



TR0000053

RASYONEL TORYUM KULLANIMI İÇİN BİR ÖNERİ; THORIMS - NES

K.FURUKAWA¹, L. B. ERBAY²

¹International Thorium Molten - Salt Forum, Tokyo, Japonya

²Osmangazi Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Eskişehir

ÖZET

Bu çalışmada, nükleer güvenlik, radyoaktif - atık, nükleer karışıklığının yaygınlaşması ve terörizm, kamu / kurum oluru, ve ekonomi ile ilgili problemlerin çözümü için yeni bir felsefeye dayanan global olarak uygulanabilir bir sistem tanıtılmaktadır. THORIMS - NES olarak kısaca adlandırılan bu akılcı toryum üretken yakıt çevrim, özellikle ümit verir görünmekte ve nükleer gücün gelişmesi için bir yol olma ünüdü vadetmektedir. THORIMS - NES üç prensibe dayanmaktadır: I. Toryum kullanımı, II. Ergimiş - florit tuz teknolojisinin uygulanması, ve III. Fisil üreten üretkenlerle güç üreten reaktörlerin birbirinden ayrılması. Toryum yakıt çevrimi U - ötesi elementlerin azaltılması ve askeri, araştırma ve endüstriyel her çeşit reaktörde üretilen yakıtların geri dönüşümü konusunda faydalıdır. THORIMS - NES ile gerçekleştirilmek istenen sistem, bu sistemi oluşturan birimler arasındaki bağlantılar / ilişkiler açıklanarak tanıtılmaktadır. Bu çalışmada, Th ve Th çevrimi üzerinde çalışan ülkelerin / grupların durumları özetlenmektedir. Ek olarak, bilim adamlarının ve mühendislerin THORIMS - NES'in gerçekleştirilmesi için yaptıkları işbirliğin sunulması için Toryum Ergimiş Tuz Reaktör Gelişimi konulu uluslararası toplantının (8 - 11 April, 1997, Santa Monica) sonuç bildirisinden bahsedilmektedir.

ABSTRACT

In this study, a globally applicable system depending on a new philosophy has been introduced for solving the problems connected with nuclear safety, radio - waste, anti - nuclear proliferation and terrorism, and public / institutional acceptance, and economy. This rational thorium breeding fuel - cycle system named as THORIMS - NES (Thorium Molten - Salt Nuclear Energy Synergetics) appears to be particularly promising and can be the way of nuclear power development. THORIMS - NES depends on three principles: I. Thorium utilization, II. Application of molten - fluoride fuel technology and III. Separation of fissile producing breeders and power producing reactors. Thorium fuel cycle has benefit on the reduction of trans - U elements and for recycling fuels produced by all kinds of military, research and industrial reactors. A system for the realization of THORIMS - NES has been introduced by the explanation of connections / relations between facilities. In this study, the status of countries / groups working on Th and Th fuel cycle has been summarized. Additionally, the resultant announcement of the International Conference on Thorium Molten Salt Rector Development (8 - 11 April, 1997, Santa Monica) has been mentioned to present the cooperation of scientists and engineers for the realization of THORIMS - NES.

1. YENİ BİR ÖNERİ: THORIMS - NES

Gelecek yüzyıl, nükleer enerji aracılığıyla katı fosil yakıt çağından güneş enerjisi çağına geçiş periyodu olacaktır. Global enerji büyüme oranı geçmişteki gibi % 2.3 olarak kabul edilirse gelecek yüzyılda gerekli fisyon enerjisi 1000 - 2000 TWe.yıl olacaktır. Bu ise geçmişte yalnızca 2 TWe.yıl olan fisyon enerji üretiminin 500 - 1000 katı daha büyüktür. Bir taraftan bu büyüklükteki fisyon enerji gereksiniminin karşılanabilmesi gerekirken diğer taraftan da güvenlik, uranyum - ötesi (TRU) elementleri içeren radyoaktif - atıklar, plutonyum (Pu) ayrık - laştırılmasını kapsayan nükleer yaygınlaşma ve terörizm, ve global uygulamalarda ekonomi, teknolojik basitlik ve esneklikle ilgili olarak kurumsal ve kamuoyu oluru gibi hususlarında dikkate alınması gereklidir. Kısaca, bugünkü U - Pu katı yakıt çevrimi ile yada eski teknolojilerde ufak tefek değişikliklerle bu büyüklükteki fisyon enerji gereksiniminin karşılanamayacağı görülmektedir. Bunun yerine esasen yeni ve güçlü yakıt kavramlarına dayanan teknolojiler olması gerektiği düşünülmüştür. Bu da nükleer enerji endüstrisinde hemen hemen son atak olacaktır, çünkü gelecek yüzyılın sonundaki esas enerji teknolojisinin, güneş enerjisi gibi tipler olmasına gerek vardır.

