

23776

PNE ve ICF FÜZYON REAKTÖRLERİNDE MUHTELİF ÇALIŞMA AKIŞKANLARI
İÇİN TRİTYUM ÜRETİMİ ve ENERJİ ABSORBSİYON ÖZELLİKLERİNİN
NÖTRONİK ANALİZİ

Sebahattin ÜNALAN
(Mak. YÜK. Müh.)

ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTUSU'NE
MAKİNA ANABİLİM DALI'NDA DOKTORA TEZİ
OLARAK SUNULMUŞTUR.

AĞUSTOS - 1992

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Erciyes Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

22/08/1992

Başkan : Prof.Dr. Sömer SAHİN



Üye : Y.Doç.Dr. Erhügel BALTACIOĞLU



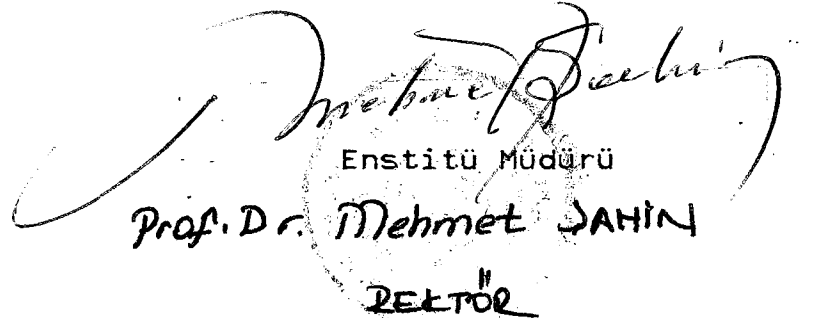
Üye : Y.Doç.Dr. Hüseyin YAPICI



ONAY :

Yukarıda imzaları , adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

9 / 9 / 1992



Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Mehmet SAHİN
REKTÖR

III

ÖZGEÇMİŞ

1964 yılında Kırıkkale'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini de Kırıkkale'de tamamladı. 1982-1983 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik fakültesi Makina Bölümüne kaydoldu. 1986 yılında mezun olarak , YUVAM Kollektif Şirketinde 8 ay mühendis şef olarak çalıştıktan sonra , 1988 yılında Araştırma Görevlisi olarak aynı fakültede göreve başladı. 1989 yılında Yüksek Lisansını tamamlayarak , aynı yıl Doktora başladı. Halen bu göreve devam eden Sebahattin ÜNALAN evlidir.

TEŐEKKÖR

Doktora tez çalıőmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof.Dr. Sömer ŞAHİN'e ve Yrd.Doç.Dr. HÜseyin YAPICI'ya ve faköltemiz öğretim elemanlarına Őükran ve minnet duygularımla teőekkür ederim.

Sebahattin ÜNALAN

ÖZET

Bir PNE veya ICF reaktör odasında , farklı materyaller kullanılarak değişik soğutucu bölge kalınlıkları için trityum üretimi ve enerji absorpsiyon değerleri araştırılmıştır. HYLIFE-II uygulamalarında soğutucu olarak Flibe ($\text{Li}_{17}\text{BeF}_4$) kullanılırken , MHD uygulamalarında buna ilaveten LiH, Tabii Lityum ve $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ için de analiz yapılmıştır. Lityum bütün hallerde tabii halde kullanılmıştır.

Pacer uygulamalarında soğutucu akışkan su ve Flibe olarak seçilmiştir. Su ucuzluğunun yanında iyi bir test akışkanı olarak seçilirken, Flibe iyi nükleer özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir. Her iki akışkan içinde, düşey yönde yapılan enjeksiyonda, akış, % 75 hava ve % 25 soğutucu şeklinde homojenize edilmiştir.

Yeterli trityum üretimi (TBR = 1.15 - 1.20) ve enerji absorpsiyonu için en uygun soğutucu bölge kalınlıkları LiH için 25 cm, LiPb için 130 cm, Flibe için 50-60 cm ve Lityum için 80 cm olarak hesaplanmıştır. Bunlardan LiPb düşük bir enerji absorpsiyon kabiliyeti göstermiştir. Çok büyük akışkan kütlesi gerektirdiğinden tabii lityum ve LiPb iyi bir soğutucu akışkan olarak görülmemiştir.

Pacer uygulamasında, trityum üretimi ve enerji absorpsiyonu bakımından en uygun soğutucu kalınlığı 3 m. olarak tespit edilmiştir.

Pacer uygulaması için 30 yıllık kullanım süresi sonunda PNE reaktör odasında,takip eden 1 yıl için yapılan aktivasyon kontrolünde ,soğutucu kalınlığının DR=3 m. olması halinde, uluslararası 10 CFR 61 tüzüğüne göre, çelik bölgesinde sadece Ni59 ve Mo93 izotoplarından yayınlanan 7 keV'lik X-ışınlarının tehlike arzettiği görülmüştür. DR=5 m olması halinde aynı hal için herhangi risk gözlenmemiştir.

ABSTRACT

The tritium breeding and energy absorption in an IFE (Inertial Fusion Energy) reactor chamber have been investigated with variable coolant zone thickness using different materials. Examples are given for HYLIFE-II (an IFE reactor design) and for MHD energy conversion chambers using Flibe (Li_2BeF_4) as coolant. MHD related investigations are extended to LiH, lithium and $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ -eutectic as working fluid. Natural lithium is used in all cases. To achieve a usefull energy density for energy conversion purposes with sufficient tritium breeding (TBR = 1.15 to 1.20), coolant zone thickness values are found to be 25 cm for LiH, 50 to 60 cm for Flibe and 80 cm for lithium. $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ requires a coolant zone thickness of 130 cm to obtain a sufficient tritium breeding, giving an extremely low energy deposition density. This and the large coolant mass make LiPb unsuitable for MHD nor HYLIFE-II applications.

In the modified PACER concept [9-12] the explosion yield is reduced to 2 kt every 40 minutes in a cylindrical cavity with 20 m in radius, carefully engineered and lined with a stainless steel of 1 cm. The steam working fluid is replaced with molten salt, Li_2BeF_4 (Flibe), in the form of vertically flowing jets, to absorb energy and pressure shocks. To achieve a usefull energy density for energy conversion purposes with sufficient tritium breeding, coolant zone thickness values are found to be 3 m for Flibe.

The residual neutron activity in the liner and in the rock decreases with increasing coolant thickness. For Flibe with DR= 3 M, the induced neutron activity in the liner is higher than required by 10 CFR 61 regulations to use the PNE cavity as a shallow burial radioactive waste disposal site after final shut down of the PNE reactor. However, the most nuissant radionuclides with respect to 10 CFR 61 turn out to be only Ni-59 and Mo-93 which transmutate by electron capture with a low energy X-ray radiation emission of 7 keV.

SEMBOLLER

V	: Hacim
v	: Hız
t	: Zaman
x	: Bir boyutlu ortamda uzay değişkeni
r	: Uzay vektörü
Ω	: Nötron Hareket yönü
E	: Enerji
m	: Nötron kütlesi
N	: Birim hacimdeki nötron miktarı
ϕ	: Nötron akısı
Q	: Nötron kaynak debisi
J	: Nötron akımı
k_{eff}	: Nötron çoğalma katsayısı
Σ	: Makroskopik etki-kesiti
ν	: Çekirdek parçalanması esnasında meydana çıkan nötron sayısı
κ	: Çekirdek parçalanmasında nötron spektrumu
T	: Sıcaklık, Tritiyum
k	: Boltzman sabiti
P	: Basınç
R	: Gaz sabiti
ΔH	: Buharlaşma gizli ısısı
c_V	: Sabit hacimde ısınma ısısı
U	: İç enerji
D	: Döteryum

VIII

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No:
BÖLÜM-I GİRİŞ	
1. Füzyon Teknolojisi	2
1.1 Füzyon Reaksiyonları	2
1.2 Atalet Sıkıştırması Yolu ile Füzyon	5
1.3 Füzyon Yakıtının Sıkıştırılarak Patlatıldığı Füzyon Reaktörleri	7
1.3.1 Eriyik Tuz Soğutucular	9
1.3.2 Reaksiyon Odası Denge Basıncı	9
BÖLÜM-II ICF ve PNE FÜZYON REAKTÖRLERİNİN TESİSLERİ	
2.1 Pacer Reaktör Tesisi	13
2.2 HYLIFE-II Reaktör Tesisi	14
2.3 MHD Reaktör Tesisi	14
2.4 Bir PNE Reaktör Tesisini Çalışma Prensibi	18
BÖLÜM-III HESAPLAMA YÖNTEMİ	
3.1 S_N Metodu ve Boltzman Transport Denklemi	20
3.2 Hesaplama İşleminde Seçilen Geometriler	27
BÖLÜM-IV NÜMERİK NETİCELER	
4.1 Pacer Uygulamaları İçin Nümerik Neticeler	
4.1.1 Trityum Üretimi	36
4.1.2 Soğutucu Bölgede Enerji Absorbsiyonu	37
4.2 MHD ve HYLIFE-II Uygulamaları İçin Nümerik Neticeler	42
4.2.1 Trityum Üretimi	42
4.2.2 Soğutucu Bölgedeki Enerji Absorbsiyonu	58
4.3 Nötron Aktivasyonu	61
4.4 Sonuçlar	87
REFERANSLAR	89
EKLER	92

BÖLÜM - 1

GİRİŞ

21. Yüzyılın eşiginde Dünya'nın 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. Uzak vadede düşünülecek olursa ileriki yıllarda tüm dünyanın yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyacağı muhakkaktır.

Günümüzde, hidrolik enerji kaynakları sınırlıdır. Bu yüzden günümüz sanayisinin enerji ihtiyacı fosil (petrol ve kömür) ve nükleer yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtların, taşınması ve dağıtımı ile sebep olduğu çevre kirliliği (atmosferde artan CO₂ nin sera etkisi , SO₂ ve NO_x gazlarının neden olduğu asit yağmurları) problemleri kullanımında bir sınır getirmektedir. Nükleer reaktörlerde ise nükleer yakıt temininde bir darboğaza girileceği beklenmektedir [1]. Çünkü, az zenginleştirilmiş nükleer yakıt kullanan bugünün hafif su reaktörleri (LWR) , tabii uranyumun çok az bir yüzdesini (%1-2) kullanırken kalan kısmı artık olarak bırakmaktadır. Açığa çıkan bu radyoaktif artığın saklanması da ayrı bir problem meydana getirmektedir. Daha çok yakıt zenginleştirme işlemi için kullanılan hızlı reaktörlerdeki gelişmelerin bu talebi karşılayacağına şüphe ile

bakılmaktadır.

İleriki yıllarda bir darboğaza düşülmemesi için bugünden yeni kaynak arayışlarına yönelmek artık bir zaruret olmuştur. Bu çalışmaların bir boyutunda füzyon teknolojisi oluşturmaktadır. Yakıtının trityum ve döteryum olması bu teknolojiyi daha cazip kılmaktadır. Çünkü, döteryum suda bol miktarda (1/5000 oranında) bulunmaktadır. Bir litre suda varolan döteryumdan 300 litre benzin enerjisine eşdeğer enerji alınabilir. Trityum ise Lityumun nötron ile etkileşiminden ve bazı füzyon reaksiyonlarında kolaylıkla elde edilebilmektedir. Ayrıca füzyon reaksiyonlarından açığa çıkan 14 MeV lik nötronlarla U-238 ve Th-232 gibi fertil izotopların parçalanabilmesi veya yutulma reaksiyonları ile U-233 ve Pu-239 gibi oldukça kıymetli nükleer yakıt elde edilebilmesi bu teknolojiyi daha cazip kılmaktadır.

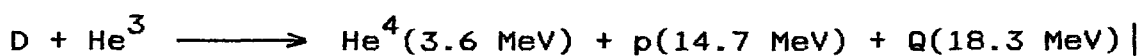
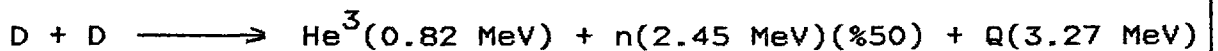
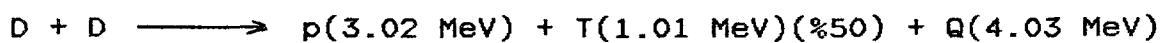
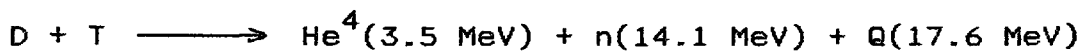
1. FÜZYON TEKNOLOJİSİ

1.1 FÜZYON REAKSİYONLARI

Hafif çekirdeklerin kaynaşması olarak tarif edilen füzyon reaksiyonlarının çok çeşitli tipleri vardır. Enerji üretimi açısından önemli olan reaksiyonlar Tablo-1 de görülmektedir.

Termonükleer silahların ve yıldızların enerji kaynağını da füzyon reaksiyonları oluşturmaktadır. Ancak bugün termonükleer reaktör teknolojisi tam olarak gelişmemiştir. Reaksiyon esnasında açığa çıkan enerjinin kontrol edilip faydalı kullanımı mümkün

Tablo-1 Önemli füzyon reaksiyonları



olamamıştır. Füzyon reaksiyonunun meydana gelmesi için, çekirdekler üzerinde çok büyük elektro-statik kuvvetler meydana getirecek, oldukça yüksek bir sıcaklık ortamının temin edilmesi gerekir. Bu ortam yıldız sisteminde büyük gravitasyon kuvvetleri ile temin edilmektedir. Böyle yüksek sıcak bir ortama dayanabilecek malzemenin olmaması kontrol edilebilirliği yoketmektedir.

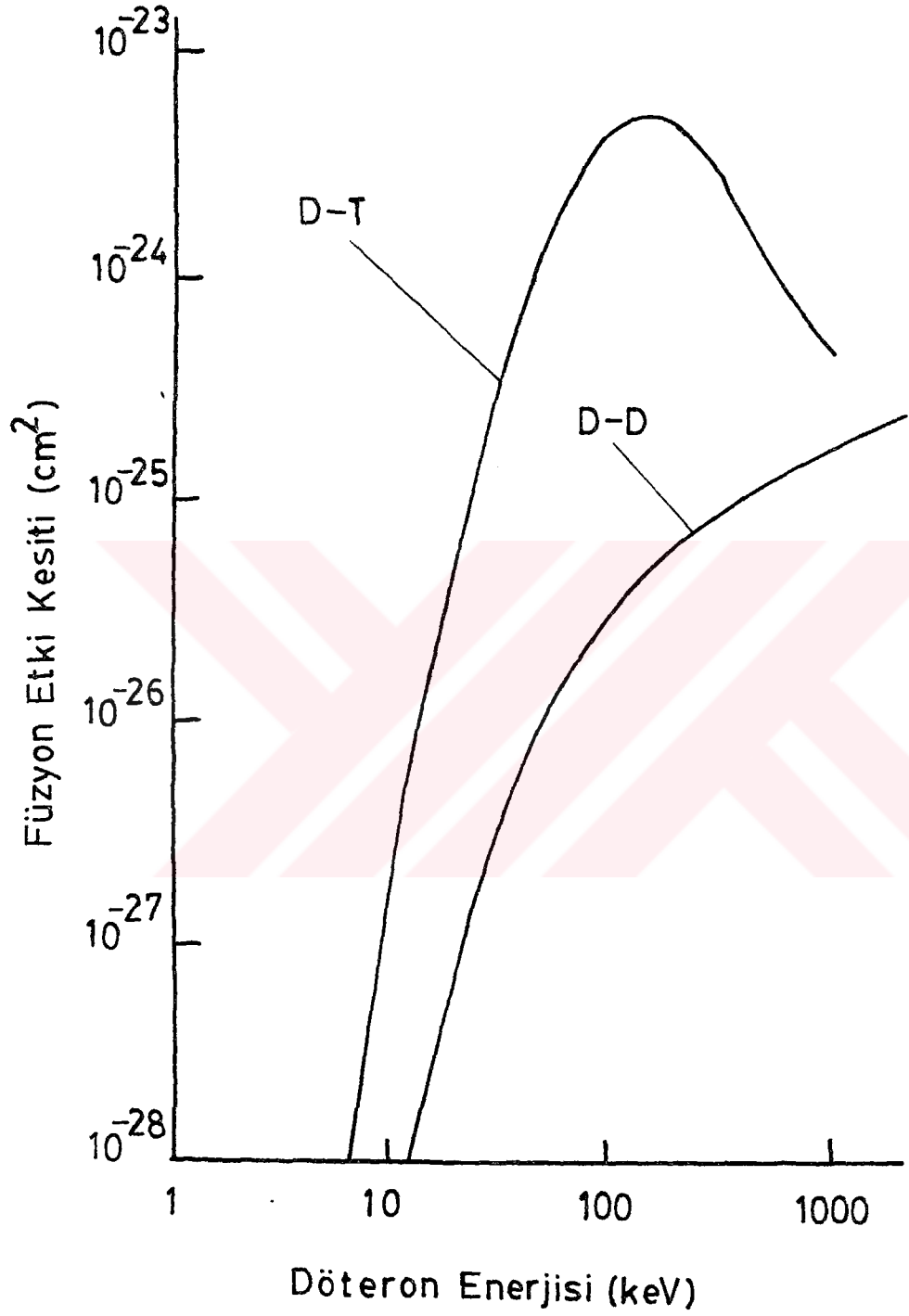
Tritiyum ve Döteryum arasındaki füzyon reaksiyonlarının (D-T veya D-D) etki-kesit değerleri çekirdeklerin enerjisine bağlı olarak şekil-1' de görülmektedir. En büyük etki-kesit değeri çekirdeklerin yaklaşık olarak 100 kev lik bir kinetik enerjiye sahip olmaları halinde elde edilmektedir. En düşük değer ise 1 kev mertebesindedir. Katı formdaki D-D veya D-T füzyon sürücüsü belli bir metodla ısıtılıp faz değiştirmesi sağlanarak plazma haline dönüştürülürse trityum ve döteryum çekirdekleri belirli bir hız ile kinetik kazanacaklardır. Bu durumda çekirdeklerin hız dağılımları Maxwell enerji dağılımına uygunluk gösterecektir. T plazma sıcaklığı, k Boltzman sabiti, m çekirdek kütlesi olmak üzere, çekirdek hızı şu şekilde hesaplanabilir.

$$v = (2 k T / m)^{1/2} \quad (1.1)$$

Bu durumda 1 kev'lik kinetik enerjili parçacıkların hakim olduğu ortam sıcaklığı yaklaşık olarak $1,16 \cdot 10^7$ K olacaktır. Yaklaşık olarak 10^8 K lik bir sıcaklık füzyon reaksiyonu için kafidir [2]. Füzyon reaksiyonlarını başlatan sıcaklık değerlerine "Tutuşturma Sıcaklığı" ismi verilmektedir.

Günümüzde yüksek sıcaklığa sahip plazma ortamı çeşitli metodlarla elde edilmektedir. Belli başlı üç değişik yol laboratuvar seviyesinde başarılı sonuç vermiştir.

Birincisinde füzyon reaksiyonu nispeten küçük fisyon patlamaları ile başlatılmaktadır. Reaksiyonlar sonucunda açığa çıkan enerji füzyon ve fisyonun toplamından ibaret olmaktadır. Zincirleme olarak kontrol edilen bu metotta fisyon payı giderek azalmaktadır. Burada fisyon sadece tutuşturma vazifesi görmektedir. Bu metotta bugünkü sistemlere nazaran azda olsa



Şekil-1 Döteronların enerjisine bağlı olarak D-D ve D-T reaksiyonlarının etki-kesit değerlerinin değişimi.

radyoaktif artık meydana gelmektedir.

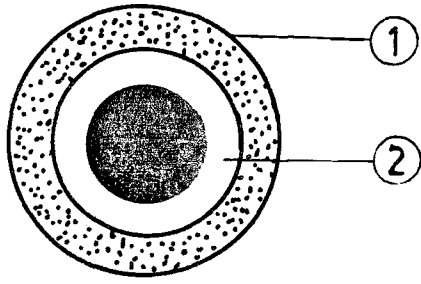
İkincisinde füzyon yakıt karışımı güçlü mağnetik alanlarla sıkıştırılarak plazma formu elde edilmektedir. Mağnetik alandan hasıl olan mağnetik kuvvetler füzyon reaksiyonu için gerekli sıkışmayı sağlamaktadır. Fakat bu metodla reaksiyonun kotrolu ve stabilitenin sağlanması teknolojik açıdan çok zordur [2].

Üçüncüsü ise yakıt karışımının yüksek enerjili laser ışığı ile bombardımanı ile plazma ortamı elde edilmektedir. Yakıt geometrisinin özellik arzemesi ve pratiğe yakın olması bakımından literatürde Inertial Confinement Füzyon (ICF) olarak bilinen bu metod ayrı bir başlık altında incelenecektir.

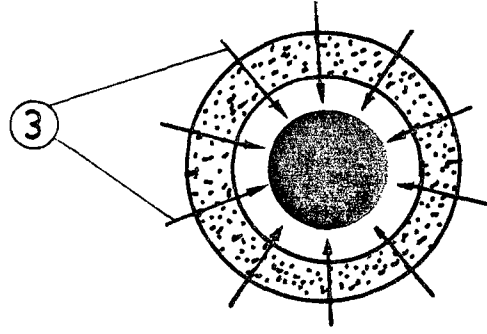
1.2 ATALET SIKIŞTIRMASI YOLU İLE FÜZYON (ICF)

Füzyon olayı esnasında, çok yüksek sıcaklıktaki plazma ortamının reaksiyon odasının çeperleri ile temasını önlemek için plazmanın temassız olarak bir nokta etrafında sıkıştırılması gereklidir. Reaksiyon odasının duvarları ile herhangi bir temas ani sıcaklık düşmesine neden olacağı için füzyon için gerekli yüksek ısıllı ortam kaybedilecektir.

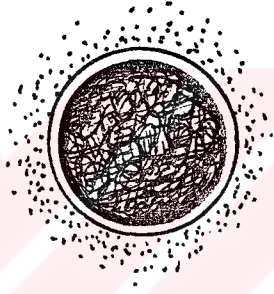
Şekil-2.a' da görüldüğü gibi katı füzyon yakıtı karışımı içi boş küresel bir yapıda yer almaktadır. Çok küçük bu tanecikler ($d < 1$ mm) bütün çevresinden laser beam ile ısıtılmaya başlanır (Şekil-2.b). Tanacik yüksek enerji absorpsiyonu ile nanosaniye mertebelerinde buhar fazına, gerekli genişleme bulamadan müteakiben plazma haline dönüşür. Meydana gelen plazma içeriye ve dışarıya doğru ani olarak genişleme meyli gösterir (Şekil-2.c). Ani meydana gelen bu genişleme iç tarafta sıkışma meydana getirir. Dış tarafa genişleme laser şoku ile içe nazaran daha az olur. İç taraftaki sıkışma çok kısa bir zaman aralığında füzyon patlaması için gerekli ortamı sağlayacaktır (Şekil-2.d). Neticede füzyon patlaması gerçekleşecektir (Şekil-2.e). Bu metodda laser gücünün plazmanın genişleyip fazla dağılmasına mücade etmeyecek boyutta olaması gerekir. Bu surette füzyon sıcaklığının oluşmasını sağlayacak kadar bir zaman diliminde



(a)

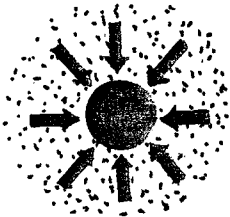


(b)

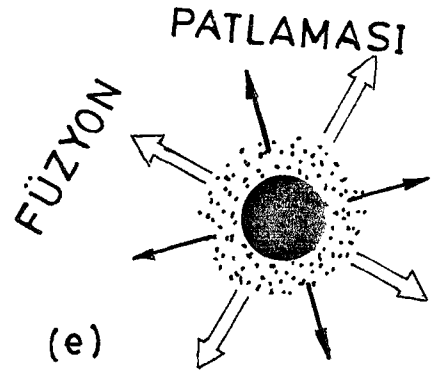


(c)

1-İçi boş katı küre
2-Füzyon yakıtı
3-Laser beam



(d)



(e)

Şekil-2 Laser ışığı ile füzyon yakıtın sıkıştırılarak patlatılması.

plazma ortamı katı çeperlerden korunmuş olur.

1.3 FÜZYON YAKITIN SIKIŞTIRILARAK PATLATILDIĞI FÜZYON REAKTÖRLERİ

Füzyon reaksiyonunun ve reaksiyon sonucu ortaya çıkan ısının kontrol edilerek elektrik üretimi gibi yararlı amaçlarla kullanımı için uzun yıllardır büyük çabalar gösterilmiştir. Bu nedenle füzyon patlamalarının enerji kaynağı olduğu reaktör tipleri geliştirilmiştir. İlk olarak füzyon patlamasının şiddeti küçültülerek nispeten kontrolü temin edilmiştir. Literatürde "faydalı nükleer patlamalar" veya kısaca PNE (Peacefull Nuclear Explosive) olarak geliştirilen bu metodun gayesi, patlama şokuna dayanabilecek atmosfere kapalı reaksiyon odasının tesis edilebilmesidir. Silindirik veya küresel formdaki bu odanın yaklaşık hacim merkezinde füzyon yakıtı daha önce bahsedilmiş metodlarla patlatılabilmektedir. Bu füzyon patlamasının enerji alanı daha önceki yıllarda , reaksiyon odasının boyutlarında bağlı olarak 20 kt TNT' lik bir patlamanın açığa çıkardığı enerjiye eşit kabul edilmiştir. Bugün ise bu değer 2 kt'a eşdeğer kabul edilmektedir [3].

Reaksiyon odasında patlama sonucu açığa çıkan enerjinin direkt olarak faydalı amaçlar için kullanımı mümkün değildir. Buna çözüm olarak enerjinin başka bir ortama aktarılıp , ondan sonra kullanılabilirliği düşünülmüştür. Bunun için patlama esnasında odanın üst tarafından patlama enerjini absorbe ederek ısınması ve mütakiben buharlaşması için özel bir akışkan enjekte edilmiştir. Faz değişim ısısının büyük olması nedeniyle enerji alanının büyüklüğüne göre bu enjeksiyon debisi ayarlanabilir. Bu akışkan hem patlama ısısını absorbe ederken, hemde patlama ile reaksiyon odasının duvarları arasına girerek ani şoklardan cidarları koruyacaktır. Buharlaşma ile ısı emildiği için oda denge basıncı oldukça düşecektir. Buda reaksiyon odasının duvarlarının mukavemeti bakımından avantaj teşkil edecektir. Akışkan jetin başka bir faydasıda ,patlama ile açığa çıkan enerjili nötronların duvar malzemesinde yapabileceği reaksiyonları ve bu surettede kalıcı radyoaktif kirlenmeyi azalmasıdır. Akışkan devir-daim sistemiyle çevrilerek radyoaktif pislikten arın-

dırılabilir, fakat duvar ve cidarlar için bu işlem çok zordur.

Füzyon patlamasının belirli fasılalarla yapılması düşünülmüştür. Bu peryod bu çalışma için 40 dk olarak belirlenmiştir. Patlama şokuna karşı emniyeti sağlamak için reaksiyon odası yeraltında tesis edilmek zorundadır. Bu surette kaçak olması durumunda direk atmosferle temas önlenmiş olur. Her patlama belirli ölçüde sarsıntı meydana getireceğinden toprağın yumuşak yapısındaki çöküntüleri önlemek için reaksiyon odası beton ile çevrilmelidir. Şoklara karşı elastikiyet sağlamak içinde beton üzeri çelik bir yapı ile kaplanmalıdır. Çünkü, duvar elastik şokları karşılayamamak bir yapıya sahiptir. Bu formdaki reaktör tipi literatürde PACER olarak isimlendirilmiştir. Aynı isimli proje 1960'larda Albert Lattek tarafından başlatılmıştır [3].

Bahsedilen akışkan ısıyı absorbe ederek aşırı ısınır ve kızgın buhar haline dönüşür. Bir pompa sistemiyle dışarı kolaylıkla alınabilen bu akışkandan ısı, bir eşanjör vasıtasıyla ikinci bir akışkana verilir. Buhar fazındaki ikinci akışkan bir elektrik jeneratörünü besleyen türbine verilir. Veya patlama odası hacmi küçültülerek, yüksek basınçlarda soğutucu akışkan yüksek sıcaklıklarda iyonize gaz haline dönüştürülür ve bir lüleden geçirilerek meydana gelen manyetizmadan elektrik enerjisinin üretimi düşünülebilir (MHD uygulamaları). Bu surette elektrik üretimini sağlayan bir füzyon reaktörleri en basit manada tesis edilmiş olur. Bu tesisler aynı zamanda gerek füzyon yakıtının reaksiyon odasına sevkini ve akışkan jet içerisindeki radyoaktif artıkların reaksiyon ürünlerinin ayrıştırmasını temin edecek tesisleride bünyesinde barındırmalıdır. Bu tür tesislerin şemaları şekil-3' de görülmektedir.

Akışkan çeşitli tiplerde olabilir. İlk akla gelen sudur. Su ucuz olması nedeniyle test amacıyla da kullanılabilir. Fakat füzyon reaksiyonlarından hasıl olan yüksek enerjili nötronları değerlendiremez. Enerjili nötronlardan faydalanmak için su yerine Li, Th-232 ve U-238 gibi izotopların eriyik tuzları da kullanılabilir. Bu teknik literatürde 'eriyik tuz' (molten salt) olarak geçmiştir. Özelliği nedeniyle ayrı başlık altında incelenmiştir.

1.3.1 Eriyik Tuz Soğutucular

Patlama ile açığa çıkan enerjinin absorbe edilmesi için reaksiyon odasının üst tarafından bol miktarda eriyik tuz enjekte edilmelidir. Bu yolla şok basıncın zararlı etkileri önlenirken, ortam basıncının düşmesi nedeniyle reaktör yapısının ölçüleride belirli oranda düşecektir.

Eriyik tuz lityum flor (LiF), berilyum flor (BeF_2), toryum flor (ThF_4), uranyum flor (Uf_4), LiPb ($\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$), LiH , Saf Lityum ve bunların bileşimlerinden meydana gelebilir. BeF_2 ve LiF bileşimi literatürde Flibe (Li_2BeF_4) olarak bilinmektedir. Ötektik flibe % 53 BeF_2 ve % 47 LiF den müteşekkil, erime sıcaklığı 363°C olan bir eriyiktir. Bir gr-mol'u 37.13 gr. dır. Az miktarda ThF_4 ve UF_4 de flibeye ilave edilebilir.

Patlama noktasının çevresi bu tuz eriyikleri ile çevrelenir. Açığa çıkan enerjiyi absorbe ederek ısınır ve buharlaşır. Metal formunda berilyum ve kurşun (Pb) çok iyi nötron çoğaltıcısıdır. Flor formunda berilyum ile hidrojen ise hızlı nötronlarla inelastik çarpışmalar gerçekleştirir. Soğutucu akışkan ortamında nötronların tutulması ve çoğalması ise nükleer açıdan istenen bir olaydır. Uranyum ve toryum fisil olabilen izotoplardır. Füzyon patlaması ile ortaya çıkan yüksek enerjili nötronlar ile fisyon yapabilirler veya U-233 ve Pu-238 gibi çok kıymetli nükleer yakıt verebilirler. Li ise füzyon nötronları ile etkileşimi sonucu yüksek oranlarda trityum üretimi sağlarlar. Trityum patlama sonucu eriyikte çözünmez ve gaz formunda reaksiyon odasında birikir. Bir pompa ile gaz trityum dışarıya alınabilir. Geriye kalan U-233 ve Pu-239 gibi reaksiyon ürünleri ise eşanjörden geçtikten sonra değişik metodlarla ayrılabilir. Mesala, sıvı haldeki UF_4 gaz halindeki F_2 ile reaksiyona girerek gaz formunda UF_6 halinde eriyikten ayrılır. Berilyum ise elektroliz yolu ile eriyik tuzdan alınabilir.

1.3.2 REAKSİYON ODASI DENGE BASINCI

Reaksiyon odasının çeşitli mukavemet hesapları için ve bazı

termodinamik analizler için patlama sonucu meydana gelen ortam basıncının bilinmesi gereklidir. Patlama anı ve çok kısa bir zaman sonra reaksiyon bölgesinde çok yüksek bir basınç, oda duvarlarına yakın yerlerde ise daha düşük bir basınç gözlenecektir. Absorbsiyon işlemi tamamlanınca ortam bir sukunet sonrası belirli bir basınç düzeyine ulaşacaktır. Bu basınç "Denge Basıncı" olarak bilinmektedir.

Termodinamik analizler için çok büyük ısının bir anda eriyik tuza verildiği ve eriyik tuzun tamamının buharlaştığı kabul edilecektir. Eriyik tuz kütlesi son halde tamamen kızgın buhara dönüşmüş olacaktır. Bu hali ile reaksiyon odası için yaklaşık basınç hesabı yapılabilir.

Gerçekte ise sıvı damlacıklar patlama ile duvara doğru püskürür. Bir kısım buharlaşırken bir kısmı ısınmış olarak sıvı halde kalabilir. Damlacık yüzeyi içerisine göre daha çabuk ısınır ve iç kısmı buharlaşma imkanı bulamayabilir.

Eriyik tuzun tamamen buharlaşmasıyla reaksiyon odası tamamen gaz ile dolmuştur. Bu ortamda buhar ideal gaz olarak kabul edilecektir. Eriyik tuzun özgül kütlesi çok daha küçüktür. Bu kabuller ile Clausius-Clapeyron denklemi faz değişimi için geçerli olacaktır. Reaksiyon odası kapalı ve izole edilmiş halde düşünülerek termodinamığın 1. kanunu yazılabilir.

$$Q = \Delta U + W \quad (1.1)$$

Sistemde hacim sabit olduğundan iş sıfır olacaktır. Tüm enerji girdisi iç enerji değişimi ile değerlendirilecektir. İç enerji yer değiştirmeyeceğinden ilk ve son haller arasında herhangi bir yol seçilebilir. Buna göre patlama sonrası :

- p^{doy} değerine kadar akışkan sıkışacaktır,
- Buharlaşma sıcaklığına kadar akışkan ısınacaktır,
- p^{doy} , da ve Buharlaşma sıcaklığında sıvı buharlaşacaktır,
- Ve sabit hacimde buhar kızdırılacaktır.

