

## **KATALİZE (D,D) FÜZYON SÜRÜCÜLÜ BİR HİBRİD BLANKETTE HOMOJEN YAKIT ZENGİNLEŞTİRİLMESİ VE BLANKETİN NÖTRONİK ANALİZİ**

**Hüseyin YAPICI ve Veysel ÖZCEYHAN**  
**Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi**

### **ÖZET**

Bu çalışmada (D,D) ve (D,T) füzyon sürücülü hibrid blankette çeşitli nükleer yakıtlar için homojen yakıt zenginleştirilmesi ve trityum üretimi incelenmiştir. Bu çalışmada nükleer teknolojide önemli olan altı farklı yakıt kompozisyonu için hesaplamalar yapılmıştır. Bunlar:

- Kullanılmış CANDU yakıtı
- Kullanılmış LWR yakıtı
- THO<sub>2</sub>
- %90 THO<sub>2</sub> + % 10 UO<sub>2</sub>
- %90 THO<sub>2</sub> + % 10 LWR kullanılmış yakıtı
- UO<sub>2</sub>

Soğutucu olarak bütün yakıt kanşımında flibe kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yakıt Zenginleştirme, Hibrid Blanket, Trityum Üretimi

## **HOMOGEN FUEL ENRICHMENT AND NEUTRONIC PERFORMANCE AT THE CATALYZED (D,D) FUSION-DRIVEN HYBRID BLANKET**

### **ABSTRACT**

In this study, homogenous nuclear fuel rejuvenation and tritium breeding have been investigated for various nuclear fuel in (D,D) and (D,T) fusion driven hybrid blankets.

calculations have been carried out for six different fuel are important in nuclear technology.

These are:

- CANDU spent fuel
- LWR spent fuel
- $\text{ThO}_2$
- %90  $\text{ThO}_2$  + % 10  $\text{UO}_2$
- %90  $\text{ThO}_2$  + % 10 LWR spent fuel
- $\text{UO}_2$

Flibe has been used as coolant for all fuel compositions.

**Key words :**Fuel Enrichment, Hybrid Blanket, Tritium Breeding

## 1.GİRİŞ

21. yüzyılın eşiğinde dünya enerji ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Sanayi ülkelerinde uygulanan enerji ekonomisi stratejileri bu artışı yumuşatmakla birlikte, gelişmekte olan ülkelerin çağdaş teknolojiyi yakalama çabaları bu geçiş evresinde büyük engellerle karşılaşmaktadır. Orta ve uzun vadede düşünülecek olursa, ileriki yıllarda tüm dünyanın yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyacağı muhakkaktır.

Hidrolik enerji kaynakları sınırlı olması sebebiyle günümüzde sanayinin ihtiyaç duyduğu enerji üretimi fosil ile nükleer yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtların sebep olduğu taşıma, dağıtım ve çevre kirliliği gibi problemlerin yanında rezervlerinin sınırlı olması, bu tür yakıtların kullanımına bir sınırlama getirebilir. Bu sebeple içinde bulunduğumuz yüzyılda yeni alternatif enerji kaynaklarına yönelme zorunluluğu belirlemiştir. Yeni enerji kaynakları ise, orta vadede yenilenebilir enerji kaynakları ve uzun vadede ise nükleer enerjidir.

Görüldüğü gibi nükleer elektrik payı, başta Fransa olmak üzere Belçika, Kore, Macaristan ve Tayvan' da toplam elektrik üretiminin yarısına

erişmiş veya geçmiştir. Almanya, Bulgaristan, Finlandiya, İspanya, İsveç, İsviçre gibi ülkelerde de nükleer pay 1 /3 oranının üzerindedir [ 1 ] .

Diğer yandan gelişmekte olan ülkeler nükleer enerjiye ilgisiz kalarak bu zengin enerji kaynağından yararlanma şansını kaybetmektedirler. Gelişmiş ülkelerde ise nükleer enerji yatırımları hızla artmaktadır [ 1 ] .