Daha akılcı bir nükleer enerji sistemi, bu yüzyıla adanmış bilimsel ve mühendislik çabalarının tamamen yeniden gözden geçirilmesiyle geliştirilebilir. Bu çalışmanın yapılmamasıyla THORIMS - NES olarak kısaca adlandırılan toryum ergimiş - tuz nükleer enerji sinerjisi (Thorium Molten - Salt Nuclear Energy Synergetics) önerisi ortaya çıkmıştır. Bu öneri üç temel prensibe dayanmaktadır [1-5]: I) Toryum kullanımı, II) Ergimiş - florid yakıt teknolojisinin uygulaması ve III) Fisil üreten üretkenlerle güç üreten reaktörlerin ayrılması. THORIMS - NES rasyonel bir nükleer enerji sistemi önermektedir. Uygulamada bu sistem FUJI - serisi olarak adlandırılan basit güç istasyonları MSR (Molten - Salt Reactor), hızlandırıcı fisil üreticiler AMSB (Accelerator Molten - Salt Breeder) ve Kimyasal İşlem Santralleri'nden oluşacaktır. MSR'ler, AMSB'ler ve Kimyasal İşlem Santralleri harmonik bir Toryum Üretken Yakıt - Çevrimi'ni oluşturmaktadır. Önerilen sistem 1000 - 2000 TWe.yıl üreten muazzam bir endüstri olacaktır [5].

MSR ler (ve genel olarak AMSB ler) önemli ölçüde güvenilir reaktörlerdir. Esasen hiç bir ciddi kazaları yoktur. Çok önemli güvenlik performansı şu faktörlerden gelmektedir [6- 8]:

1) Sistem basıncı 5 atm'den küçüktür.

2) Yakıt tuzu kimyasal olarak inert olup hava ve su ile reaksiyon yapmaz.

3) Yakıt tuzunun kaynama noktası 1673 K dir. Bu da 973 K olan işletme sıcaklığından daha yüksektir, ve düşük buhar basıncına sahiptir.

4) Yakıt, grafit moderatörle birlikte olduğu anda kritik olacaktır. Dolayısıyla kaçak yakıt tuzu tekrar kritik olmaz.

5) MSR büyük bir ani negatif sıcaklık katsayısına sahiptir. Grafitin sıcaklık katsayısı hafifçe pozitifdir, fakat yüksek ısı kapasitesine bağlı olarak yavaş sıcaklık artışı olacağından, kontrol edilebilir.

6) ^{233}U fisyonundaki gecikmiş nötronlar ^{235}U halinden azdır. Bununla beraber daha uzun nötron ömrüne ve büyük negatif ani sıcaklık katsayısına sahip olduğundan kontrol edilebilir.

7) Gerektiğinde herhangi bir anda yakıt kompozisyonu değişirse, fazla reaktivite ve kontrol çubuğu reaktivitesi ve kontrol çubuğu ile reaktivite değişikliği yeterince küçüktür .

8) Aralarında Trityumunda bulunduğu gaz fisyon ürünleri yakıt tuzundan uzaklaştırılabilirler, ve kaza halinde sızıntıları minimuma indirilebilir.

MSR ler FUJI - serisi olarak adlandırılmaktadır. MSR lerin yani FUJI serisinin oluşturulması 12 yıl içinde olabilecektir. Fakat AMSB lerin geliştirilmesi daha güç olduğundan

ilk ^{233}U yakıtı eldesinin bazı zorlukları bulunmaktadır. Bu durum nötron yapımında kullanılan ticari ve silah başlığı Pu'un kullanımı / ayrıklaştırılması ile daha kolay çözülebilecektir.

2. FİSİL ÜRETEK ÜRETENLERLE BAĞLANTILI OLARAK Th - ^{233}U YAKIT ÇEVİRİMİNİN OLUŞTURULMASI

THORIMS - NES olarak kısaca adlandırılan Th - ^{233}U yakıt çevrimine dayanan sistem uygulamada temel olarak üç bölümden oluşacaktır. Şekil 1 THORIMS - NES sistemini şematik olarak göstermektedir.