Akışkanın p^{doy} değerine sıkıştırılması küçük olduğundan ihmal

edilebilir. Flibe için T_b buharlaşma sıcaklığı ve p^{doy} doyma basıncı arasında şu bağıntı yazılabilir [4].

$$p^{\text{doy}} = 133 \left(10^{9.407 - 10054/T_v} \right) \quad (1.3)$$

Aynı zamanda V boşluk hacmi olmak üzere,

$$p^{\text{doy}} = \frac{mRT_v}{V} \quad (1.4)$$

yazılabilir. Buharlaşma ısısı atmosferik basınçta bilinirse ve buharlaşma (1.3) denkleminde bulunan sabit sıcaklıkta meydana gelirse, Clausius Clapeyron denklemi şu şekilde yazılabilir.

$$\Delta H_v = -R \frac{d(\ln p^{\text{doy}})}{d(1/T_v)} \quad (1.5)$$

Bu durumda buharlaşma iç enerji değişimi,

$$\Delta U_v = \Delta H_v - RT_v \quad (1.6)$$

şeklinde yazılabilir. p^{doy} değerine kadar sıkışmada iç enerji değişimi küçük olduğu için ihmal edilerek, ilk ve son haller arasında enerji dengesi şu şekilde yazılabilir.

$$\Delta U = m c_p (T_v - T_{in}) + m \Delta U_v (T_v) + m c_{v,v} (T_f - T_v) \quad (1.7)$$

$\Delta U = mcT$ olduğu dikkate alınarak ve ideal gaz kabulü ile denge sıcaklığı ve basıncı şu şekilde elde edilebilir.

$$T_d = \frac{E}{m c_{v,v}} + T_v \quad (1.8)$$

$$P_d = (\gamma - 1) \frac{E}{V} + p^{\text{doy}} \quad (1.9)$$

Burada

$\gamma =$ ısı kapasitesi oranı ($\gamma = c_p/c_v$)

$c_p = 2.35$ J/g K (Flibe için)

$V =$ Reaksiyon odası hacmi

$m =$ Buharlaşmış flibe kütlesi

$\Delta H_v =$ Flibenin buharlaşma gizli ısısı

$Y =$ Füzyon yakıtın enerji alanı

$T_{in} =$ Flibenin patlama öncesi sıcaklığı

$T_v =$ Buharlaşma sıcaklığı

$E =$ Yakıttan gaza geçen enerji miktarı

$$E = Y - mc_p(T_v - T_{in}) - m\Delta H_v + mRT_v$$

Denge basıncı patlama enerjisi ile reaktör boyutlarının fonksiyonu olarak hesaplanır. Silindirik veya küresel yapıdan biri seçilebilir. Eriyik tuzun pozisyonunun ve kalınlığının iyi seçilmesi ile patlama enerjisinin %70 ine yakın bir kısmı absorbe edilebilir. Bu surette denge basıncı büyük oranlarda düşürülebilir. Misal 20 m yarıçaplı bir odada 4 TJ lik bir patlama olması halinde denge basıncı 10.4 MPa olacaktır. Buharlaşma ile bunun % 90 nı absorbe edilirse basınç 2.9 MPa'la % 100' ü absorbe edilirse 2.2 MPa'a düşecektir. 5 katlık bir fark eriyik tuz kullanımının önemiyetini göstermektedir. İkinci bir önemli nokta ise patlama enerjisinin ne kadarının absorbe edildiğinin iyi analiz edilmesidir.

BÖLÜM-2

ICF ve PNE FÜZYON REAKTÖRLERİNİN TESİSLERİ

Patlama ile ortaya çıkan ısının absorbe edilmesi için kullanılan soğutucunun türüne ve elektrik üretimini hedef alan enerji dönüşüm şekline göre değişik reaktör dizaynları yapılabilmektedir. Bu çalışmada üzerinde durulan reaktör türlerine başlıklar altında tek tek incelenecektir.

2.1 PACER REAKTÖR TESİSİ

Pacer daha önce ifade edildiği gibi 1960'lı yıllarda üzerinde Lattek tarafında çalışılmaya başlanmış bir konudur. Patlama ile ortaya çıkan ısının absorbe edilmesinde su ve flibe türü soğutucu kullanılmıştır. Patlama bölgesi ile soğutucu bölge arasında ve soğutucu ile çelikle kaplanmış duvar arasında hava ile dolu bölgeler düşünülmüştür. Bu bölgelerin amacı buharlaşma için gerekli genişleme ortamını temin etmektir. Soğutucu hava ile karışık enjekte edilerek oldukça geniş bir kalınlık elde edilmiştir. Soğutucu sadece akışkan değil, hava ve soğutucu sıvı karışımından müteşekkil olarak ele alınmıştır. Kaya ile beslenmiş beton yapı üzeri elastikiyet sağlamak için elastik perçinler ile bağlanmış çelik bir yapı ile sızdırmaz bir şekilde kaplanmıştır. Bu çeligin kalınlığı ortam basıncına dayanacak şekilde , 1-2 cm seçilmiştir. Bu şartlar ile dizayn edilmiş

Pacer reaktör tesisinin şeması şekil-3.a'da görülmektedir. Bu tesis yakıt sevki, soğutucu akışkanı devir-daim eden pompa gaz ve sıvıdan artık temizleme gibi tesisleride içermektedir.

2.2 HYLIFE-II REAKTÖR TESİSİ

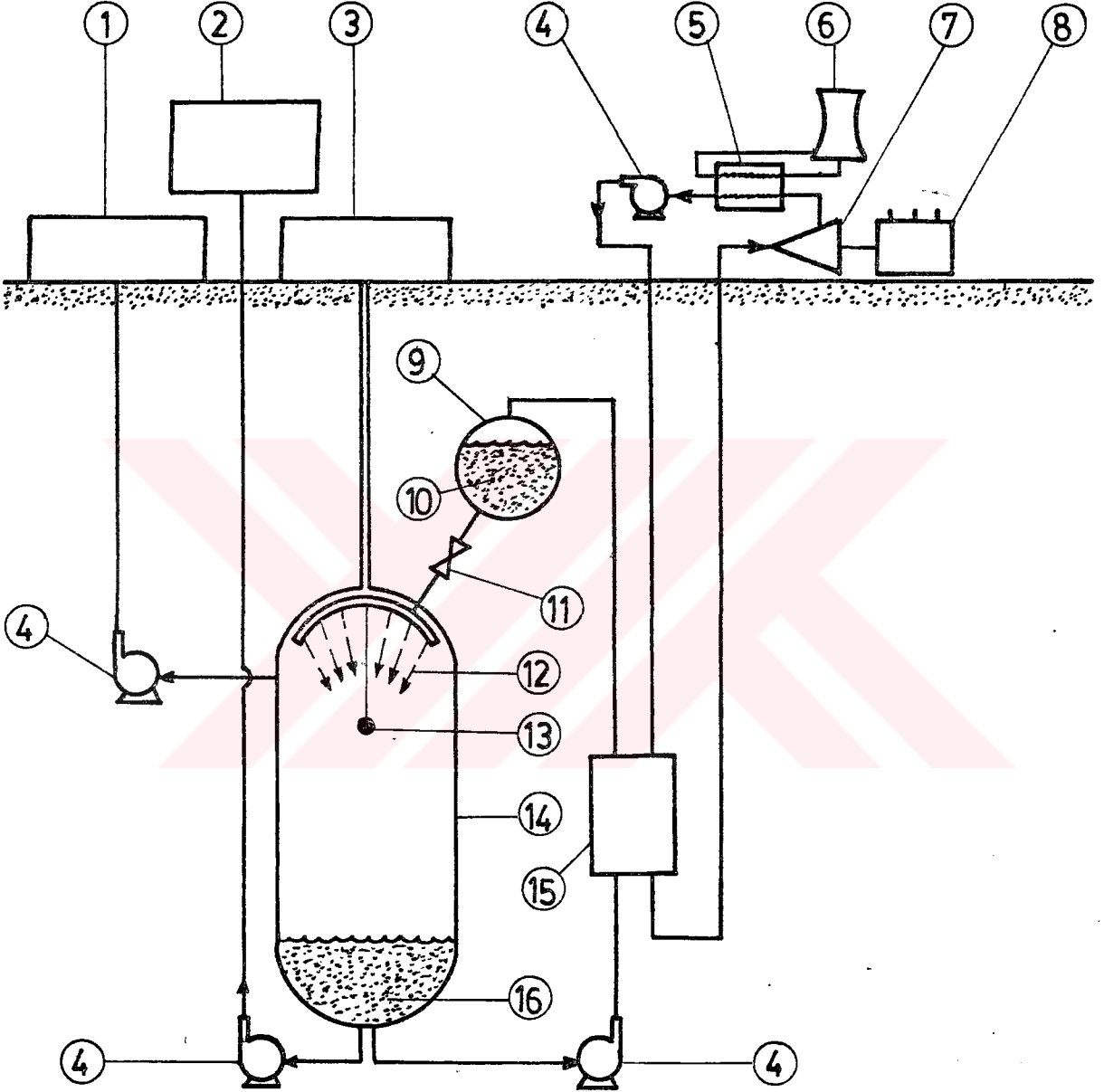
Literatürde ,sadece lityumundan meydana gelmiş soğutucu akışkan kullanılması HYLIFE olarak isimlendirilmiştir. Bu çalışmada lityumun değişik materyallerle yaptığı değişik eriyiklerden Flibe soğutucu olarak kullanılmıştır. Pacerden farklı olarak çelik yapı iki kademeli düşünülmüştür. Bu iki kademe arasına, kaçan nötronları yakalamak ve trityum üretimini artırmak için, reflektör bölge %75 karbon ve %25 Flibe den meydana gelen bir ortam yerleştirilmiştir. Çelik ise Hastolloy olarak bilinen özel bir bileşimden elde edilmiştir. Bu bileşimin oranları Ek-1' de verilmiştir. Bu formdaki enerji dönüşümü HYLIFE-II olarak isimlendirilmiştir. Bu tür bir reaktörün tesisi, şekil-3.b' da görülmektedir.

2.3 MHD REAKTÖR TESİSİ

Bu enerji dönüşüm metodu diğerlerinden farklılık göstermektedir. Diğer metodlarda ısı çalışma akışkanında absorbe edilerek ikinci planda suyun buharlaşmasında kullanılmaktadır. Elde edilen buhar ise türbine verilmektedir. MHD uygulamalarında ise çalışma akışkanı oldukça yüksek sıcaklıktaki iyonize gaz haline dönüştürülmektedir. Yüksek sıcaklıktaki bu gaz bir lüleden geçirilerek meydana gelen manyetizmadan faydalanılmaktadır. Bu özelliklere sahip özel bir akışkanın ancak yüksek sıcaklıklarda temin edilebileceğinden , çok kalın (> 20 cm) bir çelik duvar kullanılmıştır. Yüksek basınç ortamı ileride bahsedileceği gibi nötron refleksiyonunun çelikden daha az olmasına neden olmaktadır. Bu hal soğutucu bölge ötesinde sonsuz nötron absorbe özelliği olan vakum bir bölgenin olduğunun işaretidir. Bir MHD tesisi ise şekil-3.c de görülmektedir. Bu çalışmada MHD uygulaması için çalışma akışkanı olarak Flibe, tabii lityum, Lityum hibrid (LiH) ve $Li_{17}Pb_{83}$ kullanılmıştır.

- 1- Gaz ayrıştırma ve temizleme tesisi
- 2- Eriyik tuz ayrıştırma ve temizleme tesisi
- 3- Füzyon yakıtı sevk tesisi

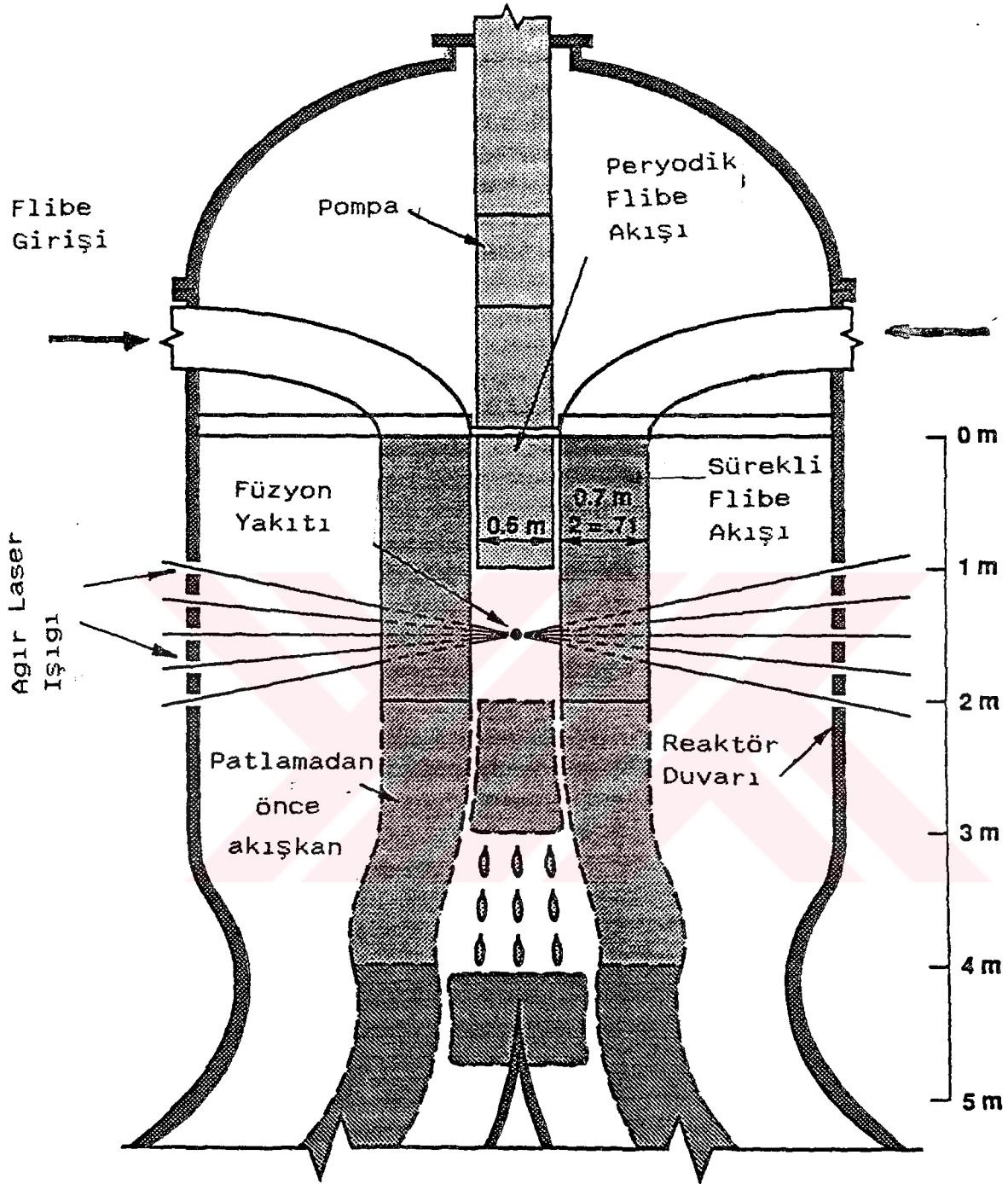
- 4- Pompa veya kompresör
- 5- Buhar soğutma eşanjörü
- 6- Soğutma kulesi
- 7- Türbin
- 8- Elektrik jeneratörü



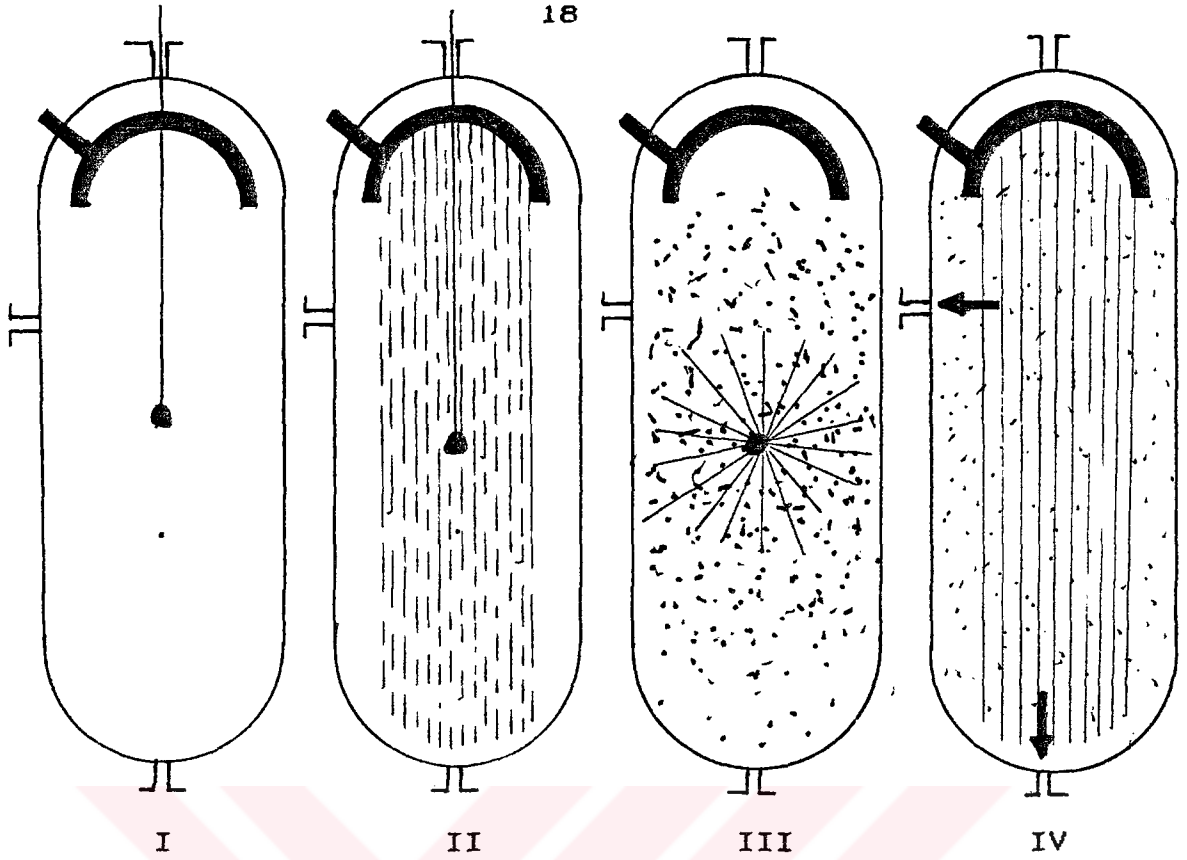
- 8- Elektrik jeneratörü
- 9- Eriyik tuz deposu
- 10- Soğuk eriyik tuz
- 11- Vana

- 12- Eriyik tuz jeti
- 13- Füzyon yakıtı
- 14- Çelik reaksiyon odası
- 15- Isı eşanjörü
- 16- Isınmış eriyik tuz

Sekil-3.a Bir PNE Füzyon Reaktör tesisinin şematik görünüşü.



Şekil-3.b Bir HYLIFE-II Füzyon Reaktör tesisinin şematik görünüşü.



Şekil-3.d Bir PNE reaktör odasının çalışma prensibi

2.4 PNE REAKTÖR ODASININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bütün tiplerde çalışma şekli birbirine benzemektedir. Bu bölümde sadece bir PNE füzyon reaktöründeki çalışma prensibi anlatılacaktır.

Şekil-3.d görüldüğü gibi çalışma prensibini şu şekilde anlatılabilir:

I- Füzyon yakıtı iple reaktör odasının merkezine kadar sarkıtılmaktadır.

II- Mütakip olarak eriyik tuz jeti yukarıdan aşağıya doğru enjekte edilir.

III- Sogutucu jet odanın alt noktasına temas ettiginde, füzyon yakıtı herhangi bir metodla patlatılır. Oda içerisi eriyik tuz buharı ve aşırı ısınmış eriyik tuz sıvısı ile dolar.

IV- Füzyon patlamasından meydana gelen nötronlar ile eriyik tuz içerisindeki çeşitli izotoplar arasındaki çekirdek reaksiyonlardan meydana gelen, Tritiyum vb. , yeni izotoplar reaktör odasının dışına pompalanır.

BÖLÜM - 3

HESAPLAMA YÖNTEMİ

Nükleer analizlerin en önemli gayelerinden birisi, ortam içindeki nötron akı dağılımının tesbit edilmesidir. Akı dağılımının özellikle bilinmesinin nedeni açığa çıkan enerjinin ve trityum üretimi gibi reaksiyon ürünlerinin nötronların başlattığı çekirdek reaksiyonlarından meydana gelmesidir. Bu oluşumlar nötron enerjisinin fonksiyonu olduğundan , nötron akı dağılımının nötron enerjisine bağlı olarak da ifade edilmesi gereklidir.

Nötron akı dağılımını etkileyen faktörler nötron ve çekirdek arasındaki reaksiyonlar ile ortam malzemesinin atomik yoğunluğu ve ortam geometrisidir.

Nötronlarla ortam malzemesi arasındaki reaksiyonlar etki-kesitleri yardımıyla matematiksel olarak ifade edilebilir. Etki-kesit değerleri ortam atomlarının geometrik kesitinden farklı olup , nötron ile atom arasındaki reaksiyon ihtimalini ve reaksiyon türünü ifade eder.

Ortam malzemesinin yapısı ve geometrisinin nötron akı dağılımına etkisi , etki-kesitlerin de yardımıyla, yaklaşık olarak diffüzyon teorisi ile hassas olarak Boltzman Transport Denklemi ile

ifade edilebilir[21]

Etki-kesit değerlerinin düzensiz bir dağılım göstermesi nedeniyle matematiksel olarak formülize edilememeleri, gerçek hesaplamalar ve konfigürasyonlar için diffüzyon ve transport denklemlerinin analitik olarak çözümlerini imkansız kılmaktadır. Bu nedenle çözüm ancak nümerik metodlarla yapılabilmektedir.

Karışık bir yapıya sahip Boltzman Transport denkleminin çözümü için, bilgisayarlarda kullanılabilecek şekilde çok çeşitli metodlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise bunlardan S_N metodu kullanılmıştır.

S_N metodunda nötronun hareket yönü , uzay açısı N sektöre bölünerek takip edilir. Her ayrı sektör içinde akının açığa bağlı olmadığı kabul edilir.

Transport teorisi yardımıyla ve interval adımının çok iyi seçimi ile nötron akısı yüksek bir hassasiyetle belirlenebilir. Hassasiyet derecesi arttıkça gerekli çalışma zamanı ve gerekli RAM hafıza değeri de artmaktadır.

3.1 S_N METODU ve BOLTZMAN TRANSPORT DENKLEMİ

Ortam içindeki nötron dağılımını en genel şekilde Boltzman Transport Denklemi ile ifade edilebilir.

$$\frac{1}{v} \frac{\partial}{\partial t} \Phi(r, E, \Omega, t) = S(r, E, \Omega, t) + \int \int_{E' \Omega'} \Sigma_S(r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega)$$

$$\Phi(r, E, \Omega', t) dE' d\Omega' - \Omega \nabla \Phi(r, E, \Omega, t) - \Sigma_T(r, E) \Phi(r, E, \Omega, t) \quad (3.1)$$

(3.1) denklemi zamana (t), uzay koordinatına (r) , enerjiye (E) ve hareket yönüne (Ω) bağıllığı ifade etmektedir. Bu denklemedeki ifadeleri E civarındaki dE ve Ω civarındaki d Ω aralığı için şöylece tarif edilebilir:

a)- $\frac{1}{v} \frac{\partial}{\partial t} \Phi(r, E, \Omega, t) dE d\Omega$: Nötron akısının birim zaman içindeki değişimi

b)- $S(r, E, t) = Q(r, E, t) + \frac{1}{k_{\text{eff}}} \chi(E) \int_{E'} v(E') \Sigma_f(r, E') \int_{\Omega'} \Phi(r, E, \Omega, t) d\Omega' dE'$ (3.2)

$Q(r, E, \Omega, t) dE d\Omega$: Kaynak nötronların akıya katkısı

$\left\{ \chi(E) \int_{E'} v(E') \Sigma_f(r, E') \int_{\Omega'} \Phi(r, E, \Omega, t) d\Omega' dE' \right\}$: Çekirdek parçalanması nedeniyle hasil olan nötronların akısı

c)- $\left[\int_{E'} \int_{\Omega'} \Sigma_S(r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega) \Phi(r, E', \Omega', t) d\Omega' dE' \right] dE d\Omega$:

Saçılma nedeniyle hasil olan nötronların akıya katkısı

d)- $\Omega \nabla \Phi(r, E, \Omega, t) dE d\Omega$: Konveksiyon yolu ile nötron kaybı

Konveksiyon terimi şu şekilde izah edilebilir.:

$dr = dV$ hacminin yüzeyi dO ile gösterilirse, dr , hacminden konveksiyon yolu ile kaybolan nötron miktarı

$$\int_{dO} -J(r, E, \Omega, t) dS \quad (3.3)$$

olarak ifade edilebilir. Divarjans teoremi yardımıyla

$$\int -J(r, E, \Omega, t) dS = \int -\nabla J(r, E, \Omega, t) dr \quad (3.4)$$

bulunabilir. $\nabla J(r, E, \Omega, t)$ konvektif nötron akımı, açığa bağlı nötron akısı cinsinden $\Omega J(r, E, \Omega, t)$ şeklinde yazılabilir.

e)- $\Sigma_T(r, E) \Phi(r, E, \Omega, t) dE d\Omega$: Ortam atomu ile reaksiyon neticesi kaybolan nötron miktarı

Reaktör statigi problemleri incelenirken, nötron akısının zamana bağıllığı gözönüne alınmaz. Bu takdirde Boltzman transport denklemi

$$\Omega \nabla \Phi(r, E, \Omega) + \Sigma_T(r, E) \Phi(r, E, \Omega) = S(r, E, \Omega) + \int \int_{\Omega'} \Sigma_S(r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega)$$

$$\Phi(r, E', \Omega) dE' d\Omega' \quad (3.5)$$

halini alır. (3.5) denkleminde faz uzayı 6 boyutludur; nitekim

$$\begin{array}{ll} r(x; y; z) & \longrightarrow 3 \text{ boyut} \\ E & \longrightarrow 1 \text{ boyut} \\ \Omega(\theta, \psi) & \longrightarrow 2 \text{ boyut} \end{array}$$

Boltzman transport denkleminin yaklaşık bir çözümüne imkan veren S_N metodunda nötron akısının açıya bağıllığı; nötron hareket yönü incelenirken, uzay acısı N sektöre bölünerek ve böylece her sektör içinde nötron akısının açıya bağılı olmadığı kabul edilerek gözönüne alınır.

Nötron akısının enerjiye bağıllığı; enerji bölgesini sonlu sayıda grublara (IG) bölünüp, her grup içinde akı ve etki kesitlerinin sabit olduğu kabul edilerek gözönüne alınır.

Akının uzay koordinatlara bağıllığı da tetkik edilen bölge IM sayısınınca sonlu elemanlara bölünerek gözönüne alınır.

Anizotropik saçılma etki-kesitlerinin açıya bağıllığını ifade etmek için ise küresel Legendre polinomlarından faydalanılır.

$$\Sigma_S(r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega) = \sum_{L=1}^{L_{\max}} \frac{2L+1}{4\pi} \Sigma_{S,L}(r, E' \rightarrow E) P_L(\Omega', \Omega)$$

(3.6)

Küresel legendre polinomları ortogonal olduklarından, saçılma

etki-kesitlerinin $\Sigma_{S,L}$ komponentleri kolayca şu şekilde elde edilir:

$$\Sigma_{S,L}(r, E' \rightarrow E) = \int \Sigma_S(r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega) P_L(\Omega', \Omega) d(\Omega', \Omega) \quad (3.7)$$

$\Sigma_S(r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega)$ degerlerini, etki-kesit cetvellerinden elde etmek mümkündür.

Uzay açısı Ω' 'nin elemanı θ 'nin çözümünü:

$$\mu = \text{Cos } \theta \quad (3.8)$$

diye tariflersek , küresel Legendre Polinömlarının toplama teoreminden faydalanarak ;

$$P_L(\Omega', \Omega) = P_L(\mu') P_L(\mu) + 2 \sum_{m=1}^L \frac{(L-m)!}{(L+m)!} P_L^m(\mu') P_L^m(\mu) \text{Cos}(\psi' - \psi) \quad (3.9)$$

ifadesini yazabiliriz.

Nötron akısının ψ açısına bağılı olmadığı bir boyutlu düzlem ve küresel geometrilerde (3.5) bağıntısında belirtilen Ω' entegrasyonu, ψ komponenti için 0 ile 2π arasında icra edildiği takdirde (3.9) ifadesinde $\text{Cos}\psi$ terimini ifade eden kısımlar

$$\int_0^{2\pi} \text{Cos } \psi' d\psi' = 0$$

olduğundan kaybolurlar. Böylece (3.6) ifadesi bir boyutlu düzlem ve küresel geometrilerde

$$\Sigma_S(x, E' \rightarrow E, \mu' \rightarrow \mu) = \sum_{L=1}^{L_{\max}} \frac{2L+1}{4\pi} \Sigma_{S,L}(x, E' \rightarrow E) P_L(\mu') P_L(\mu) \quad (3.10)$$

şeklini alır.

Alt enerji gruplarından üst enerji grublarına saçılma olayı (upscatter) , hızlı spektrumlar için ihmal edilebilir. Bu durumda Boltzman Transport Denklemi şu şekli alır.

$$\mu \frac{\partial}{\partial x} \phi(x, E, \mu) + \Sigma_T(x, E) \phi(x, E, \mu) = Q(x, E, \mu) + \sum_{L=1}^{L_{\max}} \frac{2L+1}{4} P_L(\mu).$$

$$\int_{E'=E}^{\infty} \Sigma_L(x, E' \rightarrow E) \int_{\mu'=-1}^{+1} P_L(\mu') \phi(x, E, \mu') d\mu' dE \quad (3.11)$$

(3.11) ifadesini S_N metodu ile çözerken ,daha önce de belirtilen açıya bağlılığı $\mu=1$ ($\theta = 0$) ile $\mu=-1$ ($\theta = \pi$) arasındaki bölgeyi N sektöre bölerek nazarı dikkate alıyoruz. N , IG (enerji grup sayısı) değerleri büyüdükçe nümerik çözümün sıhhatı artar. Etki-kesitlerin anizotropik karakteri de P_L açılımında L derecesi yükseldikçe daha sıhhatli aksettirilir. Tecrübe tek dereceli P_L açılımlarının çift dereceli P_L açılımlarından daha sıhhatli neticeler verdiğini göstermiştir [21].

(3.11) ifadesiden S_N metoduna geçişi şöylece karakterize edilebilir: Denklem her iki tarafıda

$$\int_{x \in \Delta x} \int_{E \in \Delta E} \int_{\mu \in \Delta \mu} dx dE d\mu$$

integral operatörü ile çarpılarak,

$$\int_x \int_E \int_{\mu} \mu \frac{\partial}{\partial x} \phi(x, E, \mu) dx dE d\mu + \int_x \int_E \int_{\mu} \Sigma_T(x, E) \phi(x, E, \mu) dx dE d\mu = Q(x, E, \mu) +$$

$$\int_x \int_E \int_\mu \sum_{L=1}^{L_{\max}} \frac{2L+1}{4} P_L(\mu) \int_{=E}^{\infty} \Sigma_L(x, E' \rightarrow E) \int_{\mu'=-1}^{+1} P_L(\mu') \phi(x, E, \mu') d\mu' dE' dx dE d\mu$$

(3.12)

elde edilir. Ortalama değer teoremine göre $y_1 - y_2 = \Delta y$ integral aralığı için,

$$\int_{y_1}^{y_2} y \cdot f(y) dy = \bar{y} \cdot f(y) \cdot \Delta y \quad (3.13)$$

yazılabilir. Burada $y_1 < \bar{y} < y_2$ dir. \bar{y} gerçek ortalama değere ne kadar yakınsa (3.13) bağıntısı o kadar iyi netice verir.

$E \in \Delta E$ ve $x \in \Delta x$ aralıkları için ortalama değer teoreminden faydalanırken , etki- kesitlerinin enerjiye göre değişimi ; ortamdaki geometrik yapıyı ve malzeme dağılımını göz önüne alarak ΔE ve Δx bölgelerinin sınırlarının tesbitinde uygun bir karara varmak icap eder.

Nümerik açı (m) integrasyonunun icrası için çeşitli yollara başvurulabilir. S_N metodunun ilk geliştiği zamanlarda $\mu = -1$ ile $\mu = +1$ arasındaki bölge N eşit aralığa bölünüp, nötron akısının bu aralıklarda sabit veya lineer olduğu kabul edilmiştir. Bu çalışmada N sayısı 16 olarak alınmıştır.

Legendre-Gauss kuadratörleri yardımıyla yapılan integrasyonda hata miktarı,

$$e = \frac{\phi^{2N}(E)}{2N!} \left[\frac{2}{2N+1} - \sum_{i=1}^N w_i \mu_i^{2N} \right] \quad (3.14)$$

olarak belirtilmiştir [21]. Burada w_i ağırlıkları, Legendre polinomları yardımıyla

$$w_i = \frac{2}{(1-\mu^2)[P_N(\mu_i)]^2} \quad (3.15)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

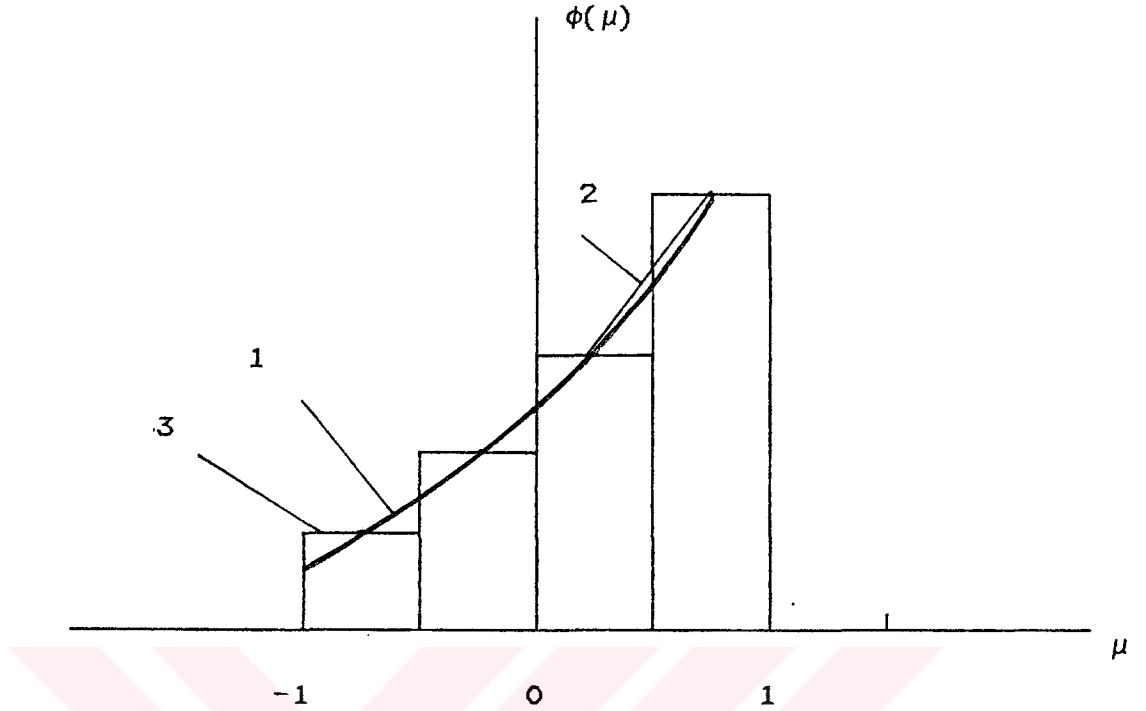
Böylece bir boyutlu düzlem geometride S16 yaklaşımıyla, nötron akısının sabit olduğunu kabul ettiğimiz takdirde (3.12) bağıntısı,

$$\begin{aligned} \mu \frac{\partial}{\partial x} \phi(x_j, E_g, \mu_i) \Delta x_j \Delta E_g w_i + \Sigma_T(x_j, E_g) \phi(x_j, E_g, \mu_i) \Delta x_j \Delta E_g w_i = \\ Q(x_j, E_g, \mu_i) \Delta x_j \Delta E_g w_i + \sum_{L=1}^{L_{\max}} \frac{2L+1}{4} P_L(\mu_i) \Delta x_j \Delta E_g w_i \sum_{g'=g}^{IG} \Sigma_{S,L}(x_j, E', \mu_{g'}) \phi(x_j, E', \mu_{g'}) \\ \sum_{n=1}^N P_L(\mu_n') \phi(x_j, E_g, \mu_n') \Delta E_g' w_n' \end{aligned} \quad (3.16)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Boltzman Transport denkleminin S_N metodu yardımıyla nümerik çözümünde başlangıç için kabul edilen akı değerlerinden hareket edilerek iteratif olarak, epsilon (ϵ) ile ifade edilen küçük bir toleransa kadar konverjans elde edilinceye kadar; J=1'den i ve n'den N'e , g=1'den IG'ye, L=1'den LMAX 'a kadar (3.16) denklem sistemleri yardımıyla, uzay koordinatı, enerji gurubu ve açı sektörüne bağlı nötron akısının değeri aranır.