Nükleer enerji günümüzde çoğunlukla hafif su reaktörleri ile sağlanmaktadır. Ancak, 2000' li yıllarda, bu reaktörlerin kullandığı hafif zenginleştirilmiş yakıt yönünden bir darboğaz beklenmektedir. Bu nedenle enerji açığının nükleer füzyon ile karşılanması mümkün görülmele beraber, orta vadede füzyon reaktörlerinin teknolojik gelişimini tamamlaması mümkün görülmemektedir [ 1 ] . Diğer yandan böyle bir yakıt sıkıntısının, daha basit teknolojiye dayanan Füzyon-Fisyon enerji üretim prensiplerini bünyesinde toplayan Hibrid reaktörler ile aşılabilmesi mümkündür. Bu açıdan füzyon veya hibrid reaktörlerin geometrisini ve performansını etkileyen bazı nükleer dataların belirlenmesi gelecek dizaynlar açısından önem arz etmektedir.

Toryum ve Uranyum fisyon santralleri için, Döteryum ise füzyon santralleri için yakıt olabilirler. Bol miktardaki lityum ise nötron bombardmanı ile trityuma dönüştürülerek yine füzyon reaktörleri için yakıt üretilebilir. Bu durumda, binlerce yıllık bir zaman için nükleer santrallerde yakıt yönünden enerji darboğazı meydana gelmez.

Klasik fisyon reaktörleri Uranyum elementi yakmaktadır. Uranyum tabiiatta bol miktarda mevcut olup yaklaşık olarak % 99.3 <sup>238</sup>U izotopundan ve %0.7 <sup>235</sup>U izotopundan meydana gelmiştir. <sup>238</sup>U literatürde Fertil (kolay parçalanamayan) yakıt olarak bilinmekte olup, parçalanarak enerji alınması için yüksek kinetik enerjili nötronlara ihtiyaç vardır. Düşük nötron enerjilerinde parçalanma yerine nötron absorpsiyonu meydana gelmekte ve bu yeni form çeşitli bozunma türleriyle <sup>239</sup>Pu gibi çok kıymetli nükleer yakıtı dönüşebilmektedir. <sup>235</sup>U ise Fisil (kolay parçalanabilir ) yakıt olarak

bilinmekte olup çok yavaş (0.025 eV nötronlarla çok büyük oranda parçalanabilmektedir. Nötron enerjisi yüksek olursa parçalanma oranı azalmaktadır.  $^{239}\text{Pu}$  da  $^{235}\text{U}$  gibi özelliklere sahiptir. Yüksek enerjili nötron kaynağı çok zor tedarik edildiğinden günümüzdeki reaktörlerin tamamı  $^{235}\text{U}$  gibi izotopları yakacak şekilde dizayn edilmiştir. Dolayısıyla günümüz santrallerinde yakıtın % 1 gibi çok düşük orandaki kısım enerjiye dönüştürülmekte, kalan kısmı çok büyük radyoaktiviteye sahip olarak kalmaktadır. Bu büyük kütle uzun yıllar canlı bünyesine zararlı olduğu için çok iyi bir şekilde izole edilerek depolanmalıdır. Yakıt içerisindeki fisil yakıt oranını artırmak yanan miktarı artırmak demektir. Bu işlem zenginleştirme olarak bilinmektedir ve bu amaç için tasarlanmış reaktörlerde gerçekleştirilebilmektedir. Günümüz fisyon reaktörlerinde kullanılacak olan bu zenginleştirilmiş yakıtların fisil yakıt oranının (zenginleştirilme oranı) her yakıt bölgesinde homojen olması yakıtın fisyon reaktörlerinde doğrudan kullanılma imkanı verecektir. Bu homojenlik yakıt bölgelerinin yerlerinin ardışık olarak belirli sürelerle değiştirilmesiyle elde edilebilir.