FUJI serisi gibi MSR lerin oluşturacağı öngörülen bölüm, kısaca **F - Planı** olarak adlandırılan bir program çerçevesinde değerlendirilerek çalışılmaktadır. F - Planı, herhangi bir fisil malzemeyi (^{233}U , ^{235}U , Pu gibi) kullanacak herçeşit MSR leri bir araya getirmektedir. MSR lerin, boyutları ve amaçları açısından esnek olmaları öngörülmektedir.

İkinci bölüm esas olarak fisil malzeme üretecek hızlandırıcılardan oluşmaktadır. Hızlandırıcılarla (AMSB'ler) ilgili bu bölüme ilişkin çalışmalar **A - Planı** adı altında tartışılmaktadır. A - Planı'nda yalnızca Th'dan ^{233}U üretimi değil Pu ve trans - Pu elementlerin yakılması veya yüksek radyoaktif fisyon ürünlerinin ayrıklaştırılması ile atık probleminin çözümü-ne de çalışılmaktadır [9].

MSR ve AMSB ler arasındaki bağlantı, Sekil 1 de görüldüğü gibi, bir Kimyasal İşlem Santrali tarafından sağlanacaktır. Temelde kuru işlem (Dry processing) ve pirometalurjik işlem yöntemleri kullanılacağı için bu kısma ilişkin araştırmalar **D - Planı** adı altında yürütülmektedir. D - Planı çok geniş kapsamlıdır. Örneğin, MSR ler için yakıtın, AMSB ler için hedefin ve her ikisinin atıklarının işlenmesi, değerli malzemelerin MSR ve AMSB ler arasında geri dönüşümünün sağlanması bu plan kapsamındadır. D - Planı ayrıca diğer nükleer santrallardan gelen kullanılan yakıt probleminin çözümü için bir giriş yeridir. Kullanılmış katı yakıt, ergimiş florit teknolojisi uygulayan Kuru İşlem Santrali'nde ele alınır. Oak Ridge National Laboratory (ORNL) tarafından geliştirilmiş olan Ergimiş - Tuz Reaktör Deneyi (MSRE)'nin tuz florlama işlemi şematik olarak Şekil 2 de görülebilir. Kuru işlem, MSRE ile yapılmış temel çalışmalara dayanarak, Rusya da Dimitrovgrad'ta geliştirilmektedir [7].

Şekil 1 de görüldüğü gibi, Bölgesel Merkez'ler önerilmektedir. Bu merkezler çok sıkı güvenlik önlemleri altında olmalıdır. Dünyada 10 - 20 yerde kurulabilecek bu "Üretim ve Kimyasal İşlem Merkezi"lerinin her biri 4 - 10 MSB, iki Kimyasal İşlem Santrali ve bir Radyoaktif Atık Yönetim Santrali barındıracaktır. Bunlar MSR ve MS yakıt çevrimi ile kolayca bağlanabileceklerdir.

3. THORIMS - NES İLE AKILCI PLUTONYUM TÜKETİMİ

Amerika ve Rusya'daki nükleer başlıkların sökülmesi ile 10 yıl sonra 200 ton Pu ve 1000 ton yüksek zenginlikte U elde edileceği bu arada da ticari güç santrallerinin kullanılmış yakıtlarının tekrar işlenmesiyle 2003 yılına kadar 330 ton reaktör kalitesinde Pu ayrılacağı hesaplanmaktadır[10].

Plutonyumun kullanılmasında, çok iyi bilindiği gibi, başvuru en iyi bilinen yol hafif su reaktörlerinde karışık oksit yakıt kullanımı (LWR - MOX) ve hızlı üretken reaktörlerde (FBR) kullanımınıdır. Son zamanlarda tek geçişli olarak LWR gibi reaktörlerde Pu kullanımı önerilmektedir[11]. Bu yollar fizibil olabileceklerdir ve bazıları gerçekleştirilmiştir. Fakat geleceğin dikkate alınması ile kullanım yöntemlerinin düşündürücü tarafları olduğu görülmür. Örneğin, LWR - MOX kullanılmış yakıt yönetimi konusunda belirsiz bir felsefeye dayanmaktadır. FBR, Pu üretiminde açık bir temele sahiptir, fakat Pu'un çok yaygın kullanımı-

na dayanan bir sistemin sosyal tolerans konusunda önemli bir engeli vardır. Bunun yerine THORIMS - NES geliştirilerek etkin bir Pu tüketimi sağlanabilecektir.

