



## İLERİ NÜKLEER YAKIT TASARIMLARININ YAKIT KULLANIMINA ETKİSİ

B. SARIKAYA Ü. ÇOLAK M. TOMBAKOĞLU A. YILMAZBAYHAN

Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü  
Hacettepe Üniversitesi  
06532 ANKARA

### ÖZET

Nükleer mühendislikteki en önemli konulardan biri de yakıt yönetimidir. Geliştirilmiş yakıt tasarımları ile hem yakıtın daha verimli yakılması, hem de reaktör ömrünün uzatılması olanaklıdır. Reaktörü uzun süre kritik tutabilmek ve dolayısı ile yakıttan daha fazla yararlanabilmek için reaktöre bir miktar fazla reaktivite vermek gerekmektedir. İlk yüklemdeki fazla reaktiviteyi kompanse etmek için yutma tesir kesiti yüksek olan tükenebilir nötron yutucuları kullanılmaktadır.

Genellikle *gadolyum* (Gd) elementi nötron yutucusu olarak kullanılmaktadır. Bu tüm dünyada yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Fakat Gd kullanmanın bazı dezavantajları vardır. Bunun için son yıllarda Gd elementi yerine başka alternatifler kullanma olanakları araştırılmaya başlanmıştır. Bu alternatiflerden biri de *bor* (B) ve *bornitrür* (BN) kullanımudur.

### ABSTRACT

Fuel management is one of the key topic in nuclear engineering. It is possible to increase fuel burnup and reactor lifetime by using advanced fuel management strategies. In order to increase the cycle lifetime, required amount of excess reactivity must be added to system. Burnable poisons can be used to compensate this excess reactivity.

Usually gadolinium (Gd) is used as burnable poison. But the use of Gd presents some difficulties that have not been encountered with the use of boron.

## GİRİŞ

Reaktörü uzun süre kritik tutabilmek ve dolayısı ile yakıttan daha fazla yararlanabilmek için reaktöre bir miktar fazla reaktivite vermek gerekmektedir. Fazla reaktiviteden dolayı yakıt içindeki fisil maddeler istenilenden daha hızlı bir şekilde tükenmekte ve yakıtın reaktör içinde kalma süresi azalmaktadır. Bu da yakıtın verimliliğini düşürmektedir. İlk yüklemedeki fazla reaktiviteyi kompanse etmek için yutma tesir kesiti yüksek olan tükenbilir nötron yutucuları kullanılmaktadır (Şekil 1.).

Gadolonyum elementi yaygın olarak kullanılan bir nötron yutucusudur. Fakat gadolonyum kullanmanın bazı dezavantajları vardır. Bu tür uygulamalar yakıtın termal iletkenliğini azaltmakta, yavaşlatıcı sıcaklık katsayısını ve yakıt erime sıcaklığını düşürmektedir. Ayrıca yüksek nötron yutma tesir kesitine sahip olması, zamanla büyük güç dalgalanmalarına neden olabilmektedir. Gd bulunan bölgedeki güç artışı, daha fazla yanmasına neden olacak ve bu da o bölgedeki güç artışı daha da çoğaltacaktır. Güç artışı, o bölgedeki yakıtın yeterince yanmasına kadar devam edecektir. Ancak, yakıt yeterince kullanıldıktan sonra güç düşmeye başlayacaktır. Bu kez de güç dağılımı, koron diğer bölgelerine kayacak ve kordaki güç dağılımı dengesizliği devam edecektir. Bu davranış Xe nedeniyle oluşan güç dalgalanmalarına benzerlik göstermektedir. Ancak bu kez reaktörün güç dağılımının dengeye gelmesi çok daha fazla zaman - genellikle birkaç ay - gerektirmektedir. Bor elementinin termal bölgede, yutma tesir kesiti daha düşük olduğu için, Gd kullanılan standart yakıt demetlerinden farklı olarak, yakıt demetinde daha çok yakıt çubuğunda bor kullanmak gerekmektedir. Fakat bor ile oksijen etkileşime girdiklerinde oluşturdukları camsı yapı, yakıtın termal iletkenliğini çok düşürdüğü için bor,  $UO_2$  (uranyumdioksit) ile karıştırılıp kullanılmaz. Ayrıca bor ile  $UO_2$ 'nin karışmasıyla oluşan ötektik yapı yakıtın ergime sıcaklığını düşürür. Bu nedenlerle bor, ince bir tabaka halinde, yakıt peletinin üstüne kaplanır. Bunlara ek olarak borun yakıt içine yayılmasını da en az seviyeye indirmek için bor ile  $UO_2$  arasına ince bir bornitür (BN) tabakası yerleştirilir. Sonraki basamak, konulan B ve BN tabakalarının kalınlıklarının, yakıt verimliliğine olan etkilerinin ve reaktör içinde nerelerde kullanılacaklarının hesaplanmasıdır.