## 2. BLANKET GEOMETRİSİ

Bu çalışmada kullanılan yapının kesiti Şekil-1' de görülmektedir. Füzyon odası 1.3 cm, kalınlığında SS-304 çeliği ile çevrelenmiştir. Bundan sonra yakıt bölgesi gelmektedir. Yakıt bölgesi (8) % 54.5 flibe ve %45.5 oranında yakıttan meydana gelmektedir. Bu çalışmada 6 çeşit yakıt kompozisyonu kullanılmıştır. Bunlar;

- Kullanılmış CANDU yakıtı
- Kullanılmış LWR yakıtı
- $\text{ThO}_2$

- %90 ThO<sub>2</sub> + % 10 UO<sub>2</sub>

- %90 ThO<sub>2</sub> + % 10 LWR kullanılmış yakıtı

- UO<sub>2</sub>

Hesaplamlarda kullanılan malzemeler ile bunların yoğunlukları ve atomik yoğunluklar Tablo-1' de verilmiştir.

Füzyon reaksiyon odasının gücü 5 MW/m<sup>2</sup> olacak şekilde bir nötron akısı alınmıştır. Tesis faktörü %75 kabul edilmiştir. Nümerik hesaplamalar için yakıt bölgesi 10 eşit bölgeye ayrılmıştır. Bu durum yakıt bölgesinde 10 adet birbirini izleyen yakıt çubuğu olduğunu göstermektedir.

### **3. SAYISAL HESAPLAMALAR**

Belirtilen reaktör tesisinde nötronik hesaplamalar yapılabilmesi için Nötron akısını geometriye ve nötron enerjisi ile hareket doğrultusuna göre tarif eden Boltzman Transport Diferansiyel Denkleminin çözülmesi gerekir. Malzemelerin nötron karşısında nötronun kinetik enerjisine göre tavrı çok değişiktir. Genellikle nötron enerjisine bağlı olarak malzeme-nötron ilişkisini fonksiyonel olarak tariflemek mümkün değildir. Dolayısıyla da Boltzman Transport denkleminin analitik çözümü mümkün değildir. Bu nedenle tesir-kesit değerleri kullanılarak Boltzman Transport Denklemi ancak nümerik olarak çözülebilir. Tesir-kesit kavramı nötron-malzeme ilişkisi sonucu olabilecek yeni yapıların olma ihtimalini veren değerler olup büyük oranda deneysel metodlarla bulunmuşlardır. Tesir-kesit değerleri nötron enerjisine göre düzenlenmiş olarak data kütüphaneleri şeklinde

kullanıma sunulmuştur. Nümerik çözüm için füzyon odasının yapısı gereği silindirik koordinatlar seçilmiştir.

Boltzman Transport Denklemi'nin nümerik çözümü için ANISN nötron transport kodu seçilmiştir [2]. Malzeme-nötron ilişkisini nötron enerjisine bağlı şekilde veren kütüphane olarak Los Alamos National Laboratory tarafından CLAW-IV [3] tesir kesitleri kullanılmıştır [4]. Bu kütüphanede tesir kesitleri nötron enerjisi 12 tanesi MeV, 9 tanesi KeV ve 9 tanesi ise eV mertebesinde olacak şekilde 30 gruba ayrılarak belirlenmiştir. Bu gruplar fisyon, füzyon,  $1/E$  ve termal bölgeye göre düzenlenmiştir. Nötron akısının açırıya göre değişimi Gaussian quadrature metodu kullanılarak  $S_{16}$ - $P_3$  yaklaşımıyla hesaplanmıştır [5].

Füzyon reaksiyonunda bol miktarda enerji MeV mertebesinde olan nötron meydana gelecektir. Bu nötronlar moderatör malzemenin atom çekirdekleri tarafından absorbe edilerek ya yeni bir füzyon yakıtı meydana gelecektir, ya da  $(n,2n)$  reaksiyonlarıyla nötron çoğalması meydana gelecektir. Her iki halde reaktör teknolojisi açısından arzu edilen hallerdir. Çünkü yeni yakıt yeni enerji kaynağı ve  $(n,2n)$  reaksiyonunda yüksek enerjili fisyon nötronlarının daha düşük enerjiye sahip yeni nötronlara dönüşmesi demektir. Genelde düşük enerjili nötronlar ile herhangi bir malzeme daha iyi nükleer reaksiyon gerçekleştirebilir. Eğer nötron moderatör malzeme tarafından yutulmaz ise çarpışma meydana gelecektir. Bu çarpışma sonucunda nötron yavaşlayacak ve kaybettiği kinetik enerji termal enerjiye dönüşecektir. Füzyon enerjisinin %80'ini taşıması açısından bu çarpışma mekaniği önemlidir. Eğer nötron enerjisi faydalı enerjiye dönüştürülmez ise fazla kinetik enerjinin bir manası olmaz. ANISN kodu ile elde edilen sayısal

neticeler ERDEMLİ yardımcı kodu ile daha kullanışlı hale getirilmiştir[6]. Sonuçların detaylı analizi aşağıda verilmiştir.