Bu konudaki hedefler :

1) Dünyanın Pu stoklarının hemen hemen tamamının enerji üretimi için tüketilmesi.
2) Faydalı bir nötron üreticisi ve fisil malzeme olarak Pu (ve TRU) 'un basitçe yakılması yerine enerji potansiyelinin ekonomik kullanımı.

3) Gelecek yüzyılda global enerji ve çevre problemlerinin çözülmesi için yeni ve akılcı muazzam boyutlu nükleer endüstrinin kuruluşunun gerçekleştirilmesi.

THORIMS - NES 'in Pu kullanacak biçimde düzenlenmesi için yukarıda sözü edilen D, F ve A Planları, Şekil 3 den de izlenebileceği gibi, genişletilmiştir[7-9] :

D - Planı: Dünyada biriken kullanılmış yakıtlardan kuru işlem ile Pu (ve TRU) un doğrudan ergimiş floritlerde ayrılması. Bu konudaki teknolojik esaslar Fransa, Rusya ve Çekoslavakya'da çalışılmaktadır.

F - Planı: FUJI - Pu tipinin geliştirilmesi ile Pu yakma ve ^{233}U üretiminin MSR lerde gerçekleştirilmesi. Burada ilk olarak Pu, Th ile ergimiş florit tuz yakıtta kullanılacaktır. Üretilen ^{233}U diğer MSR lerde kullanılacaktır.

A - Planı: AMSB ler de AMSB - Pu tipinde geliştirilecek, Pu yakan ve ^{233}U üreten özelliklere, F - Planına paralel olarak sahip olacaktır.

Öngörülen D - ve A - Planlarının uygulanması ile Pu'un tamamen kullanılması ve Th çevrimli nükleer enerji endüstrisinin kurulması 2050 lerden önce gerçekleşecektir. Florid yakıt (yada hedef / battaniye) tuzlarında çözülebilen radyoaktif atık izotoplar aslında ergimiş tuz yakıt çevriminde alıkonurlar.

U - Pu çevrim sistemi büyük miktar ve ani artış nedeniyle enerji üretimini yapamıyacaktır. Bununla beraber, THORIMS - NES, D -, F - ve A - Planlarını uygulayan çeşitli senaryolarla enerji üretimi de sağlayacaktır. Şekil 4 de basit bir örnek gösterilmektedir. Geçici olarak U -Pu çevrimli güç santrallerinin bugünkünden 4 kat daha büyük olduğunu varsayalım. Bu kadar küçük bir artış öngörüldüğü halde 2050 ye kadar 10^4 ton Pu dan daha fazla bir miktarın ürettiği görülmektedir (300 kg/GWe.yıl kabul edilmiştir). Bu miktar Purex işlemi veya D - Planı ile ayrılacaktır. Pu (TRU) kullanılması F - Planı ile 2010 dan itibaren buna paralel olarak da A - Planı ile 2020 den itibaren başlanabilir. Sonraki aşama 2030 dolayında maksimum ölçüde 200 GWe olacaktır ve yaklaşık 2600 ton Pu (TRU) veya daha fazlası yakılacaktır. Daha sonra 2040 dolayında 800 işletme devreye girdiğinde yaklaşık 10^4 ton Pu (TRU) yakılacaktır. 2040 yılına kadar FUJI -Pu' nun görevi tamarlanacaktır. Bununla beraber, reaktör ömrünün sonuna kadar mükemmel bir Th - ^{233}U güç santrali olarak işletilebilecektir. AMSB - Pu' nun teknolojik gelişimi 2020 - 2040 arasında önemlidir. İlk AMSB - Pu elektrik üretemeyecektir. Daha sonrakiler kritik koşullara yakın performanslarda işletme başına 1 - 2 GWe lik üretime kadar gelişerek elektrik üretecektir. 2040 ların ortalarından sonra, Pu hemen hemen tamamen elimine edilmiş olacağından AMSB - Pu fonksiyonu kalmıyacaktır. Dolayısıyla AMSB nin lider rolü 30 - 40 yıldır.

