

FÜZYON REAKTÖRÜ BLANKET DİZAYNLARINDA, BE ve BeO REFLEKTÖRLERİNİN TRİTYUM ÜRETİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Halil ÇETİN

KOSGEB Merkez Müdürlüğü KONYA

ÖZET

Termonükleer Füzyon Reaktörlerinde yakıt olarak kullanılan Trityum (T), tabiiatta serbest halde bulunmadığından Füzyon Reaktörü çevresine yerleştirilen Blanket içinde üretilmesi gerekmektedir. Ayrıca Blanketin plazma tarafına veya dış tarafına uygun bir Reflektör malzeme konulması ile Trityum üretimini bir miktar daha artırmak mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada Grafit (C) ilaveli Li zırha yerleştirilen Be ve BeO Reflektör malzemelerinin Trityum üretimi üzerine etkileri incelenerek, birbirleri ile mukayese edildi.

Nümerik hesaplar, bir boyutlu SN programı ANISN ile ENDF/B LIBRARY de mevcut 27 gruplu GARG tesir-kesitleri kullanılarak icra edildi.

SUMMARY

Due to coexists nature of Trityum as a free element in which is used as a fuel elements of Thermonuclear Fusion Reactors must be produced in Blanket around of the Reactors. Furthermore by being used Reflector material plasma side or outside of the Blanket is to enable to increase once more Trityum production.

In this study, the effects of the Reflector materials as Be and BeO with in Blanket on which is add of grafit to Li shield on the Trityum production were studied and compared to each other.

Numerical calculations were performed using S_N program ANISN which is one dimensional by cross-section of GARG with 27 groups existing at ENDF/B LIBRARY.

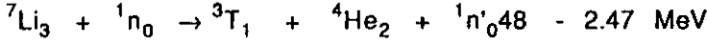
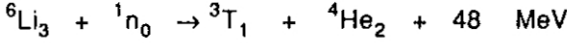
1.GİRİŞ

Tükenmez bir enerji kaynağı görünümünde olan Güneşin merkezindeki Termonükleer Reaksiyonların Dünyamız üzerinde gerçekleştirilebilmesi için LAWSON kriteri (1) olan $N \cdot T > 10^{28}$ [$m^{-3}s^{\circ}K$] şartınının gerçekleştirilmesi şarttır. Bu kriter en uygun reaksiyon Deteryum ile Trityum arasındaki Füzyon Reaksiyonudur.



Her m³ deniz suyunda 33 gr. Deteryum mevcut olmasına rağmen, Trityum tabiiatta serbest olarak bulunmamaktadır(2). Bu yüzden

Trityumun Füzyon Reaktörleri çevresine yerleştirilen Li Blanketler içinde üretmesi gerekmektedir. Trityumu aşağıdaki reaksiyonlarla üretmek mümkündür.



${}^6\text{Li} (n, \alpha)$ t ise artan tesir-kesiti ve nötron enerjisi ile ekzotermik bir reaksiyondur. Yüksek enerji seviyelerinde ${}^7\text{Li} (n, n' \alpha)$ t reaksiyonu tesir kesiti değeri, ${}^6\text{Li} (n, \alpha)$ t reaksiyonu tesir-kesitine erişir. ${}^7\text{Li} (n, n' \alpha)$ t reaksiyonu düşük enerjili bir nötron verir. Bu nötron daha sonra ${}^6\text{Li}$ atomuyla reaksiyona girerek Trityum üretimine gidebilir (3).

Reaktör çevresine yerleştirilen bir blanket içinde nötronların kinetik enerjisi termal enerjiye dönüşür. Bu ise bir türbo reaktörü beslemede kullanılır. Blanket içinde üretken malzeme olarak Li, LiH ve Li_2O gibi sıvı ve katı malzemeler kullanılabilir. Trityum üretimini bir miktar daha artırmak için blanket önüne ve arkasına uygun kalınlıkta C, Be, BeO, UC, UO_2 gibi reflektör malzemelerinden herhangi biri veya birkaçı ilave edilir (4).