Açıya bağılı nötron akısının S_4 yaklaşımı ile ifadesi:

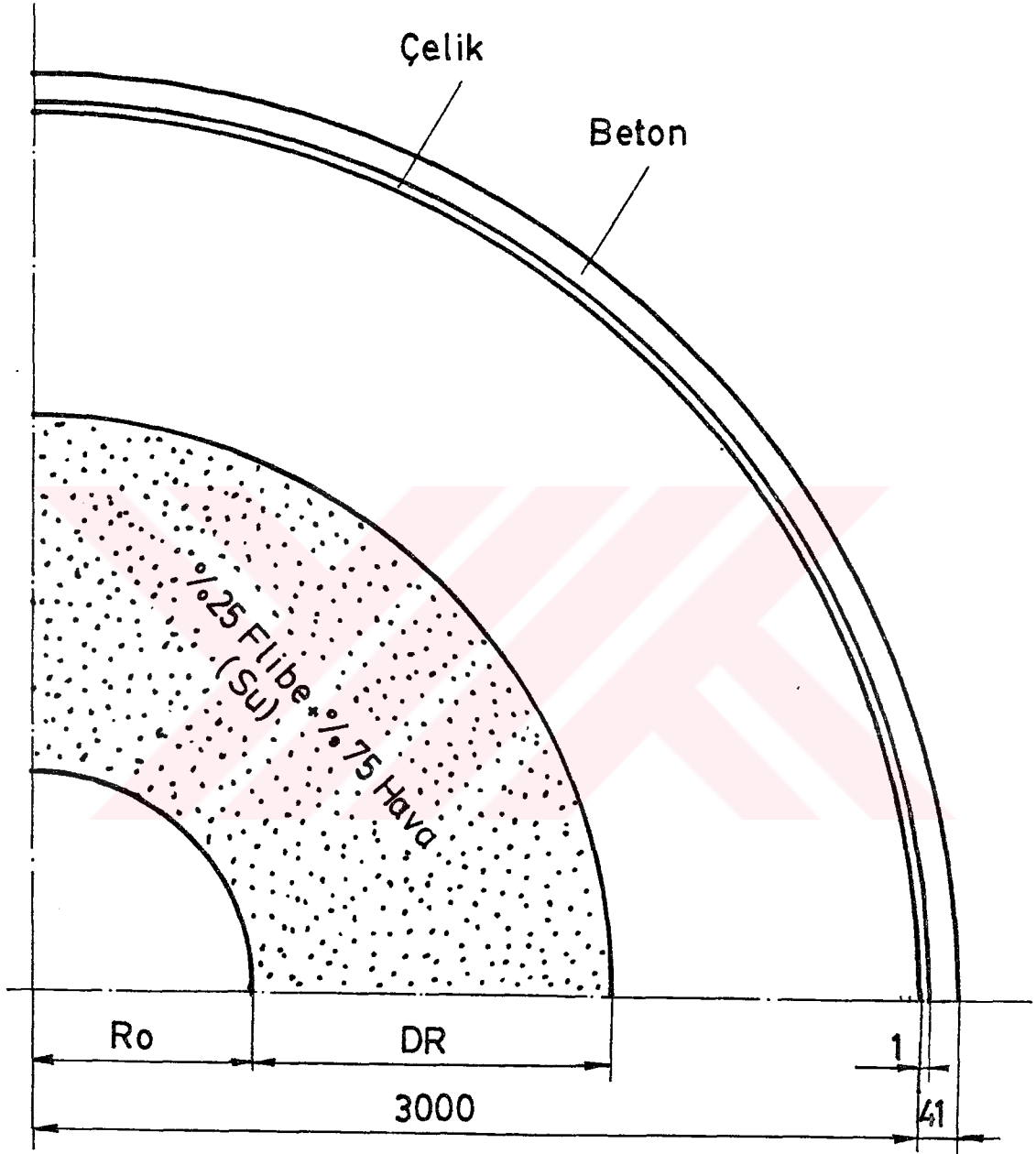


- 1) Gerçek akı dağılımı
- 2) Akının açı sektörlerinde lineer olduğunu kabul eden yaklaşım
- 3) Akının açı sektörlerinde sabit olduğunu kabul eden yaklaşım

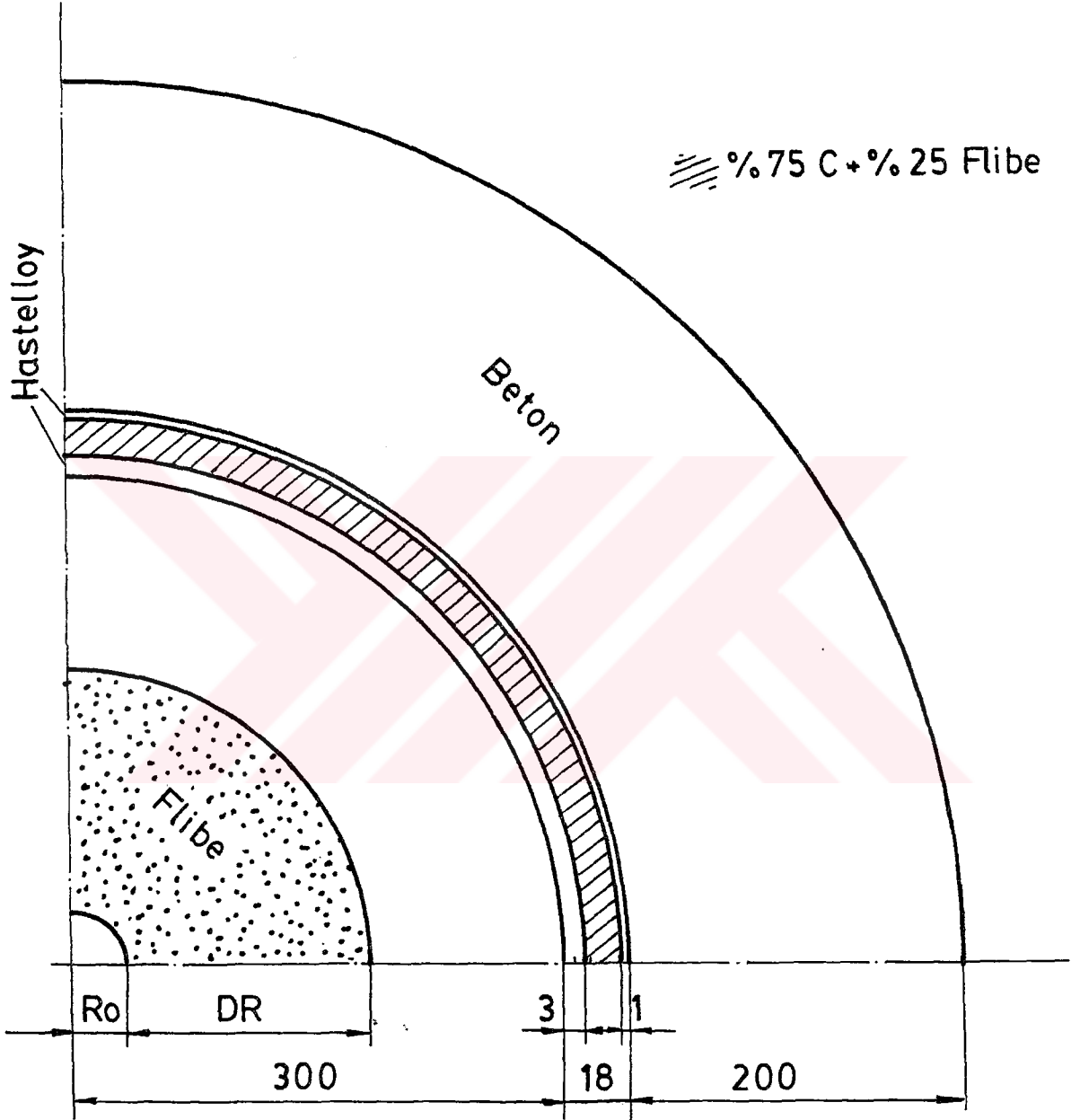
3.2 HESAPLAMA İŞLEMİNDE SEÇİLEN GEOMETRİLER

Hesaplamalar basit olması açısından ve reaksiyon odasının geometrik benzerliğinden hareketle bir boyutlu küresel geometride yapılmıştır. Kapalı küresel geometride yapılan hesaplamalar Pacer, MHD ve Hylife-II için, geometrik benzerlikten dolayı, ya doğru yada doğruya yakın neticeler verecektir. Seçilen ve hesaplamalarda kullanılan küresel geometriler PACER uygulaması için şekil-4' de, HYLIFE-II uygulaması için şekil-5'de ve MHD uygulamaları için soğutucunun LiH olması halinde şekil-7' de ve diğer haller içinde şekil-6' da görülmektedir.

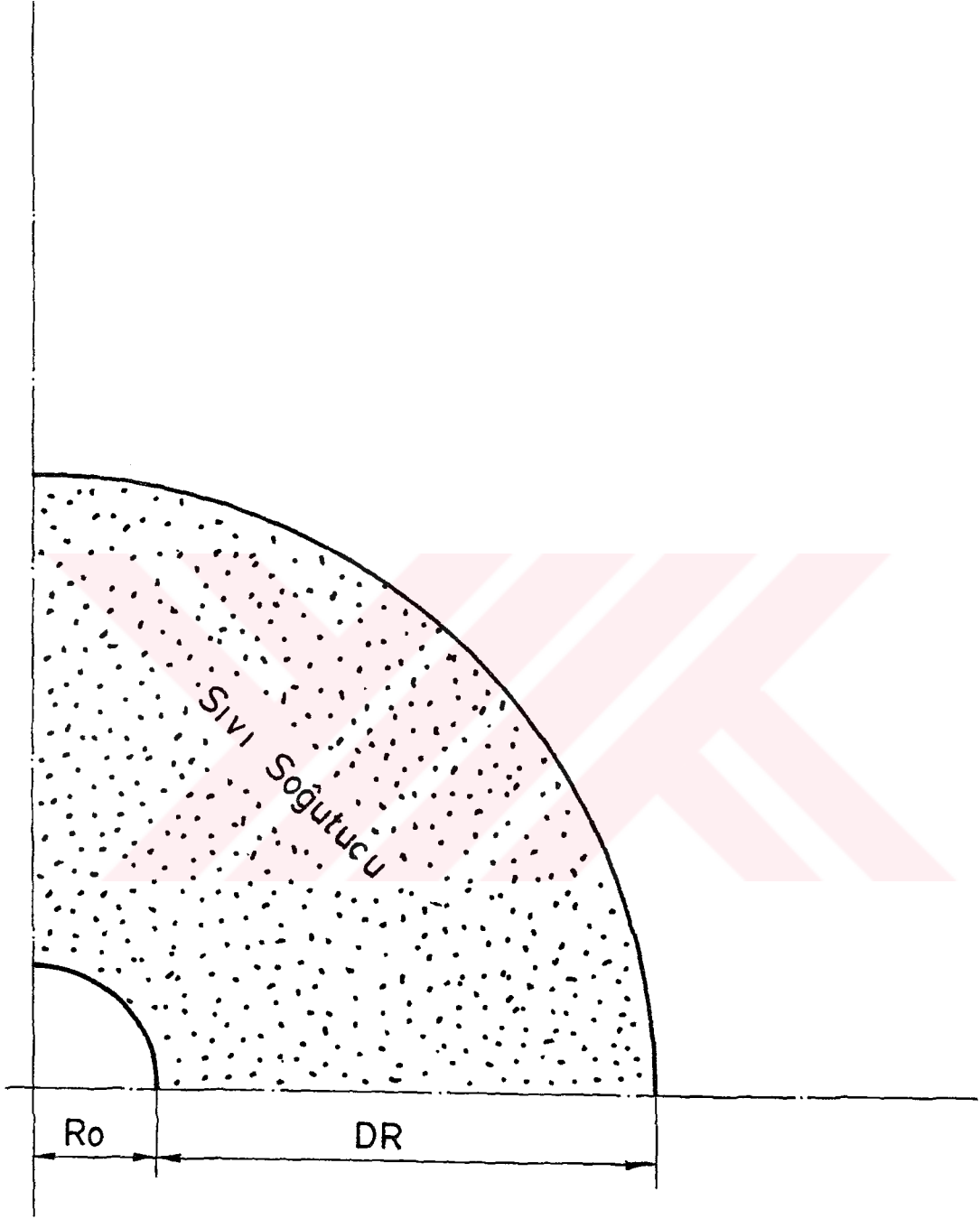
Enerji absorpsiyonu ve trityum üretimi için en uygun soğutucu



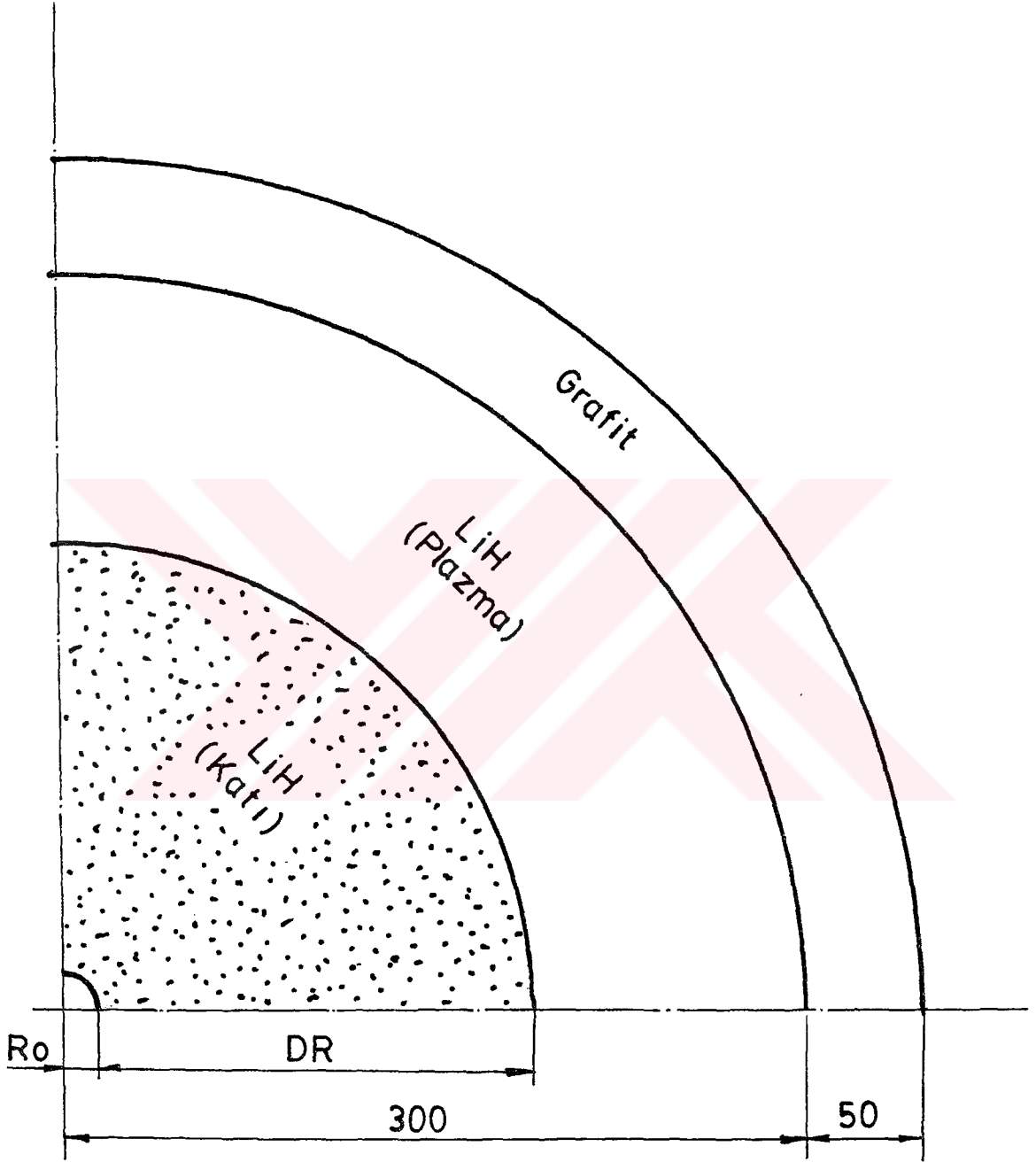
Şekil-4 Küresel geometride nümerik hesaplamalar için PACER reaktör odasının kesit görünüşü.



Şekil-5 Küresel geometride nümerik hesaplamalar için HYLIFE-II reaktör odasının kesit görünüşü.



Şekil-6 Küresel geometride nümerik hesaplamalar için MHD reaktör odasının, vakum sınır kabulü ile elde edilen kesit görünüşü.



Şekil-7 Küresel geometride nümerik hesaplamalar için MHD reaktör odasının, soğutucunun LiH olması halinde, kesit görünüşü.

bölge kalınlığını tespit etmek için değişik DR kalınlıklarında hesaplamalar yapılmıştır. Bu kalınlık değerleri MHD ve HYLIFE-II uygulamaları için 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200 cm , Pacer uygulaması için 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0 m olarak alınmıştır. MHD uygulamalarında trityum üretiminin, soğutucu olarak LiPb ve tabii lityum eriyik tuzları kullanılması durumunda, artan bir yapı arzemesi nedeniyle DR 300 ve 400 cm değerleri içinde hesaplama yapılmıştır. Pacer uygulamasında DR değerlerinin aynı patlama büyüklüğü için büyük olmasının sebebi , soğutucu bölgenin %75 hava ve % 25 Flibe ile homojenize olmuş şekilde dizaynından kaynaklanmaktadır. HYLIFE-II ve MHD uygulamalarında soğutucu bölgenin iç çapı , soğutucunun Flibe olması durumunda, Ro, 5 ve 50 cm olarak, Pacer uygulamasında ise Ro= 5 m olarak alınmıştır. MHD uygulamaları için reaktör odası 100 atm (10 MPa) lik basınç dalgalarına dayanıklı 20 cm kalınlığındaki çelik ile kuşatılmıştır. Hesaplamalar 20 cm lik çeliğin nötron refleksiyonunun çok küçük olduğunu göstermiştir. Transport teorisinde küçük refleksiyonlar soğutucu bölge ötesinde vakum şartların varlığı ile açıklanmaktadır. Bu faraziye soğutucu bölgenin ötesinde sonsuz nötron absorsiyonuna sahip bir bölgenin varlığını ortaya çıkaracaktır. Bu şartlar altında yapılan hesaplamalar trityum üretimi gibi diğer üretimler açısından da bir hata meydana getirmemiştir. İlginçtir, çelik yapılı ve çelik yapısız hesaplamaların her ikisinde de TBR değerleri değişmemiştir. şekil-6 da, çalışma akışkanının Flibe, Tabii lityum ve LiPb olması halinde, vakum sınır şartları ile hesaplanmış model görölmektedir.

MHD uygulamasında soğutucunun LiH olması durumunda diğerlerine göre hidrojenin varlığından dolayı geometride değişiklikler yapılmıştır. LiH içerisindeki hidrojen elastik çarpışmalarla nötron spektrumunu yumuşatacaktır. şekil-7 de göröldüğü gibi çelik duvar önünde grafit reflektör kullanılmasıyla nötron absarsiyonu artacaktır. Önceki patlamaların artığı olarak grafit önünde LiH, plazma formundan müteşekkil bir bölge meydana gelecektir. Kısa nötron spektrumunun trityum üretimine olan etkisi hesaplamalar neticesinde görülecektir.

Bu çalışmada tüm uygulamalar için kullanılan materyallerin atomik yoğunlukları Tablo-II de görülmektedir. Dikkat edilirse LiH' in yoğunluğu , Li bileşikleri içinde en yüksek değere sahiptir.

Hesaplamalar IBM-RISC/6000 de, nötron transport kodu ANISN ile Boltzman Transport denkleminin çözülmesiyle ve CLAW-IV [5] nötron transport ve aktivite etki-kesit kütüphanesi kullanılarak yapılmıştır. CLAW kütüphanesi LANL'nin (Los Alamos National Laboratuvarı) yaygın kullanılan bir versiyonudur [6]. Bu data grubu noktasal etki-kesit linerazisyonuna ve % 5 yeniden yapılanma toleransına sahiptir. Nötron etki kesitleri bir füzyon , fisyon ,1/E termal ağırlık fonksiyonu ile Bondranko [19] akış yaklaşımı kullanılarak 30 enerji grubu üzerinden işlenmiştir. Enerji yapısı MeV mertebesinde 12, KeV mertebesinde 9 ve eV mertebesinde 9 nötron grubuna sahiptir. CLAW Füzyon nötronik çalışmaları içinde geniş bir kullanıma sahiptir. Bu nedenle bu çalışmada da nötronik hesaplamalar için CLAW kullanılmıştır. Açısal nötron akısının toplamı Gaussian Quadrete kullanılarak S16-P3 yaklaşımından bulunmuştur. LiPb , TART Monte Carlo Transport kodu kullanılarak ENDL etki kesit kütüphanesinde hesaplanmıştır. Normalizasyon, her patlamanın MHD ve HYLIFE uygulamaları için $3.5466E+20$ tane 14.1 MeV lik füzyon nötronu ile 1 GJ luk füzyon enerjisi verecek şekilde düzenlenirken, Pacer uygulamasında ise $2.9500E+24$ tane 14.1 MeV lik füzyon nötronu ve 8 GJ'luk füzyon enerjisi verecek şekilde düzenlenmiştir. Hedefte nötronların birbirine etkisi ihmal edilmiştir.

Parametrik çalışmaya başlamadan önce bazı deneme hesaplamaları, Flibenin kullanılmasıyla, DR ,10,40 ve 80 cm alınarak yapılmıştır. Bu yolla şekil-6 daki modelin doğruluğu araştırılmıştır.

Mühendislik açısından TBR ve enerji absorsiyon yoğunluğu en önemli değerlerdir. Çelik duvarlı (= 20 cm) ve çelik duvarsız yapılan hesaplamaların neticeleri, Flibe için, Tablo-III' de çıkarılmıştır. Bu tablodan soğutucu bölge ötesinde vakum kabulü ile elde edilen yapının doğruluğu rahatlıkla görülebilir.

Tablo-II Atomik Yoğunluklar (*)

MHD ve HYLIFE-II Uygulamaları			Pacer Uygulamaları		
Materiyal	Çekirdek	Yoğunluk ₃ (atom/cm ³)	Materyal	Çekirdek	Yoğunluk ₃ (atom/cm ³)
Flibe	Li-6	1.80900E-03	Hava (Nevada)	Nitrojen Oksijen	4.0760E-5
	Li-7	2.23102E-02			9.4860E-6
	Be-9	1.20600E-02	Flibe	Li-6 Li-7 Berilyum Flor	4.5225E-4
	F-19	4.82384E-02			5.5776E-3
Li-H	Li-6	4.75700E-03	SS-316	Silikon Krom Manganez Demir Nikel Molibden	3.0149E-3
	Li-7	5.81610E-02			1.2060E-2
	H-1	6.29180E-02			1.7108E-3
Tabii-Li	Li-6	3.18977E-03			1.6627E-2
	Li-7	3.93418E-02			1.7548E-3
Li ₁₇ PB ₈₃	Li-6	4.16903E-04			5.7651E-2
	Li-7	5.14180E-03			8.1863E-3
	Pb	2.71396E-02			1.0022E-3
%75 C + %25 Fl	Li-6	4.52250E-04	Toprak (Nevada)	Hidrojen Oksijen Magnezyum Sodyum Alüminyum Silikon Demir	9.6130E-3
	Li-7	5.57755E-03			3.5730E-2
	Be-9	3.01492E-03			4.9010E-4
	C-12	8.46300E-02			4.4520E-4
	F-19	1.20596E-02			4.5080E-4
Hastel- loy	Si	4.99450E-06	Water	Hidrojen Oksijen	1.1640E-4
	Ti	1.33343E-03			3.4270E-4
	Cr	5.83000E-03			1.6730E-4
	Mn	1.62914E-05			8.3650E-3
	Fe	8.48765E-06			
	Ni	7.09157E-02			
	Nb	5.55584E-04			
	Mo	7.69919E-03			
Toprak	H-1	9.00000E-03	* : Yoğunluklar 10 ²⁴ ile çarpılarak okunacaktır.		
	O-16	3.98000E-02			
	Na-23	1.30000E-03			
	Al-27	3.10000E-03			
	Si	1.25000E-02			
	Ca	4.40000E-03			
	Fe	2.10000E-03			
Grafit	C-12	1.12840E-01			
Plazma	Li-6	1.14624E-06			
	Li-7	1.40144E-05			
	H-1	1.51607E-05			

Tablo-III: Soğutucunun Flibe olması halinde çelik duvarlı ve çelik duvarsız hesapların karşılaştırılması

	10 cm	40 cm	80 cm
TBR*	0.10815	0.83943	1.2462
TBR**	0.10885	0.83943	1.2485
Hata(%)	-0.3594	-1.1889	-0.1842
E(J/gr)*	17659	1235.6	209.38
E(J/gr)**	17669	1239.4	209.51
Hata(%)	-0.0566	-0.3066	-0.062
(n,2n)*	0.10299	0.20695	0.21559
(n,2n)**	0.10301	0.20697	0.21559
Hata(%)	-0.01941	-0.00967	0

* : Soğutucu bölgenin devamında vakum sınır şartı kabulü ile yapılan hesaplama

** : Soğutucu bölgenin devamında R=300 cm mütakip 20 cm kalınlığında çelik duvar ile yapılan hesaplama

E : J/gr olarak ortalama enerji absorpsiyonu

n,2n : Soğutucu bölgede nötron çoğalması

BÖLÜM-IV

NÜMERİK NETİCELER

Bu çalışmanın amacı bahsedilen materyaller için MHD, HYLIFE-II ve Pacer uygulamalarında TBR ve enerji depolanması için en uygun soğutucu bölge kalınlığının hesaplanmasıdır. Başka bir amaçta nötron çoğalmasının ve soğutucu bölge dışına nötron kaçağının uygun büyüklüklerindeki bulmaktır. Bu hesaplamalar yardımcı kod ERDEMLİ de (Ek-2,[18]) gerekli amaçlar için yapılmıştır. ERDEMLİ için örnek bir input EK-3 de verilirken, input hazırlama metodu ve programın kullanımı hakkındaki bilgi ise EK-3 de verilmiştir.

Pacer uygulamasında 30 yıllık kullanma süresi sonunda, çelik ve toprak (beton) içindeki aktivasyon , takip eden 30 yıllık zaman dilimi için tetkik edilmiştir. Pacer tesisinin çok büyük hacimli olması 30 yıllık çalışma periyodu sonunda , depo vb amaçlarla kullanılması yönünden , aktivasyon hesabı gerekli olmuştur. Diğer uygulamalar ise hacim yönünden Pacer'e göre hacim yönünden gözardı edilebilecek büyüklüklere sahiptir.

4.1 PACER UYGULAMALARI İÇİN NÜMERİK NETİCELER

4.1.1 Tritiyum Üretimi (TBR)

Birbirleriyle ilgili olması bakımından nötron çoğalması ve

nötron kaçakları trityum üretimi ile birlikte değerlendirilmiştir. Pacer uygulamalarında su trityum üretmezken ,sadece Flibe'den trityum elde edilmektedir.

Şekil- 8, 9.a, 9.b ve 10'da sırasıyla Pacer uygulamasında, soğutucu bölge kalınlığı DR'nin fonksiyonu olarak, TBR, nötron kaçağı ve nötron çoğalmasının değişimi görülmektedir.

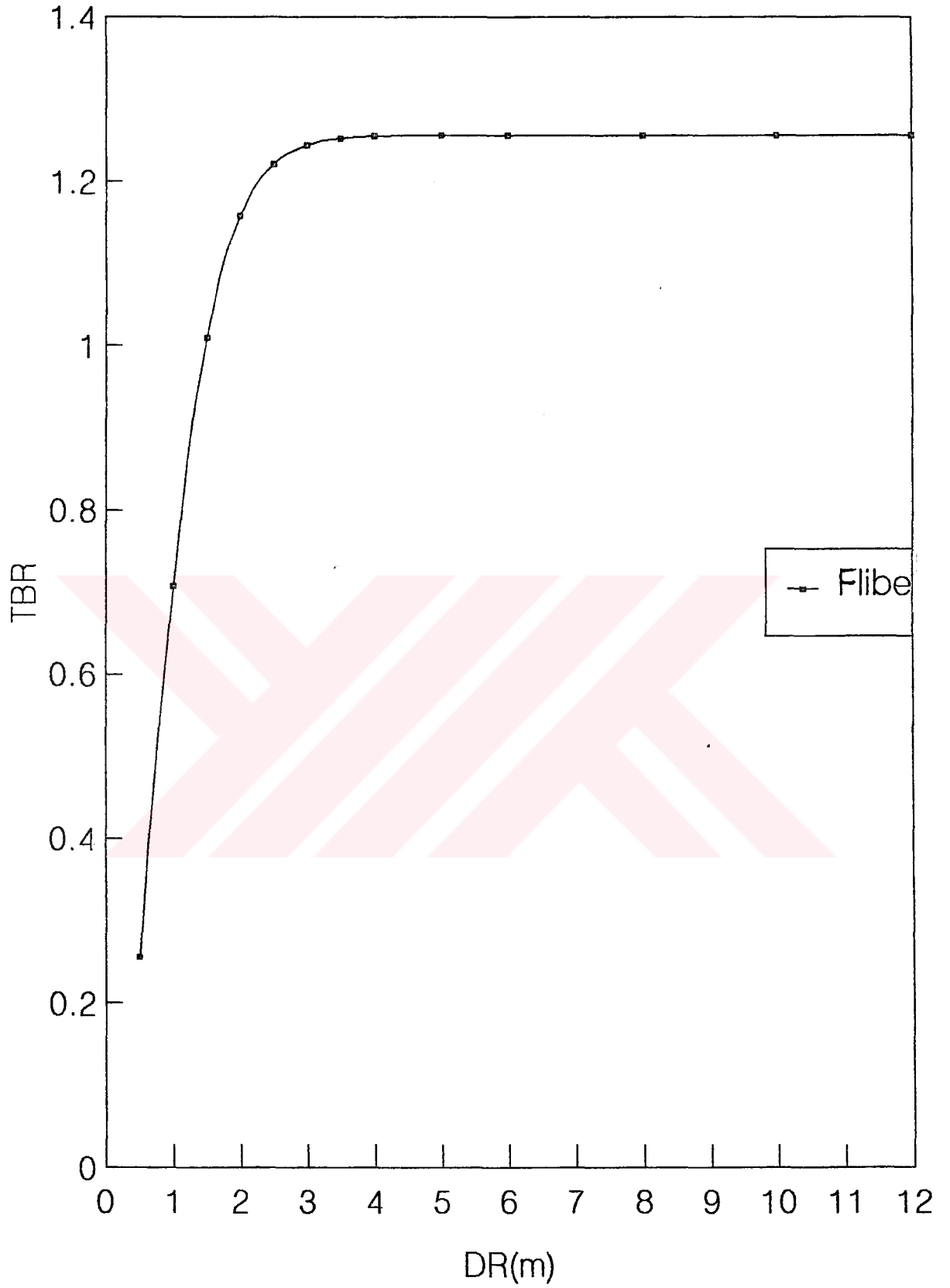
Pacer uygulamasında , DR = 3 m iken nötron çoğalması 0.22639 ve TBR değeri 1.2437 olurken kaçaklar %1 civarında olmaktadır. DR=6 m. için TBR =1,2558 'e nötron çoğalması 0.2265 'e yükselmektedir. Daha büyük kalınlıklarda ise değişimler asimtotik olarak devam etmektedir. İki kalınlık arasında TBR ve nötron kaçakları % 1 nispetinde artarken , soğutucu hacmi 3 kat artmaktadır. Bu tespit de pahalı bir akışkan olması ve ortam sıcaklığının daha fazla kütle ile düşmesi nedeniyle ilginçtir. Pacer 'de suyun kullanılmasının nedeni test amaçlı çalışmalara yardımcı olmaktır. En büyük faydası ucuz bir enerji depolama materyali olmasıdır.

Pacer uygulaması için nötron çoğalması DR>3.5 m için asimtotik hale gelmektedir. Fazla soğutucu akışkan kullanılması ortamın sıcaklığını düşürürken , maliyetlerede olumsuz bir şekilde etki yapmaktadır. Bu nedenle trityum üretimi açısından soğutucu bölge kalınlığının tespitinde maksimum değer seçilirken dikkat edilmelidir. Diğer taraftan soğutucu bölge kalınlığının küçük alınması, fazla nötron kaçağından dolayı, reaksiyon odasının duvarlarının radyoaktif yönden hasarına sebep olacağından dikkatli bir tercih yapılmalıdır.

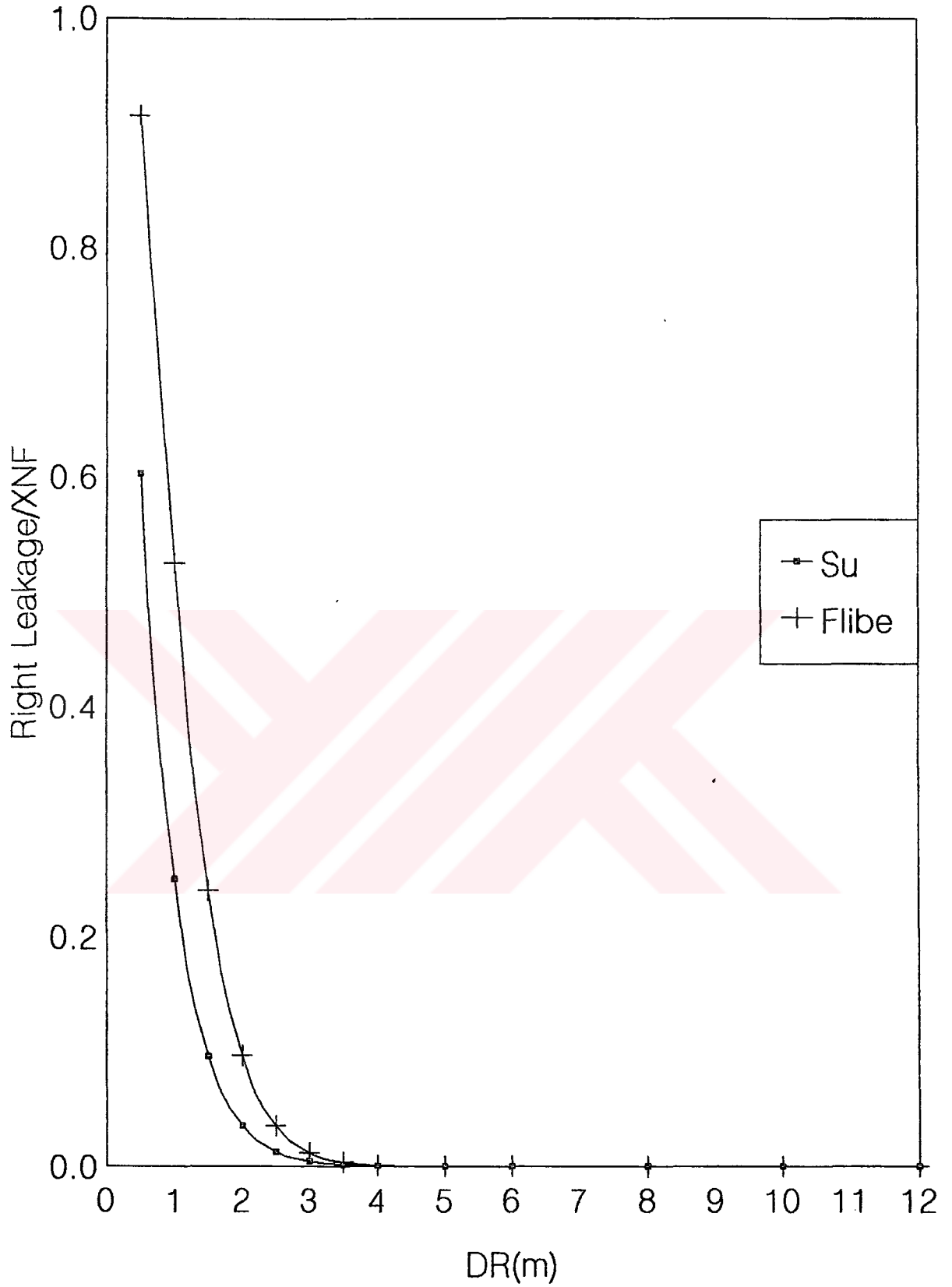
4.1.2 Soğutucu Bölgede Enerji Absorbsiyonu

Soğutucu bölgede enerji absorpsiyonu üç ana yolla gerçekleşir.