4. ÜLKELERİN DURUMU

Bugün toplam kurulu gücü 350 GWe olan dünya çapında 442 çalışan nükleer güç santrali vardır[12]. 36 tane kurulmaktadır, bunların üçte biri Asya - Pasifik bölgesindedir. Günümüzde nükleer reaktör işletim deneyimi 8000 reaktör yıl'ı aşmıştır[12]. İngiltere,

Fransa, Almanya, Japonya ve Rusya sivil kullanılmıs yakıt işlem kapasitelerini sürekli artır-
maktadırlar. Bu ülkeler yakıtın yeniden işlenmesinin, depolamaktan daha güvenli bir yol ol-
duğunu farketmişlerdir.

Almanya ve Amerika'da HTR programı altında Th'a dayanan yakıtlar için yakıt fabri-
kasyon teknolojisi geliştirilmiştir. Yakıt partiküllerinin, özellikle SiC üçüncü kat olarak kap-
landığında mükemmel performans gösterdiği görülmüştür. Alman programı aktinitlerin ve u-
zun ömürlü fisyon ürünlerinin geri kazanım ve transmutasyonunu (T) araştırarak biçimde ge-
niştir. Genel amaçları; uluslararası araştırmalara katkıda bulunmak, çeşitli seçenekleri göz-
den geçirmek, ve atık yönetim stratejisinde kabul edilebilir yeni teknolojileri içerecek olası-
lıkları belirlemektir.

Amerika deneyinde LANL'da hızlandırıcılı (A) T tekniklerinin farklı yönlerinin ço-
ğunun gösterilmesi önerilmiştir. Deney. LA Meson Physics Facility hızlandırıcısından elde
edilen 800 MeV yüksek güçte proton hüzmesi avantajına sahip olacaktır. Nötron üretecek he-
defin üzerine 1 mA (800kW)'a kadar akımdaki proton hüzmesi çarpacaktır. Diğer A tipleri
de çalışılmaktadır. ORNL de MSR konusunda çok önemli çalışmalar yapılmış, teknolojik
esaslar oluşturulmuştur [13].

Hindistan ²³³U esaslı yakıt kullanan reaktör kurmakta dünyada önde giden ülkedir
[14]. Th esaslı yakıt fabrikasyonu - teknolojisi HWR'lerin özelliklerine uygundur. Şimdi, Th
yakıt çevriminden hareketle AT teknolojileri ve kritikaltı sistemlerle ilgilienilmektedir.

Japonya'nın OMEGA programı çerçevesinde Japon Nükleer Enerji Araştırma Ensti-
tüsü parçalanma ve T teknolojileri üzerinde çalışmalar yürütmektedir. Ayrıca LWR'ler için
yüksek yoğunlukta (ThO)₂ ve ThO₂ tabletleri elde edilmek için yeni yöntem
geliştirilmektedir. Ti ve/veya Zr alaşımlı Th hidrid yakıtlar gibi, tamamen Th esaslı yakıtlar
araştırılmaktadır.

Almanya, Hindistan, Japonya ve Amerika arasında Th esaslı yakıt yapımı konusunda
yakın bir işbirliği vardır.

Rusya'da çeşitli gruplar T fiziği ve teknolojisi üzerinde çalışmaktadır. Belli bir koor-
dinasyon altında belli bir programları yoktur. Minatom ve Int. Science and Tech. merkezi çe-
şitli projeleri desteklemektedir. Th esaslı ThO₂+UO₂ veya ThO₂+UO₂+ZrC yakıtlar için iki
imalat teknolojisi geliştirilmiştir. Projesi desteklenen bir grup da MSR - pilot santralının ön
etütlerini hazırlamıştır[15]. Böyle bir santralin ticari santral olarak gelişiminin 15 yıl olaca-
ğını öngörmüşlerdir.

Fransa, İtalya ve Belçika'da belli programlar altında özellikle A ve T üzerinde çalı-
şılmaktadır. **İsviçre**'de Th esaslı bir kaç ton yakıt imal edilmiştir. Bu da LOTUS - test faali-
yetleri için kullanıldığı kadar test / güç reaktörü CIRUS ve KAPS ünite 1 ve 2 yakıtları için-
dir. AT ile ilgili araştırmalar Paul Scherrer Enstitüsünde yoğunlaşmıştır.

Kore Cumhuriyetin'de 9 nükleer reaktör 7616 MWe kapasite ile çalışmakta 14 tane
yeni santralında 2006 yılında kurulması planlanmaktadır. Kamuoyu tepkisi dikkate alınarak
1992 de uzun vadeli yüksek seviyeli radyoaktif atıklarda uzun ömürlü atıkların azaltılması
amaçlı bir programa başlamıştır. A sistem kavramı gündemdedir.