Bu çalışmada, Be ve BeO Reflektörlerin Li Blanket içinde aldıkları konuma göre Trityum üretimi üzerindeki etkileri incelenerek birbirleri ile mukayese edildi. Hesaplar bir boyutlu S_N programı ANISN (5) yardımıyla 27 gruplu GARG tesir-kesitleri (6) kullanılarak icra edildi. Füzyon reaksiyonlarından serbest kalan yüksek enerjili nötronların göstermiş oldukları anizotropik saçılma tesir-kesitleri PoS4 yaklaşımı ile ifade edilmiştir.

Blankette üretken ve Reflektör malzeme olarak kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri TABLO 1.1 de verilmiştir (7).

TABLO 1.1 Blankette kullanılan üretken ve Reflektör malzemelerinin fiziksel özellikleri

H.ÇETİN FÜZYON REAKTÖRÜ BLANKET DİZAYNLARINDA, Be ve BeO REFLEKTÖRLERİN.

Blanket Malzemesi	Atom Ağırlığı	Yoğunluğu (g/cm ³)	Erime Nok. (°C)	Kaynama Nok. (°C)
Li	6.94	0.445	186	1336
C	12.011	172	3500	4200
Be	9.013	1.847	1284	2767
BeO	25.013	2.86	2550	-

2. Li Blanketlerde Tritiyum üretiminin Be ve BeO Reflektörlerin konuma göre değişimi.

Be oldukça yüksek bir erime noktası ve büyük absorpsiyon tesir kesitine sahip olmasına rağmen, korozyona mukavim olmaması, çekilebilirliğinin düşük olması ve toksinli olması yüzünden kullanımı esnasında özel tedbirler almak gerekir. Korozyona mukavim hale getirmek için Al ile kaplanır. Yüksek sıcaklık uygulamalarında zirkonyum ile kaplanması daha uygundur. Fakat bu takdirde ise, zirkonyum ve berilyum arasında kırılğan bir tabaka meydana gelecektir. Toksin özelliğinin çalışan personelin sağlığını menfi etkilemesi için, Be konsantrasyonu tesis içinde $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ü, tesis dışında solunan hava içinde ise $0.01\mu\text{g}/\text{m}^3$ ü aşmamalıdır (7).

BeO tin herhangi bir kaplama tekniği gerektirmeksizin yüksek sıcaklıklarda kullanılması mümkündür ve nisbeten de daha ucuzdur. Fakat bütün seramik malzemelerde olduğu gibi termal şoklara fazla dayanıklı değildir.

Blankette üretken malzeme olarak 50 cm kalınlığında Li kullanıldı. Plasma çevresine veya Blanket arkasına yerleştirilen Be ve BeO Reflektörlerinin kalınlığı ise 1 cm olarak seçildi. Reflektörlerin Blanket içinde aldığı konuma göre, trityum üzerine etkilerini sıra ile inceleyelim.

2.1 Li Blanketlerde trityum üretiminin Be Reflektörlerin konumu ile değişimi.

Mukayase aşağıda verilen Blanket modelleri arasında yapıldı.