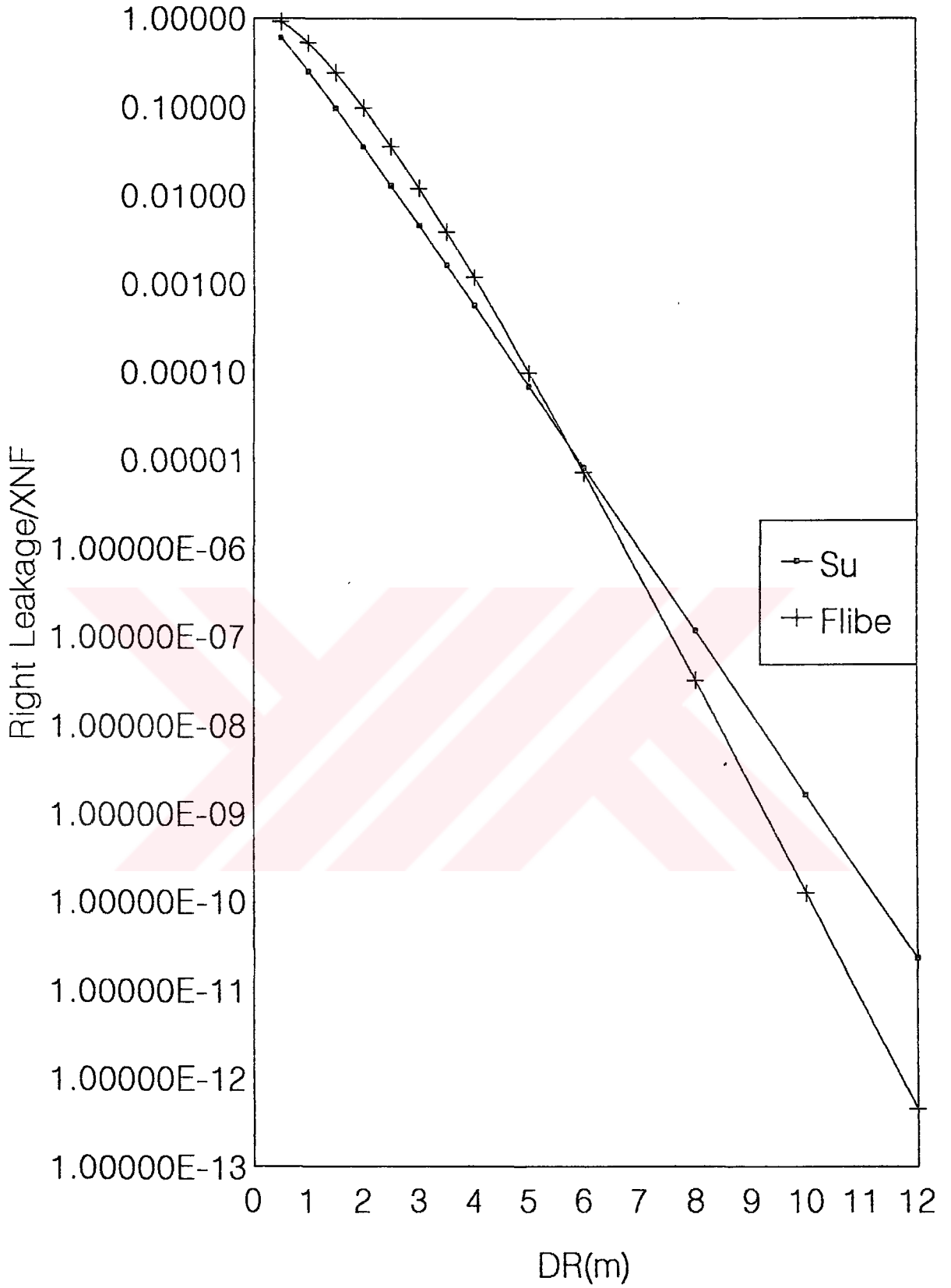
- Ani nötron ve ısınma
- Alfa ısınması
- Radyoaktif bozunma ısınması



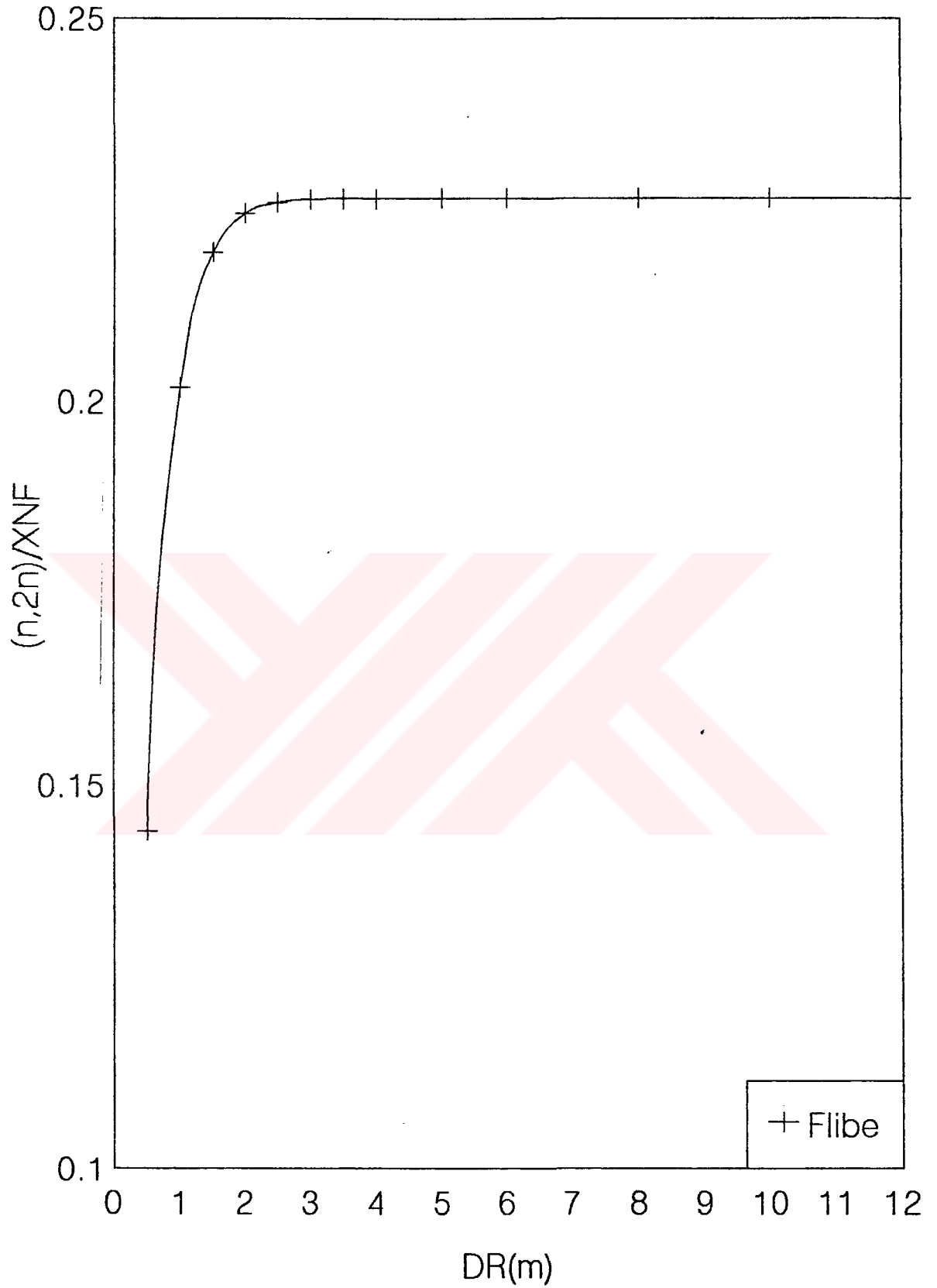
Şekil-8 PACER uygulamasında, DR' nin fonksiyonu olarak, TBR değerinin değişimi



Şekil-9.a PACER uygulamasında, DR' nin fonksiyonu olarak, soğutucu bölge dışına kaçan nötronların normalizasyon faktörüne oranının değişimi (lineer skalada)



Şekil-9.b PACER uygulamasında, DR' nin fonksiyonu olarak, soğutucu bölge dışına kaçan nötronların normalizasyon faktörüne oranının değişimi (logaritmik skalada)



Şekil-10 PACER uygulamasında, DR' nin fonksiyonu olarak, soğutucu bölgedeki nötron çoğalmasının normalizasyon faktörüne oranının değişimi

Ani nötron ısınması patlamayı müteakip mikro saniye zaman zarfında soğutucuda kendini gösterir. Tablo-4'de PACER uygulamalarında çalışılan haller için j/gr olarak , soğutucunun iç, orta ve dış yüzeylerinde meydana gelen ısınmalar görülmektedir. Aynı tabloda soğutucu bölgedeki ortalama enerji absorpsiyonu j/gr olarak görülmektedir. Ortalama absorpsiyonu oranı $E(\text{MeV})/17.6\text{MeV}$ olarak Şekil- 11'de Pacer uygulaması için DR nin fonksiyonu olarak görülmektedir. Füzyon nötronları için soğutucu bölge dış blanket görevi görmektedir. Ani nötron ısınması bölge içerisinde exponansiyel olarak azaldığı tablo-4' de gözlenebilir. DR nin artmasıyla ani nötron ısınmasında artar. Artan kalınlık dış yüzeydeki ısınmayı minimum hale getirir. TBR değeride dikkate alınarak , ani nötron ısınmasına az katkısından dolayı DR nin mümkün olan en küçük değeri seçilir. Büyük DR daha fazla akışkan kullanımını gerektirir. Fazla akışkan ise ortamın sıcaklığını düşürürken, materyal ve konstrüksiyon maliyetini artırır.

Nötronlardan başka alfa parçacıklarında füzyon enerjisinin % 20 sini taşırlar ve soğutucu içerisine depolarlar. Nötronlar ve alfa parçacıkları tarafından taşınarak akışkan içerisine depolanan 1 GJ luk enerji 250 kg TNT nin patlamasına eşdeğedir. Patlamalar seri şekilde devam ederken sonra meydana gelen patlamalar, daha önce açığa çıkan ısının bir kısmında içine alarak ısı açığa çıkarılırlar ve belli bir patlama sayısından sonra denge oluşur. Enerji absorpsiyonuna bağlı olarak soğutucuda iyonizasyon ve ayrışmalar meydana gelecektir. Üçüncü ısı depolama yoluda radyoaktif bozunma sonucu ortaya çıkan geçikmeli nötronlar tarafından gerçekleştirilir. Bu ısınmanın ani nötron ısınmasının % 1' inden daha küçük olduğu hesaplamalar sonucu görülmüştür.

4.2 MHD ve HYLIFE-II UYGULAMALARI İÇİN NÜMERİK NETİCELER

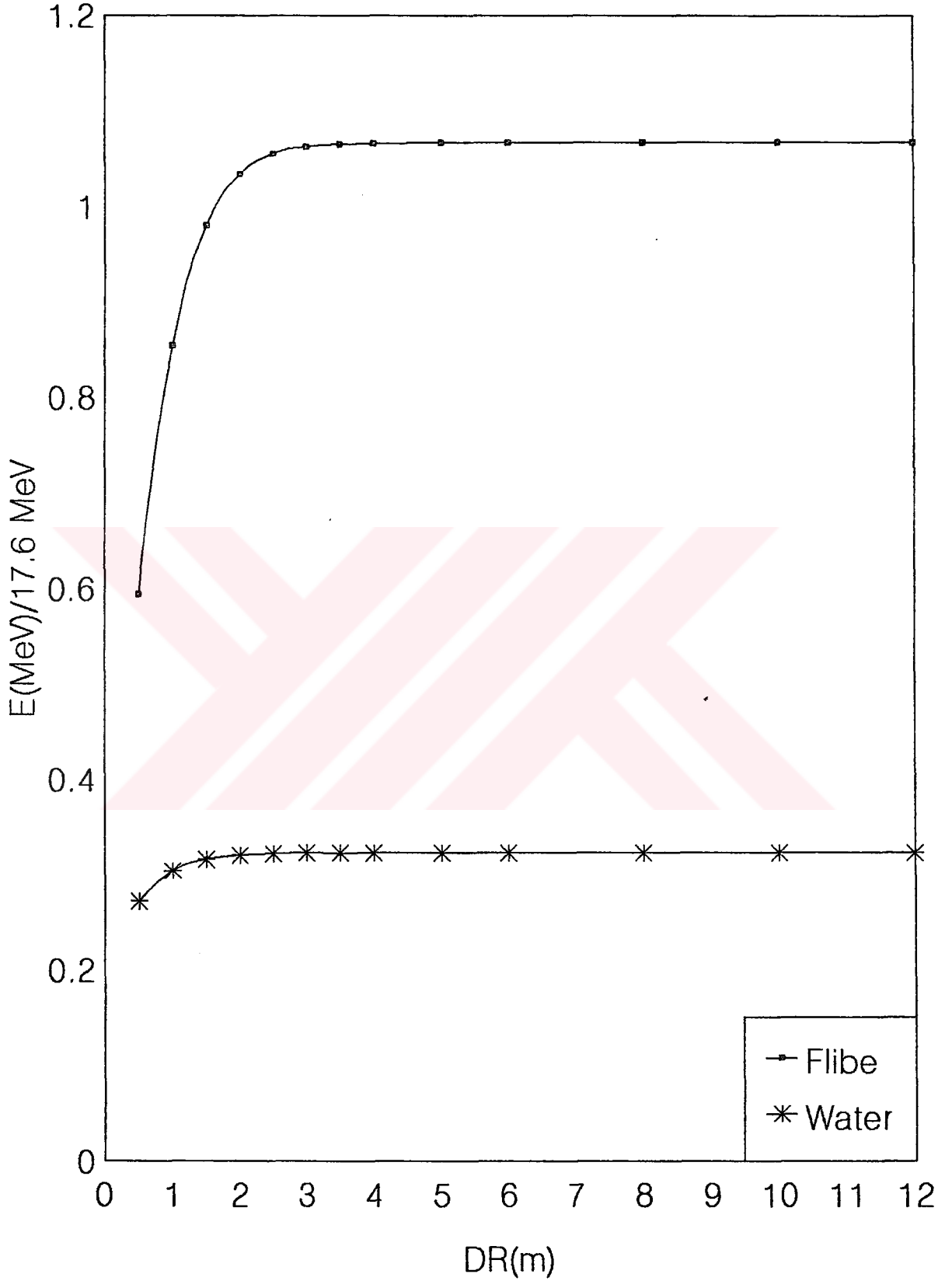
4.2.1 Trityum Üretimi

Birbirleriyle ilgili olması bakımından nötron çoğalması ve nötron kaçakları trityum üretimi ile birlikte değerlendir-

Tablo-4 : Pacer Uygulamasında Soğutucu Bölgedeki Enerji Absorbsiyon Değerleri (J/gr)

DR (m.)	Flibe	Su	DR (m.)	Flibe	Su	
0.5	6.34081E+04 3.97980E+04 1.95628E+04 9.56260E+03	5.55460E+03 3.58700E+03 1.83120E+03 3.47740E+03	4.0	7.17737E+04 1.31808E+03 1.17475E+01 1.44010E+03	5.62600E+03 6.71730E+01 5.86130E-01 4.05300E+02	a b c d
1.0	7.03798E+04 2.71091E+04 7.63758E+03 7.21580E+03	5.62060E+03 2.08730E+03 5.93910E+02 2.27620E+03	5.0	7.17737E+04 4.29313E+02 9.50121E-01 9.94470E+02	5.62600E+03 2.10660E+01 5.96020E-02 2.79850E+02	
1.5	7.16222E+04 1.76291E+04 2.92242E+03 5.23620E+03	5.62560E+03 1.22430E+03 1.87970E+02 1.54460E+03	6.0	7.17737E+04 1.32402E+02 6.93758E-02 7.21550E+02	5.62600E+03 6.61780E+00 6.15670E-03 2.03050E+02	
2.0	7.17596E+04 1.06061E+04 1.08093E+03 3.84170E+03	5.62600E+03 6.77560E+02 5.91090E+01 1.10050E+03	8.0	7.17737E+04 1.09596E+01 3.09192E-04 4.19970E+02	5.62600E+03 6.59200E-01 6.87250E-05 1.18190E+02	
2.5	7.17717E+04 6.54424E+03 3.78667E+02 2.89240E+03	5.62600E+03 3.90290E+02 1.85790E+01 8.18890E+02	10.0	7.17737E+04 7.90646E-01 1.20741E-06 2.67750E+02	5.62600E+03 6.66300E-02 8.11200E-07 7.53470E+01	
3.0	7.17737E+04 3.83071E+03 1.25137E+02 2.23870E+03	5.62600E+03 2.69760E+02 1.84860E+00 6.31140E+02	12.0	7.17737E+04 5.20828E-02 4.38040E-09 1.81740E+02	5.62600E+03 6.83790E-03 1.00630E-08 5.11440E+01	
3.5	7.17737E+04 2.31050E+03 3.92222E+01 1.77660E+03	5.62600E+03 1.54750E+02 5.86140E+00 5.00200E+02				

- a - Soğutucunun iç yüzeyindeki ısınma (j/gr) (R=Ro)
b - Soğutucunun orta bölgesindeki ısınma (j/gr) (R=Ro+DR/2)
c - Soğutucunun dış yüzeyindeki ısınma (j/gr) (R=Ro+DR)
d - Akışkan bölgedeki ortalama enerji absorpsiyonu (j/gr)



Şekil-11 PACER uygulamasında ortalama enerji absorpsiyonu oranının, $E(\text{MeV})/17.6 \text{ MeV}$ olarak, DR ' ye göre değişim

dirilmiştir.

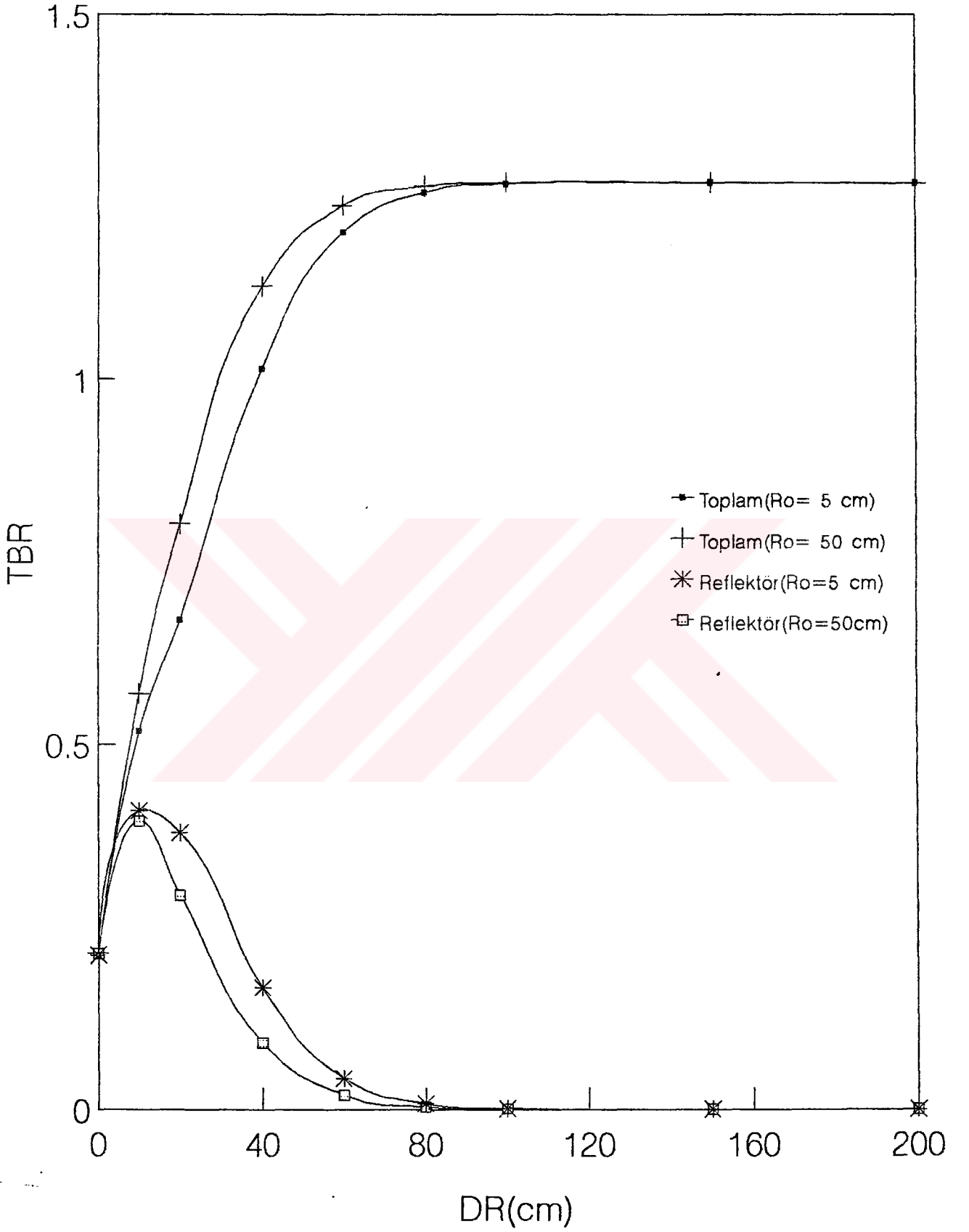
TBR, nötron kaçağı ve nötron çoğalması , zikredilen sıra ile şekil-12, 13.a, 13.b ve 14' de HYLIFE-II uygulaması için gözlenebilir. MHD uygulamalarında soğutucunun , LiPb ve tabii lityum olması durumunda , TBR değerinin daha büyük DR kalınlıklarında asimtotik olması nedeniyle farklılık mevcuttur. Şekil-16'de LiPb ve tabii lityumun TBR değerlerinin DR'ye göre değişimi, şekil-17'da diğer materyaller için TBR'nin DR'ye göre değişimi görülmektedir. Nötron kaçakları ve çoğalması ise şekil-18.a, 18.b ve 19'de verilmiştir. Bunlardan şu neticeler çıkarılabilir.

LiPb çok güçlü nötron çoğaltıcısıdır. Diğer tüm materyallerin yaklaşık 4 katı kadar bir nötron çoğalması sağlamaktadır. Tritiyum üretimi için LiH, sat Lityum ve Flibe en uygunu olurken Li-6 ve Li-7 de iyi nötron çoğaltıcısı izotoplar olarak görülmektedir. Nötron çoğalması (n,2n) MHD ve HYLIFE-II uygulamalarında DR>80 cm için, asimtotik hale gelmektedir.

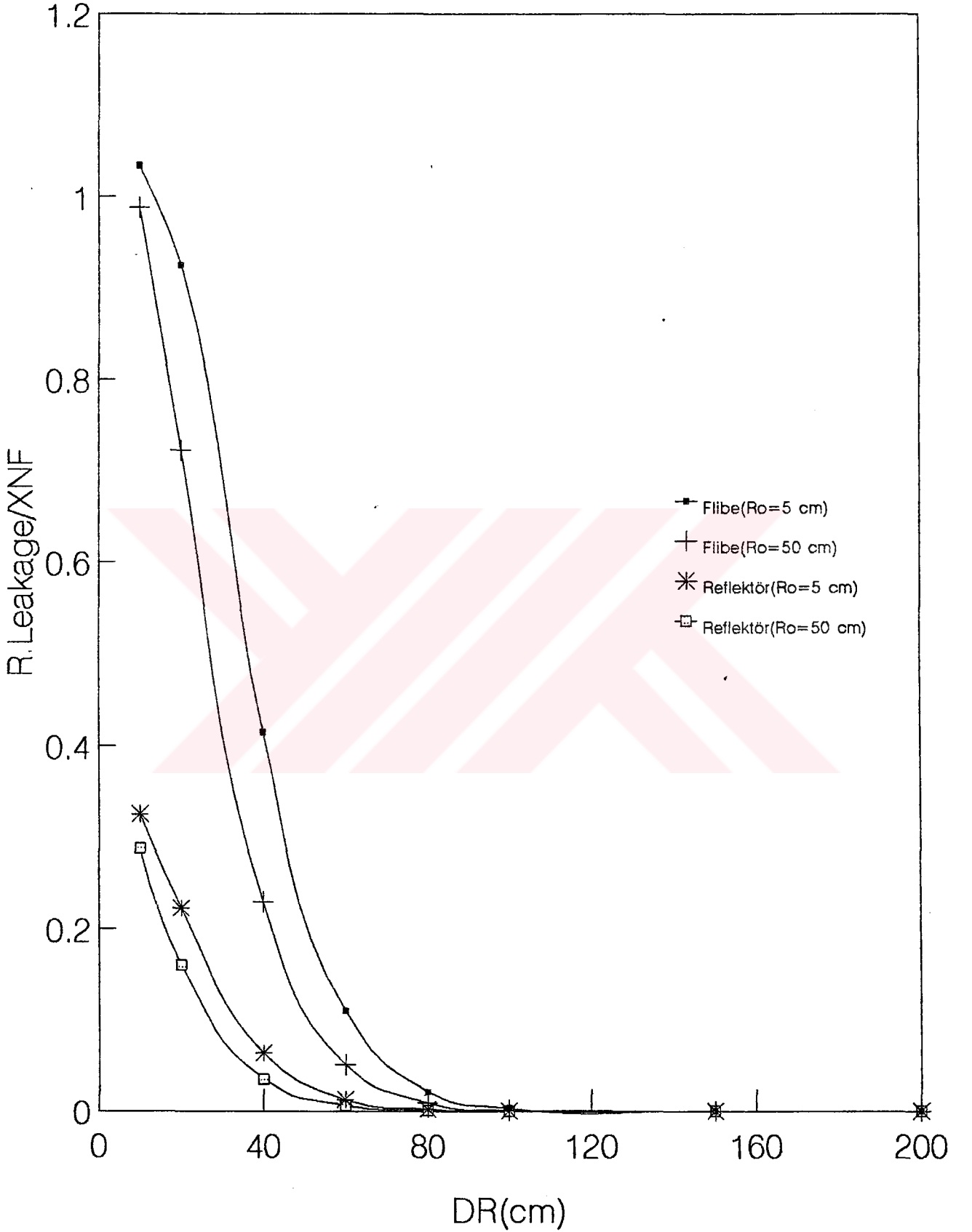
HYLIFE-II uygulamasında triyum soğutucu ve reflektör bölgede üretilirken , MHD uygulamalarında sadece soğutucu bölgelerde üretilmektedir.

HYLIFE-II uygulamasında Reflektör TBR değeri , DR = 10 cm değerine kadar önemsiz bir artış göstermektedir. Aynı hal nötron çoğalması için de geçerlidir. Bununla birlikte reflektörde TBR,soğutucu bölgenin kalın değerlerinde refleksiyonun artması nedeniyle hızlı bir düşüş göstermektedir. Bağlı olarak DR > 80 cm için reflektör bölge trityum üretimi bakımından pratik olmaktan çıkmaktadır.

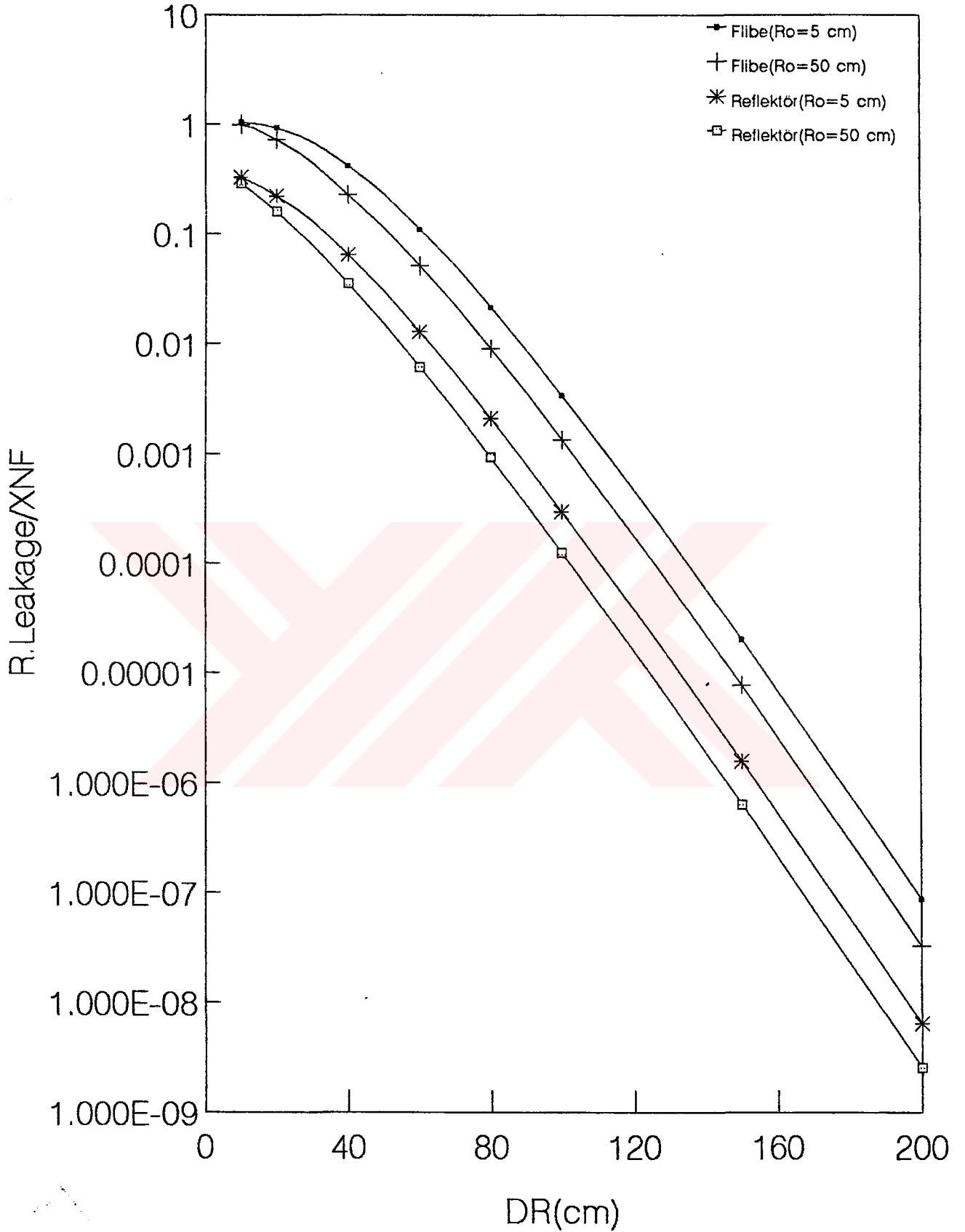
Şekillerde görüldüğü gibi tüm hallerde TBR = 1.0 kritik değerine hızlı bir yükselme gözlenmektedir. Farklı soğutucu materyalleri için farklı DR kalınlıklarında artış asimtotik hale gelmektedir. Lityum için asimtota dikkat edilirse Ref[15]' de ifade edilen 1.90 ile sınırlanan sonsuz ortam değerine yaklaşmaktadır.