Yeni tasarımlara başlamadan önce yakıt çubuklarında yanabilir nötron zehiri (burnable poison) içermeyen bir PWR (Basınçlı Su Reaktörü) modeli oluşturuldu, buna bağlı olarak yakıt içeriğinde ve dizilişinde yapılan değişiklikler standart model ile karşılaştırıldı.

## OPTİMUM KALINLIK HESAPLAMALARI

Yakıt demeti modellenmesi yapılırken, gadolonyum elementinin termal enerjilerdeki nötron yutma tesir kesiti, bordan daha yüksek olduğu için Gd kullanılan yakıt demetlerindeki farklı bir yöntem uygulanmıştır. Standart gadolonyumlu modellerde, yakıt demeti içinde belli bölgelerdeki yakıt çubuklarında  $UO_2$  ile  $Gd_2O_3$  karışmış halde bulunmaktadır. Bu yöntemde ise borun yakıt içindeki oksijen ile etkileşime girmesini engellemek için bor yakıt ile karıştırılmaz. Bor,  $UO_2$  yakıt lokması üzerine kaplanır. Ayrıca borun  $UO_2$  ile etkileşmesinden oluşabilecek olan ötektik yapının da engellenmesi ya da en aza indirilebilmesi için  $UO_2$  ile bor tabakasının arasına ince bir bornitür (BN) tabakası kaplanır. Bu çalışmada %5  $Gd_2O_3$  karıştırılmış yakıt çubukları yerine, yakıt demetindeki tüm yakıt çubuklarına bor ve bornitür kaplandı. Kullanılacak bor miktarı %5  $Gd_2O_3$  kullanılan yakıt reaktivite değerine eşdeğer olacak şekilde, WIMS-D4 kodu ile bulundu. Sonraki aşama, kaplanacak borun  $UO_2$  ile etkileşimini engellemek için, bor tabakası ile yakıt lokması arasına konacak olan BN tabakasının kalınlığının bor tabakasına göre

ne kadar olması gerektiğinin belirlenmesidir. Burada gözönünde bulundurulmuş konu dışarıdaki boronun, BN tabakasındakinden daha hızlı tükenmesidir. Şekil 2'den de görülebileceği gibi BN tabakasının kalınlığı sabitken, dışarıdaki B tabakasının kalınlığı arttıkça istenilen etki daha çok gözlenebilmektedir (Grafikte B ve BN tabakaları içindeki boronun atom yoğunluklarının zamanla değişim oranları  $N(B)/N(BN)$  verilmiştir). Bu çalışma yapılırken, uygulanabilirliğinin kolay olması için standart yakıt dizaynının değiştirilmesi düşünülmemiştir. Bu nedenle yapılacak kaplamanın, yakıt lokması ile zarfı arasına sığabilmesi ve dizayn limitleri açısından sorun yaratmayacak kadar ince olması gerekmektedir. Bu nedenle yakıt çubuğu modellemesinde bor tabakasının kalınlığının BN tabakası kalınlığına oranı 4/1 olarak alınmıştır.

## YAKIT DEMETİ VE KOR MODELLEMESİ

Yakıt demeti modellemesinde, yakıt demetinin sekiz çubuğunda ağırlıkça %5  $Gd_2O_3$  kullanılan standart PWR yakıt demetine eşdeğer olacak B-BN kaplaması uygulanmıştır. B/BN kalınlık oranı da yukarıda anlatıldığı şekilde seçilmiştir. Bu kriterler sonucu kaplanacak BN tabakası kalınlığı 3  $\mu m$ , B tabakasının kalınlığı da 12  $\mu m$  olarak belirlenmiştir. Bundan sonraki basamak kor modellemesidir.

Kor modellemesinde güç piklerinin az olması ve yakıt çevriminin süresinin uzatılması kriterleri gözönünde bulundurulmuştur. Sonuçlar, yavaşlatıcıda nötron zehiri olarak 1200 ppm bor bulunan bir PWR modeli ile karşılaştırılmıştır (Modelleme çalışmaları sırasında CITATION kodu kullanılmıştır). Yeni modelin soğutucusunda da 500 ppm bor kullanılmıştır.