### 3.1. Yakıt Zenginleştirme

Moderatör malzemelerinin yeni yakıt üretim kapasiteleride önemlidir. Yapay olarak üretilebilen trityum ve  $^{239}\text{Pu}$  sırasıyla çok kıymetli füzyon ve fisyon yakıtlarıdır. Bu yakıtlar Li ve  $^{238}\text{U}$  izotoplarının nötron yutmasıyla meydana gelmektedir. Bu nedenle yeni yakıt ancak içerisinde Lityum olan moderatör malzemesi ve tabii uranyum içerisindeki  $^{238}\text{U}$  tarafından üretilebilir. Yakıt içerisindeki fisil yakıt ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ) oranının toplamı yakıtın zenginleşme oranını (CFE %) göstermektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan LWR (hafif sulu reaktör)' ler hafif zenginleştirilmiş yakıt (%3.5-4) kullandığından hibrid reaktörlerin operasyon süresi boyunca ve sonundaki yakıtın zenginlik oranı ve her yakıt bölgesinin homojen zenginleştirilmesi önemlidir. Yakıtın homojen zenginleştirilmesi, bu çalışmada yakıt bölgeleri ardışık olarak ilk altıncı ayda ve daha sonra her 12 ayda bir değiştirilerek elde edilmiştir.

Şekil 2 CANDU kullanılmış yakıtı kullanılarak hibrid reaktörde homojen yakıt zenginleştirilmesini göstermektedir Yakıt bölgelerini ilk altı ayda değiştirdiğimizde 12. ayda her bölgede eşit zenginleştirilmiş yakıt elde edilmiş ve her bölgedeki zenginleşme oranı 2.02, (2.75) olmuştur. İlk altı aydan sonra 18. ayda yine yakıt bölgesi yerleri değiştirilerek 24. ay sonunda yine homojen zenginlikte yakıt elde edilmiş, 30. ay sonunda yine farklı yakıt bölgelerindeki yakıtlar yer değiştirilmiş ve 36. ay sonunda yine homojen zenginlikte (her bölgede aynı derecede zengin) yakıt elde edilmiştir. 42. ayda yakıt bölgeleri yeniden yer değiştirilmiş ve 48. ay sonrasında homojen

zenginlikte yakıt elde edilmiş ve değeri 5.99, (8.05)' e ulaşmıştır. Bu değerleri-in Ref [7]' deki 1. bölge ve 10. bölgedeki değerlerin aritmetik ortalamalarıyla tam uyum içinde olduğu görülmüştür.

Şekil 3' de LWR kullanılmış yakıtı kullanılarak hibrid rektörde homojen yakıt zenginleştirilmesi gösterilmiştir. Yakıt bölgelerini ilk altı ayda değiştirdiğimizde 12. ayda her bölgede eşit zenginleştirilmiş yakıt elde edilmiş ve her bölgedeki zenginleşme oranı 3.603, (4.29) olmuştur. İlk altı aydan sonra 18. ayda yine yakıt bölgesi yerlerini değiştirerek 24. ay sonunda yine homojen zenginlikte yakıt elde edilmiş, 30. ay sonunda yine farklı yakıt bölgelerindeki yakıtlar yer değiştirilmiş ve 36. ay sonunda yine homojen zenginlikte yakıt elde edilmiştir. 42. ayda yakıt bölgeleri yine yer değiştirilmiş ve 48. ay sonrasında homojen zenginlikte yakıt elde edilmiş ve değeri 7.113, (9.001)' e ulaşmıştır. Bu değerlerin Ref [8]' deki 1. bölge ve 10. bölgedeki değerlerin aritmetik ortalamalarıyla tam uyum içinde olduğu görülmüştür.