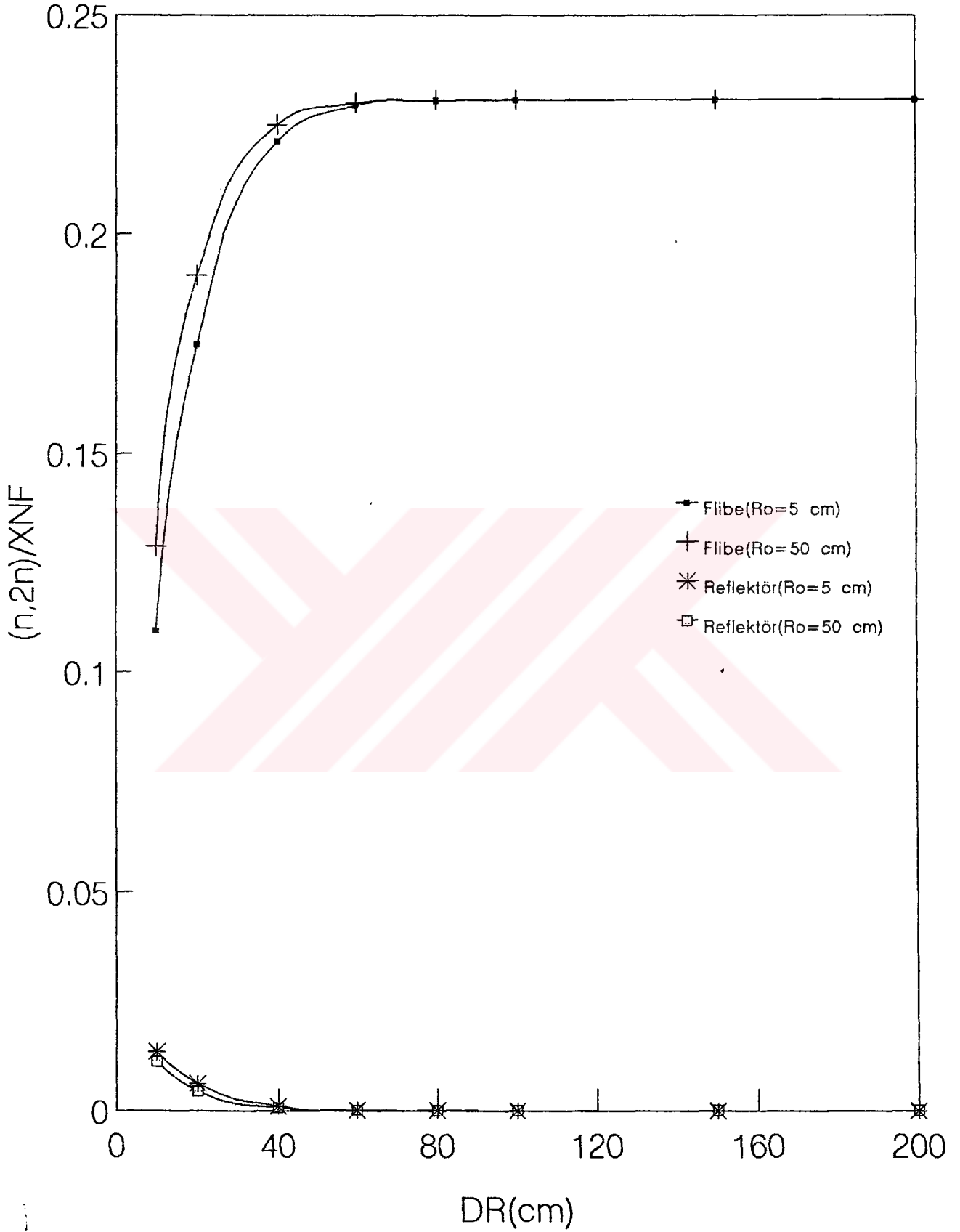
Şekil-12 HYLIFE-II uygulamasında, DR' nin fonksiyonu olarak, TBR değerinin değişimi



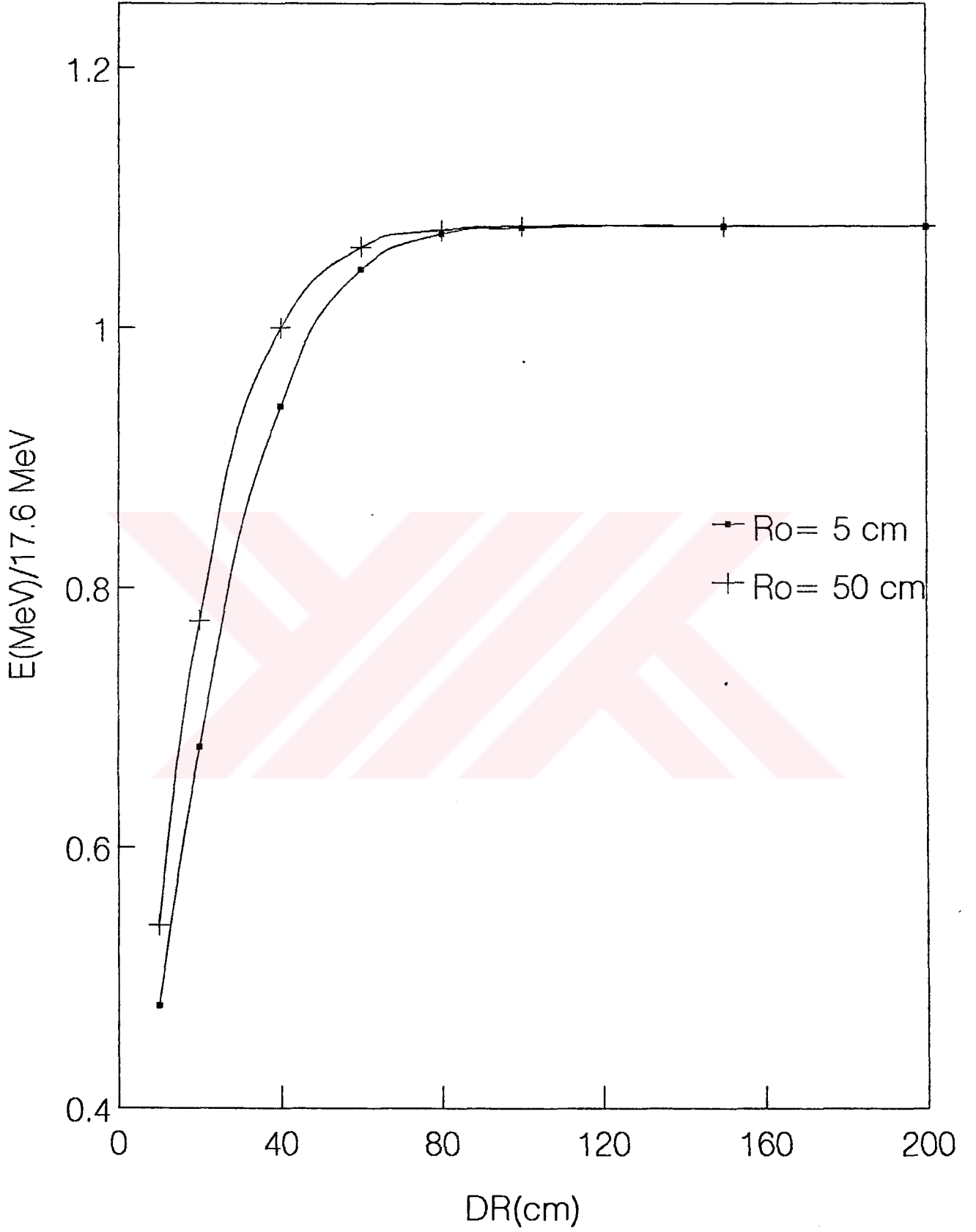
Şekil-13.a HYLIFE-II uygulamasında, DR' nin fonksiyonu olarak, soğutucu bölge dışına kaçan nötronların normalizasyon faktörüne oranının değişimi (Lineer skalada)



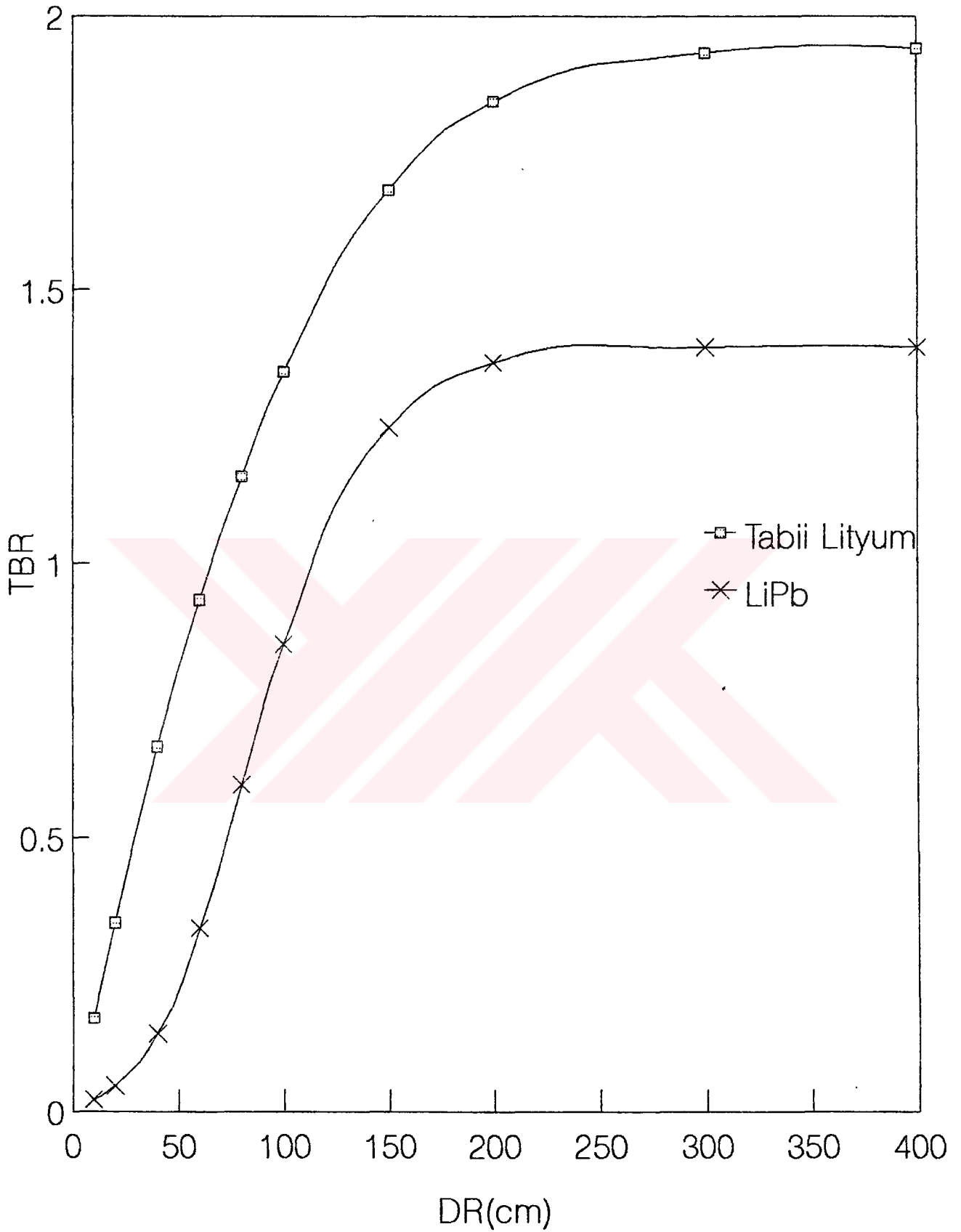
Şekil-13.b HYLIFE-II uygulamasında, DR' nin fonksiyonu olarak, soğutucu bölge dışına kaçan nötronların normalizasyon faktörüne oranının değişimi (Logaritmik skalada)



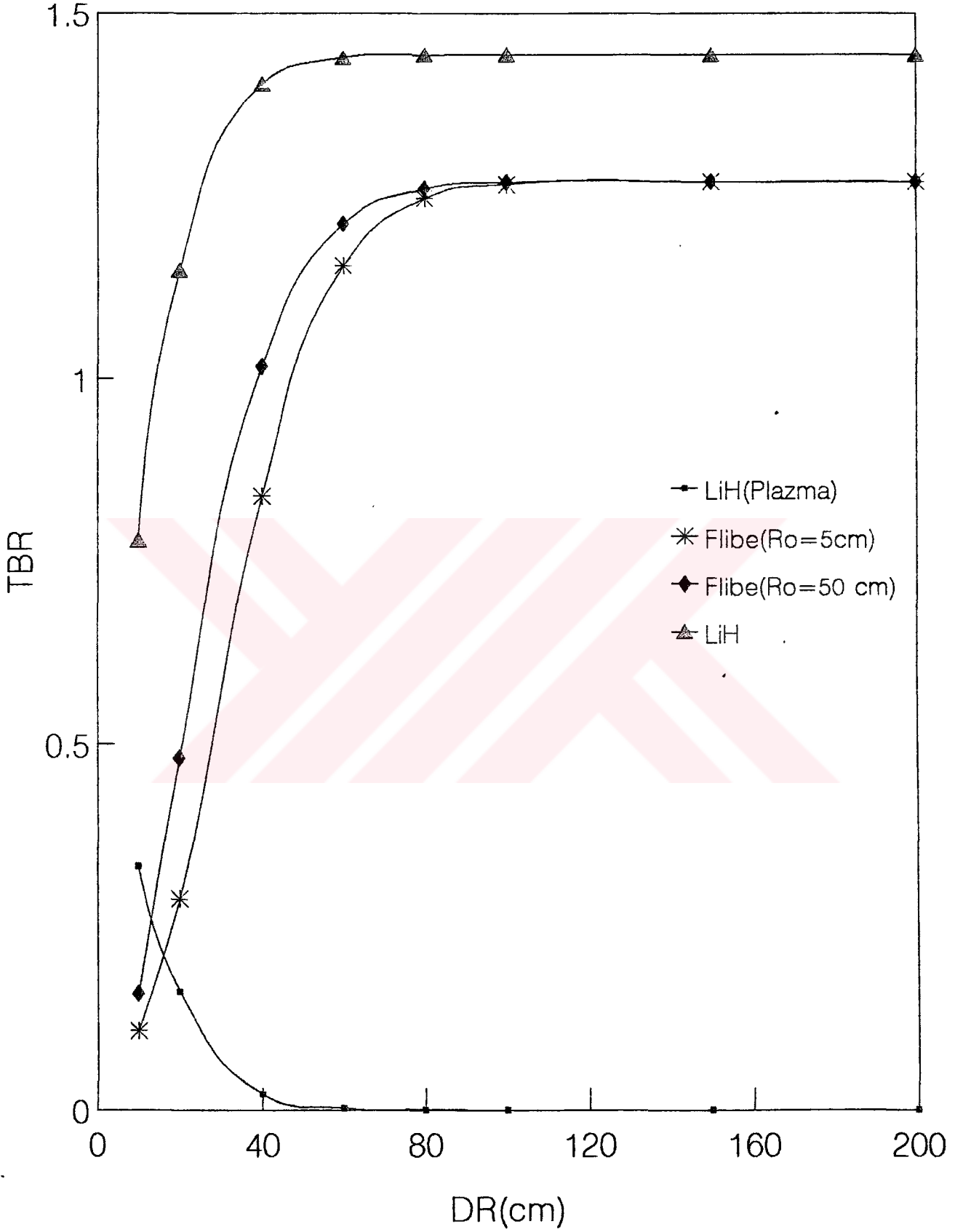
Şekil-14 HYLIFE-II uygulamasında, DR' nin fonksiyonu olarak, soğutucu bölgedeki nötron çoğalmasının normalizasyon faktörüne oranının değişimi



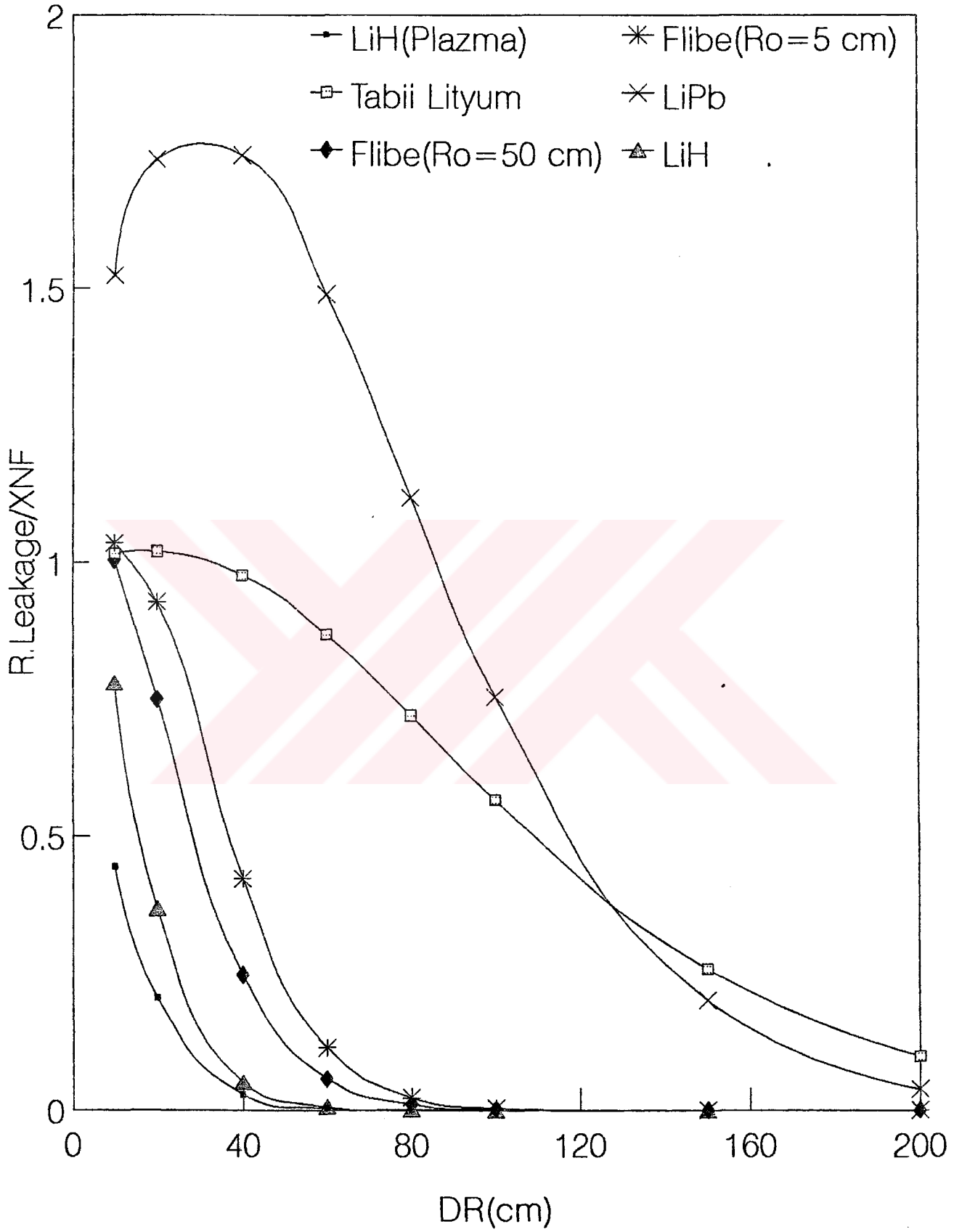
Şekil-15 HYLIFE-II uygulamasında ortalama enerji absorpsiyonu oranının, $E(\text{MeV})/17.6 \text{ MeV}$ olarak, DR' ye göre değişimi



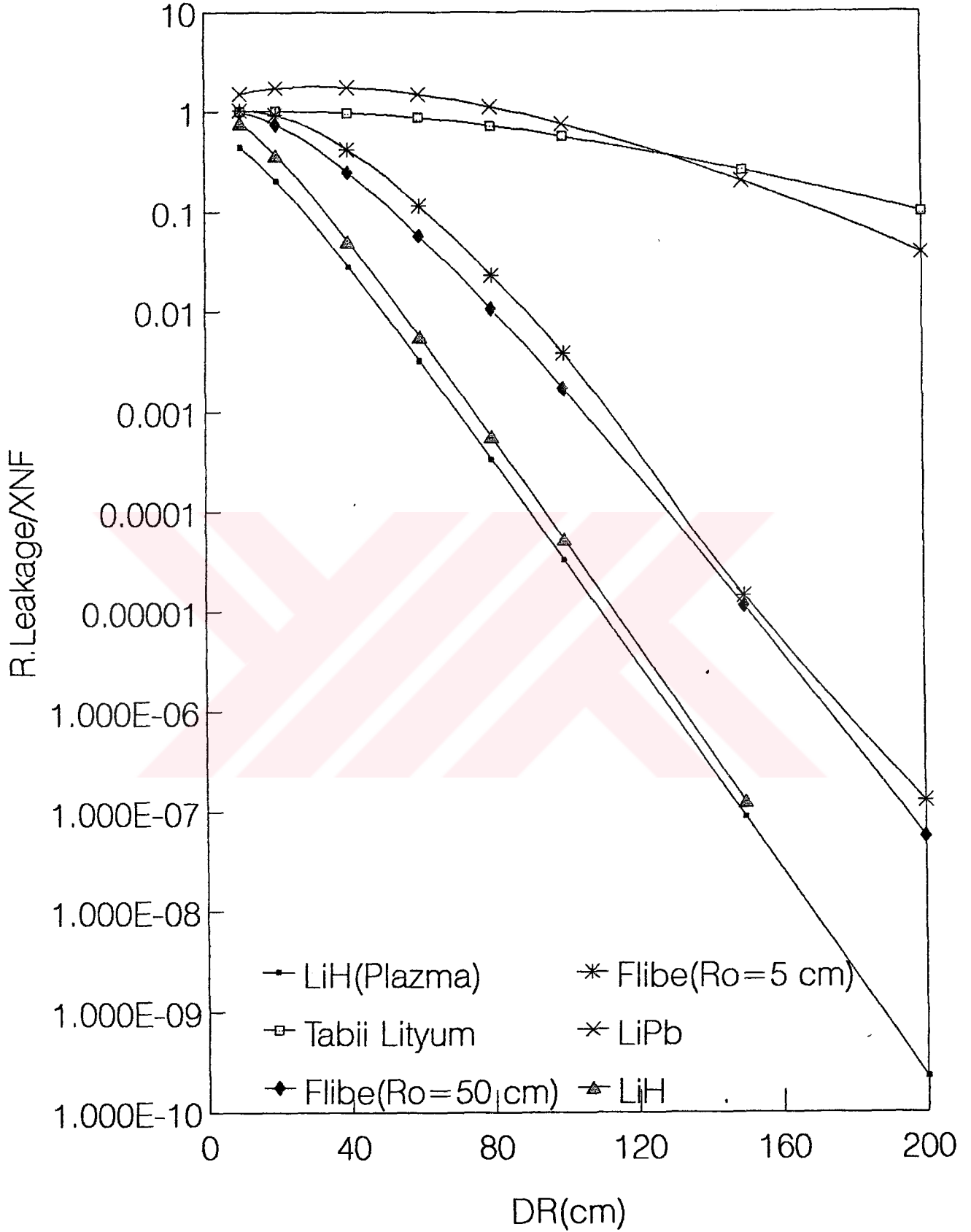
Şekil-16 MHD uygulamasında, DR' nin fonksiyonu olarak, TBR değerinin değişimi (Soğutucu akışkanın tabii lityum ve LiPb olması halinde)



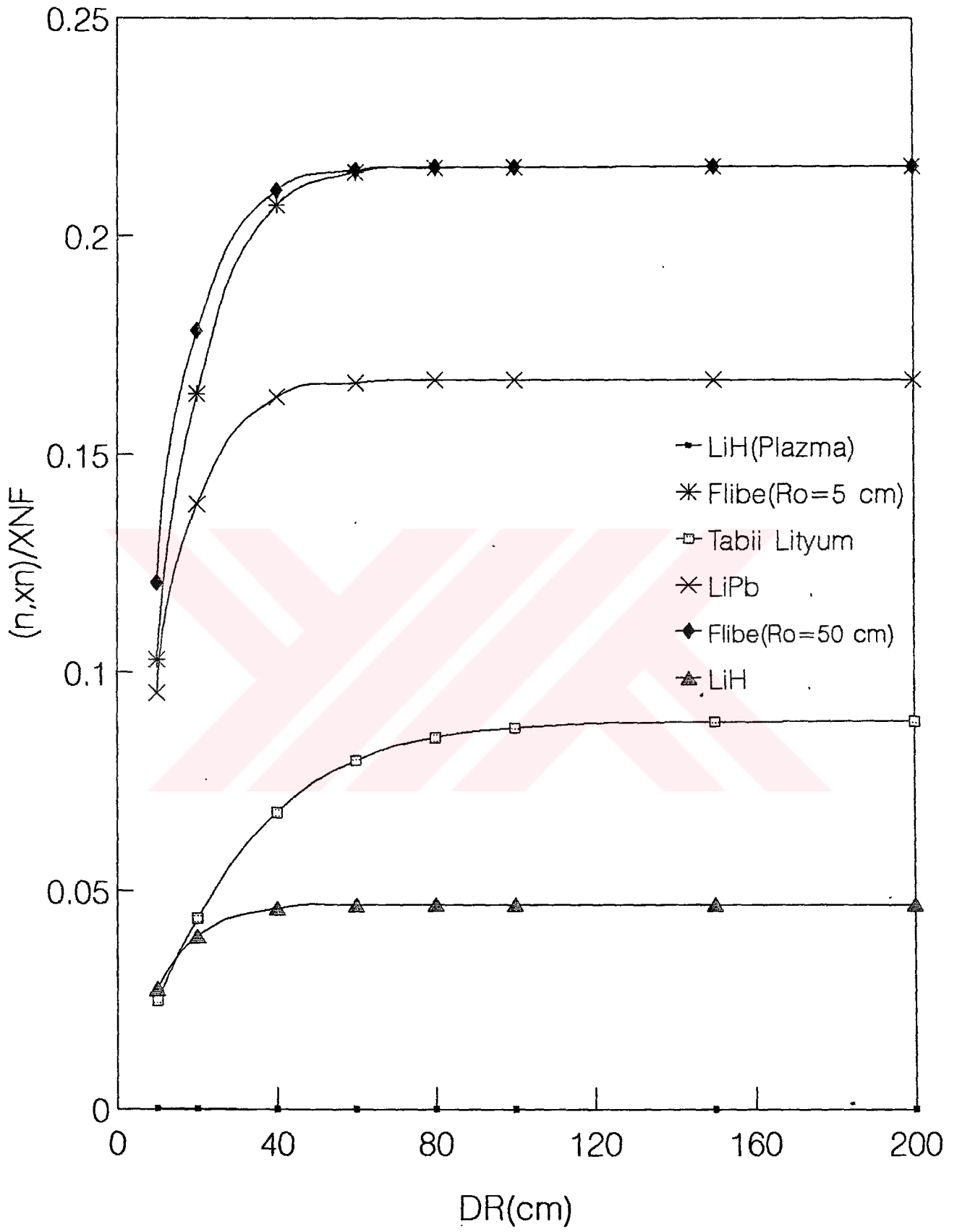
Şekil-17 MHD uygulamasında, DR' nin fonksiyonu olarak, TBR değerinin değişimi (Soğutucu akışkanın Flibe ve LiH olması halinde)



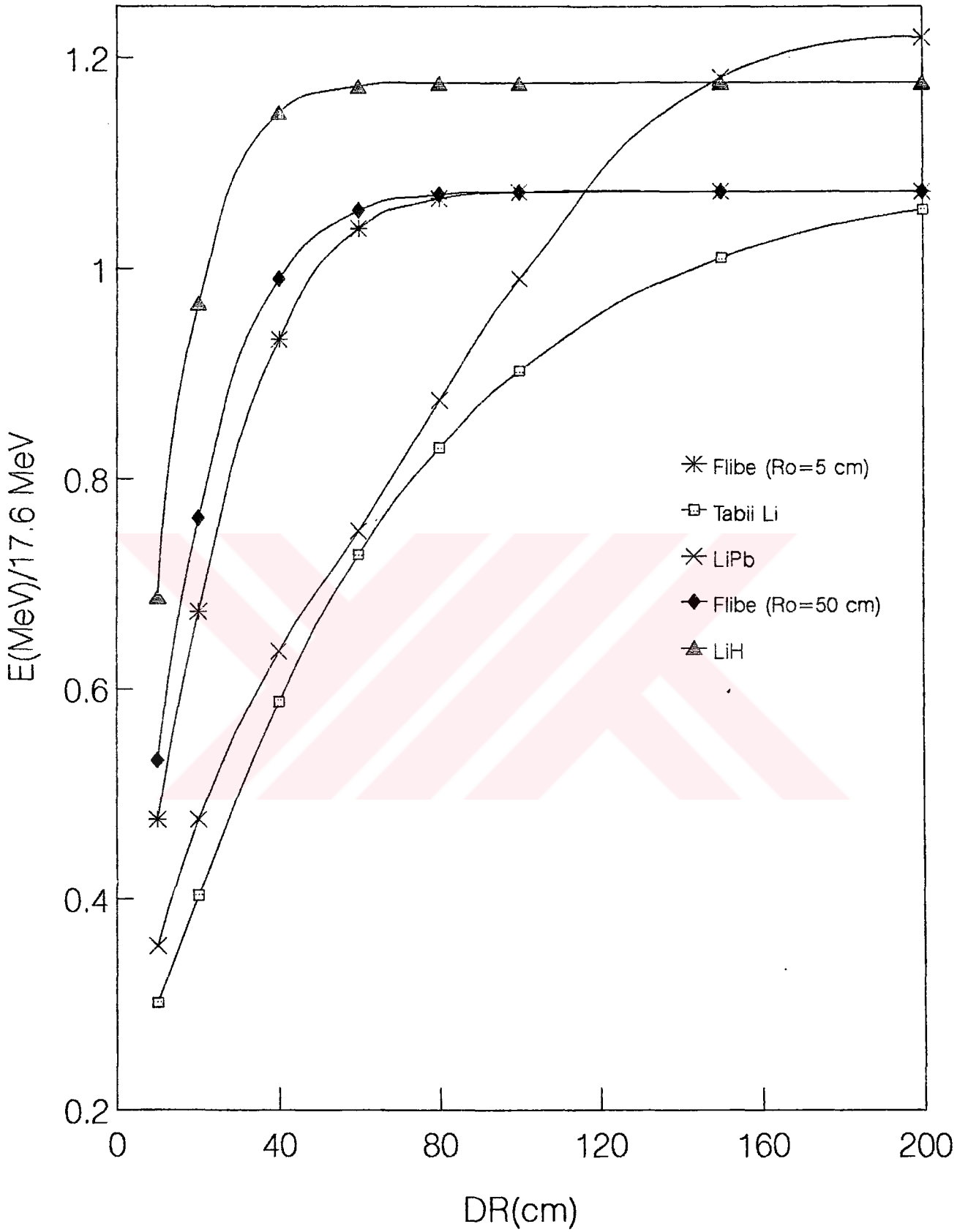
Şekil-18.a MHD uygulamasında, DR' nin fonksiyonu olarak, soğutucu bölge dışına kaçan nötronların normalizasyon faktörüne oranının değişimi (Lineer skalada)



Şekil-18.b MHD uygulamasında, DR' nin fonksiyonu olarak, soğutucu bölge dışına kaçan nötronların normalizasyon faktörüne oranının değişimi (Logaritmik skalada)



Sekil-19 MHD uygulamasında, DR' nin fonksiyonu olarak, soğutucu bölgedeki nötron çoğalmasının normalizasyon faktörüne oranının değişimi



Şekil-20 MHD uygulamasında ortalama enerji absorpsiyonu oranının, $E(\text{MeV})/17.6 \text{ MeV}$ olarak, DR' ye göre değişimi

MHD ve HYLIFE-II uygulamalarında soğutucunun Flibe olması durumunda $R_0 = 50$ cm halinde sadece geometrik formdan dolayı daha fazla hacim ve kütle etkisiyle bulunan değerler $R_0 = 5$ cm den daha büyük olmaktadır.

Daha büyük akışkan kütlesi daha büyük TBR değeri verir. Ancak maliyet artışı dikkate alındığında, aynı zamanda makul bir enerji absorpsiyonunun olabilmesi de gözönüne alınarak TBR'nin 1.15-1.20 değerleriyle sınırlanması sözkonusudur. Çünkü bu değerlere tekabül eden kalınlıklarda enerji absorpsiyonu asimtotik olmaktadır. Şekil-12 deki HYLIFE-II uygulaması için verilmiş TBR egrisi reflektör ve soğutucu bölgedeki toplamı göstermektedir. DR'nin artmasıyla nötron spektrumu yumuşayacağından Li-6 trityum üretimi için hakim grub haline gelmektedir. Diğer taraftan saf Lityum trityum üretimi için nötron yutmasına karşılık $1+(n,2n)$ nötron çoğalmasını artıramaz. Çalışılan hallerde, LiPb hariç, TBR $1+(n,2n)$ değerini aşmıştır. Bu işlem nötronun daha sonra trityum üretimi için uygun hale gelmesi demektir. Bu olayda ancak Li-7 de gözlenebilir. Bu çalışmada kullanılan LiH, Lityum, Flibe ve tabii lityum zenginleştirilmiş lityumdan daha çok trityum üretir. Bu önemli emniyetli ve pahalı bir faktördür. Diğer taraftan ileriki çalışmalarda LiPb deki zenginleştirilmiş trityum etkisini araştırmak faydalı olacaktır. LiPb deki düşük Li-6 yoğunluğu bu yöndeki çalışmalar için kaynak olabilir.

Sonuç olarak karşılaştırma ve referans için LiPb Monte Carlo kod TATR ilede hesaplanmıştır. TBR değerleri $DR < 90$ cm için uyumlu bir şekilde seyrederken, $DR > 90$ cm için % 9 luk bir sapma meydana gelmektedir.

Faydalı bölge kalınlığının tespitinde soğutucu bölgenin dışına kaçan nötron miktarında gözönüne alınması gereklidir. Şekillerde füzyon nötronlarının soğutucu bölge dışına kaçan net miktarına gösteren eğriler görülmektedir. LiH, Flibe ve diğerleri için 0.001 in altına hızlı bir düşüş gözlenmektedir. Buda soğutucu bölgede füzyon nötronlarının % 99,9 unun absorbe edildiğini gösterir. Bundan başka saf lityum ve LiPb de $DR > 200$

cm değerleri için nötron akısının bir değeri vardır. $DR < 80$ cm için aşırı nötron çoğalması nedeniyle LiPb de fazla kaçak gözlenmektedir. Nötron trityum için önem arzederken , soğutucu dışına kaçakların fazla olması reaktör duvarlarının radyoaktif hasarı bakımından tehlike arzetedir. Bu açıdan kaçak minimum olmalıdır.

4.2.2 Soğutucu Bölgede Enerji Absorbsiyonu

Soğutucu bölgede enerji absorbsiyonu daha öncede bahsedilgi gibi üç ana yolla gerçekleşir.

Ani nötron ısınması patlamayı mütakip mikro saniye zaman zarfında soğutucuda kendini gösterir. Tablo-5 ve 6' da sırasıyla HYLIFE-II, MHD uygulamalarında çalışılan tüm haller için j/gr olarak , soğutucunun iç, orta ve dış yüzeylerinde meydana gelen ısınmalar görölmektedir. Aynı tablolarda soğutucu bölgedeki ortalama enerji absorbsiyonu j/gr olarak görölmektedir. Ortalama absorbsiyonu oranı $E(\text{MeV})/17.6\text{MeV}$ olarak şekil- 20'de MHD uygulaması için , şekil-15' da HYLIFE-II uygulaması için DR nin fonksiyonu olarak görölmektedir. Füzyon nötronları için soğutucu bölge dış blanket görevi görmektedir. Ani nötron ısınması bölge içerisinde exponansiyel olarak azaldığı tablolarda gözlenebilir. DR nin artmasıyla ani nötron ısınmasında artar. Artan kalınlık dış yüzeydeki ısınmayı minimum hale getirir. TBR değeride dikkate alınarak , ani nötron ısınmasına az katkısından dolayı DR' nin mümkün olan en küçük değeri seçilir. Büyük DR daha fazla akışkan kullanımını gerektirir. Fazla akışkan ise ortamın sıcaklığını düşürürken, materyal ve konstrüksiyon maliyetini artırır.