Kor Modellemesi :

a) Standart Model

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1  
 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1  
 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1  
 3 2 2 1 1 1 1 1 1 1  
 3 3 2 2 3 1 1 1 1 1  
 4 3 3 2 2 3 1 1 1 1  
 4 4 3 3 2 2 1 1 1 1  
 4 4 4 3 3 2 2 1 1 1  
 4 4 4 4 3 3 2 2 1 1

1 : Yavaşlatıcı (Su)  
 2 : %3.4 Zenginleştirilmiş yakıt  
 3 : %3.0 Zenginleştirilmiş yakıt  
 4 : %2.6 Zenginleştirilmiş yakıt

b) Yeni Model

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1  
 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1  
 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1  
 5 2 2 1 1 1 1 1 1 1  
 3 3 6 2 3 1 1 1 1 1  
 4 3 3 2 2 3 1 1 1 1  
 4 4 3 5 2 2 1 1 1 1  
 4 4 4 3 3 6 2 1 1 1  
 4 4 4 4 3 3 2 2 1 1  
 4 4 4 4 4 3 5 2 2 1

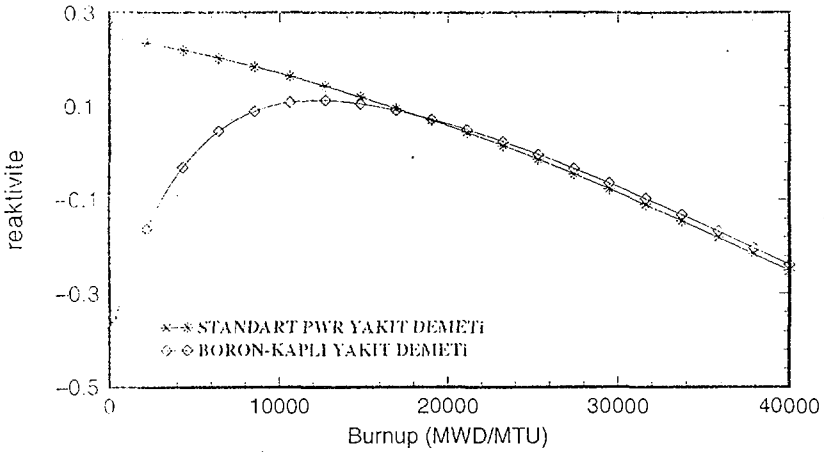
1 : Yavaşlatıcı (Su)  
 2 : %3.4 Zenginleştirilmiş yakıt  
 3 : %3.0 Zenginleştirilmiş yakıt  
 4 : %2.6 Zenginleştirilmiş yakıt  
 5 : %2.6 Zenginleştirilmiş yakıt (BN-B kaplı yakıt)  
 6 : %3.4 Zenginleştirilmiş yakıt (BN-B kaplı yakıt)

## SONUÇ

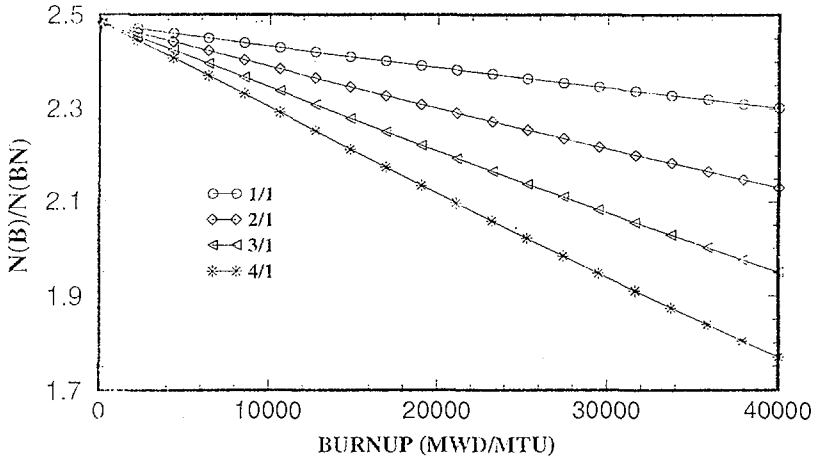
Yukardaki modellemeler sonucu elde edilen sonuçlardan, yeni modellemenin güç piklerinin daha düşük olduğu ve güç dağılımının da daha düzgün olduğu gözlenmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4, standart modellemenin çevrim başı (BOC) ve çevrim sonu (EOC) güç dağılımlarını vermektedir. Şekil 5 ve Şekil 6 ise yeni modellemenin BOC ve EOC güç dağılımlarını vermektedir. Grafiklerden de görülebileceği gibi, özellikle BOC'de yeni modelleme çok daha düz bir güç dağılımına sahiptir.

## KAYNAKLAR

- [1] TSOULFANIDIS N., COCHRAN R. G., "The Nuclear Fuel Cycle : Analysis and Management", The American Nuclear Society, 1990.
- [2] GRAVES H. W., "Nuclear Fuel Management", John Willey & Sons, 1979.
- [3] BELL G., GLASSTONE S., "Nuclear Reactor Theory", Van Nostrand Reinhold Company, 1970.
- [4] DUDERSTADT J. J., HAMILTON L. J., "Nuclear Reactor Analysis", John Willey & Sons, 1976



Sekil 1



Sekil 2 : Boron oraninin burnup ile degisimi

