWR'ler kullanılacak fisil yakıtı azaltır. Bu sebeple Th/U233 yakıt çevrimini kullanan bir sistemde HYF'nin destek oranı U/Pu çevrimini (HYF'lerin birim termal enerji başına aynı miktarda Pu ve U233 üretmesine rağmen) kullanan bir sistemdekinden daha yüksektir (LWR'ler için % 30 kadar). Bu iyileştirme ekonomik olarak faydalıdır. Th/U yakıt çevrimi ekonomik olarak U/Pu yakıt çevrimiyle yarışabilmesi için geliştirilmesi gereklidir. Tamamen farklı bir işlem de çok yüksek yanma oranlarına sahip yakıtları kullanarak birleşik hücrelerden yapılmış yüksek zenginlikteki korun veya ortamın kullanılmasıdır. Bu yaklaşım çok yüksek güç yoğunluklarına sahip reaktörlerin dizaynını sağlar ve kullanma süresini uzatarak ekonomikliğini iyileştirir.

İleri Çeviricilerin (Converter) ve Üreticilerin Gelişimi:

İleri çeviriciler HTGR, HWR, Termal üretken reaktörler, LWBR ve Molten Salt Breeder Reactor, (MSBR) Th/U233 yakıt çevrimini kullanan reaktörlerdir. Bu sistemlerin temel bir eksikliği de U233'ün termal üreticilere yerleştirilmesindeki zorluktur. HYF'ler, U233 elde edilmesinde ümit veriyorsa da bu reaktörlerin geliştirilmesiyle, fisil yakıtların büyük miktarda sağlanması mümkün değildir.

2.1 Hibrid Güç Reaktörler

Füzyon ile fisyonların birleştirilmesi yeni tür güç reaktörlerinin gelişmesine yol açmıştır. Gerçekten de füzyon ve fisyon sisteminin herhangi bir şekilde birleştirilmesi farklı türde bir hibrid güç reaktörü oluşturur. HPR'nin bazı tercih nedenleri nükleer enerji ekonomisi açısından dır.

LWHR'nin blanketinde, su/yakıt hacim oranı (V_m/V_f) 0.5-2 arasındadır. Termal hidrolik şartlardan alt sınır belirlenir. Üst sınır ise fiziksel kabullerden belirlenir. $V_m/V_f=2$ 'lik blanketin eşdeğer fisil yakıt miktarı yaklaşık %0.72 olarak tabii U235 Uranyumdur. Üretkenlik oranı 1 olmasına rağmen, $V_m/V_f=2$ 'lik LWHR çift zaman sınırına sahip değildir. Bunun nedeni ilk yakıt olarak başlangıçta tabii Uranyum kullanılması olabilir.

$V_m/V_f=0.5$ blanketin eşdeğer fisil yakıt muhtevası yaklaşık %5.5 dir. Dengede iken bunların ortalama enerji çoğalımı 450 civarındadır. (Yaklaşık 30 MWGün/kg bir saçılma kabulü ile) $V_m/V_f=0.5$ blanketinin ise bu çarpan yaklaşık 25 dir. Şayet tabii Uranyum yüklenmiş ise, $V_m/V_f=0.5$ blanketi ilk devre üzerinde ortalama 4'lük bir üretkenlik oranına sahip olur. Yani 30 MWGün/kg da, tabii Uranyumdaki % 0.72'lik fisil yakıt miktarı konvansiyonel LWR için gerekli olan %2.8 değerine varır. Buna karşılık gelen ortalama enerji çoğalımı yaklaşık 22 dir. Böylece su/yakıt hacim oranları LWHR blanketinin performans karakteristikleri enerji çoğalımını 25-450, üretkenlik oranını 1-4 arasında olacak şekilde sağlar (bu değerler LWHR blanketinde (D,T) nötron kaynaklı ve 1cm çapındaki yakıt çubuklar için geçerlidir).

Nükleer enerji ekonomisinin gelişmesi için çeşitli türde LWHR blanketleri belirlenmiştir [8].

A) $V_m/V_f=2$ lik blanketlerde eşdeğer fisil yakıt miktarı tabii Uranyum içindeki U235 miktarıyla aynıdır.