Nötronlardan başka alfa parçacıkları da füzyon enerjisinin % 20 sini taşırlar ve soğutucu içerisine depolarlar. Nötronlar ve alfa parçacıkları tarafından taşınarak akışkan içerisine depolanan 1 GJ luk enerji 239 kg TNT nin patlamasına eşdeğedir. Patlamalar seri şekilde devam ederken sonra meydana gelen patlamalar, daha önce açığa çıkan ısının bir kısmını da içine alarak ısı açığa çıkarırlar ve belli bir patlama sayısından

Tablo-V : HYLIFE-II Uygulamasında Soğutucu Bölgedeki Enerji Absorbsiyon Değerleri (J/gr)

DR(cm)	Ro = 5 cm	Ro = 50 cm	
10	5.70152E+04 1.19551E+04 3.25626E+03 1.77490E+04	8.27222E+02 4.58611E+02 2.03934E+02 7.15960E+02	a b c d
20	5.79091E+04 4.49343E+03 6.37323E+02 5.27460E+03	9.02020E+02 3.05712E+02 7.37980E+01 4.28530E+02	
40	5.82424E+04 1.16606E+03 6.31313E+01 1.24500E+03	9.27121E+02 1.29384E+02 1.21460E+01 1.99730E+02	
60	5.82525E+04 3.90187E+02 8.98434E+00 4.58830E+02	9.27778E+02 5.35707E+01 2.09015E+00 1.06210E+02	
80	5.82576E+04 1.41641E+02 1.25364E+00 2.10500E+02	9.27828E+02 2.19652E+01 3.23525E-01 6.25880E+01	
100	5.82576E+04 5.22222E+01 1.60894E-01 1.12210E+02	9.27828E+02 8.80202E+00 4.46556E-02 3.99870E+01	
150	5.82576E+04 3.98965E+00 7.14798E-04 3.49120E+01	9.27828E+02 7.78939E-01 2.24308E-04 1.65090E+01	
200	5.82576E+04 2.64298E-01 2.57030E-06 1.50910E+01	9.27828E+02 5.77525E-02 8.69697E-07 8.38740E+00	

- a - Soğutucunun iç yüzeyindeki ısınma (j/gr) (R=Ro)
b - Soğutucunun orta bölgesindeki ısınma (j/gr) (R=Ro+DR/2)
c - Soğutucunun dış yüzeyindeki ısınma (j/gr) (R=Ro+DR)
d - Akışkan bölgedeki ortalama enerji absorpsiyonu (j/gr)

Tablo-VI : MHD Uygulamasında Soğutucu Bölgedeki Enerji Absorbsiyon Değerleri (J/gr)

DR (cm)	Flibe Ro=5 cm	Tabi Li	LiPb	Flibe Ro=50 cm	LiH	
10	5.65758E+4	7.04816E+4	1.15760E+3	8.14646E+2	5.02980E+6	a
	1.13530E+4	1.75476E+4	2.46323E+2	4.48424E+2	2.05592E+5	b
	3.22035E+3	6.30204E+3	6.69958E+1	1.92823E+2	3.63735E+4	c
	1.76590E+4	4.52060E+4	2.01020E+4	7.05350E+2	1.28570E+5	d
20	5.74646E+4	7.15857E+4	1.18353E+3	8.92323E+2	5.03673E+6	
	4.45202E+3	7.90959E+3	1.00630E+2	2.99707E+2	5.69531E+4	
	6.22121E+2	1.95722E+3	1.50691E+1	6.51768E+1	5.38775E+3	
	5.23830E+3	1.26840E+4	4.09410E+2	4.21690E+2	2.86270E+4	
40	5.78030E+4	7.21020E+4	1.19872E+3	9.20202E+2	5.03694E+6	
	1.15753E+3	2.78163E+3	3.38193E+1	1.28141E+2	2.03792E+4	
	5.70859E+1	4.05714E+2	2.34984E+0	9.00505E+0	2.51878E+2	
	1.23560E+3	3.14720E+3	8.16310E+1	1.97680E+2	4.76850E+3	
60	5.78131E+4	7.22082E+4	1.20329E+3	9.21061E+2	5.03694E+6	
	3.88323E+2	1.28412E+3	2.00159E+1	5.33081E+1	8.09082E+3	
	7.26515E+0	1.21257E+2	9.03486E-1	1.32818E+0	1.69931E+1	
	4.55960E+2	1.29260E+3	3.11010E+1	1.05510E+2	1.48660E+3	
80	5.78131E+4	7.22408E+4	1.20499E+3	9.21061E+2	5.03694E+6	
	1.41177E+2	6.71224E+2	1.49033E+1	2.18924E+1	3.49429E+3	
	9.03384E-1	4.42816E+1	4.58927E-1	1.81965E-1	1.15418E+0	
	2.09380E+2	6.58150E+2	1.71180E+1	6.22560E+1	6.36840E+2	
100	5.78131E+4	7.22531E+4	1.20553E+3	9.21061E+2	5.03694E+6	
	5.20960E+1	3.78551E+2	1.09671E+1	8.77980E+0	1.53786E+3	
	1.03636E-1	1.88502E+1	2.36865E-1	2.26682E-2	8.95653E-2	
	1.11660E+2	3.79860E+2	1.07020E+1	3.97890E+1	3.28590E+2	
150	2.78131E+4	2.16939E+5	1.20574E+3	9.21061E+2	5.03694E+6	
	3.98429E+0	1.65127E+2	4.72986E+0	7.77778E-1	5.97163E+2	
	3.58354E-4	3.10367E+0	3.97205E-2	9.27020E-5	1.42273E-4	
	3.47420E+1	2.40230E+2	4.08460E+0	1.64280E+1	9.83330E+1	
200	5.78131E+4	7.22592E+4	1.20574E+3	9.21061E+2	5.03694E+6	
	2.64056E-1	4.07490E+1	1.92976E+0	5.76919E-2	2.21939E+2	
	1.05162E-6	7.98714E-1	5.41807E-3	3.07136E-7	2.70327E-7	
	1.50170E+1	5.97520E+1	1.86260E+0	8.34660E+0	4.16910E+1	

- a - Akışkanın iç yüzeyindeki ısınma (j/gr) (R=Ro)
b - Akışkanın orta bölgesindeki ısınma (j/gr) (R=RO+DR/2)
c - Akışkanın dış yüzeyindeki ısınma (j/gr) (R=Ro+DR)
d - Soğutucu bölgedeki ortalama ısınma (j/gr)

sonra denge oluşur. Enerji absorpsiyonuna bağlı olarak soğutucuda iyonizasyon ve ayrışmalar meydana gelecektir. Üçüncü ısı depolama yolunda radyoaktif bozunma sonucu ortaya çıkan geçikmeli nötronlar tarafından gerçekleştirilir. Bu ısınmanın ani nötron ısınmasının % 1' inden daha küçük olduğu hesaplamalar sonucu görülmüştür.

MHD enerji dönüşümü ancak aşırı yüksek nötron absorpsiyonu ile mümkün olabilen çalışma akışkanının 5000-20000 °K gibi yüksek değerlerinde mümkündür. Artan DR değerleri her gramdaki akışkandaki depolanan ısı miktarını düşürmektedir. Enerji depolanması ve yeterli trityum üretimi açısından dikkat edildiğinde MHD uygulamaları için Flibe, saf lityum ve LiH in kafi olurken , tabii lityumun iyi materyal olmadığı görülecektir. Sonuçlar ICF uygulamaları için çalışma akışkanı olarak sırasıyla LiH, lityum ve Flibe olduğunu göstermektedir. Diğerleri lityumdan daha düşük enerji absorbe etmektedirler.

Şekil-15 ve 20' a dikkat edilirse soğutucunun LiH ve Flibe olması durumunda toplam enerji absorpsiyonu oranı $DR > 50$ cm civarlarında 1 değerini aşarken , LiPb ve tabii lityum olması durumunda ise $DR > 150$ cm de 1 degerini aşmaktadır. Bu fark soğutucu materyalinin aynı şartlar için fazla kullanılması bakımından ilginçtir.

4.3 NÖTRON AKTİVASYONU

Reaktör odasında belirli fasılalarla yapılan patlamalar neticesinde açığa çıkan nötronlar oda çeperlerinde kalıcı radyoaktif kirlenmeye neden olacaktır. Her ne kadar soğutucu bölge kalınlığı bu kirlenmeyi minimum yapsada yokedemeyecektir. Meydana gelen bu bozunma oda duvarlarında (toprak ve çelik tabakalar) yapının değişmesine neden olarak belirli bir süre sonra kullanılmaz bir form meydana getirebilir. Bu nedenle uzun bir kullanım sonunda meydana gelen aktivasyon değerinin bilinmesi gerekir. İnsan sağlığı açısından reaksiyon odasındaki aktivasyon değrinin limit bir değeri aşmaması gerekir. Bu sınır ululararası Nuclear Regulatory Commission (NRC)' tarafından

belirlenmiştir. Kısaca "10 CFR 61" olarak bilinen bu değerler, bu çalışmanın kapasamındaki izotoplar için Tablo-7' de Ci/m^3 ($Curie/m^3$) olarak verilmiştir. Bu çalışmada çelik ve toprak içinde yeralan izotopların bozunma türleri ve yarı ömür gibi aktivasyon büyüklükleri Tablo-8' de görülebilir.

Bu çalışmada 30 yıllık kullanma süresi sonunda (T_p) , takip eden 1 saat, 1 gün , 1 ay, 1 yıl , 10 yıl ve 30 yıl (T) sonunda çelik ve toprak bölgenin iç yüzeylerindeki toplam aktivasyon ve bu toplam içerisindeki, bozunan çekirdeklerin meydana getirdiği izotopların katkı olarak yüzdesi hesaplanmıştır. Neticeler Tablo-9 ve 10' da soğutucunun Flibe olması halinde $T_p=30$ yıl için, Tablo-11 ve 12'da soğutucunun su olması halinde $T_p=1$ yıl için ve Tablo-13 ve 14' de soğutucunun su olması halinde $T_p=30$ yıl için Ci/m^3 olarak verilmiştir. Flibe için 30 yıllık bir kullanım ömrü dikkate alınarak hesaplama yapılırken, su için buna ilavaten test çalışmalarında faydalanılmak üzere 1 yıllık bir kullanım sonucu da hesaplama yapılmıştır. Hesaplama kullanılan matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} T_s &= \text{İki patlama arasındaki zaman (40 dk.)} \\ T_p &= \text{Reaktörün kullanılma süresi (30 yıl)} \\ n &= \text{30 yıldaki patlama sayısı (300.000 patlama)} \\ T_p &= n.T_s \end{aligned}$$

Transport kod Anisn her patlama sonrası meydana gelen aktivasyon miktarını şu şekilde verir.

$$N(r) = \Sigma \phi \quad (3.1)$$

$N(r)$ = Her patlamada 1 cm^3 de meydana gelen aktif çekirdek sayısı

Σ = Makroskopik etki-kesit değeri

ϕ = Atomik yoğunluk

r = Her patlamanın tesir yönü

Bu şartlar altında 1. patlama sonrası meydana gelen aktif çekirdek sayısı

$$N_1 = \Sigma \phi \quad (3.2)$$

İkinci patlama sonrası

Tablo-VII : Beş Yılda Daha Büyük Yarı Ömürler ile Tablo-VIII' de verilen Radio-Çekirdekler için 10 CFR 61 Tüzüğünde belirtilen sınırlar

Radio-Çekirdek	Özgül Aktivasyon Sınırı (Curie/m ³)
Mn53	TMSA (*)
Co60	3.0E+8
Ni59	900
Ni63	1.0E+6 - 1.0E+7
Mo93	300

(*) TMSA: Teorik Maksimum Özgül Aktivasyon

Tablo-VIII : Son Patlamadan Sonra Füzyon Nötronlarının Yutulmasıyla Toprak ve Çelikte Bozunan İzotopların Karakteristikleri

Radio-çekirdek	Yarı-ömür	Bozunma şekli (energy) [MeV]	γ yayını [MeV]	Bozunma Şekli
Na22	2.6 yıl	β^+ (0.22)	1.27	Na23(n,2n)
Na24	15 saat	β^- (0.55)	2.75;1.37	Na23(n, γ) Al27(n, α)
V52	3.8 dakika	β^- (1.07)	1.33	Cr52(n,p)
Cr51	27.7 gün	EC(0.005)	0.32	Cr50(n, γ) Cr52(n,2n)
Mn53	3.7E+6 yıl	EC(0.005)	---	Fe54(n,2n)(β^+)
Mn54	313 gün	EC(0.005)	0.84	Mn55(n,2n) Fe54(n,p)
Mn56	2.6 saat	β^- (0.83)	0.85;3.37; 2.52;2.95; 2.11;2.66; 1.81	Mn55(n, γ) Fe56(n,p)
Fe55	2.7 yıl	EC(0.005)	---	Fe54(n, γ) Fe56(n,2n) Ni58(n, α)
Co57	270 gün	EC(0.02)	0.136;0.122	Ni57(n,p) Ni58(n,2n)(β^-)
Co58	70.8 gün	EC(0.2)	0.81	Ni58(n,p)
Co60	5.27 yıl	β^- (0.1)	1.17;1.33	Ni60(n,p)
Ni59	7.5E+4 yıl	EC(0.007)	---	Ni58(n, γ) Ni60(n,2n)
Ni63	100 yıl	β^- (0.02)	---	Ni62(n, γ) Ni64(n,2n)
Nb95	35 gün	β^- (0.04)	0.77	Mo94(n,p)
Mo93	3.5E+3 yıl	EC(0.005)	---	Mo92(n, γ) Mo94(n,2n)
Mo99	66 saat	β^- (0.39)	0.78;0.74; 0.41;0.37; 0.18;0.14	Mo98(n, γ) Mo100(n,2n)

$$N_2 = \Sigma \phi + \Sigma \phi e^{-\lambda \cdot T_s} \quad (3.3)$$

Üçüncü patlama sonrası

$$N_3 = \Sigma \phi + \Sigma \phi e^{-\lambda T_s} + \Sigma \phi e^{-2 \lambda T_s} \quad (3.4)$$

n. patlama sonrası aktif çekirdek sayısı

$$N_n = \Sigma \phi \left[1 + e^{-\lambda T_s} + e^{-2 \lambda T_s} + \dots + e^{-(n-1)\lambda T_s} \right] \quad (3.5)$$

Gerekli matematiksel işlemlerden sonra n. patlama sonrası toplam aktif çekirdek sayısı

$$N_n = \Sigma \phi \left[\frac{1 - e^{-\lambda n T_s}}{1 - e^{-\lambda T_s}} \right] \quad (3.6)$$

şeklinde bulunur. Son denklemden özel hallerde tanımsızlığı önlemek için bazı düzenlemeler yapılabilir. $T_s \ll 1$ ise yani sifıra yakın bir zaman değeri ise toplam aktivasyon

$$N_n = \Sigma \phi \left[\frac{1 - e^{-\lambda n T_s}}{-\lambda T_s} \right] \quad (3.6)$$

olarak bulunur. $N_n T_p$ yıl sonra biriken toplam aktif çekirdek sayısı ise, T_p yılı takip eden t zaman sonra kalan çekirdek sayısı ise

$$N(t) = N_n e^{-\lambda t} \quad (3.7)$$

olarak bulunur.

Hesaplanan aktivasyon değerlerinin 10 CFR 61 tüzüğünün sınırları ile bir mukayesesi yapılmıştır. Hesaplamalar soğutucunun Flibe olması durumunda aktivasyon birikmesinin en büyük olduğunu göstermiştir. $T_p=30$ yıl kullanım süresi sonunda takip eden 1 yıl bitiminde 10 CFR 61 tüzüğüne göre sadece Ni59 ve Mo93 risk arz etmektedir. DR=4 ve 5 m için yapılan hesaplar Tablo- 14' de görülebilir. Buna göre bu izotoplar X ışınları yayınlamaya başlayarak kirlenmeye neden olmaktadır. Tablo-8' den görüleceği gibi 7 keV'lik enerji taşıyan bu bozunma çekirdek tarafından elektron

Tablo-IX : Bir PNE Tesisinin $T_p=30$ Yıllık Çalışma Peryodu Sonunda Son Patlamayı Takip T zamanlarında, Soğutucunun Flibe Olması halinde Çelikteki Aktivasyon Değerleri (Curie/m^3)

1 Saat	1 Gün	1 Ay	1 Yıl	10 Yıl	30 Yıl	T
DR = 0.5 m						
3.5326E+09	5.1218E+08	2.9475E+08	1.2389E+08	2.9139E+07	2.0041E+07	A
84.76 Mn56 5.33 Cr51 3.59 Mo99 2.31 Fe55 2.21 Mn54 .95 Co58 .67 Ni63 .07 Co60	35.89 Cr51 19.42 Mo99 15.93 Fe55 15.21 Mn54 6.48 Co58 4.59 Ni63 1.27 Mn56 .51 Co60	30.19 Cr51 27.13 Fe55 24.79 Mn54 8.47 Co58 7.97 Ni63 .79 Co60 .33 Nb95 .24 Mo93	50.99 Fe55 28.09 Mn54 18.84 Ni63 .76 Co58 .56 Mo93 .56 Co60 .17 Ni59 .02 Cr51	75.26 Ni63 21.52 Fe55 2.40 Mo93 .74 Ni59 .08 Mn54	95.26 Ni63 3.47 Mo93 1.08 Ni59 .18 Fe55	P
DR = 1.0 m						
2.5499E+09	2.8854E+08	1.4032E+08	5.5074E+07	1.8721E+07	1.3969E+07	
87.94 Mn56 4.84 Cr51 3.79 Mo99 1.42 Fe55 .84 Mn54 .64 Ni63 .44 Co58 .03 Co60	41.73 Cr51 26.31 Mo99 12.58 Fe55 7.39 Mn54 5.65 Ni63 3.87 Co58 1.69 Mn56 .28 Co60	41.53 Cr51 25.34 Fe55 14.25 Mn54 11.62 Ni63 5.99 Co58 .51 Co60 .39 Mo93 .20 Nb95	51.02 Fe55 29.43 Ni63 17.29 Mn54 1.00 Mo93 .57 Co58 .39 Co60 .27 Ni59 .02 Cr51	81.33 Ni63 14.90 Fe55 2.93 Mo93 .80 Ni59 .04 Mn54	94.89 Ni63 3.92 Mo93 1.07 Ni59 .12 Fe55	
DR = 1.5 m						
1.3166E+09	1.3511E+08	6.0183E+07	2.2829E+07	9.1460E+06	7.0078E+06	
88.98 Mn56 4.61 Cr51 3.89 Mo99 1.14 Fe55 .62 Ni63 .43 Mn54 .26 Co58 .02 Mo93	43.83 Cr51 29.75 Mo99 11.13 Fe55 6.05 Ni63 4.21 Mn54 2.56 Co58 1.89 Mn56 .22 Mo93	47.63 Cr51 24.48 Fe55 13.57 Ni63 8.86 Mn54 4.33 Co58 .49 Mo93 .35 Co60 .14 Nb95	51.00 Fe55 35.54 Ni63 11.13 Mn54 1.28 Mo93 .43 Co58 .33 Ni59 .28 Co60 .03 Cr51	83.34 Ni63 12.63 Fe55 3.19 Mo93 .82 Ni59 .02 Mn54	94.69 Ni63 4.15 Mo93 1.07 Ni59 .10 Fe55	
DR = 2.0 m						
5.7400E+08	5.5965E+07	2.3693E+07	8.8267E+06	3.8500E+06	2.9854E+06	
89.49 Mn56 4.46 Cr51 3.94 Mo99 1.01 Fe55 .61 Ni63 .26 Mn54 .18 Co58 .02 Mo93	44.67 Cr51 31.74 Mo99 10.38 Fe55 6.21 Ni63 2.67 Mn54 2.00 Mn56 1.83 Co58 .23 Mo93	51.08 Cr51 24.03 Fe55 14.66 Ni63 5.91 Mn54 3.25 Co58 .54 Mo93 .25 Co60 .13 Ni59	50.96 Fe55 39.11 Ni63 7.56 Mn54 1.45 Mo93 .36 Ni59 .33 Co58 .20 Co60 .03 Cr51	84.24 Ni63 11.60 Fe55 3.33 Mo93 .82 Ni59 .01 Mn54	94.57 Ni63 4.27 Mo93 1.06 Ni59 .09 Fe55	

Tablo-IX devam

DR = 2.5 m					
2.2206E+08	2.0996E+07	8.6143E+06	3.1774E+06	1.4533E+06	1.1340E+06
89.78 Mn56	45.02 Cr51	53.11 Cr51	50.92 Fe55	84.71 Ni63	94.51 Ni63
4.36 Cr51	32.99 Mo99	23.77 Fe55	41.24 Ni63	11.05 Fe55	4.34 Mo93
3.97 Mo99	9.95 Fe55	15.31 Ni63	5.45 Mn54	3.40 Mo93	1.06 Ni59
.94 Fe55	6.29 Ni63	4.22 Mn54	1.56 Mo93	.83 Ni59	.08 Fe55
.59 Ni63	2.07 Mn56	2.55 Co58	.38 Ni59	.01 Mn54	
.18 Mn54	1.85 Mn54	.58 Mo93	.26 Co58		
.13 Co58	1.39 Co58	.19 Co60	.16 Co60		
.02 Mo93	.24 Mo93	.14 Ni59	.03 Cr51		
DR = 3.0 m					
7.8482E+07	7.2749E+06	2.9243E+06	1.0724E+06	5.0458E+05	3.9513E+05
89.97 Mn56	45.15 Cr51	54.37 Cr51	50.89 Fe55	84.99 Ni63	94.49 Ni63
4.29 Cr51	33.82 Mo99	23.62 Fe55	42.56 Ni63	10.74 Fe55	4.37 Mo93
3.99 Mo99	9.69 Fe55	15.71 Ni63	4.16 Mn54	3.44 Mo93	1.06 Ni59
.90 Fe55	6.32 Ni63	3.20 Mn54	1.62 Mo93	.83 Ni59	.08 Fe55
.58 Ni63	2.11 Mn56	2.09 Co58	.39 Ni59	.01 Mn54	
.13 Mn54	1.37 Mn54	.59 Mo93	.22 Co58		
.10 Co58	1.12 Co58	.15 Co60	.13 Co60		
.02 Mo93	.24 Mo93	.14 Ni59	.03 Cr51		
DR = 3.5 m					
2.5864E+07	2.3663E+06	9.3768E+05	3.4262E+05	1.6413E+05	1.2881E+05
90.08 Mn56	45.17 Cr51	55.18 Cr51	50.86 Fe55	85.16 Ni63	94.47 Ni63
4.23 Cr51	34.42 Mo99	23.52 Fe55	43.42 Ni63	10.54 Fe55	4.39 Mo93
4.01 Mo99	9.51 Fe55	15.97 Ni63	3.33 Mn54	3.46 Mo93	1.06 Ni59
.87 Fe55	6.33 Ni63	2.56 Mn54	1.66 Mo93	.83 Ni59	.08 Fe55
.58 Ni63	2.14 Mn56	1.79 Co58	.40 Ni59	.01 Mn54	
.10 Mn54	1.08 Mn54	.61 Mo93	.18 Co58		
.09 Co58	.94 Co58	.15 Ni59	.10 Co60		
.02 Mo93	.24 Mo93	.13 Co60	.03 Cr51		
DR = 4.0 m					
8.0711E+06	7.3157E+05	2.8691E+05	1.0458E+05	5.0702E+04	3.9850E+04
90.17 Mn56	45.15 Cr51	55.73 Cr51	50.84 Fe55	85.28 Ni63	94.46 Ni63
4.19 Cr51	34.87 Mo99	23.46 Fe55	44.00 Ni63	10.41 Fe55	4.41 Mo93
4.02 Mo99	9.39 Fe55	16.14 Ni63	2.77 Mn54	3.48 Mo93	1.06 Ni59
.85 Fe55	6.33 Ni63	2.12 Mn54	1.69 Mo93	.83 Ni59	.08 Fe55
.57 Ni63	2.16 Mn56	1.58 Co58	.40 Ni59		
.08 Mn54	.89 Mn54	.62 Mo93	.16 Co58		
.08 Co58	.82 Co58	.15 Ni59	.09 Co60		
.02 Mo93	.24 Mo93	.11 Co60	.04 Cr51		

Tablo-IX devam

DR = 5.0 m					
7.0035E+05	6.2530E+04	2.4169E+04	8.7858E+03	4.3200E+03	3.4013E+03
90.30 Mn56 4.12 Cr51 4.04 Mo99 .82 Fe55 .56 Ni63 .06 Co58 .06 Mn54 .02 Mo93	45.02 Cr51 35.53 Mo99 9.22 Fe55 6.32 Ni63 2.20 Mn56 .67 Co58 .66 Mn54 .24 Mo93	56.39 Cr51 23.38 Fe55 16.35 Ni63 1.61 Mn54 1.31 Co58 .63 Mo93 .15 Ni59 .09 Co60	50.81 Fe55 44.70 Ni63 2.11 Mn54 1.73 Mo93 .41 Ni59 .14 Co58 .07 Co60 .04 Cr51	85.40 Ni63 10.26 Fe55 3.50 Mo93 .83 Ni59	94.43 Ni63 4.43 Mo93 1.06 Ni59 .08 Fe55
DR = 6.0 m					
5.3829E+04	4.7849E+03	1.8295E+03	6.6415E+02	3.2904E+02	2.5930E+02
90.33 Mn56 4.08 Mo99 4.08 Cr51 .81 Fe55 .56 Ni63 .05 Co58 .05 Mn54	44.81 Cr51 36.07 Mo99 9.11 Fe55 6.30 Ni63 2.21 Mn56 .60 Co58 .54 Mn54	56.73 Cr51 23.34 Fe55 16.46 Ni63 1.34 Mn54 1.18 Co58 .64 Mo93 .15 Ni59	50.80 Fe55 45.06 Ni63 1.76 Mo93 1.75 Mn54 .41 Ni59 .12 Co58 .06 Co60	85.45 Ni63 10.18 Fe55 3.54 Mo93 .83 Ni59	94.39 Ni63 4.47 Mo93 1.06 Ni59 .08 Fe55
DR = 8.0 m					
2.6168E+02	2.3014E+01	8.6421E+00	3.1332E+00	1.5636E+00	1.2335E+00
90.42 Mn56 4.15 Mo99 3.99 Cr51 .79 Fe55 .55 Ni63 .05 Co58 .04 Mn54	44.25 Cr51 37.05 Mo99 8.93 Fe55 6.22 Ni63 2.24 Mn56 .53 Co58 .43 Mn54	57.05 Cr51 23.30 Fe55 16.56 Ni63 1.08 Mn54 1.06 Co58 .66 Mo93 .15 Ni59	50.77 Fe55 45.38 Ni63 1.82 Mo93 1.41 Mn54 .41 Ni59 .11 Co58 .06 Co60	85.43 Ni63 10.10 Fe55 3.63 Mo93 .83 Ni59	94.28 Ni63 4.59 Mo93 1.05 Ni59 .08 Fe55
DR = 10.0					
1.0874E+00	9.4917E-02	3.4997E-02	1.2686E-02	6.3481E-03	5.0108E-03
90.47 Mn56 4.24 Mo99 3.89 Cr51 .76 Fe55 .53 Ni63 .05 Co58 .03 Mn54	43.51 Cr51 38.11 Mo99 8.76 Fe55 6.11 Ni63 2.26 Mn56 .51 Co58 .39 Mn54	57.12 Cr51 23.29 Fe55 16.57 Ni63 1.04 Co58 .98 Mn54 .69 Mo93 .15 Ni59	50.76 Fe55 45.43 Ni63 1.90 Mo93 1.29 Mn54 .42 Ni59 .11 Co58 .05 Co60	85.31 Ni63 10.07 Fe55 3.79 Mo93 .83 Ni59	94.09 Ni63 4.79 Mo93 1.05 Ni59 .08 Fe55

Tablo-IX devam

DR = 12.0 m					
4.1346E-03	3.5830E-04	1.2958E-04	4.6985E-05	2.3533E-05	1.8583E-05
90.51 Mn56	42.66 Cr51	57.09 Cr51	50.74 Fe55	85.13 Ni63	93.85 Ni63
4.33 Mo99	39.24 Mo99	23.29 Fe55	45.38 Ni63	10.06 Fe55	5.02 Mo93
3.79 Cr51	8.59 Fe55	16.56 Ni63	2.00 Mo93	3.98 Mo93	1.05 Ni59
.75 Fe55	5.99 Ni63	1.06 Co58	1.26 Mn54	.83 Ni59	.07 Fe55
.52 Ni63	2.27 Mn56	.96 Mn54	.41 Ni59		
.05 Co58	.51 Co58	.72 Mo93	.11 Co58		
.03 Mn54	.37 Mn54	.15 Ni59	.06 Co60		

A: Total activity in Curie/m**3

P: Contribution of a particular radioactiv isotope to total activity in (%) (Isotopes listed in table-VII are written in italic letters)

Tablo-X : Bir PNE Tesisinin Tp=30 Yıllık Çalışma Peryodu Sonunda Son Patlamayı Takip T zamanlarında, Soğutucunun Flibe Olması halinde Topraktaki Aktivasyon Değerleri (Curie/m³)

1 saat	1 gün	1 ay	1 yıl	10 yıl	30 yıl	T
DR = 0.5 m						
3.3402E+08	1.7547E+08	9.4511E+07	7.3379E+07	7.0814E+06	4.1638E+04	A
68.28 Na24 27.19 Fe55 2.77 Mn56 1.31 Mn54 .46 Na22	51.72 Fe55 44.91 Na24 2.49 Mn54 .87 Na22 .01 Mn56	94.08 Fe55 4.33 Mn54 1.58 Na22	95.74 Fe55 2.66 Mn54 1.60 Na22	98.48 Fe55 1.50 Na22 .02 Mn54	98.76 Fe55 1.24 Na22 .00 Fe53	P
DR = 1.0 m						
2.0735E+08	1.0451E+08	5.0541E+07	3.9510E+07	3.8562E+06	2.2708E+04	
73.78 Na24 24.04 Fe55 1.30 Mn56 .69 Mn54 .19 Na22	50.58 Na24 47.67 Fe55 1.37 Mn54 .37 Na22 .01 Mn56	96.59 Fe55 2.65 Mn54 .76 Na22	97.62 Fe55 1.62 Mn54 .76 Na22	99.28 Fe55 .71 Na22 .01 Mn54	99.42 Fe55 .58 Na22 .00 Fe53	
DR = 1.5 m						
9.9811E+07	4.9596E+07	2.2994E+07	1.8039E+07	1.7708E+06	1.0434E+04	
75.70 Na24 23.01 Fe55 .75 Mn56 .44 Mn54 .10 Na22	52.64 Na24 46.28 Fe55 .88 Mn54 .20 Na22	97.80 Fe55 1.78 Mn54 .42 Na22	98.50 Fe55 1.08 Mn54 .42 Na22	99.60 Fe55 .39 Na22 .01 Mn54	99.68 Fe55 .32 Na22	
DR = 2.0 m						
4.1688E+07	2.0585E+07	9.3556E+06	7.3545E+06	7.2427E+05	4.2689E+03	
76.57 Na24 22.57 Fe55 .50 Mn56 .31 Mn54 .06 Na22	53.59 Na24 45.68 Fe55 .62 Mn54 .12 Na22	98.47 Fe55 1.27 Mn54 .26 Na22	98.97 Fe55 .77 Mn54 .26 Na22	99.75 Fe55 .24 Na22	99.80 Fe55 .20 Na22	
DR = 2.5 m						
1.5667E+07	7.7124E+06	3.4693E+06	2.7306E+06	2.6942E+05	1.5882E+03	
77.02 Na24 22.36 Fe55 .35 Mn56 .23 Mn54	54.07 Na24 45.39 Fe55 .47 Mn54 .08 Na22	98.85 Fe55 .97 Mn54 .18 Na22	99.24 Fe55 .59 Mn54 .17 Na22	99.83 Fe55 .16 Na22	99.87 Fe55 .13 Na22	

Tablo-X devam

DR = 3.0 m					
5.4269E+06	2.6670E+06	1.1929E+06	9.3959E+05	9.2817E+04	5.4720E+02
77.27 Na24 22.24 Fe55 .27 Mn56 .18 Mn54	54.33 Na24 45.24 Fe55 .37 Mn54 .06 Na22	99.09 Fe55 .78 Mn54 .13 Na22	99.40 Fe55 .47 Mn54 .13 Na22	99.88 Fe55 .12 Na22	99.90 Fe55 .10 Na22
DR = 3.5 m					
1.7637E+06	8.6591E+05	3.8599E+05	3.0418E+05	3.0071E+04	1.7729E+02
77.42 Na24 22.18 Fe55 .22 Mn56 .15 Mn54	54.49 Na24 45.15 Fe55 .31 Mn54 .04 Na22	99.25 Fe55 .66 Mn54 .10 Na22	99.50 Fe55 .40 Mn54 .10 Na22	99.91 Fe55 .09 Na22	99.93 Fe55 .07 Na22
DR = 4.0 m					
5.4487E+05	2.6736E+05	1.1892E+05	9.3750E+04	9.2731E+03	5.4674E+01
77.52 Na24 22.15 Fe55 .19 Mn56 .13 Mn54	54.59 Na24 45.10 Fe55 .27 Mn54 .04 Na22	99.35 Fe55 .57 Mn54 .08 Na22	99.58 Fe55 .35 Mn54 .08 Na22	99.93 Fe55 .07 Na22	99.94 Fe55 .06 Na22
DR = 5.0 m					
4.6543E+04	2.2824E+04	1.0129E+04	7.9878E+03	7.9061E+02	4.6616E+00
77.63 Na24 22.11 Fe55 .14 Mn56 .11 Mn54	54.70 Na24 45.05 Fe55 .22 Mn54 .03 Na22	99.47 Fe55 .47 Mn54 .06 Na22	99.66 Fe55 .28 Mn54 .06 Na22	99.95 Fe55 .05 Na22	99.96 Fe55 .04 Na22
DR = 6.0 m					
3.5616E+03	1.7460E+03	7.7380E+02	6.1038E+02	6.0435E+01	3.5634E-01
77.68 Na24 22.09 Fe55 .12 Mn56 .10 Mn54	54.76 Na24 45.02 Fe55 .20 Mn54 .02 Na22	99.54 Fe55 .41 Mn54 .05 Na22	99.71 Fe55 .25 Mn54 .04 Na22	99.96 Fe55 .04 Na22	99.97 Fe55 .03 Na22
DR = 8.0 m					
1.7157E+01	8.4069E+00	3.7199E+00	2.9349E+00	2.9068E-01	1.7140E-03
77.75 Na24 22.05 Fe55 .10 Mn56 .08 Mn54	54.83 Na24 44.98 Fe55 .17 Mn54 .01 Na22	99.60 Fe55 .36 Mn54 .03 Na22	99.75 Fe55 .22 Mn54 .03 Na22	99.97 Fe55 .03 Na22	99.97 Fe55 .03 Na22

Tablo-X devam

DR = 10.0 m					
7.1125E-02	3.4838E-02	1.5399E-02	1.2150E-02	1.2035E-03	7.0964E-06
77.79 Na24 22.03 Fe55 .09 Mn56 .08 Mn54	54.88 Na24 44.94 Fe55 .16 Mn54 .01 Na22	99.62 Fe55 .35 Mn54 .03 Na22	99.76 Fe55 .21 Mn54 .03 Na22	99.97 Fe55 .03 Na22	99.98 Fe55 .02 Na22
DR = 12.0 m					
2.6935E-04	1.3188E-04	5.8239E-05	4.5952E-05	4.5517E-06	2.6839E-08
77.82 Na24 22.00 Fe55 .09 Mn56 .08 Mn54	54.92 Na24 44.90 Fe55 .16 Mn54 .01 Na22	99.63 Fe55 .35 Mn54 .03 Na22	99.76 Fe55 .21 Mn54 .03 Na22	99.97 Fe55 .03 Na22	99.98 Fe55 .02 Na22



Tablo-XI : Bir PNE Tesisinin Tp=1 Yıllık Çalışma Peryodu Sonunda Son Patlamayı Takip T zamanlarında, Soğutucunun Su Olması halinde Çelikteki Aktivasyon Değerleri (Curie/m³)