Şekil 4  $ThO_2$  yakıtı kullanılarak hibrid rektörde homojen yakıt zenginleştirilmesini göstermektedir. Yakıt bölgelerini ilk altı ayda değiştirdiğimizde 12. ayda her bölgede eşit zenginleştirilmiş yakıt elde edilmiş ve her bölgedeki zenginleşme oranı 1.45, (2.23) olmuştur. İlk altı aydan sonra 18. ayda yine yakıt bölgesi yerlerini değiştirerek 24. ay sonunda yine homojen zenginlikte yakıt elde edilmiş, 30. ay sonunda yine farklı yakıt bölgelerindeki yakıtlar ardışık olarak yer değiştirilmiş ve 36. ay sonunda homojen zenginlikte (her bölgede aynı derecede zengin) yakıt elde edilmiştir. 42. ayda yakıt bölgeleri yer değiştirilmiş ve 48. ay sonrasında yine homojen zenginlikte yakıt elde edilmiş ve değeri 5.18, (7.32)' ye ulaşmıştır.



Şekil 5' de %90 ThO<sub>2</sub> + % 10 UO<sub>2</sub> yakıt karışımı kullanılarak hibrid rektörde homojen yakıt zenginleştirilmesi gösterilmiştir. Yine yakıt bölgeleri 6, 18, 30,42. aylarda ardışık olarak yerdeğiştirilmiş ve 48 ay sonunda homojen zenginlikte yakıt elde edilmiş ve değeri 5.29, (7.41 ) olmuştur.

Şekil 6 %90 ThO<sub>2</sub> + %10 LWR kullanılmış yakıtı karışımı kullanılarak hibrid rektörde homojen yakıt zenginleştirilmesini göstermektedir. Yakıt bölgelerini ilk altı ayda değiştirdiğimizde 12. ayda her bölgede eşit zenginleştirilmiş yakıt elde edilmiş ve her bölgedeki zenginleşme oranı 1.67, (2.41 ) olmuştur. Yukarıda belirtilen işlemler aynı periyotta bu yakıt kompozisyonu içinde gerçekleştirilmiş ve 48 ay sonra zenginleşme oranı 5.38, (7.49) olan yakıt elde edilmiştir.

Şekil 7 UO<sub>2</sub> yakıtı kullanılarak hibrid rektörde homojen yakıt zenginleştirilmesini göstermektedir. Yakıt bölgelerini ilk altı ayda değiştirdiğimizde 12. ayda her bölgede eşit zenginleştirilmiş yakıt elde edilmiş ve her bölgedeki zenginleşme oranı 2.27, (2.984) olmuştur. İlk altı aydan sonra 18., 30., 42. Aylarda yakıt yerdeğiştirme işlemi uygulanmış ve 48 ay sonunda 6.164, (8.14) zenginlikte yakıt elde edilmiştir.

### **3.2. Trityum Üretimi**

Şekil 8 değişik yakıtlar için hibrid blanketteki trityum üretim oranını (TBR) göstermektedir. Yakıt olarak LWR kullanılmış yakıtı kullanıldığında başlangıç değerleri 1.2731, (2.1049) iken 48 ay sonra 1.4421, (2.5438) olmuştur. Yakıt olarak CANDU kullanılmış yakıtı kullanılırsa başlangıç değerleri 1.2001, (1.9633) iken 48 ay sonra 1.4034, (2.4842) olmuştur. Yakıt