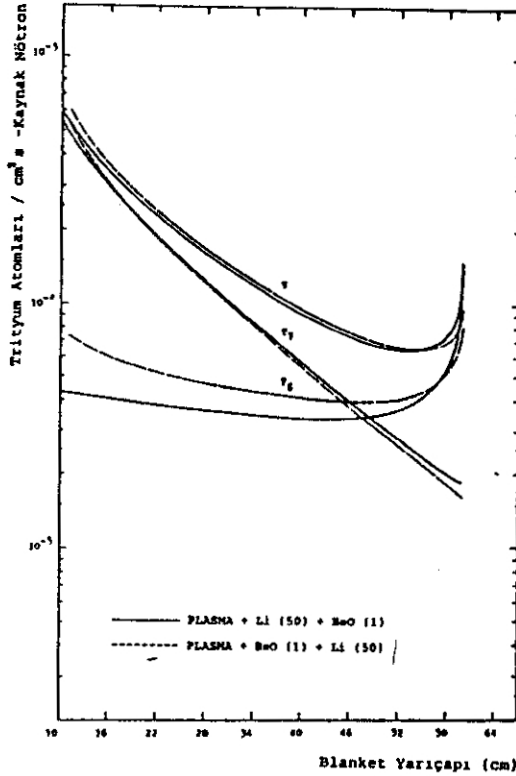
Plasma + Li (50 cm) + Be (1 cm) + C (15 cm)

Plasma + Be (1 cm) + Li (50 cm) + C (15 cm)

H.ÇETİN/FÜZYON REAKTÖRÜ BLANKET DİZAYNLARINDA, BE ve BEO REFLEKTÖRLERİN.

TABLO 2.1 Grafit ilaveli Li (50 cm) Blankete yerleştirilen Be (1 cm) Reflektörlerin Tritiyum üzerine etkileri.

Blanket Modelleri	T_6	T_7	T	Be (n,2n)	Toplam (n,2n)	Toplam (n,a)
Li+Be+C	4.305-1	9.505-1	1.381	4.016-2	7.112-2	3.247-2
Be+Li+C	5.269-1	9.018-1	1.428	2.286-1	2.557-1	4.225-2



Şek.2.1 Li Blankette T üretiminin Be Reflektörünün konumuna göre değişimi.

Tablo 2.1 ve Şek. 2.1 den aşikar olarak görülebileceği gibi, Be Reflektörünün plazma çevresine yerleştirilmesi halinde, Tritiyum üretimi kaynak nötron başına 1.428 T ile maksimum olmaktadır. Bu tip Blanket modellerinde Tritiyum üretimindeki artışın sebebi, Blanket ilk duvarı arkasında Li 6 atomlarının nötron ile reaksiyona

girme ihtimallerinin çok yüksek oluşu ve Be atomları ile meydana getirilen (n , $2n$) reaksiyonlarıdır. Oldukça yüksek ergime noktasına sahip olan Be, bu Zirkonyum kılıf içinde, plazma arkasında deforme olmadan uzun müddet kullanılabilirliği mümkündür.

Blanketin dış duvarına doğru Li-7 atomları ile nötronların reaksiyona girme ihtimali daha fazla olduğundan Li+Be+C tipi Blanket modellerinde trityum üretimi daha ziyade Li-7 atomlarına bağlı olacaktır. Bu tip Blanket modellerinde (n , a) reaksiyonlarının da az oluşu dikkat çekicidir.

2.2 Li Blanketlerde T üretiminin BeO Reflektörlerin konumu ile değişimi.

BeO Reflektörlerin blanket içinde aldıkları konuma bağlı olarak Trityum üretimi önemli farklar gösterecektir. İncelemeye esas olarak iki blanket modeli alınmıştır.

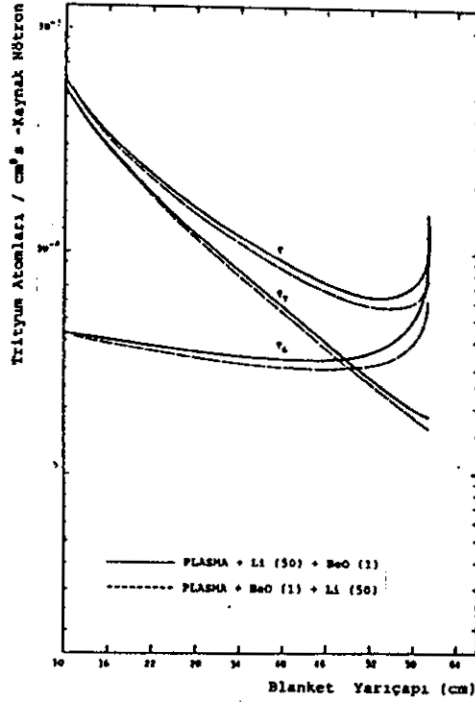
Plasma + Li (50 cm) + Be (1 cm) + C (15 cm)
 Plasma + BeO (1 cm) + Li (50 cm) + C (15 cm)