1 Saat	1 Gün	1 Ay	1 Yıl	10 Yıl	30 Yıl	T
DR = 0.5 m						
1.8602E+09	2.7846E+08	1.5647E+08	3.9765E+07	1.9024E+06	4.4720E+05	A
84.39 Mn56 6.68 Cr51 2.86 Mn54 2.82 Mo99 1.92 Co58 .97 Fe55 .12 Co60 .11 Nb95	43.57 Cr51 19.03 Mn54 14.81 Mo99 12.73 Co58 6.47 Fe55 1.23 Mn56 .80 Co60 .74 Nb95	37.53 Cr51 31.76 Mn54 17.05 Co58 11.28 Fe55 1.28 Co60 .74 Nb95 .33 Ni63 .02 Mo99	59.53 Mn54 35.06 Fe55 2.53 Co58 1.50 Co60 1.30 Ni63 .03 Cr51 .03 Mo93 .01 Ni59	72.75 Fe55 25.57 Ni63 .86 Mn54 .60 Mo93 .23 Ni59	94.68 Ni63 2.54 Mo93 1.83 Fe55 .96 Ni59	P
DR = 1.0 m						
8.3003E+08	1.1378E+08	6.2381E+07	1.4670E+07	7.6370E+05	2.0285E+05	
85.72 Mn56 6.52 Cr51 2.59 Mo99 2.28 Mn54 1.75 Co58 .83 Fe55 .10 Co60 .09 Nb95	46.43 Cr51 16.62 Mn54 14.84 Mo99 12.67 Co58 6.06 Fe55 1.36 Mn56 .76 Co60 .68 Nb95	41.00 Cr51 28.43 Mn54 17.40 Co58 10.82 Fe55 1.24 Co60 .70 Nb95 .38 Ni63 .02 Mo99	57.58 Mn54 36.36 Fe55 2.79 Co58 1.61 Ni63 1.58 Co60 .04 Cr51 .03 Mo93 .01 Ni59	69.32 Fe55 29.05 Ni63 .77 Mn54 .61 Mo93 .26 Ni59	95.21 Ni63 2.29 Mo93 1.54 Fe55 .97 Ni59	
DR = 1.5 m						
3.2909E+08	4.3294E+07	2.3462E+07	5.2736E+06	2.8757E+05	8.1025E+04	
86.30 Mn56 6.44 Cr51 2.48 Mo99 2.03 Mn54 1.70 Co58 .77 Fe55 .10 Co60 .09 Nb95	47.80 Cr51 15.38 Mn54 14.80 Mo99 12.79 Co58 5.84 Fe55 1.43 Mn56 .75 Co60 .66 Nb95	42.70 Cr51 26.62 Mn54 17.77 Co58 10.55 Fe55 1.24 Co60 .69 Nb95 .41 Ni63 .02 Mo99	56.40 Mn54 37.08 Fe55 2.98 Co58 1.79 Ni63 1.65 Co60 .04 Cr51 .03 Mo93 .01 Ni59	67.50 Fe55 30.89 Ni63 .72 Mn54 .62 Mo93 .27 Ni59	95.44 Ni63 2.18 Mo93 1.41 Fe55 .97 Ni59	
DR = 2.0 m						
1.2472E+08	1.6013E+07	8.6162E+06	1.8784E+06	1.0554E+05	3.0836E+04	
86.64 Mn56 6.39 Cr51 2.42 Mo99 1.88 Mn54 1.68 Co58 .73 Fe55 .10 Co60 .09 Nb95	48.59 Cr51 14.79 Mo99 14.60 Mn54 12.94 Co58 5.69 Fe55 1.47 Mn56 .74 Co60 .65 Nb95	43.71 Cr51 25.45 Mn54 18.10 Co58 10.36 Fe55 1.24 Co60 .68 Nb95 .42 Ni63 .02 Mo99	55.60 Mn54 37.55 Fe55 3.13 Co58 1.92 Ni63 1.71 Co60 .05 Cr51 .04 Mo93 .02 Ni59	66.33 Fe55 32.08 Ni63 .69 Mn54 .62 Mo93 .28 Ni59	95.57 Ni63 2.12 Mo93 1.34 Fe55 .97 Ni59	

Tablo-XI devam

DR = 2.5 m					
4.6098E+07	5.8250E+06	3.1204E+06	6.6537E+05	3.8169E+04	1.1432E+04
86.85 Mn56 6.36 Cr51 2.37 Mo99 1.78 Mn54 1.67 Co58 .71 Fe55 .09 Co60 .08 Nb95	49.10 Cr51 14.76 Mo99 14.07 Mn54 13.08 Co58 5.59 Fe55 1.50 Mn56 .74 Co60 .65 Nb95	44.37 Cr51 24.64 Mn54 18.38 Co58 10.22 Fe55 1.25 Co60 .68 Nb95 .43 Ni63 .02 Mo99	55.03 Mn54 37.86 Fe55 3.25 Co58 2.01 Ni63 1.75 Co60 .05 Cr51 .04 Mo93 .02 Ni59	65.51 Fe55 32.91 Ni63 .67 Mn54 .62 Mo93 .29 Ni59	95.66 Ni63 2.07 Mo93 1.29 Fe55 .97 Ni59
DR = 3.0 m					
1.6778E+07	2.0959E+06	1.1194E+06	2.3467E+05	1.3668E+04	4.1700E+03
87.01 Mn56 6.33 Cr51 2.34 Mo99 1.71 Mn54 1.67 Co58 .69 Fe55 .09 Co60 .08 Nb95	49.45 Cr51 14.72 Mo99 13.69 Mn54 13.22 Co58 5.51 Fe55 1.51 Mn56 .75 Co60 .65 Nb95	44.82 Cr51 24.03 Mn54 18.63 Co58 10.10 Fe55 1.26 Co60 .68 Nb95 .44 Ni63 .02 Mo99	54.60 Mn54 38.07 Fe55 3.35 Co58 2.08 Ni63 1.79 Co60 .05 Cr51 .04 Mo93 .02 Ni59	64.88 Fe55 33.55 Ni63 .65 Mn54 .63 Mo93 .30 Ni59	95.73 Ni63 2.05 Mo93 1.25 Fe55 .97 Ni59
DR = 3.5 m					
6.0513E+06	7.4890E+05	3.9909E+05	8.2490E+04	4.8652E+03	1.5072E+03
87.13 Mn56 6.31 Cr51 2.31 Mo99 1.66 Co58 1.66 Mn54 .67 Fe55 .09 Co60 .08 Nb95	49.76 Cr51 14.67 Mo99 13.38 Mn54 13.33 Co58 5.44 Fe55 1.53 Mn56 .75 Co60 .65 Nb95	45.20 Cr51 23.54 Mn54 18.83 Co58 10.00 Fe55 1.27 Co60 .69 Nb95 .45 Ni63 .02 Mo99	54.25 Mn54 38.24 Fe55 3.43 Co58 2.14 Ni63 1.83 Co60 .05 Cr51 .04 Mo93 .02 Ni59	64.35 Fe55 34.08 Ni63 .64 Mn54 .63 Mo93 .30 Ni59	95.78 Ni63 2.02 Mo93 1.23 Fe55 .97 Ni59
DR = 4.0 m					
2.1675E+06	2.6625E+05	1.4167E+05	2.8940E+04	1.7239E+03	5.4087E+02
87.23 Mn56 6.29 Cr51 2.29 Mo99 1.67 Co58 1.62 Mn54 .66 Fe55 .09 Co60 .08 Nb95	50.00 Cr51 14.62 Mo99 13.44 Co58 13.14 Mn54 5.39 Fe55 1.54 Mn56 .75 Co60 .65 Nb95	45.48 Cr51 23.15 Mn54 19.01 Co58 9.92 Fe55 1.27 Co60 .69 Nb95 .45 Ni63 .02 Mo99	53.98 Mn54 38.35 Fe55 3.51 Co58 2.19 Ni63 1.87 Co60 .05 Cr51 .04 Mo93 .02 Ni59	63.90 Fe55 34.53 Ni63 .63 Mo93 .63 Mn54 .31 Ni59	95.83 Ni63 2.00 Mo93 1.20 Fe55 .97 Ni59

Tablo-XI devam

DR = 5.0 m					
2.7432E+05	3.3337E+04	1.7712E+04	3.5539E+03	2.1466E+02	6.8673E+01
87.37 Mn56 6.26 Cr51 2.24 Mo99 1.67 Co58 1.56 Mn54 .64 Fe55 .09 Co60 .08 Nb95	50.32 Cr51 14.50 Mo99 13.64 Co58 12.80 Mn54 5.30 Fe55 1.56 Mn56 .76 Co60 .65 Nb95	45.85 Cr51 22.58 Mn54 19.33 Co58 9.77 Fe55 1.29 Co60 .69 Nb95 .46 Ni63 .02 Mo99	53.61 Mn54 38.46 Fe55 3.63 Co58 2.27 Ni63 1.92 Co60 .05 Cr51 .04 Mo93 .02 Ni59	63.20 Fe55 35.24 Ni63 .63 Mo93 .62 Mn54 .31 Ni59	95.90 Ni63 1.96 Mo93 1.16 Fe55 .98 Ni59
DR = 6.0 m					
3.4362E+04	4.1465E+03	2.2029E+03	4.3638E+02	2.6585E+01	8.6275E+00
87.47 Mn56 6.25 Cr51 2.20 Mo99 1.68 Co58 1.52 Mn54 .63 Fe55 .09 Co60 .08 Nb95	50.54 Cr51 14.36 Mo99 13.83 Co58 12.58 Mn54 5.23 Fe55 1.58 Mn56 .77 Co60 .66 Nb95	46.05 Cr51 22.20 Mn54 19.60 Co58 9.64 Fe55 1.31 Co60 .70 Nb95 .46 Ni63 .02 Mo99	53.39 Mn54 38.47 Fe55 3.73 Co58 2.32 Ni63 1.98 Co60 .05 Cr51 .04 Mo93 .02 Ni59	62.68 Fe55 35.77 Ni63 .63 Mo93 .61 Mn54 .32 Ni59	95.95 Ni63 1.93 Mo93 1.14 Fe55 .98 Ni59
DR = 8.0 m					
5.3696E+02	6.4014E+01	3.4050E+01	6.6138E+00	4.0801E-01	1.3565E-01
87.63 Mn56 6.22 Cr51 2.13 Mo99 1.70 Co58 1.47 Mn54 .61 Fe55 .09 Co60 .08 Nb95	50.98 Cr51 14.10 Co58 14.02 Mo99 12.30 Mn54 5.12 Fe55 1.60 Mn56 .79 Co60 .67 Nb95	46.39 Cr51 21.68 Mn54 19.95 Co58 9.44 Fe55 1.34 Co60 .71 Nb95 .47 Ni63 .02 Mo99	53.15 Mn54 38.39 Fe55 3.87 Co58 2.41 Ni63 2.06 Co60 .05 Cr51 .04 Mo93 .02 Ni59	61.77 Fe55 36.68 Ni63 .63 Mo93 .60 Mn54 .32 Ni59	96.05 Ni63 1.88 Mo93 1.10 Fe55 .98 Ni59
DR = 10.0 m					
8.3518E+00	9.8931E-01	5.2806E-01	1.0144E-01	6.2801E-03	2.1217E-03
87.72 Mn56 6.21 Cr51 2.06 Mo99 1.72 Co58 1.45 Mn54 .60 Fe55 .10 Co60	51.21 Cr51 14.35 Co58 13.66 Mo99 12.21 Mn54 5.05 Fe55 1.61 Mn56 .81 Co60	46.45 Cr51 21.45 Mn54 20.24 Co58 9.27 Fe55 1.36 Co60 .72 Nb95 .47 Ni63	53.19 Mn54 38.14 Fe55 3.97 Co58 2.46 Ni63 2.12 Co60 .05 Cr51 .04 Mo93	61.15 Fe55 37.30 Ni63 .62 Mo93 .60 Mn54 .33 Ni59	96.12 Ni63 1.84 Mo93 1.07 Fe55 .98 Ni59

Tablo-XI devam

DR = 12.0 m					
1.3237E-01	1.5555E-02	8.3338E-03	1.5842E-03	9.8598E-05	3.3862E-05
87.84 Mn56	51.65 Cr51	46.67 Cr51	53.22 Mn54	60.50 Fe55	96.21 Ni63
6.22 Cr51	14.48 Co58	21.24 Mn54	37.94 Fe55	37.95 Ni63	1.78 Mo93
1.97 Mo99	13.20 Mo99	20.35 Co58	4.03 Co58	.61 Mo93	1.04 Fe55
1.72 Co58	12.13 Mn54	9.13 Fe55	2.51 Ni63	.59 Mn54	.98 Ni59
1.43 Mn54	4.99 Fe55	1.38 Co60	2.17 Co60	.34 Ni59	
.59 Fe55	1.63 Mn56	.73 Nb95	.06 Cr51		
.10 Co60	.82 Co60	.48 Ni63	.04 Mo93		



Tablo-XII : Bir PNE Tesisinin Tp=1 Yıllık Çalışma Peryodu Sonunda Son Patlamayı Takip T zamanlarında, Soğutucunun Su Olması halinde Topraktaki Aktivasyon Değerleri (Curie/m³)

1 Saat	1 Gün	1 Ay	1 Yıl	10 Yıl	30 Yıl	T
DR = 0.5						
1.4980E+08	6.0070E+07	1.7995E+07	1.3419E+07	1.2099E+06	7.0960E+03	A
80.30 Na24 10.23 Fe55 7.35 Mn56 1.81 Mn54 .31 Na22	69.19 Na24 25.50 Fe55 4.50 Mn54 .76 Na22 .04 Mn56	83.42 Fe55 14.10 Mn54 2.49 Na22	88.39 Fe55 9.01 Mn54 2.61 Na22	97.30 Fe55 2.63 Na22 .07 Mn54	97.83 Fe55 2.17 Na22	P
DR = 1.0 m						
6.3015E+07	2.5052E+07	6.9808E+06	5.1948E+06	4.6680E+05	2.7392E+03	
82.08 Na24 9.41 Fe55 6.53 Mn56 1.73 Mn54 .25 Na22	71.34 Na24 23.67 Fe55 4.34 Mn54 .62 Na22 .04 Mn56	83.22 Fe55 14.60 Mn54 2.19 Na22	88.36 Fe55 9.34 Mn54 2.30 Na22	97.60 Fe55 2.33 Na22 .07 Mn54	98.08 Fe55 1.92 Na22	
DR = 1.5 m						
2.4375E+07	9.6428E+06	2.5833E+06	1.9187E+06	1.7185E+05	1.0087E+03	
82.93 Na24 8.98 Fe55 6.17 Mn56 1.71 Mn54 .22 Na22	72.44 Na24 22.68 Fe55 4.30 Mn54 .55 Na22 .03 Mn56	82.94 Fe55 15.06 Mn54 2.00 Na22	88.23 Fe55 9.66 Mn54 2.11 Na22	97.78 Fe55 2.14 Na22 .08 Mn54	98.23 Fe55 1.77 Na22	
DR = 2.0 m						
9.1049E+06	3.5899E+06	9.3782E+05	6.9538E+05	6.2103E+04	3.6461E+02	
83.43 Na24 8.70 Fe55 5.97 Mn56 1.70 Mn54 .20 Na22	73.12 Na24 22.04 Fe55 4.30 Mn54 .50 Na22 .03 Mn56	82.67 Fe55 15.45 Mn54 1.88 Na22	88.09 Fe55 9.93 Mn54 1.98 Na22	97.91 Fe55 2.02 Na22 .08 Mn54	98.34 Fe55 1.66 Na22	
DR = 2.5 m						
3.3334E+06	1.3109E+06	3.3627E+05	2.4896E+05	2.2177E+04	1.3022E+02	
83.77 Na24 8.49 Fe55 5.86 Mn56 1.70 Mn54	73.60 Na24 21.57 Fe55 4.32 Mn54 .47 Na22	82.41 Fe55 15.81 Mn54 1.78 Na22	87.95 Fe55 10.17 Mn54 1.88 Na22	98.00 Fe55 1.92 Na22 .08 Mn54	98.42 Fe55 1.58 Na22	

Tablo-XII devam

DR = 3.0 m					
1.2046E+06	4.7275E+05	1.1959E+05	8.8422E+04	7.8576E+03	4.6145E+01
84.00 Na24 8.33 Fe55 5.78 Mn56 1.71 Mn54	73.96 Na24 21.21 Fe55 4.35 Mn54 .44 Na22	82.17 Fe55 16.13 Mn54 1.70 Na22	87.81 Fe55 10.39 Mn54 1.80 Na22	98.08 Fe55 1.84 Na22 .08 Mn54	98.48 Fe55 1.52 Na22
DR = 3.5 m					
4.3173E+05	1.6914E+05	4.2301E+04	3.1239E+04	2.7702E+03	1.6270E+01
84.18 Na24 8.20 Fe55 5.73 Mn56 1.72 Mn54	74.25 Na24 20.92 Fe55 4.38 Mn54 .42 Na22	81.95 Fe55 16.42 Mn54 1.63 Na22	87.68 Fe55 10.59 Mn54 1.73 Na22	98.14 Fe55 1.77 Na22 .08 Mn54	98.54 Fe55 1.46 Na22
DR = 4.0 m					
1.5385E+05	6.0178E+04	1.4907E+04	1.0996E+04	9.7316E+02	5.7161E+00
84.32 Na24 8.09 Fe55 5.70 Mn56 1.73 Mn54	74.50 Na24 20.67 Fe55 4.41 Mn54 .40 Na22	81.74 Fe55 16.69 Mn54 1.58 Na22	87.55 Fe55 10.77 Mn54 1.67 Na22	98.20 Fe55 1.72 Na22 .08 Mn54	98.59 Fe55 1.41 Na22
DR = 5.0 m					
1.9318E+04	7.5358E+03	1.8392E+03	1.3538E+03	1.1936E+02	7.0118E-01
84.52 Na24 7.91 Fe55 5.68 Mn56 1.75 Mn54	74.87 Na24 20.26 Fe55 4.47 Mn54 .37 Na22	81.34 Fe55 17.19 Mn54 1.47 Na22	87.31 Fe55 11.12 Mn54 1.57 Na22	98.30 Fe55 1.62 Na22 .09 Mn54	98.67 Fe55 1.33 Na22
DR = 6.0 m					
2.4096E+03	9.3783E+02	2.2620E+02	1.6620E+02	1.4605E+01	8.5812E-02
84.65 Na24 7.77 Fe55 5.68 Mn56 1.77 Mn54	75.16 Na24 19.94 Fe55 4.53 Mn54 .34 Na22	81.00 Fe55 17.62 Mn54 1.39 Na22	87.10 Fe55 11.42 Mn54 1.48 Na22	98.38 Fe55 1.53 Na22 .09 Mn54	98.74 Fe55 1.26 Na22
DR = 8.0 m					
3.6948E+01	1.4325E+01	3.4008E+00	2.4897E+00	2.1737E-01	1.2774E-03
84.75 Na24 7.55 Fe55 5.77 Mn56 1.82 Mn54	75.54 Na24 19.45 Fe55 4.68 Mn54 .30 Na22	80.29 Fe55 18.47 Mn54 1.24 Na22	86.66 Fe55 12.01 Mn54 1.33 Na22	98.52 Fe55 1.38 Na22 .09 Mn54	98.86 Fe55 1.14 Na22

Tablo-XII devam

IJ

DR = 10.0 m					
5.6936E-01	2.2002E-01	5.1612E-02	3.7671E-02	3.2708E-03	1.9225E-05
84.79 Na24 7.38 Fe55 5.87 Mn56 1.86 Mn54	75.82 Na24 19.08 Fe55 4.80 Mn54 .27 Na22	79.71 Fe55 19.17 Mn54 1.12 Na22	86.29 Fe55 12.51 Mn54 1.20 Na22	98.65 Fe55 1.25 Na22 .10 Mn54	98.97 Fe55 1.03 Na22
DR = 12.0 m					
8.8499E-03	3.4101E-03	7.9312E-04	5.7726E-04	4.9866E-05	2.9315E-07
84.77 Na24 7.25 Fe55 6.00 Mn56 1.90 Mn54	76.02 Na24 18.79 Fe55 4.92 Mn54 .24 Na22	79.17 Fe55 19.82 Mn54 1.01 Na22	85.94 Fe55 12.97 Mn54 1.08 Na22	98.76 Fe55 1.14 Na22 .10 Mn54	99.06 Fe55 .94 Na22

Tablo-XIII: Bir PNE Tesisinin $T_p=30$ Yıllık Çalışma Periyodu Sonunda Son Patlamayı Takip T zamanlarında, Soğutucunun Su Olması halinde Çelikteki Aktivasyon Değerleri (Curie/m^3)

1 Saat	1 Gün	1 Ay	1 Yıl	10 Yıl	30 Yıl	T
DR = 0.5 m						
1.9803E+09	3.9848E+08	2.7225E+08	1.2062E+08	1.9785E+07	1.1974E+07	A
79.27 Mn56 6.28 Cr51 4.84 Mn54 4.02 Fe55 2.65 Mo99 1.86 Co58 .71 Ni63 .15 Co60	30.45 Cr51 23.99 Mn54 19.96 Fe55 10.35 Mo99 9.15 Co58 3.54 Ni63 .86 Mn56 .76 Co60	32.93 Mn54 28.62 Fe55 21.57 Cr51 10.08 Co58 5.18 Ni63 1.00 Co60 .42 Nb95 .13 Mo93	51.04 Fe55 35.40 Mn54 11.62 Ni63 .86 Co58 .68 Co60 .28 Mo93 .11 Ni59 .01 Cr51	66.58 Ni63 30.89 Fe55 1.73 Mo93 .65 Ni59 .15 Mn54	95.78 Ni63 2.85 Mo93 1.08 Ni59 .30 Fe55	P
DR = 1.0 m						
8.7595E+08	1.5965E+08	1.0669E+08	4.6125E+07	8.5555E+06	5.4430E+06	
81.22 Mn56 6.18 Cr51 3.90 Mn54 3.47 Fe55 2.45 Mo99 1.71 Co58 .74 Ni63 .14 Co60	33.10 Cr51 21.37 Mn54 19.05 Fe55 10.58 Mo99 9.29 Co58 4.03 Ni63 .97 Mn56 .74 Co60	29.99 Mn54 27.94 Fe55 23.97 Cr51 10.47 Co58 6.03 Ni63 .99 Co60 .41 Nb95 .13 Mo93	51.05 Fe55 33.03 Mn54 13.87 Ni63 .91 Co58 .69 Co60 .30 Mo93 .13 Ni59 .01 Cr51	70.23 Ni63 27.32 Fe55 1.63 Mo93 .69 Ni59 .12 Mn54	96.11 Ni63 2.56 Mo93 1.08 Ni59 .25 Fe55	
DR = 1.5 m						
3.4593E+08	6.0114E+07	3.9721E+07	1.6922E+07	3.3436E+06	2.1762E+06	
82.10 Mn56 6.13 Cr51 3.48 Mn54 3.23 Fe55 2.36 Mo99 1.66 Co58 .75 Ni63 .13 Co60	34.43 Cr51 19.98 Mn54 18.55 Fe55 10.66 Mo99 9.48 Co58 4.29 Ni63 1.03 Mn56 .73 Co60	28.36 Mn54 27.51 Fe55 25.22 Cr51 10.80 Co58 6.49 Ni63 1.00 Co60 .41 Nb95 .14 Mo93	51.03 Fe55 31.71 Mn54 15.13 Ni63 .95 Co58 .70 Co60 .31 Mo93 .14 Ni59 .01 Cr51	71.96 Ni63 25.64 Fe55 1.59 Mo93 .70 Ni59 .11 Mn54	96.25 Ni63 2.43 Mo93 1.08 Ni59 .23 Fe55	
DR = 2.0 m						
1.3079E+08	2.2083E+07	1.4487E+07	6.1083E+06	1.2560E+06	8.2867E+05	
82.61 Mn56 6.09 Cr51 3.23 Mn54 3.08 Fe55 2.30 Mo99 1.64 Co58 .75 Ni63 .13 Co60	35.24 Cr51 19.10 Mn54 18.22 Fe55 10.72 Mo99 9.65 Co58 4.45 Ni63 1.06 Mn56 .74 Co60	27.31 Mn54 27.21 Fe55 26.00 Cr51 11.08 Co58 6.78 Ni63 1.01 Co60 .41 Nb95 .14 Mo93	50.99 Fe55 30.85 Mn54 15.98 Ni63 .99 Co58 .72 Co60 .32 Mo93 .15 Ni59 .01 Cr51	73.01 Ni63 24.61 Fe55 1.57 Mo93 .71 Ni59 .10 Mn54	96.33 Ni63 2.36 Mo93 1.08 Ni59 .22 Fe55	

Tablo-XIII devam VIII

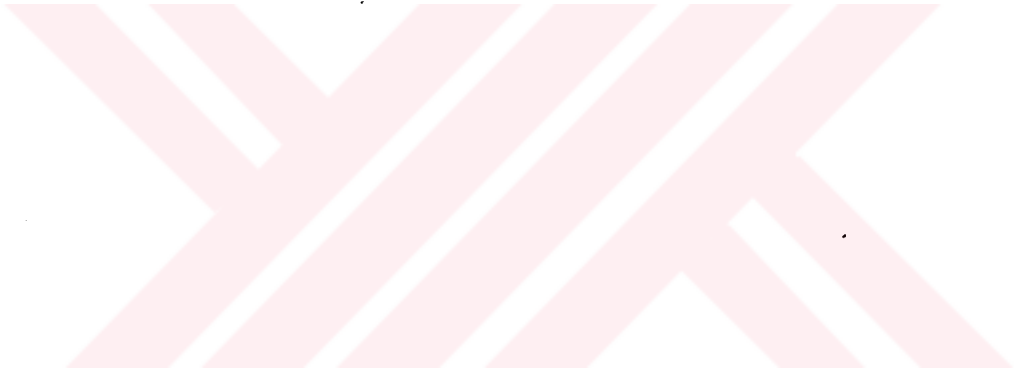
DR = 2.5 m					
4.8271E+07	7.9950E+06	5.2195E+06	2.1839E+06	4.6161E+05	3.0734E+05
82.94 Mn56	35.78 Cr51	26.97 Fe55	50.93 Fe55	73.71 Ni63	96.39 Ni63
6.07 Cr51	18.50 Mn54	26.57 Mn54	30.24 Mn54	23.92 Fe55	2.31 Mo93
3.07 Mn54	17.97 Fe55	26.53 Cr51	16.58 Ni63	1.55 Mo93	1.09 Ni59
2.98 Fe55	10.75 Mo99	11.31 Co58	1.02 Co58	.72 Ni59	.21 Fe55
2.27 Mo99	9.81 Co58	6.98 Ni63	.73 Co60	.10 Mn54	
1.64 Co58	4.56 Ni63	1.02 Co60	.33 Mo93		
.75 Ni63	1.09 Mn56	.41 Nb95	.15 Ni59		
.12 Co60	.74 Co60	.14 Mo93	.02 Cr51		
DR = 3.0 m					
1.7549E+07	2.8664E+06	1.8649E+06	7.7557E+05	1.6730E+05	1.1213E+05
83.18 Mn56	36.16 Cr51	26.91 Cr51	50.86 Fe55	74.24 Ni63	96.43 Ni63
6.05 Cr51	18.06 Mn54	26.77 Fe55	29.81 Mn54	23.40 Fe55	2.28 Mo93
2.96 Mn54	17.78 Fe55	26.03 Mn54	17.05 Ni63	1.53 Mo93	1.09 Ni59
2.91 Fe55	10.76 Mo99	11.51 Co58	1.04 Co58	.73 Ni59	.21 Fe55
2.24 Mo99	9.94 Co58	7.13 Ni63	.74 Co60	.10 Mn54	
1.64 Co58	4.64 Ni63	1.03 Co60	.33 Mo93		
.76 Ni63	1.11 Mn56	.41 Nb95	.16 Ni59		
.12 Co60	.75 Co60	.14 Mo93	.02 Cr51		
DR = 3.5 m					
6.3240E+06	1.0213E+06	6.6267E+05	2.7419E+05	6.0152E+04	4.0537E+04
83.37 Mn56	36.49 Cr51	27.22 Cr51	50.79 Fe55	74.67 Ni63	96.46 Ni63
6.03 Cr51	17.70 Mn54	26.60 Fe55	29.44 Mn54	22.98 Fe55	2.25 Mo93
2.86 Mn54	17.61 Fe55	25.58 Mn54	17.44 Ni63	1.52 Mo93	1.09 Ni59
2.85 Fe55	10.76 Mo99	11.67 Co58	1.06 Co58	.73 Ni59	.20 Fe55
2.21 Mo99	10.06 Co58	7.26 Ni63	.75 Co60	.09 Mn54	
1.64 Co58	4.71 Ni63	1.04 Co60	.34 Mo93		
.76 Ni63	1.12 Mn56	.41 Nb95	.16 Ni59		
.12 Co60	.75 Co60	.14 Mo93	.02 Cr51		
DR = 4.0 m					
2.2636E+06	3.6223E+05	2.3456E+05	9.6631E+04	2.1494E+04	1.4550E+04
83.53 Mn56	36.75 Cr51	27.47 Cr51	50.71 Fe55	75.03 Ni63	96.49 Ni63
6.02 Cr51	17.48 Fe55	26.44 Fe55	29.16 Mn54	22.63 Fe55	2.23 Mo93
2.80 Fe55	17.42 Mn54	25.22 Mn54	17.76 Ni63	1.51 Mo93	1.09 Ni59
2.79 Mn54	10.75 Mo99	11.81 Co58	1.08 Co58	.74 Ni59	.20 Fe55
2.19 Mo99	10.16 Co58	7.36 Ni63	.76 Co60	.09 Mn54	
1.64 Co58	4.77 Ni63	1.05 Co60	.34 Mo93		
.76 Ni63	1.14 Mn56	.41 Nb95	.16 Ni59		
.12 Co60	.76 Co60	.14 Mo93	.02 Cr51		

Tablo-XIII devam

DR = 5.0 m					
2.8619E+05	4.5196E+04	2.9192E+04	1.1942E+04	2.7111E+03	1.8479E+03
83.75 Mn56	37.12 Cr51	27.82 Cr51	50.54 Fe55	75.58 Ni63	96.53 Ni63
6.01 Cr51	17.25 Fe55	26.16 Fe55	28.78 Mn54	22.09 Fe55	2.19 Mo93
2.73 Fe55	17.02 Mn54	24.72 Mn54	18.26 Ni63	1.50 Mo93	1.09 Ni59
2.69 Mn54	10.69 Mo99	12.06 Co58	1.11 Co58	.74 Ni59	.19 Fe55
2.15 Mo99	10.35 Co58	7.52 Ni63	.78 Co60	.09 Mn54	
1.65 Co58	4.86 Ni63	1.07 Co60	.34 Mo93		
.77 Ni63	1.15 Mn56	.42 Nb95	.17 Ni59		
.12 Co60	.77 Co60	.14 Mo93	.02 Cr51		
DR = 6.0 m					
3.5825E+04	5.6082E+03	3.6181E+03	1.4720E+03	3.3898E+02	2.3220E+02
83.89 Mn56	37.37 Cr51	28.04 Cr51	50.35 Fe55	75.98 Ni63	96.57 Ni63
5.99 Cr51	17.07 Fe55	25.93 Fe55	28.55 Mn54	21.70 Fe55	2.15 Mo93
2.67 Fe55	16.78 Mn54	24.39 Mn54	18.62 Ni63	1.48 Mo93	1.09 Ni59
2.63 Mn54	10.61 Mo99	12.28 Co58	1.14 Co58	.75 Ni59	.19 Fe55
2.12 Mo99	10.52 Co58	7.63 Ni63	.80 Co60	.09 Mn54	
1.66 Co58	4.92 Ni63	1.09 Co60	.34 Mo93		
.77 Ni63	1.17 Mn56	.43 Nb95	.17 Ni59		
.12 Co60	.78 Co60	.14 Mo93	.02 Cr51		
DR = 8.0 m					
5.5926E+02	8.6290E+01	5.5620E+01	2.2438E+01	5.2874E+00	3.6518E+00
84.14 Mn56	37.82 Cr51	28.40 Cr51	49.96 Fe55	76.67 Ni63	96.64 Ni63
5.98 Cr51	16.78 Fe55	25.51 Fe55	28.27 Mn54	21.05 Fe55	2.09 Mo93
2.59 Fe55	16.45 Mn54	23.94 Mn54	19.23 Ni63	1.45 Mo93	1.09 Ni59
2.54 Mn54	10.76 Co58	12.57 Co58	1.17 Co58	.75 Ni59	.18 Fe55
2.04 Mo99	10.40 Mo99	7.81 Ni63	.83 Co60	.08 Mn54	
1.68 Co58	5.03 Ni63	1.12 Co60	.34 Mo93		
.78 Ni63	1.19 Mn56	.43 Nb95	.18 Ni59		
.12 Co60	.80 Co60	.14 Mo93	.02 Cr51		
DR = 10.0 m					
8.6943E+01	1.3314E+00	8.5934E-01	3.4464E-01	8.2271E-02	5.7130E-02
84.27 Mn56	38.06 Cr51	28.54 Cr51	49.57 Fe55	77.13 Ni63	96.69 Ni63
5.97 Cr51	16.57 Fe55	25.16 Fe55	28.24 Mn54	20.61 Fe55	2.04 Mo93
2.54 Fe55	16.37 Mn54	23.78 Mn54	19.60 Ni63	1.42 Mo93	1.09 Ni59
2.51 Mn54	10.97 Co58	12.80 Co58	1.20 Co58	.75 Ni59	.17 Fe55
1.98 Mo99	10.15 Mo99	7.91 Ni63	.85 Co60	.08 Mn54	
1.70 Co58	5.11 Ni63	1.15 Co60	.34 Mo93		
.78 Ni63	1.20 Mn56	.44 Nb95	.18 Ni59		
.13 Co60	.82 Co60	.14 Mo93	.02 Cr51		

Tablo-XIII devam

DR = 12.0 m					
1.3773E-01	2.0911E-02	1.3520E-02	5.3955E-03	1.3061E-03	9.1196E-04
84.42 Mn56	38.43 Cr51	28.77 Cr51	49.19 Fe55	77.60 Ni63	96.76 Ni63
5.98 Cr51	16.39 Fe55	24.84 Fe55	28.19 Mn54	20.17 Fe55	1.98 Mo93
2.49 Fe55	16.28 Mn54	23.62 Mn54	20.00 Ni63	1.39 Mo93	1.09 Ni59
2.48 Mn54	11.08 Co58	12.91 Co58	1.22 Co58	.76 Ni59	.17 Fe55
1.90 Mo99	9.82 Mo99	8.03 Ni63	.87 Co60	.08 Mn54	
1.70 Co58	5.19 Ni63	1.16 Co60	.34 Mo93		
.79 Ni63	1.21 Mn56	.45 Nb95	.18 Ni59		
.13 Co60	.83 Co60	.14 Mo93	.02 Cr51		



Tablo-XIV : Bir PNE Tesisinin Tp=30 Yıllık Çalışma Peryodu Sonunda Son Patlamayı Takip T zamanlarında, Soğutucunun Su Olması halinde Topraktaki Aktivasyon Değerleri (Curie/m³)

1 Saat	1 Gün	1 Ay	1 Yıl	10 Yıl	30 Yıl	T
DR = 0.5 m						
2.0583E+08	1.1606E+08	7.2766E+07	5.6044E+07	5.3355E+06	3.1311E+04	A
58.44 Na24 32.89 Fe55 5.35 Mn56 2.38 Mn54 .95 Na22	58.28 Fe55 35.81 Na24 4.20 Mn54 1.68 Na22 .02 Mn56	91.08 Fe55 6.29 Mn54 2.63 Na22	93.44 Fe55 3.89 Mn54 2.67 Na22	97.43 Fe55 2.55 Na22 .03 Mn54	97.90 Fe55 2.10 Na22	P
DR = 1.0 m						
8.4665E+07	4.6686E+07	2.8141E+07	2.1653E+07	2.0587E+06	1.2088E+04	
61.09 Na24 30.94 Fe55 4.86 Mn56 2.32 Mn54 .79 Na22	56.07 Fe55 38.28 Na24 4.20 Mn54 1.43 Na22 .02 Mn56	91.15 Fe55 6.53 Mn54 2.32 Na22	93.60 Fe55 4.04 Mn54 2.36 Na22	97.72 Fe55 2.25 Na22 .03 Mn54	98.14 Fe55 1.86 Na22	
DR = 1.5 m						
3.2356E+07	1.7618E+07	1.0383E+07	7.9823E+06	7.5793E+05	4.4515E+03	
62.48 Na24 29.86 Fe55 4.65 Mn56 2.32 Mn54 .70 Na22	54.80 Fe55 39.65 Na24 4.25 Mn54 1.28 Na22 .02 Mn56	91.11 Fe55 6.76 Mn54 2.13 Na22	93.64 Fe55 4.19 Mn54 2.17 Na22	97.89 Fe55 2.08 Na22 .03 Mn54	98.29 Fe55 1.71 Na22	
DR = 2.0 m						
1.1993E+07	6.4755E+06	3.7599E+06	2.8882E+06	2.7391E+05	1.6091E+03	
63.34 Na24 29.15 Fe55 4.53 Mn56 2.33 Mn54 .64 Na22	53.95 Fe55 40.54 Na24 4.31 Mn54 1.19 Na22 .02 Mn56	91.04 Fe55 6.95 Mn54 2.00 Na22	93.65 Fe55 4.31 Mn54 2.04 Na22	98.01 Fe55 1.95 Na22 .03 Mn54	98.39 Fe55 1.61 Na22	
DR = 2.5 m						
4.3658E+06	2.3425E+06	1.3451E+06	1.0325E+06	9.7815E+04	5.7471E+02	
63.96 Na24 28.62 Fe55 4.47 Mn56 2.35 Mn54	53.31 Fe55 41.19 Na24 4.37 Mn54 1.12 Na22	90.97 Fe55 7.13 Mn54 1.90 Na22	93.63 Fe55 4.42 Mn54 1.94 Na22	98.11 Fe55 1.86 Na22 .03 Mn54	98.47 Fe55 1.53 Na22	

Tablo-XIV devam

DR = 3.0 m					
1.5707E+06	8.3862E+05	4.7738E+05	3.6620E+05	3.4658E+04	2.0365E+02
64.42 Na24 28.21 Fe55 4.44 Mn56 2.37 Mn54	52.80 Fe55 41.69 Na24 4.43 Mn54 1.06 Na22	90.89 Fe55 7.29 Mn54 1.82 Na22	93.61 Fe55 4.53 Mn54 1.86 Na22	98.18 Fe55 1.78 Na22 .03 Mn54	98.53 Fe55 1.47 Na22
DR = 3.5 m					
5.6093E+05	2.9824E+05	1.6855E+05	1.2922E+05	1.2219E+04	7.1807E+01
64.79 Na24 27.87 Fe55 4.41 Mn56 2.39 Mn54	52.38 Fe55 42.11 Na24 4.48 Mn54 1.01 Na22	90.82 Fe55 7.43 Mn54 1.75 Na22	93.59 Fe55 4.62 Mn54 1.79 Na22	98.25 Fe55 1.72 Na22 .03 Mn54	98.58 Fe55 1.42 Na22
DR = 4.0 m					
1.9927E+05	1.0557E+05	5.9293E+04	4.5433E+04	4.2924E+03	2.5228E+01
65.10 Na24 27.57 Fe55 4.40 Mn56 2.41 Mn54	52.01 Fe55 42.47 Na24 4.53 Mn54 .97 Na22	90.74 Fe55 7.57 Mn54 1.69 Na22	93.57 Fe55 4.70 Mn54 1.73 Na22	98.30 Fe55 1.66 Na22 .04 Mn54	98.63 Fe55 1.37 Na22
DR = 5.0 m					
2.4898E+04	1.3112E+04	7.2914E+03	5.5813E+03	5.2647E+02	3.0947E+00
65.57 Na24 27.09 Fe55 4.41 Mn56 2.45 Mn54	51.41 Fe55 43.03 Na24 4.64 Mn54 .90 Na22	90.59 Fe55 7.82 Mn54 1.59 Na22	93.51 Fe55 4.87 Mn54 1.62 Na22	98.40 Fe55 1.56 Na22 .04 Mn54	98.71 Fe55 1.29 Na22
DR = 6.0 m					
3.0934E+03	1.6211E+03	8.9426E+02	6.8392E+02	6.4423E+01	3.7875E-01
65.94 Na24 26.71 Fe55 4.43 Mn56 2.48 Mn54	50.93 Fe55 43.48 Na24 4.73 Mn54 .85 Na22	90.46 Fe55 8.04 Mn54 1.50 Na22	93.46 Fe55 5.01 Mn54 1.53 Na22	98.48 Fe55 1.48 Na22 .04 Mn54	98.78 Fe55 1.22 Na22
DR = 8.0 m					
4.7154E+01	2.4523E+01	1.3370E+01	1.0207E+01	9.5882E-01	5.6383E-03
66.41 Na24 26.11 Fe55 4.52 Mn56 2.57 Mn54	50.18 Fe55 44.12 Na24 4.93 Mn54 .75 Na22	90.18 Fe55 8.47 Mn54 1.35 Na22	93.33 Fe55 5.29 Mn54 1.39 Na22	98.62 Fe55 1.34 Na22 .04 Mn54	98.90 Fe55 1.10 Na22

Tablo-XIV devam

DR = 10.0 m					
7.2329E-01	3.7384E-01	2.0197E-01	1.5396E-01	1.4428E-02	8.4860E-05
66.74 Na24 25.65 Fe55 4.62 Mn56 2.64 Mn54	49.59 Fe55 44.62 Na24 5.09 Mn54 .67 Na22	89.94 Fe55 8.84 Mn54 1.22 Na22	93.22 Fe55 5.52 Mn54 1.25 Na22	98.74 Fe55 1.22 Na22 .04 Mn54	99.00 Fe55 1.00 Na22
DR = 12.0 m					
1.1202E-02	5.7604E-03	3.0903E-03	2.3524E-03	2.1996E-04	1.2940E-06
66.97 Na24 25.28 Fe55 4.74 Mn56 2.71 Mn54	49.12 Fe55 45.00 Na24 5.25 Mn54 .61 Na22	89.72 Fe55 9.18 Mn54 1.10 Na22	93.12 Fe55 5.74 Mn54 1.14 Na22	98.85 Fe55 1.10 Na22 .04 Mn54	99.09 Fe55 .91 Na22



yakalanması sonucu meydana gelmektedir. Sağlıklı soğutucu kalınlığının DR= 5 m olduğu Tablo-14' den görülebilir. Ancak bu kalınlık maliyet yönünden ve ortam sıcaklığının düşmesi nedeniyle müspet değildir.