B) $V_m/V_f=1.35$ sahip blanketlerde eşdeğer fisil yakıt miktarı LWR'de kullanılmış(harcanmış) fisil yakıt miktarıyla aynıdır.

C)Blanketlere LWR 'nin tükenecek yakıtı ile yükleme yapıldığında; LWR ($V_m/V_f=0.65$) için gerekli olan seviyede yeniden hazırlanır.

D) Tabii Uranyum ile yükleme yapıldığında blanketler LWR ($V_m/V_f=0.5$) için gerekli olan seviyede fisil yakıt hazırlar.

E) Yüksek yanma için değişken kafesli LWHR blanketleri dizayn edilmiştir.

A ve B tip LWHR türüne bağlı güç sistemleri, konvansiyonel güç sistemleri ile mukayese edilmektedir. LWHR türüne bağlı güç sisteminde, sisteme ilave edilen her bir yeni reaktör başlangıçta tabii Uranyum ile yüklenir. Yakıt yanma sınırına ulaştıktan sonra, fisyon artıklarının tamamı veya bir kısmı yeniden elde edilir. HWR de harcanan yakıt veya tüketilen Uranyum, buradan alınarak yeni yakıt çubukları halinde hazırlanır ve LWHR içinde yeniden işleme tabi tutulur. Bu işlem sırası

böylece defalarca tekrarlanır. LWHR türüne bağlı güç sistemindeki yakıt devresinde hiçbir yerde Plutonyum Uranyumdan ayrılmaz.

Kritik fisyon reaktörleri için bir ortak işlem türü kullanılması fikri ortaya atılmıştır. Aslında LWHR yakıt çevrimi için hem LWR hemde LMFBR den kompleks işlem bakımından daha elverişlidir. Çünkü LMFBR lerde Plutonyum ve Uranyumun bağlı konsantrasyonunun değiştirilmesine gerek vardır.

LWHR güç sisteminin yakıtı LWR de harcanan yakıttan faydalanmak için düşünülmüştür. LWHR ler için yakıt temini ya LWR den alınıp harcanan yakıtın ilavesi ya da Uranyum ilavesi ile yapılabilir.

LWHR yi esas alan güç sistemlerine ait iki durum söz konusudur. Kapalı çevrim durumunda, HWR den alınan yakıt (yeniden işlenmek üzere) LWHR ye tabii Uranyumla birlikte yüklenir. Böylece LWR için gerekli olan seviyede yakıt kalitesi artırılır. Açık çevrimli sistemde, yakıt bitinceye (HWR de kullanılacak hale gelinceye) kadar kullanılır. Tam bir çevrim için yaklaşık her iki tür sistem için 90 MWGün/kg lık tabii Uranyum yüklenir.

LWHR ve LWR nin ardarda sıralanmış olan tipinde LWR de kullanılmış yakıt LWHR de % 3 zenginleştirilerek yeniden LWR de kullanılacak hale getirilir.

2.2 Nükleer Artıkların Değiştirilmesi

Füzyon ve hibrid reaktörler fisyon ürünlerini ve toksit aktiviteli izotopları, düşük aktiviteli hale getirmeye açıktır. Düşük etki kesitli eşik enerjisi reaksiyonlarında değişime uğrayan fisyon ürünlerine uygun değildir. Bu tür ürünler için daha özel füzyon reaktörleri dizaynı gerekir.

HYF lerde tabii olmayan U233 ve Pu238 elde edilebilir. Pu238 konvansiyonel fisyon reaktörlerinden de üretilebilir (Np237' nin nötron yakalaması ile) fakat miktarı sınırlı kalır.

Hibrid reaktörlerde yüksek oranda Uranyum ve Toryum kullanımı ile fisyon reaktörleri için gerekli olan yüksek konsantrasyonlu fisil yakıtlara gerek kalmayacaktır. Arzu edilirse fisyon

esaslı hibrid ekonomisi en düşük toplam fisil yakıt ve konsantrasyona sahip olacak şekilde geliştirilebilir.