olarak  $UO_2$  kullanıldığında başlangıç değerleri 1.08797, (1.79083) iken 48 ay sonra 1.2751, (2.26921) olmuştur. Yakıt olarak %90  $ThO_2$ +%10  $UO_2$  kullanıldığında başlangıçtaki TBR 0.924, (1.55729) iken operasyon süresi sonunda 1.09645, (2.02098) değerlerine ulaşmıştır. Yakıt olarak  $ThO_2$  alındığında TBR'nin başlangıçtaki değeri 0.9077, (1.53369) iken 48 ay sonra TBR 1.0763, (1.99187) değerlerine ulaşmıştır. Yakıt olarak %90  $ThO_2$  + % 10 LWR kullanılmış yakıtı kullanıldığında başlangıçtaki TBR 0.929, (1.5668) iken operasyon süresi sonunda 1.099, (2.02662) değerlerine ulaşmıştır. Bu değerler tüketilenden çok trityum üretilebileceğini göstermektedir. Bu sonuç ise geleceğin füzyon reaktörlerine kaynak teşkil etmesi bakımından çok caziptir.

*Not: Parantez içindeki değerler (D,D) füzyon nötronları içindir.*

#### 4. SONUÇLAR

Şekil 1'de gösterilen blanket yapısının kullanılmasıyla değişik moderator malzemelerinin performansı (D,T) ve (D,D) füzyon nötronları için test edilmiştir. Dedektör olarak %54.5 flibe ile homojenize edilmiş oranda yukarıda belirtilen altı farklı malzeme kompozisyonu kullanılmıştır.

i) Bu çalışmada görüldüğü gibi değişik yakıt kompozisyonları füzyon nötronlarına maruz kaldığında ve yakıt bölgelerindeki çubuklar belirli periyotlarla değiştirildiğinde belirli süreler sonra zenginleşme oranı CFFE sabit olan nükleer yakıtlar elde edilebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan LWR kullanılmış yakıtının 6. ayda yakıt bölgelerinin yerinin değiştirilmesiyle 12. ayda zenginleşme oranları 3.0603, (4.29) olmuş bu ise LWR reaktör için yeni bir yakıt üretimi demektir. Diğer yakıt karışımlarında ise bu değerlere daha sonraki aylarda ulaşılmaktadır. Örneğin yakıt olarak

ThO<sub>2</sub> kullanıldığında 12 ay sonraki zenginleşme değeri 1.46, (2.22) olmaktadır.

ii) Bu çalışmada Trityum Üretim Oranı (TBR) değerleri herbir yakıt kompozisyonu için operasyon sonunda tüketilenden daha fazla trityum üretimi olduğunu göstermektedir. Bu ise füzyon reaktörlerinin sürekliliği için önemli bir gerekliliktir.

## REFERANSLAR

- [1]. S.ŞAHİN, "Nükleer Enerjide Yeni Dönem" İnsan ve Kainat Dergisi, Subat 1992.
- [2]. W. W. ENGLE, Jr., "ANISN, A One-Dimensional Discrete Ordinates Transport Code with Anisotropic Scattering," K-1693, Oak Ridge National Laboratory ( 1970)
- [3]. R. J. BARRETT and R. E. MacFARLANE, "CLAW, Coupled 30 Neutrons, 12 Gamma-Ray Group Cross Sections for Neutron Transport Calculations," LA-7808-MS, Los Alamos Scientific Laboratory (Apr. 1979)
- [4].T. A. AL-KUSAYER, S. SAHİN, and A. DRIRA, "CLAW-IV, Coupled 30 Neutrons, 12 Gamma-Ray Group Cross Sections with Retrieval Programs for Radiation Transport Calculations," RSIC Newsletter, p. 4. Radiation shielding Information Center (May. 1988)
- [5]. S. SAHİN, "Comparison of Diffusion and Transport Theory for Fast Reactor Shielding Calculations," Atomkernenergie, 22, 24 (1973)

- [6]. S. SAHIN, H. YAPICI, and S. UNALAN, "ERDEMLI, A Computer Program to Process ANISN Output Data," Gazi University ( 1991 )
- [7]. S. ŞAHİN, H.YAPICI, E.BALTACIOGLU "Rejuvenation of LWR spent fuel in a catalyzed fusion hybrid blanket" Kerntechnik Vol.59,No 6 ,331 1994.
- [8]. S. ŞAHİN, E.BALTACIOGLU, H.YAPICI, "Potential of A catalyzed fusiondriven hybrid reactor for the regeneration of CANDU spent fuel" Fusion Technol. Vol.16 ,331 1989.