Be reflektörlerin aksine, BeO reflektörler plazma çevresine yerleştirildikleri zaman (n , $2n$) reaksiyonları hissedilir derecede azalacak ve artan nötron absorpsiyonu sebebiyle de trityum üretimi azalacaktır. (TABLO 2.2, Şek. 2.2).

TABLO 2.2 Li Blanketlerde T üretiminin BeO reflektörlerinin konumu ile değişimi.

Blanket Modelleri	T_6	T_7	T	Be ($n,2n$)	Toplam ($n,2n$)	Toplam (n,a)
Li+BeO+C	4.208-1	9.485-1	1.369	2.169-2	5.263-2	3.379-2
BeO+Li+C	3.865-1	8.687-1	1.254	2.286-1	2.563-1	5.842-2

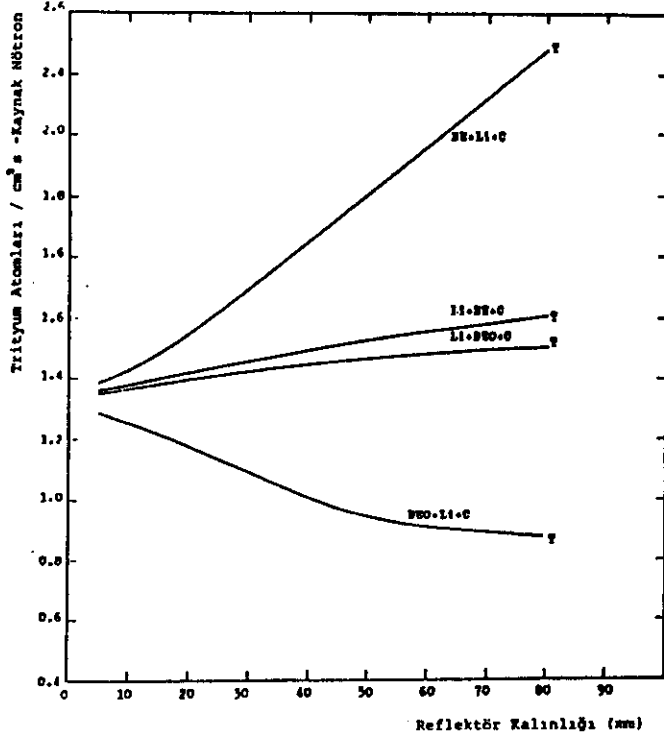
Şek.2.2 den açıkça görüleceği gibi, Li-7 reaksiyonları ile üretilen trityum blanket içinde homojen bir şekilde dağılırken, Li-6 reaksiyonları ile blanket dış duvarına doğru tedrici bir artma gösterecektir. Seramik reflektörlerde parazitik nötron absorpsiyonları oldukça yüksektir. BeO tin blanket önüne konulması halinde bu daha da artacaktır.



Şek.2.2 Li Blanketlerde Tritiyum üretim oranının BeO reflektörlerin konumu ile değişimi.

2.3 Li Blanketlerde Be ve BeO reflektörlerin Tritiyum üretimi bakımından karşılaştırılması.

Li Blanketlerde trityum üretimi; ilk duvar arkasına konulan Be reflektörlerin kalınlığına bağlı olarak artarken, BeO reflektörlerin konulması halinde, tedrici bir azalma gösterecektir.(Şek.2.3)



Şek.2.3 Li Blanketlerde Be ve BeO Reflektörlerin, Tritiyum üretimi bakımından karşılaştırılması.