Çekoslavakya'da Çek bilimsel, araştırma ve endüstriyel organizasyonları arasında u-
lusal bir AT teknoloji çalışma grubu oluşturulmuştur. Çekoslavak SKODA Nuclear Machi-
nery Ltd, bu grubun üyesi olup AT teknolojileri alanında, aktif olmayan bir ergimiş tuz döngü
deneyi (ADETTE) kurarak çalışmalarını genişletmiştir[16].

5. Th - MSR GELİŞİMİ KONULU ULUSLARARASI KONFERANS

Th MSR gelişimi konulu bir uluslararası konferans 8 -11 Nisan 1997 tarihinde Santa Monica - Los Angeles'ta yapılmıştır. Prof. Kazuo Furukawa tarafından düzenlenen toplantıda konunun önemi üzerinde durulmuş ve ileriye dönük yapılması gereken çalışmalar planlanmıştır. MSR teknolojisinin uluslararası gelişimi için: parçalama ve kuruluş çabalarını içeren AR & GE programlarının hükümetlerce sürekli desteklenmesi, katılan ülkeler arasında hükümetler düzeyinde görüş birliğine varılması ve sorumlulukların ve yardımlaşmanın hangi seviyede olacağına açıkça yer aldığı proje yapısının oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır. MSR - pilot santralın iyi bir öneri olduğu ilgili AR&GE çalışmalarının biraraya getirilmesi gerektiği açıklanmıştır.

6. SONUÇLAR

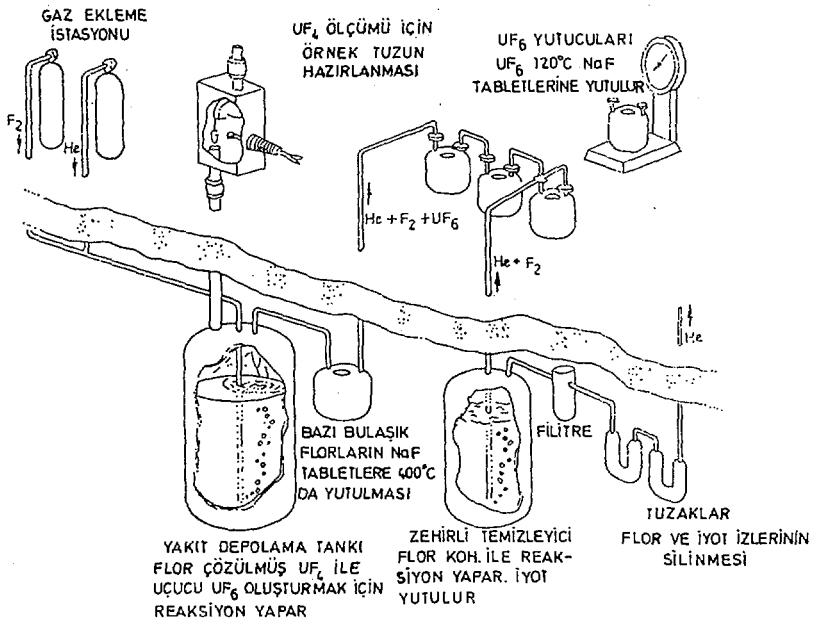
Bu çalışmada, Th kullanımı, ergimiş tuz teknolojisinin kullanımı ve güç üreten reaktörlerle üreten reaktörlerin birbirinden ayrılması prensibine dayanan ve THORIMS - NES olarak kısaca adlandırılan sistemin nükleer güç mühendisliğinin önemli problemlerini çözmekte yardımcı olacağı öngörülmüştür. THORIMS - NES kavramına dayanarak, MSR ler, AMSB ler ve Kimyasal İşlem Santralleri ile birlikte oluşturulan sistem, termal reaktörlerin ve hızlandırıcılı üretenlerin en iyi özelliklerini kullanır. Nükleer güvenlik, nükleer atıklar, verim, nükleer yaygınlaşma ve terörizm problemleri bu kavramla kolayca çözülebilecektir.

THORIMS - NES sistemi içinde yer alan AMSB lerden, bugüne kadar atık olan fisyon ürünlerinin ham madde gibi ele alınması dolayısıyla, enerji ve fisil nüklid üretiminde uzun ömürlü radyoaktif atıkların yakılmasında, silah başlıklarındaki Pu un kullanılmasında yararlanılmaktadır. Uzun vadede MSR teknolojisi global ekonomik gelişim taleblerini karşılayabilecek, çevresel baskı problemlerini çözebilecek, nükleer güç endüstrisinin halk tarafından kabul edilebilirliğinin gelişmesine kuvvetle yardımcı olabilecek, daha geniş kaynağa sahip güvenli Th yakıt çevrimli nükleer endüstrinin gelecek nesillere uzanabilecektir.