2.3 Hibrid Reaktörlerin Esnekliği

Hibrid reaktörlerinin tercih konularından biri gelişmesindeki esnekliğidir. Nükleer enerji ekonomisinin gelişmesi bakımından esneklik önemlidir. Yakıt üreticileri olarak, hibridler Pu ve U233 kullanılır. Bir HYF, değişiklikler yapmadan Pu ve U233 sağlayacak şekilde dizayn edilebilir. Bununla beraber her iki fisil yakıt türleri için (aynı blanketin farklı modüllerinde) aynı tür üretim için HYF de dizayn edilebilir. Esneklikte bir başka ölçü güç üretim ölçüsünün yakıttaki değişmesidir. Çoğu hibrid reaktör blanketi üzerine olan görüşler, yakıt yüklemede değişiklik yaparak farklı özellikte iki üretim sağlayacak şekilde dizayn yapmak doğrultusundadır. Son yaklaşım H₂O/D₂O spektral değişkenli blanket düşüncesiyle sağlanır. Aynı işlem sadece moderatördeki H₂O'nun hacminde yapılacak değişiklikle de sağlanabilir.

Hibrid reaktörleri yakıt çevriminin başı ve sonu ile ilgili bir seri tercih sebebine sahiptir. Herhangi bir anda, Plutonyuma ihtiyaç duyulursa Plutonyum kolayca temin edilir. Ayrıca nükleer artıkların radyoaktivitesini ve toksitini azaltmak mümkün olur.

Hibrid reaktörlerin enerji ekonomisine katkısı ile ilgili görüşler tam olarak kesinlik kazanmış değildir. Bunun nedenleri aşağıda izah edilecektir.

Hibridin ticarileşmesine kadar Uranyum kaynakları fisyon enerji ekonomisini sağlayabilir mi? U238 yakıtlı hafif sulu bir reaktörde % 15 oranında yakıt olarak faydalanılarak 2013 e kadar LWR ye uygun yakıt sağlanacak, yeniden yakıt üretme ile de 2025 e kadar bu sürenin uzatılması mümkün olacaktır. Böylece enerji sistemleri sadece LWHR veya LWR ve LWHR yi birlikte kullanarak fisyon enerji ekonomisi sağlayabilir.

Zamanla LWR nin çalışma kapasitesine sahip olacak enerji sistemlerinde, hibrid reaktörler ticari olur. LWR ve LWHR kapasitelerinin artırılması mümkündür.

Bu LWHR ler HWR nin tükenen yakıtı ile beslenir. Ayrıca bir ortak

LWHR-HWR sistemi kurmak mümkündür. Şayet fisyon enerjisinden daha cazip enerji kaynaklarının olması durumunda LWHR ler toplam Plutonyum miktarını minimum yaparak fisyon enerji ekonomisi sağlamak için kullanılabilir.

Nihayet, ticarileşme süreklilik gösterecek, daha da önemlisi ekonomik hayat hibrid reaktörlerinin gelişmesinde en etkili yön olacaktır.

2.4 Hibrid Reaktörlerin İşletmeye Açılma Tarihleri

Hibritler ile ilgili önemli bir konu enerjinin ekonomik olmasını sağlamaktır. Bu ekonomiklik açılmaya hazır olma tarihi ile ilgilidir. Ticari hibrid reaktörlerin işletilmeye başlama zamanı 2006 yılından 2015 yılına kadar değişeceği tahmin edilmektedir. Eğer füzyon programı hızlandırılırsa ilk ticari füzyon güç reaktörünün 2004 yılında çalışabileceği umulmaktadır. Uranyumu zenginleştirme işlemleri geliştirilir ve daha yüksek çevirme oranlı reaktör tipleri kurulursa sonuca daha çabuk ulaşılır.

21. yüzyılın ilk çeyreğinin tamamı füzyon enerji ekonomisini sağlamak için yeterli ekonomikliğe sahip yeniden elde edilebilir Uranyum kaynakları gerektirecektir.

Eğer 2000 lere kadar HPR nin ticarileşmesi sağlanabilirse, Uranyum stok problemi 2025 e kadar yetebilir. Böylece ileri fisyon çeviricileri ve hızlı üretken reaktörlerin kurulması diğer fisil yakıt kaynakları için faydalı olacaktır.