Ergime noktalarının oldukça yüksek olması sebebiyle, Be ve BeO reflektörlerin her ikisini de blanket önünde kullanmak mümkündür. Ancak Be kullanılmadan önce zirkonyum ile kaplanarak ısı ve korozyona karşı mukavim hale getirilmelidir. BeO ise diğer seramik malzemelerde olduğu gibi, çok daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilme özelliğine sahiptir.

Be ve BeO reflektörlerin blanket ilk duvarı arkasına konulması halinde, trityum üretimi reflektör kalınlığı ile pek fazla değişmemektedir. Ayrıca BeO reflektörlerde parazitik nötron absorpsiyonları yüzünden trityum üretiminde önemli ölçüde düşme olduğu gözlenecektir.

Reflektörlerin üretken malzeme arkasına yerleştirildiği Li+Be+C ve Li+Be+C tipi blanket modellerinde blanket ilk ve dış duvar arasındaki üretim farklılığı çok azalmaktadır.

3. Reflektör kalınlığının Trityum üretim üzerine etkisi.

İnceleme reflektör (Be, BeO) kalınlıkları (5, 10, 20, 40, 80) mm olan blanket modelleri arasında yapıldığı TABLO 3.1 ve 3.2 den görüleceği gibi, trityum üretimi reflektör kalınlığı ile artmaktadır. Üretimdeki artış oranı, Be reflektörlerin konumu ile yakından ilgili olduğundan, blanket ilk duvarı arkasında kalınlığa bağlı olarak üretim artışı daha hızlı olacaktır. Ayrıca Be malzemesinin (n, 2n) reaksiyonları bakımından zengin olması trityum üretimini artırıcı diğer bir etken olacaktır.

TABLO 3.1 Karbon ilaveli Li blanketlerde Be reflektör kalınlığının trityum üretimi üzerine etkisi.

BE (mm)	T ₆	T ₇	T	BE (n,2n)	Toplam ⁷ Li+BE (n,2n)	Toplam (n,a)
5	4.018-1	9.483-1	1.359	1.996-2	5.089-2	3.183-2
10	4.305-1	9.505-1	1.381	4.016-2	7.112-2	3.247-2
20	4.686-1	9.541-1	1.422	6.032-2	1.113-1	3.443-2
40	5.371-1	9.588-1	1.495	1.558-1	1.869-1	4.055-2
80	6.432-1	9.627-1	1.606	2.755-1	3.067-1	5.888-2

TABLO 3.2 Karbon ilaveli Li blanketlerde Be reflektör kalınlığının trityum üretimi üzerine etkisi.

BE (mm)	T ₆	T ₇	T	BE (n,2n)	Toplam BE+Li (n,2n)	Toplam (n,a)
5	4.522-1	9.257-1	1.378	1.078-1	1.367-1	3.563-1
10	5.269-1	9.018-1	1.428	2.286-1	2.557-1	4.225-2
20	7.057-1	8.458-1	1.551	4.916-1	5.154-1	6.182-2
40	1.140	7.191-1	1.858	1.049	1.067	1.184-1
80	2.049	4.819-1	2.531	2.049	2.060	2.081-1

Li blanketler arkasına yerleştirilen BeO reflektörler, trityum üretimi üzerine Be reflektörler kadar etkili olmamaktadır. Mesela blanket dış duvarı önüne yerleştirilmiş olan 10 mm kalınlığında bir BeO reflektör ile 40 mm kalınlığında olan bir BeO reflektör arasında trityum üretimi bakımından %6 lık bir artış olduğu halde,

H.ÇETİN FÜZYON REAKTÖRÜ BLANKET DİZAYNLARINDA, BE ve BEO REFLEKTÖRLERİN.

aynı kalınlığa sahip olan Be reflektörler için artış miktarı %8 civarında olacaktır. (Tablo 3. 3).