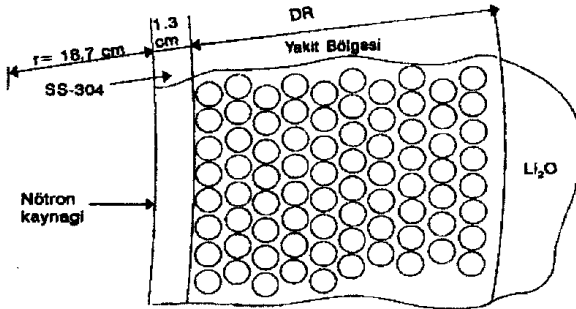
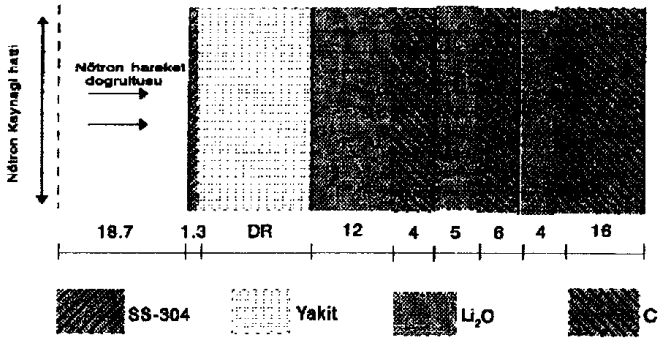
Tablo-I: Kullanılan Malzemeler ve Atomik Yoğunlukları.

	Atomik Yoğunluklar ( $10^{24}/\text{cm}^3$ )					
	A	B	C	D	E	F
$^{232}\text{Th}$	-		1.02350-2	9.21150-3	9.21150-3	-
$^{234}\text{U}$	-	3.46000-7	-	-	3.46000-8	-
$^{235}\text{U}$	1.15169-5	3.20928-5	-	7.48860-6	3.20928-6	7.48900-5
$^{236}\text{U}$	9,54543-6	7.05039-6	-	-	7.05039-7	-
$^{238}\text{U}$	1.06274-2	9.30691-3	-	1.06231-3	9.30691-4	1.06200-2
$^{237}\text{Np}$	5.44268-7	1.57455-6	-	-	1.57455-7	-
$^{238}\text{Pu}$	1.02160-6	3.18922-6	-	-	3.18922-7	-
$^{239}\text{Pu}$	2.92309-5	1.15334-4	-	-	1.15334-5	-
$^{240}\text{Pu}$	1.88594-5	9.98888-5	-	-	9.98888-6	-
$^{241}\text{Pu}$	3.98166-6	6.29821-5	-	-	6.29821-6	-
$^{242}\text{Pu}$	2.25949-6	3.58035-5	-	-	3.58035-6	-
$^{241}\text{Am}$	3.66349-7	4.66349-6	-	-	4.66349-7	-
$^{243}\text{Am}$	-	9.94877-6	-	-	9.94877-7	-
$^{242}\text{Cm}$	1.79074-8	-	-	-	-	-
$^{244}\text{Cm}$	-	4.41276-6	-	-	4.41276-7	-
$^{16}\text{O}$	2.04700-2	2.04700-2	2.04700-2	2.05626-2	2.04288-2	2.04288-2
Si	1.53972-4	1.53972-4	1.53972-4	1.53972-4	1.53972-4	1.53972-4
Cr	1.49643-3	1.49643-3	1.49643-3	1.49643-3	1.49643-3	1.49643-3
$^{55}\text{Mn}$	1.57932-4	1.57932-4	1.57932-4	1.57932-4	1.57932-4	1.57932-4
Fe	5.18859-3	5.18859-3	5.18859-3	5.18859-3	5.18859-3	5.18859-3
Ni	7.36767-4	7.36767-4	7.36767-4	7.36767-4	7.36767-4	7.36767-4
Mo	9.01980-5	9.01980-5	9.01980-5	9.01980-5	9.01980-5	9.01980-5
$^6\text{Li}^*$	8.14050-4	8.14050-4	8.14050-4	8.14050-4	8.14050-4	8.14050-4
$^7\text{Li}^*$	1.00396-2	1.00396-2	1.00396-2	1.00396-2	1.00396-2	1.00396-2
$^9\text{Be}^*$	5.42700-3	5.42700-3	5.42700-3	5.42700-3	5.42700-3	5.42700-3
$^{19}\text{F}^*$	2.17073-2	2.17073-2	2.17073-2	2.17073-2	2.17073-2	2.17073-2