2.5 Hibrid Yakıt Fabrikalarının Geleceği

2025 yılına kadar fisyon enerji ekonomisinin gelişmeleri için aşağıdaki sonuçlar beklenebilir.

1. Bu 2015 yılına kadar U/PU çevrimi esasına göre LWR kullanılacak, 2015 in başında Th/U233 yakıt çevrimi kullanılarak tüm yakıt U233 olacak.

2. 2000 e kadar LWR nin bugünkü dizaynı HWR nin kuruluşunu takiben gerçekleştirilecek, 2015 e kadar bütün HWR ler U235 esaslı

olacaktır. Bundan sonra bunlar Th232/U233 yakıt çevrimi kullanan termal üretken olarak dizayn edilecek. 2020 nin başında U235 esaslı HWR ler Th/U233 esaslı HWR termal üreticiye 11.5 GWe/yıl oranında çevrilecek. 30 yıl sonra da LWR ler HWR termal üreticilere yerini bırakmış olacak. 2028 de enerji ekonomisinin tüm fisil yakıt ihtiyaçlarını HYF ler karşılayacaksa; 2025 lerde HYF lerin kapasitelerinin ne olacağı önemlidir. Tablo 1 de fisyon reaktörlerin çalışma karakteristikleri ve hibrid reaktörler tarafından sağlanan yük oranları verilmiştir. Yukarıdaki bilgiler kullanılarak HYF nin etkili tesis kapasitesinin 85-120 GWth (termik) olduğu tahmin edilir. HYF nin ihtiyacı olan toplam tesis kapasite fazla tahmin edilmiş gibidir.

Bunun nedenleri:

- a) Fisyon ve hibrid reaktörlerin açılması için stratejiler optimize edilmemiştir.
- b) Fisil enerji ekonomisinde fisil yakıt envanterleri için tam emniyet yoktur.
- c) Diğer fisil yakıt kaynakları zenginleştirme ünitelerinden karşılanacaktır.
- d) Daha yüksek yakıt üretim kabiliyetli HYF geliştirebilmek uygun olacaktır.
- e) 1. madde dikkate alındığında HYF nin en çok tercih edildiği, HYF nin LWR için gerekli olan yakıtın %70 ini sağladığı kabul edildiği görülür. Böylece HYF lerin toplam tesis kapasitesi 2025 e kadar fisyon reaktörlerin kapasitesinden %5 daha fazla olarak yaklaşık 90 GWth olduğu anlaşılır. Böylece yılda 6 Gwth lik HYF tesis ederek bir kapasite elde edilebilir.

HYF yaklaşımı fisyon enerji ekonomisinin fisil yakıt yeniden kaynak problemini en erken çözümünü sağlamaya imkan verecek görülüyor. Böylece enerji ekonomisinde bir gelişme sağlanmış olacaktır.

Fisil yakıt tedarik probleminin giderilmesinden sonra HYF veya HPR ihtiva eden hibrid reaktörler enerji ekonomisi tarafından ortaya çıkan ikinci bir problemi hafifletilebilir. Bu problem kömürün aşırı derecede tüketilmesidir. 21. yüzyılın

ilk çeyreğinde kömür tüketiminin yarısı yakıt üretimi için; kalanı ise elektrik üretimi için kullanılacaktır. Nükleer gücün kapasitesindeki artış HPR veya HYF lerin fisyon reaktörlü olarak kullanılmasıyla daha etkili olması sağlanacaktır [8].

İRDELEME VE SONUÇLAR

Hibridlerin dünya ekonomisine belli bir katkı yapacağı ve bunların 2000 - 2020 yılları arasında ortaya çıkabileceği ileri sürülmektedir. Mevcut Uranyum kaynaklarının bir füzyon enerji ekonomisi geliştireceği beklenmektedir. Bir başka bakış ekonomi açısındandır. Acaba ekonomik seçim yapılabilir mi? Son yıllarda hibrid esaslı sistemler için ekonomik analizler yapılmıştır. Bunların çoğu hibridli serbest sistemler ile ekonomik rekabet eden sistemlerdir. Bunlar ile hibridlerin ümit verici yönlerinin belirlenmesinde gerekli yorumlar sağlanmıştır Bugünkü durumda füzyon sürücü ve blanket tiplerinin belirtilmesi gibi; blanket yakıtı ve güç üretimi arasındaki pek çok bölümleri ihtiva eden hibridlerin maliyetiyle ilgili pek çok belirsizlikler vardır.