TABLO 3.3 Karbon ilaveli Li blanket arkasında BeO kalınlığının T üretimi üzerine etkisi.

BeO (mm)	T ₆	T ₇	T	BE (n, 2n)	⁷ Li+BE (n, 2n)	Toplam (n, a)
5	4.062-1	9.472-1	1.353	1.095-2	4.186-2	3.256-2
10	4.208-1	9.458-1	1.369	2.169-2	5.263-2	3.379-2
20	4.483-1	9.505-1	1.398	4.226-2	7.323-2	3.652-2
40	4.951-1	9.529-1	1.448	7.863-2	1.096-1	4.255-2
80	5.641-1	9.548-1	1.518	1.316-1	1.626-1	5.510-2

BeO tin blanket iç duvarı arkasına yerleştirilmiş olduğu blanket modellerinde ise, trityum üretimi reflektör kalınlığı ile artan parazitik nötron absorpsiyonları yüzünden hızla azalacaktır. (Tablo 3.4).

TABLO 3. 4 Karbon ilaveli Li blanketler önünde BeO reflektör kalınlığının T üretimi üzerine etkisi.

BeO (mm)	T ₆	T ₇	T	BE (n, 2n)	BE+ ⁷ Li (n, 2n)	Toplam (n, a)
5	3.886-1	9.053-1	1.294	1.078-1	1.371-1	4.535-2
10	3.865-1	8.678-1	1.254	2.286-1	2.563-1	5.842-2
20	3.837-1	7.996-1	1.183	4.916-1	5.166-1	8.244-2
40	3.815-1	6.843-1	1.065	1.049	1.069	1.238-1
80	3.859-1	5.058-1	0.892	2.049	2.063	1.898-1

SONUÇLAR

Be reflektörlerin zirkonyum kılıf içinde yüksek sıcaklıklarda korrozif ortamda kullanılabilme özelliği onu dayanımlı malzemeler arasına sokmuştur. Fakat yüksek sıcaklıklarda kırılğan oluşu ve aşırı toksin özelliği göstermesi sebebiyle, kullanım alanı oldukça sınırlıdır. Nötronik özellik bakımından ise, Be oldukça iyi bir reflektör malzemesidir. 10 mm kalınlığına sahip bir Be reflektör blanket arkasına konulması halinde trityum üretimini %7 nisbetinde artıracaktır.

Be reflektörler blanket dış duvarı önünde çok iyi bir reflektör ol-

masına rağmen, plasma arkasına konulmaları halinde diğer seramik reflektörler gibi, (n, a) tesir-kesitleri çok artacağından trityum üretimi fizibil olmayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1]. LINGHART J. G., "Energy From Thermonuclear Fusion-Basic physical Parameters", Erice Summer School on Pulsed Reactors., P. 40, Erice-Trapani 4 Sept. 1974.
- [2]. BERTOLINI E. "Joint European Torus (JET), a Major Experiment in Nuclear Fusion", International Power Generation., P.10(3) April 1983.
- [3]. DANNER W., "Problems of tritium production radiation damage and neutron activation in blankets of pulsed reactors", P. 654, Erice-Trapani 4 Sept. 1974.
- [4]. AYBERS N., Nükleer Reaktör Mühendisleri için Metalürji ve Malzeme Bilgisi., S.106-188, İstanbul (1963).
- [5]. W. WARD, J. R. EEGLE., Users manual for ANISN, A one dimensional discreteordinates transport code with anizotropic scattering, Oak ridge National laboratory p. (15-32), Tennessee (1973).
- [6]. GARG S. B., A.27 Group Cross Section Set Derived from ENDFB Library., Bhabha Atomic Research Centre., Bhabha
- [7]. Nuclear Engineering Hand book., section (7-57,10-52,10-53), Mc Graw-hill. (1972).