A : CANDU Kullanılmış yakıtı

B : LWR kullanılmış yakıtı

C :  $\text{ThO}_2$ D : % 90  $\text{ThO}_2$  + % 10  $\text{UO}_2$ E : % 90  $\text{ThO}_2$  + % 10 LWR kullanılmış yakıtıF :  $\text{UO}_2$

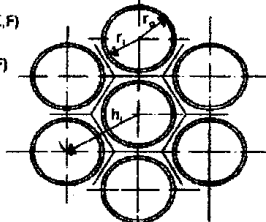


DR : 10.4 (A), 15 (B,C,D,E,F) | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

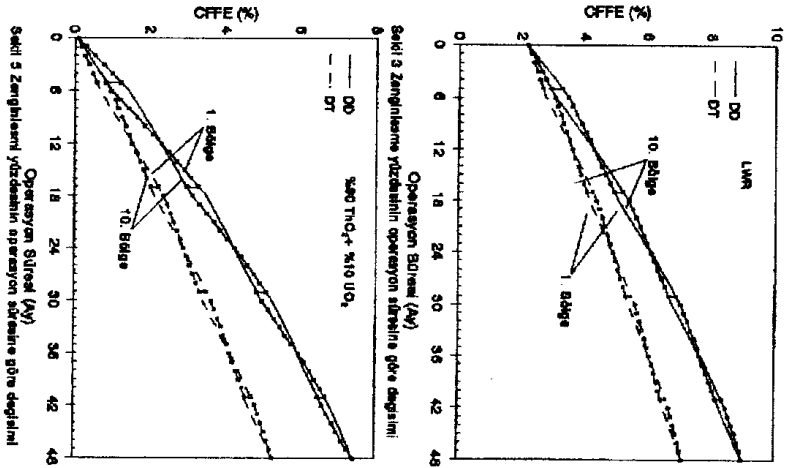
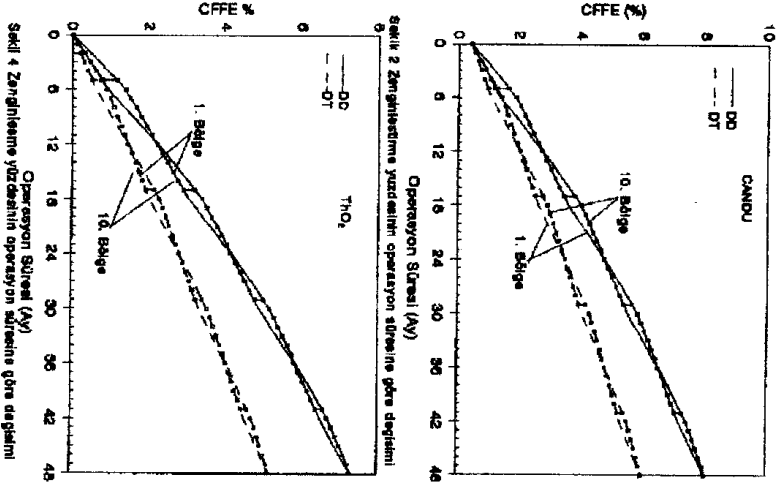
$r_1$  : 0.425(A), 0.6077(B,C,D,E,F)

$r_0$  : 0.485(A), 0.654(B,C,D,E,F)

$h_1$  : 1.5 (A), 1.04(B,C,D,E,F)



Şekil 1 Blanketin kesit görünüsü



Şekil 4 Zenginleştirme yüzdeinin operasyon stresine göre değişimi

Şekil 5 Zenginleştirme yüzdeinin operasyon stresine göre değişimi