Özel yollar ile füzyon ve fisyonun birleştirilmesiyle, 21. yüzyılın ilk yıllarında enerji ekonomisinde karşılaşılan zorlukların pek çoğunu hafifletmek mümkündür. Nükleer enerji ekonomisinin gelişmesinde önemli unsurlardan biri şöyledir: Füzyon-fisyon hibrid yakıt fabrikaları 2010 yılına kadar ticarileşeceği umulur. 2025 yılına kadar birkaç site içinde tesis edilen birkaç düzine GWth li HYF ler tüm yakıt ihtiyaçlarıyla fisyon enerji ekonomisi sağlayacaktır.

Fisil yakıt stok probleminin çözülmesiyle, nükleer enerji ekonomisinin elektrik üretme kapasitesi hibrid güç reaktörleri şeklinde veya hibrid-yakıt fabrikaların fisyon güç reaktörleri ve ortaklaşa çalışmasındaki süreklilik, kömürle çalışan güç tesislerinin değiştirilmesi gibi alanlarda artırılabilir. Böylece enerji ekonomisinin ikinci önemli zorluğu giderilmiş olur.

Buna paralel olarak yarı katalizörlü Döteryumlu çalışan füzyon yakıt fabrikaları, aynı tür yanıcı yakıt (sıvı yakıt) He3 ve fisil yakıt üretimi için kurulmalıdır. He3'ün bir D-He3 füzyon güç ekonomisinin temel olmasına rağmen, fisil yakıt HYF'lerin bazıları için kullanılabilir. Bu durum enerji kaynaklarının daha

temiz olması ve çevreye zarar vermemesi açısından, enerji ekonomisinde taşınabilir yakıt probleminin hafifletilmesine yardımcı olur. Nükleer enerji ekonomisinin kirlenme etkisi, füzyon nötron kaynakları kullanılarak biraz daha azaltılabilir.

Böylece fisyon ve füzyon arasında hibrid reaktörler ile sadece en tabii bir bağlantı olmaz, aynı zamanda enerji ekonomisine de bir katkıda bulunulur. Hibrid reaktörü esas alan özel bir nükleer enerji stratejisinin fayda/maliyet terimlerindeki farklılıklar hibrid kullanılmayan enerji stratejilerindekinden daha etkili olacağı görülmektedir.

Çok ümit verici olmasına rağmen, hibrid reaktör hakkındaki mevcut bilgiler için hibridler uzun bir enerji stratejisi politikası için oldukça küçük ve değişkendir. Enerji ekonomisini etkileyen hibrid fikri sınırlı olduğu için, faydalanma konusunda pek geç kalmadan önce hibridlerin hızlı bir şekilde araştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Hibrid reaktörlerin dizayn fikri şu sorulara cevap verecek şekilde genişletilmelidir:

- 1) Hibrid gücünün radyasyonla çıkışını kontrol etmek.
- 2) Blanket içindeki radyasyon yoğunluk gradyantını ve gücü minimuma indirmek.
- 3) Kritik elemanların ömrüne çalışma devresinin etkisi.
- 4) Fisil blanketle kaplanmayan first wall(ilk duvar) etkisi
- 5) Hibrid emniyeti.

Hibrid reaktör sistemi çalışmaları şu şekilde ilerleyebilir:

- 1) Blanket ve sürücü türleriyle performans parametrelerini daha geniş bir aralıkta düzenlemek.
- 2) HYF ve HPR lerin teknolojik ve ekonomik avantajını ihtiva eden herhangi bir blanket türünden elde edilen M ve F arasındaki değişim.

3) Plutonyum üreten blanketlere benzer blanket türlerinin artırılması.

4) Trityum üretilebilen alternatif yakıtlı füzyon hibrid sistemleri.

5) Hibrid esaslı nükleer enerji sistemlerinin ana hatlarını iyi seçmek.