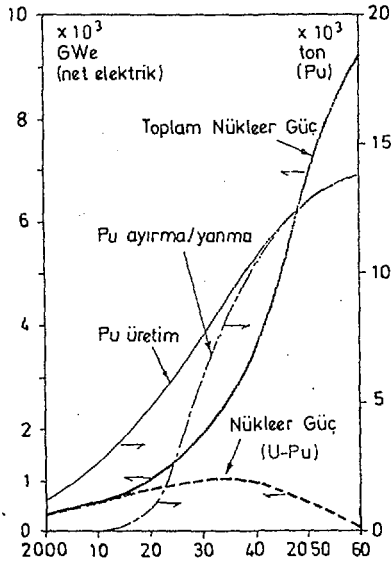
KAYNAKLAR

- [1] FURUKAWA, K. ve ark. "Thorium Molten-Salt Nuclear Energy Synergetics", Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 27, No. 12, pp. 1157 - 1178, (1990).
- [2] FURUKAWA, K., ERBAY, L.B. ve MITACHI, K., "Temiz ve Güvenli Nükleer Enerji", Mühendis ve Makina Dergisi, TMMOB Makina Müh.Odası Yayını, Cilt/ Vol:35, Sayı/No:410 Mart (1994).
- [3] ERBAY, L.B. ve FURUKAWA, K., "Türkiye Açısından Toryum Ergimiş - Tuz Nükleer Enerji Sinerjisi THORIMS - NES Thorium Molten-Salt Nuclear Energy Synergetics THORIMS-NES". Uluslararası 21.Yüzyılda Bütün Yönleriyle Enerji Sempozyumu, 28-30 Nisan, Bildiriler Kitabı, Sayfa 150-158, (1994).
- [4] FURUKAWA, K. ve ark. "Rational Pu-Disposition for ²³³U-Production By THORIMS - NES (Thorium Molten-Salt Nuclear Energy Synergetics)", IAEA - TECDOC - 840, pp. 169 - 181, (1995).