Yakın gelecekte deneysel olarak blanket performansında nötronik ve teknolojik çalışmaların başlatılması beklenmektedir. Radyasyonun tahribatı ve termal devrenin etkileri birinci derecede önem arzeder.

Bu girişimler füzyon reaktörlerin konstrüksiyonu için gerekli bilimsel ve teknolojik bilgilerin geliştirilmesi reaktör dizaynı (R.D.) çalışmalarını tamamlar. R.D. faaliyetleri hemen hemen füzyon güç reaktörlerinde olduğu gibi hibrid uygulamalarını da ilgilendirir.

Enerji ekonomisinin faydası için fisyon ile füzyonu birleştirme ümidi çok büyüktür. Bu ümidin gerçekleşme şansı olursa, füzyon ve fisyon komiteleri bir R.D. programı üzerinde birleşeceklerdir.

SEMBOL VE KISALTMALAR

- HYF : Hibrid Yakıt Fabrikaları
HGR : Hibrid Güç Reaktörleri
LWR : Light Water Reactors
HWR : Heavy Water Reactors
HTGR : High Temperature Gas-Cooled Reactors
LWBR : Light Water Boiling Reactors
LMFBR : Liquid Metal Fast Breeder Reactors
MSBR : Molten Salt Breeder Reactor
M : Nötron enerjisi çoğalma faktörü

Tablo 1: Fisyon Reaktörlerinin Karakteristikleri

Karakteristikler	Fisyon Reaktör Tipi							
	LWR		HWR		HTR		LMFBR	
	U/Pu	Th/U233	Th/U233	Th/U233	Th/U233	Th/U233	Th/U233	U/Pu
Verim *	0.33	0.33	0.29	0.29	0.40	0.40	0.40	≥900
Kor yükleme(Kg fis./Gwe)	2000	1904	2760	2110	1910	1260	>1	
Cevirme Oranı	0.65	0.7	0.88	1.002	0.74	0.77		
GWe/Gwth	4.2	6.2				9.7		
(GWe/yıl)/Gwth	0.69	0.76		0.69		1.15		0.47

* : Termal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürme verimi

e : Elektrik

th: Termal

KAYNAKLAR

- [1]. A. Kumar, S. Şahin: Preliminary Conceptual Design for Muon Catalyzed (D,T) Hybrid Reactors, Trans. American Nuclear Society, Vol.43, pp.215-216, (Nov.1982).
- [2]. A. Kumar, S. Şahin: Potential of Muon Catalyzed Cold Fusion-Fission (Hybrid) Reactors, 5th Miami International Conference on Alternative Energy Sources (13-15 Dec.1982, Miami Beach, Florida, Alternative Energy Sources V, Part E, pp.59-94, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam (1983).
- [3]. T. A. Al-Kusayer, M. Abdul Raof: Preliminary Design Studies of a Cylindrical Experimental Hybrid Blanket with (Deuterium-Tritium) Driver, Fusion Technology, Vol.10, no.1, pp. 84-89 (1986).
- [4]. S. Şahin: Power Flattening in a Hybrid Blanket Using Nuclear Waste Actinides, KERNTECHNIK, Vol. 53, no.4, pp. 285-290 (1989).
- [5]. S. Şahin, H. Yapıcı: Investigation of the Neutronic Potential of Moderated and Fast (D,T) Hybrid Blankets for Rejuvenation of CANDU Spent Fuel, FUSION TECHNOLOGY, Vol. 16, no.3, pp.331-345 (Nov.1989)
- [6]. Şahin, S., Al-Kusayer, T.A., Al Samair, M., Abdul Raof, M., : Neutronic Investigations of Experimental AYMAN Hybrid Blankets, Trans. American Nuclear Society, vol.47, pp.151-153 (Nov. 1984).
- [7]. Şahin, S., Al-Kusayer, T.A.,Abdul Raof, M.,:Preliminary Design Studies of a Cylindrical Experimental Hybrid Blanket with (Deuterium-Tritium) Driver, Fusion Technology, vol.10, no.1, pp. 84-89 (1986).
- [8]. E. Greenspan: Fusion-Fission Hybrid Reactors, Fusion Studies Laboratory, University of Illinois, pp. 454-477, (1983)