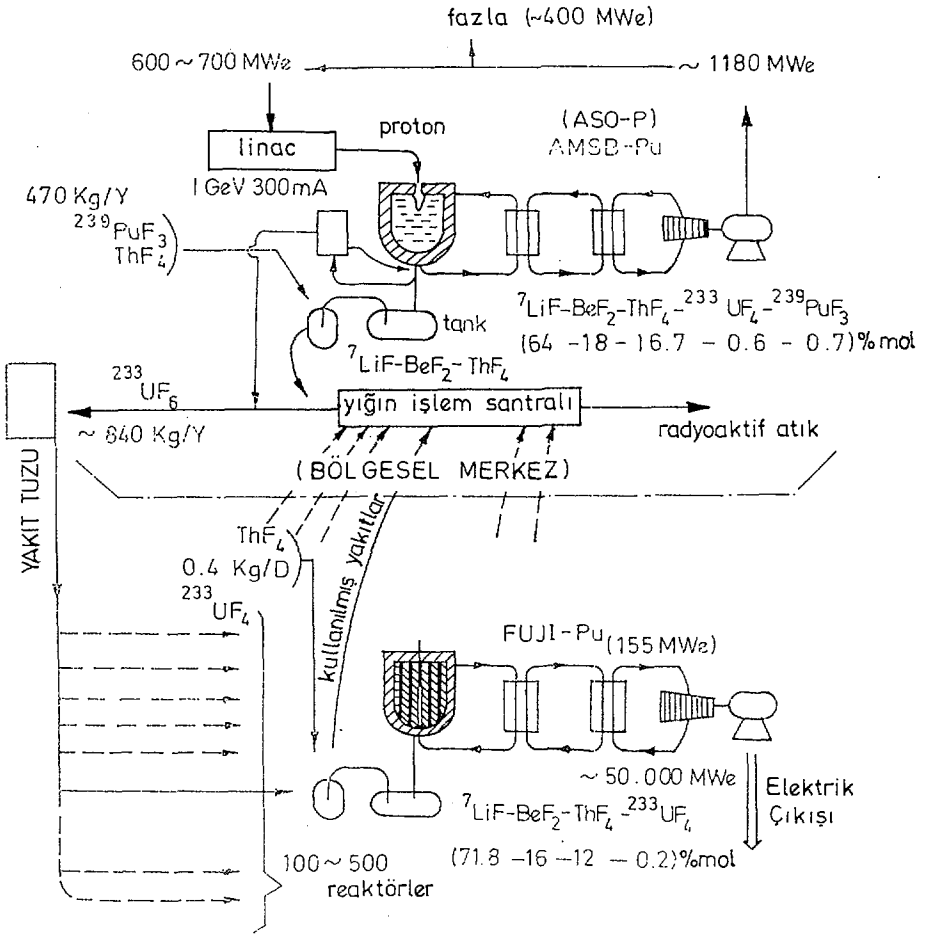
- [5] FURUKAWA, K. ve ark. "Thorium - Cycle Implementation Through Pu - Incineration By Thorium Molten-Salt Nuclear Energy Synergetics", IAEA Adv. Group Meeting - Th Fuel Cycle Perspective, 16 - 18 April, Vienna, (1997).
- [6] FURUKAWA, K. ve ark. "Thorium Fuel - Cycle Development Through Pu - Incineration By THORIMS - NES (Thorium Molten-Salt Nuclear Energy Synergetics)", IAEA - 95 Tech. Comm. Meeting - Adv. Fuels Redu. Ac. Gene., 21 - 23 Nov., Vienna, (1995)
- [7] LECOCQ, A. ve FURUKAWA, K., "Chemistry of Dry Processes in the THORIMS - NES Concept", International Sem. - Molten Salts in Nucl. Tech. - 19 - 23 June, Dimitrovgrad, (1995).
- [8] FURUKAWA, K., "Molten - Salt Reactor Technology Pu - Utilization and Th - Cycle Implementation", Int. Conf. Non - Proliferation & Safeguards of Nucl. Materials in Russia, May 14 - 17, (1996).
- [9] FURUKAWA, K. ve ark. "Opening of Rasyonel Safe Thorium Utilization Way - THORIMS - NES by Plutonium - Burning and ²³³U-Production", ISSN 0041 - 6045, pp. 456 - 472, T60, No:7. (1994).
- [10] CHOW, B.G. ve SOLOMON, K.A., "Limiting the Spread of Weapon - Usable Fissile Materials", Publ. by RAND. ISBN: 0-8330-1468-4, (1993).
- [11] FURUHASHI, A., MITACHI, K. ve FURUKAWA, K., "Another Way of Plutonium Utilization - A Proposal to Use Plutonium as Starting Material of Molten Salt Reactor System-", Int. Conf. on Thorium Molten Salt Reactor Development, 8 - 11 April, Santa Monica, (1997).
- [12] KUPITZ, J., "Emerging Nuclear Systems for Energy Generation". Int. Conf. on Thorium Molten Salt Rector Development, 8 - 11 April, Santa Monica, (1997).
- [13] ENGEL, R., "Experience and Perspectives in Molten - Salt Reactor Engineering Technology at the Oak Ridge National Laboratory", Int. Conf. on Thorium Molten Salt Reactor Development, 8 - 11 April, Santa Monica. (1997).
- [14] SOOD, D.D., "Thorium based Programmes in India's Nuclear Technology and Stability of PuF₃ in Molten - Salt Reactor Salts", Int. Conf. on Thorium Molten Salt Reactor Development. 8 - 11 April. Santa Monica. (1997).
- [15] SIMONENKO, V.V. ve GREBYONKIN, K.F., "Preliminary Proposal on Molten Salt Reactor Pilot Plan - MSR -PP", Int. Conf. on Thorium Molten Salt Reactor Development, 8 - 11 April, Santa Monica, (1997).
- [16] PEKA, I. ve PRUSAKOV, V.N., "Experience in Flouride Volatility and Chemical Problems with Molten - Salt Application in ADTT", Int. Conf. on Thorium Molten Salt Reactor Development, 8 - 11 April, Santa Monica, (1997).



Şekil 2. MSRE (ORNL) tuz floruması işlemi [7].



Şekil 4. Gelecek yüzyılda plutonyumun yok edilmesi için bir senaryo[4,8].



Şekil 3. AMSB - Pu (ASO - Pu) ve FUJI - Pu içeren ergimiş - tuz yakıt çevriminin şematik gösterimi [9].