4.4 SONUÇLAR

Analiz sonrası elde edilen sonuçlar şu şekilde çıkarılabilir.

- Reaksiyon odasında, enerji absorbe edilmesi ve trityum üretimi amacıyla, bunların yanında duvarların radyoaktif kirlenmesinin azaltılması amacıyla bir koruyucu ve soğutucu akışkan kullanılmalıdır.

- MHD uygulamalarında soğutucunun LiH olması halinde plazma bölgesi ve HYLIFE-II uygulamasında reflektör bölge ile Flibe için DR > 60 cm olması halleri trityum üretimi açısından gerekli değildir.

- Enerji absorpsiyon ve trityum üretimi açısından en uygun DR kalınlığı Pacer için 3 m, LiH için 25 cm , Flibe için 50 - 60 cm, sıvı lityum için 80 cm ve LiPb için 130 cm. dir.

- Gelecek çalışmalarda Li-6 içindeki zenginleştirilmiş lityumun gerekli kalınlıkları düşürmesini gözlemek gerekecektir.

- Pacer uygulamasında çelik ve toprak bölgede aktivasyon birikmesi soğutucunun Flibe olması halinde , $T_p=30$ yıl sonunda takip eden 1 yıl bitiminde DR=3 m iken hesaplanmıştır. 10 CFR 61 tüzüğüne göre yapılan mukayesede kirlenmenin Ni59 ve Mo93 tarafından yayınlanan 7 keV'lik X-ışınları tarafından meydana getirildiği tespit edilmiştir. Bu radyoaktif kirlenmenin görülmediği DR=5 m lik soğutucu kalınlığı ise maliyet ve ortam sıcaklığını düşürmesi gibi nedenlerle tasvip edilmemiştir.

Tablo-XV : Tp=30 Yıl ve T=1 Yıl için Tablo-VII'de verilen
10 CFR 61 Sınırlarına Göre Çelikteki Emniyetli
Soğutucu Kalınlığının Hesabı

Soğutucu	Flibe	Water
DR = 4 m		
Ci/m ³ olarak Aktivasyon		
Ni59	418	154
Mo93	1767	328
DR = 5 m		
Ci/m ³ olarak Aktivasyon		
Ni59	36	20
Mo93	151	40

REFERANSLAR

1. Şahin,S. "İnsan ve Kainat Bilim ve Teknoloji " dergisi, sayı 78, Şubat 1992.
2. Foster,A.R. " Basic Nükleer Engineering " , Northeastern University , 1983.
3. Moir,W.R. ve SZÖKE,A. " A Pratical Route to Fussion Power " Technology Review ", The Massachusetts Institute of Technology, july, 1991.
4. Moir,W.R. " A Novel Fussion Power Concept Based on Molten-Salt Technology : Pacer Reviseted", Lawrance Livemore National Laboratuary , California University ,1988.
5. AL-KUSAYER,T.A. , ŞAHİN,S. ve DRIRA,A."CLAW-IV Coupled 30 Neutrons 12 Gamma-Ray Group Cross Sections with Retrieval Programs for Radiation Transport Calculations,"Radiation Shielding Information Center, RSIC Newsletter, Oak Ridge National Laboratory, p. Mayıs, 1988.
6. J.BARRETT, R. ve MacFARLANE,E. ,"CLAW, Coupled 30 Neutrons, 12 GAMMA-ray Group Cross Sections for Neuutron Transport calculations", LA-7808-MS,Los Alamos Scientific Laboratory April, 1979.
7. BONDARENKO,I. (Ed.) "Group Constants for Nuclear Reactor Calculations", Consultants Bureau, New York ,1964.
8. Moir,R.W., "HYLIFE-II Inertial Confinement Fusion Reactor Design," Fusion Technology, vol. 19, pp. 617-624 (1991)
9. HOFFMAN,M.A. ,"The Heat Transport System and Plant Design for the HYLIFE-II Fusion Reactor," Fusion Technology, vol. 19, pp. 625 -633 ,1991.

10. TOBIN, A. "Neutronic Analysis for HYLIFE-II," Fusion Technology, vol.19, pp. 763-769 (1991)
11. LOGAN, B.G. , "Compact Fusion Advanced Rankine (CFARII) Power Cycle", submitted to Tenth Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy, Boston, (June 7-12, 1992) to be published in Fusion Technology.
12. ENGLE, E.W. Jr., "ANISN, A One-Dimensional Discrete Ordinates Transport Code with Anisotropic Scattering," K1693, Oak Ridge National Laboratory (1970)
13. JONEJA, O.P. , NARGUNDKAR, N. AND BASU, T.K. , "14 MeV Neutron Multiplication Measurement in Lead," Fusion Technology, vol. 12, pp. 114-118 ,1987.
14. ŞAHİN, S. , "Comparison of Diffusion and Transport Theory for Fast Reactor Shielding Calculations," Atomkernenergie, vol. 22, pp. 24-35 (1973), also presented in extended form as Habilitation Thesis (in Turkish) to the Faculty of Science, University of Ankara, Turkey ,1973.
15. KIMLINGER, J. et. al., "TART and ALICE Input Manual, Lawrence Livermore National Laboratory," UCID 17026, Rev. 3 ,Jan.1990.
16. PLECHATY, E.F. and KIMLINGER, J.R. "TARTNP: A Coupled Neutron-Photon Monte Carlo Transport Code, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, UCRL-50400, VOL 14 JULY 1976.
17. HOWERTON, J. et. al., "The LLNL Evaluated Nuclear Data Library (ENDL): Evaluation Techniques, Graphical Displays and Descriptions of Individual Evaluations, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, UCRL-50400, vol. 15 ,1975, last update 7/19/1990.
18. ŞAHİN, YAPICI, H. ve ÜNALAN, S. , "ERDEMLI, A Computer Program to Process ANISN Output Data, Gazi University, Ankara, Turkey 1991.

19. MOIR, R.W. , "The Fusion-Fission Fuel Factory," in FUSION, vol. 1, part B, chapter 15, pp.411-541, Edited by E. TELLER, Academic Press, New York, 1981.
20. HÜTTE, Des Ingenieurs Taschenbuch, pontaneous Fission of Plutonium-240 on the Energy Release in a Nuclear Explosive," Nuclear Technology, vol. 50, pp. 88-94 ,Mid-August 1980.
21. Şahin, S. "Hızlı Reaktörlerin Radyasyon Zırhlaması Hesapları", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, G.Ü. Yayın No:169 Fen ve Edebiyat Fakültesi Yayın No : 22 Ankara, 1991.



EK-1 Hastolloy Çeliğinin Bileşimi

Bileşim (% Ağırlık)

	Özel Alaşım	Standard Alaşım
Nikel	Ana Eleman	Ana Eleman
Molibden	11-13	15-18
Krom	6-8	6-8
Demir	0.1	5
Manganez	0.15-0.25	1
Silikon	0.1	1
Fosfor	0.01	0.015
Sülfür	0.01	0.020
Bor	0.001	0.01
Titanyum	2	---
Niobyum	0-2	---

EK-3

Yardımcı kod ERDEMLİ , ANISN output okuma ve işleme programı

```

C
C   A N I S N   O U T P U T   O K U M A   P R O G R A M I
C
COMMON /SEB01/AA(6000)/SEB02/AB(10)/SEB03/AC(500)
COMMON /SEB04/AD(500)/SEB05/AF(500)/SEB06/AG(6000)
OPEN(20,FILE='flact.inp')
OPEN(10,FILE='table1')
OPEN(11,FILE='table2')
OPEN(12,FILE='table3')
OPEN(13,FILE='table4')
WRITE(10,*)'TRITIUM BREEDING RATIO'
WRITE(10,*)
WRITE(11,*)'N-2N AND N-3N '
WRITE(11,*)
WRITE(12,*)'RIGHT LEAKAGE '
WRITE(12,*)
WRITE(13,*)'ENERJİ VE İSİNİMLER'
WRITE(13,*)
CALL ARA
STOP
END

C
C
C
SUBROUTINE ARA
CHARACTER*13 TTT
CHARACTER*29 ACTIV2
CHARACTER*18 ACTIV
DIMENSION MA(80),MM(80),N(80)
COMMON /SEB01/ LBCT
COMMON /SEB02/ LACT
COMMON /SEB03/ LVOL
COMMON /SEB04/ LZTOP
COMMON /SEB05/ LZZTO
COMMON /SEB06/ LCCT

C
C   INPUT PROGRAMININ OKUNMASI
C
I=0
101 I=I+1
READ(20,301) TTT
IF(TTT.EQ.'00000000000000')GO TO 100
GO TO 101

```

```

100 NSAT=I
    READ(20,*)
    I=0
    READ(20,*)
    READ(20,*)
103 I=I+1
    READ(20,302)IZ
    IF(IZ.EQ.0) GO TO 102
    GO TO 103
102 ID=I
    READ(20,*)
    READ(20,*)
    READ(20,*)
    READ(20,*)
    I=0
    READ(20,*)
105 I=I+1
    READ(20,304) ND
    IF(ND.EQ.0) GO TO 104
    GO TO 105
104 N(15)=I
    K15=N(15)
C
C   TOPLAM INTERVAL DEGERININ OKUNMASI
C
107 READ(5,305)ACTIV
    IF(ACTIV.EQ.'IBR   RT. B.C. SAM') GO TO 106
    GO TO 107
106 READ(5,306)HHHH,INTOP
    WRITE(6,*)'TINT=',INTOP
    WRITE(10,370)'TINT=',INTOP
    WRITE(10,*)
    WRITE(11,370)'TINT=',INTOP
    WRITE(11,*)
    WRITE(12,370)'TINT=',INTOP
    WRITE(12,*)
    WRITE(13,370)'TINT=',INTOP
    WRITE(13,*)
C
C   XNF DEGERININ OKUNMASI
C
109 READ(5,305)ACTIV
    IF(ACTIV.EQ.'DY   CYL OR PLA H') GO TO 108
    GO TO 109
108 READ(5,307)FFFF,XNF
    WRITE(6,308)XNF

```

```

        WRITE(6,*)
C
C ZONELERIN INTERVAL DEGERLERININ OKUNMASI
C
111 READ(5,305) ACTIV
    IF(ACTIV.EQ.'***** TOTAL FIXED') GO TO 110
    GO TO 111
110 READ(5,*)
    READ(5,*)
    MM(0)=1
    N(5)=1
    I=0
    J=5
113 I=I+1
    READ(5,309)MA(I),MM(I)
    IF(MA(I).EQ.INTOP) GO TO 112
    IF(MM(I-1).EQ.MM(I)) GOTO 113
    J=J+1
    N(J)=MA(I-1)
C    WRITE(6,*)MM(I-1),N(J),J
    J=J+1
    N(J)=MA(I)
C    WRITE(6,*)MM(I),N(J),J
    GO TO 113
112 J=J+1
    N(J)=MA(I)
    N(2)=N(J)
    K2=N(2)
    N(4)=MM(I)+1
    K4=N(4)
C    WRITE(6,*)MM(I),N(J),J
C
C TOPLAM ACT SAYISININ OKUNMASI
C
    I=0
122 READ(5,325)ACTIV2
    IF(ACTIV2.EQ.'          ACTIVITY          MATERIAL')GO TO 123
    GO TO 122
123 READ(5,305)ACTIV
    I=I+1
    IF(ACTIV.EQ.'ACTIVITIES BY ZONE')GO TO 124
    GO TO 123
124 N(3)=I-1
126 IF((N(3)/8)*8.EQ.N(3)) GO TO 127
    N(3)=N(3)-1
    GO TO 126

```

```

127 K3=N(3)+8
    N(3)=N(3)+1
    K6=6
    REWIND 20
    REWIND 5
301 FORMAT(A13)
302 FORMAT(I5)
304 FORMAT(I3)
306 FORMAT(A39,I4)
370 FORMAT(A6,I6)
307 FORMAT(A81,1PE12.5)
308 FORMAT('XNF=',E11.5)
309 FORMAT(I6,I8)
305 FORMAT(2X,A18)
325 FORMAT(2X,A29)
    CALL ANA(LACT,LBCT,LCCT,LVOL,LZTOP,LZZTO,
*N,NSAT,ID,K15,XNF,K6,K2,K3,K4)
    RETURN
    END

```

C
C
C
C

```

SUBROUTINE ANA(ACT,BCT,CCT,VOL,ZTOP,ZZTO,
*N,NSAT,ID,K15,XNF,K6,K2,K3,K4)
    DIMENSION BCT(K2,K3),CCT(K15,K2,K6),ACT(K4,K3),
*VOL(K4),CT(98),ZTOP(K2,K6),ZZTO(K2,K6),T(6),NY(98),
*NYY(90),NZ(17),NYK(98),NK(98),NL(98),N(98),MATER(100)
    COMMON /SEB01/ LBCT
    COMMON /SEB02/ LACT
    COMMON /SEB03/ LVOL
    COMMON /SEB04/ LZTOP
    COMMON /SEB05/ LZZTO
    COMMON /SEB06/ LCCT
    CHARACTER*10 CAT
    CHARACTER*13 TTT
    CHARACTER*10 ACTIV1
    CHARACTER*12 MATER
    CHARACTER*18 ACTIV

```

C
C
C

```

    INPUT PROGRAMININ OKUNMASI

    RO=1.98
179 READ(20,305)ACTIV
    IF(ACTIV.EQ.'AKTIVASYON HESABI ')GO TO 102
    GO TO 179

```



```

102 READ(20,323)KU
    READ(20,303)(T(I),I=1,KU)
    READ(20,*)
    I=0
    J=1
    READ(20,358)ITER
105 I=I+1
    READ(20,904) NY(I)
    IF(I.EQ.1) NL(1)=1
    IF(I.EQ.1) NYK(J)=NY(I)
    IF(I.EQ.1) NY(0)=NY(1)
    IF(NY(I-1).EQ.NY(I)) NK(J)=NK(J)+1
    IF(NY(I-1).EQ.NY(I)) GO TO 125
    NL(J+1)=I-1
    NL(J+2)=I
    J=J+2
    NYK(J)=NY(I)
    NK(J)=1
125 NKK=J-1
    IF(NY(I).EQ.0) GO TO 104
    GO TO 105
104 IYYY=0
358 FORMAT(I3)
300 FORMAT(I5)
301 FORMAT(A13,1X,I4,1X,I4,2X,E11.5,I3)
303 FORMAT(6(2X,E11.5))
304 FORMAT(I3,A12,2(2X,E11.5),I5)
904 FORMAT(I3)
323 FORMAT(I5)
305 FORMAT(2X,A18)
302 FORMAT(I5,A10,9(I5))
C
    REWIND 20
    CALL ANA1(ACT,VOL,BCT,K2,K3,K4)
C
C   RT LEAKAGE NIN OKUNMASI
C
901 II=0
119 READ(5,305)ACTIV
    IF(ACTIV.EQ.'SUMMARY FOR ZONE ')GO TO 118
    GO TO 119
118 READ(5,312)AAA,ACTIV1
312 FORMAT(A48,A10)
    IF(ACTIV1.EQ.'RT LEAKAGE')GO TO 120
    GO TO 118
120 DO 202 I=1,31

```

```

      READ(5,313)CT(I)
202 CONTINUE
      II=II+1
      WWW=CT(31)/XNF
      WRITE(6,314)II,CT(31),WWW
      WRITE(12,314)II,CT(31),WWW
313 FORMAT(47X,E11.5)
314 FORMAT('ZONE=' ,I3,3X,'RT LEAKAGE=' ,E11.5,3X,'RT LE/XNF=' ,
      *E11.5)
      IF(II.EQ.(N(4)-1)) GO TO 121
      READ(5,305)ACTIV
      IF(ACTIV.EQ.'SUMMARY FOR ZONE  ')GO TO 118
121 WRITE(6,*)
C      WRITE(6,*)'NSAT  =' ,NSAT
C      WRITE(6,*)'K2    =' ,K2
C      WRITE(6,*)'N(2)=' ,N(2),' K4    =' ,K4
C      WRITE(6,*)'N(3)=' ,N(3),' K3    =' ,K3
C      WRITE(6,*)'N(4)=' ,N(4),' ID    =' ,ID
C      WRITE(6,*)'K15= ' ,K15
C
C      DO 2003 I=1,K3-7,8
C      WRITE(6,*) I,I+1,I+2,I+3
C      DO 2003 J=1,K4
C      WRITE(6,310)J,ACT(J,I),ACT(J,I+1),ACT(J,I+2),ACT(J,I+3),
      *ACT(J,I+4)
C      *,ACT(J,I+5),ACT(J,I+6),ACT(J,I+7)
C2003 CONTINUE
C      DO 2004 J=1,K4
C      WRITE(6,359) VOL(J)
C2004 CONTINUE
C      DO 2005 I=1,K3,8
C      WRITE(6,*)I,I+1,I+2,I+3,I+4,I+5,I+6,I+7
C      DO 2005 J=1,K2
C      WRITE(6,310)J,BCT(J,I),BCT(J,I+1),BCT(J,I+2),BCT(J,I+3),
      *BCT(J,I+4)
C      *,BCT(J,I+5),BCT(J,I+6),BCT(J,I+7)
C2005 CONTINUE
      359 FORMAT(8X,E11.5)
      310 FORMAT(I6,8(1X,1PE12.5))
C
C      NEGATIF ACT DEGERLERININ SIFIRLANMASI
C
      DO 203 I=1,K3
      DO 203 J=1,K4
      IF(ACT(J,I).LT.0) ACT(J,I)=0
203 CONTINUE

```

```

DO 204 I=1,K3
DO 204 J=1,K2
IF(BCT(J,I).LT.0) BCT(J,I)=0
204 CONTINUE
C
C   OKUNAN ACT. LARIN YOGUNLUKLARLA CARPILMASI
C
DO 214 J=1,NSAT
READ(20,301) TTT,NA,NB,YOG,NQ
NH1=2*NQ+3
NH2=2*NQ+4
DO 214 I=N(NH1),N(NH2)
DO 214 K=NA,NB
BCT(I,K)=BCT(I,K)*YOG
214 CONTINUE
DO 212 J=1,NSAT
I=NQ
DO 212 K=NA,NB
ACT(I,K)=ACT(I,K)*YOG
212 CONTINUE
C
C   YOGUNLUKLARLA CARPILMIS DEGERLERIN YAZDIRILMASI
C
READ(20,*)
I=0
READ(20,393)NU,IA1,IA2
READ(20,*)(NYY(K),K=1,NU)
DO 206 I=1,ID
READ(20,302)IZ,CAT,(NZ(J),J=1,9)
WRITE(6,*)
WRITE(6,*)'=====
*=====
WRITE(6,316)'ZONE=',IZ,CAT
IF(CAT.EQ.' TPROD ')GOTO 297
IF(CAT.EQ.' (N,2N) ')GOTO 297
IF(CAT.EQ.' (N,3N) ')GOTO 297
WRITE(13,316)'ZONE=',IZ,CAT
297 NH1=2*IZ+3
NH2=2*IZ+4
DO 207 M=N(NH1),N(NH2)
ATOP=0
BTOP=0
DO 208 J=1,NYY(I)
BTOP=BTOP+BCT(M,NZ(J))
ATOP=ATOP+ACT(IZ,NZ(J))
208 CONTINUE

```

```

IF(CAT.EQ.' TPROD      ')GOTO 207
IF(CAT.EQ.' (N,2N)     ')GOTO 207
IF(CAT.EQ.' (N,3N)     ')GOTO 207
WRITE(6,317)M,(BCT(M,NZ(K)),K=1,NYY(I)),BTOP
WRITE(13,317)M,(BCT(M,NZ(K)),K=1,NYY(I)),BTOP
207 CONTINUE
WRITE(13,*)
IF(NZ(K).EQ.3)RO=0.0002
150 YATOP=(ATOP+2.E+8)/(VOL(IZ)*RO)
WRITE(6,*)'***** ZONE TOPLAM OLARAK *****'
*****'
WRITE(6,318)(ACT(IZ,NZ(K)),K=1,NYY(I)),ATOP,YATOP
IF(CAT.EQ.' TPROD      ') WRITE(10,338)IZ,(ACT(IZ,NZ(K)),
*K=1,NYY(I)),ATOP
IF(CAT.EQ.' (N,2N)     ') WRITE(11,338)IZ,(ACT(IZ,NZ(K)),
*K=1,NYY(I)),ATOP
IF(CAT.EQ.' (N,3N)     ') WRITE(11,338)IZ,(2*ACT(IZ,NZ(K)),
*K=1,NYY(I)),2*ATOP
IF(CAT.EQ.' PHEAT      ')GOTO 206
IF(CAT.EQ.' THEAT      ')GOTO 206
IF(CAT.EQ.' APROD      ')GOTO 206
WRITE(6,*)'***** XNF ILE BOLUMU *****'
*****'
WRITE(6,318)(ACT(IZ,NZ(K))/XNF,K=1,NYY(I)),ATOP/XNF
IF(CAT.EQ.' TPROD      ') WRITE(10,318)(ACT(IZ,NZ(K))/XNF,
*K=1,NYY(I)),ATOP/XNF
IF(CAT.EQ.' (N,2N)     ') WRITE(11,318)(ACT(IZ,NZ(K))/XNF,
*K=1,NYY(I)),ATOP/XNF
IF(CAT.EQ.' (N,3N)     ') WRITE(11,318)(2*ACT(IZ,NZ(K))/XNF
*,K=1,NYY(I)),2*ATOP/XNF
206 CONTINUE
350 FORMAT(A10,2X,1PE12.5)
393 FORMAT(3I5)
351 FORMAT(I4,2X,1PE12.5)
318 FORMAT(5X,9(1PE12.5))
338 FORMAT(I3,2X,9(1PE12.5))
316 FORMAT(A6,1X,I3,2X,A10)
317 FORMAT(I5,1X,9(1PE12.5))
C
C   ORTALAMA ENERJI HESABI
C
WRITE(6,*)'ORTALAMA ENERJILER'
KK=5
K=K2/KK
DO 322 I=1,K
ORT1=BCT(I,IA2)/BCT(I,IA1)

```

```

      ORT2=BCT(I+K,IA2)/BCT(I+K,IA1)
      ORT3=BCT(I+2*K,IA2)/BCT(I+2*K,IA1)
      ORT4=BCT(I+3*K,IA2)/BCT(I+3*K,IA1)
      ORT5=BCT(I+4*K,IA2)/BCT(I+4*K,IA1)
      WRITE(6,391)I,ORT1,I+K,ORT2,I+2*K,ORT3,I+3*K,ORT4,
      *I+4*K,ORT5
322 CONTINUE
329 FORMAT(3I4)
391 FORMAT(5(I4,1PE12.5,1X))
C
C   AKTIVASYON HESAPLARI
C
      DO 1 I=1,5
      READ(20,*)
1 CONTINUE
C   IF(ITER.EQ.0) GO TO 999
      WRITE(6,*) '** AKTIVASYON HESAPLARI **'
      WRITE(6,*)
      WRITE(6,319)'1 SAAT', '1 GUN', '1 AY', '1 YIL', '10 YIL',
      *'30 YIL'
319 FORMAT(14X,6(A11))
      DO 209 I=1,K15
      READ(20,304) NY(I),MATER(I),YARI,YUZ,KACT
      NH1=2*NY(I)+3
      NH2=2*NY(I)+4
      DO 210 J=N(NH1),N(NH2)
      DO 211 K=1,KU
      CC=0.693*T(K)/YARI
      IF(CC.GT.20) CC=20
      IF(CC.LT.-20) CC=-20
      C=EXP(-CC)
      CCT(I,J,K)=0.693*YUZ*BCT(J,KACT)*C/YARI
211 CONTINUE
210 CONTINUE
209 CONTINUE
320 FORMAT(A6,I5)
321 FORMAT(A11,I3,6(1X,1PE10.3))
      DO 215 K=1,KU
      DO 217 L=1,NKK,2
      NH1=2*NYK(L)+3
      NH2=2*NYK(L)+4
      DO 218 J=N(NH1),N(NH2)
      DO 216 I=NL(L),NL(L+1)
      ZTOP(J,K)=CCT(I,J,K)+ZTOP(J,K)
216 CONTINUE
218 CONTINUE

```

```

217 CONTINUE
215 CONTINUE
  DO 223 I=1,K15
  WRITE(6,320)'ZONE=',NY(I)
  WRITE(6,320)'ACT-',KACT
  NH1=2*NY(I)+3
  NH2=2*NY(I)+4
  DO 224 J=N(NH1),N(NH2)
  WRITE(6,321)MATER(I),J,(CCT(I,J,K),K=1,KU)
  DO 225 K=1,KU
  ZZTO(J,K)=100*CCT(I,J,K)/ZTOP(J,K)
225 CONTINUE
  WRITE(6,327)(ZZTO(J,K),K=1,KU)
224 CONTINUE
223 CONTINUE
327 FORMAT(14X,6(2X,'(%,F6.3,')'))
  DO 220 L=1,NKK,2
  NH1=2*NYK(L)+3
  NH2=2*NYK(L)+4
  WRITE(6,*)'INTERVAL OLARAK TOPLAM AKTIVASYON'
  WRITE(6,*)' ZONE = ',NYK(L)
  DO 221 J=N(NH1),N(NH2)
  WRITE(6,326)J,(ZTOP(J,K),K=1,KU)
221 CONTINUE
220 CONTINUE
326 FORMAT(2X,I5,6(1X,1PE11.4))
999 RETURN
  END

```

C

```

SUBROUTINE ANA1(ACT,VOL,BCT,K2,K3,K4)
DIMENSION BCT(K2,K3),ACT(K4,K3),VOL(K4)
CHARACTER*10 ACTIV1
CHARACTER*18 ACTIV
  II=5

```

C

C ACT. TOPLAMININ OKUNMASI

C

```

130 READ(5,305) ACTIV
  IF(ACTIV.EQ.'ACTIVITIES BY ZONE') GO TO 131
  GO TO 130
131 DO 200 I=1,K3-7,8
  READ(5,*)
311 FORMAT(A110)
C  WRITE(6,*) I
  DO 200 J=1,K4
  CALL SEB1(ACT(J,I),K4,ACT(J,I+1),K4,ACT(J,I+2),K4,

```

```

      *ACT(J,I+3),K4,
      *ACT(J,I+4),K4,ACT(J,I+5),K4,ACT(J,I+6),K4,ACT(J,I+7),
      *K4,II)
200 CONTINUE
310 FORMAT(I6,8(1X,1PE12.5))
C
C TOPLAM VOLUMLERIN OKUNMASI
C
141 READ(5,305) ACTIV
      IF(ACTIV.EQ.'ZONE VOLUMES      ')GO TO 140
      GO TO 141
140 READ(5,*)
      DO 250 J=1,K4
      READ(5,359) VOL(J)
C      WRITE(6,359) VOL(J)
359 FORMAT(8X,E11.5)
250 CONTINUE
C
C ACT. INTERVAL OKUNMASI
C
117 READ(5,305) ACTIV
      IF(ACTIV.EQ.'ACTIVITIES BY INTE') GO TO 116
      GO TO 117
116 DO 201 I=1,K3-7,8
C      WRITE(6,*) I
      READ(5,*)
      DO 201 J=1,K2
      CALL SEB1(BCT(J,I),K2,BCT(J,I+1),K2,BCT(J,I+2),K2,
      *BCT(J,I+3),K2,
      *BCT(J,I+4),K2,BCT(J,I+5),K2,BCT(J,I+6),K2,BCT(J,I+7),
      *K2,II)
201 CONTINUE
305 FORMAT(2X,A18)
      RETURN
      END
C
C
      SUBROUTINE SEB(XA,N1,XB,N2,XC,N3,XD,N4,XE,N5,XF,N6,XG,N7,
      *XH,N8,IJ)
      DIMENSION XA(N1),XB(N2),XC(N3),XD(N4),XE(N5),XF(N6),
      *XG(N7),XH(N8)
      ENTRY SEB1(XA,N1,XB,N2,XC,N3,XD,N4,XE,N5,XF,N6,XG,N7,XH,
      *N8,IJ)
      READ(IJ,310)K,XA(1),XB(1),XC(1),XD(1),XE(1),XF(1),XG(1),
      *XH(1)
310 FORMAT(I6,8(1X,1PE12.5))
      RETURN
      END

```

EK-2 Yardımcı kod ERDEMLİ için örnek INPUT datası

ZONE-1	O-16	68	70	9.48600E-06	1
ZONE-2	LI-6	5	8	4.52250E-04	2
	LI-7	9	12	5.57755E-03	2
	BE-9	13	16	3.01492E-03	2
	F-19	17	20	1.20596E-02	2
ZONE-4	SI	22	25	1.71080E-03	4
	CR	26	29	1.66270E-02	4
	CR	46	46	1.66270E-02	4
	MN	78	79	1.75480E-03	4
	FE	47	47	5.76510E-02	4
	FE	50	53	5.76510E-02	4
	NI	62	63	8.18630E-03	4
	MO	64	65	1.00220E-03	4
ZONE-5	H-1	66	67	9.61300E-03	5
	O-16	68	70	3.57300E-02	5
	MG	74	75	4.90100E-04	5
	NA-23	71	73	4.45200E-04	5
	AL-27	76	77	4.50800E-04	5
	AL-27	21	21	4.50800E-04	5
	SI	22	25	1.16400E-04	5
	FE	34	37	3.42700E-04	5
	FE	50	53	3.42700E-04	5
00000000000000	00	00	0.00000E-03	0	BU SATIR SILINMEYECEK

TOT. CROSS SECTION

19 1 2

1,1,1,1,4,4,4,4,6,6,6,6,8,7,7,2,3,3,0

1	PHEAT	68	00	00	00	00	00	00	00	00
1	THEAT	69	00	00	00	00	00	00	00	00
2	PHEAT	5	9	13	17	00	00	00	00	00
2	THEAT	6	10	14	18	00	00	00	00	00
2	TPROD	7	11	15	19	00	00	00	00	00
2	(N,2N)	8	12	16	20	00	00	00	00	00
4	PHEAT	22	26	30	34	38	42	00	00	00
4	THEAT	23	27	31	35	39	43	00	00	00
4	(N,2N)	48	51	53	54	55	61	65	78	00
5	PHEAT	22	34	68	71	74	76	66	00	00
5	THEAT	23	35	69	72	75	77	67	00	00
5	(N,2N)	51	53	73	00	00	00	00	00	00
0	000000	00	00	00	00	00	00	00	00	00

(EN SON OLACAK)

AKTIVASYON HESABI IN SECOND

6 (1 SAAT, 1 GUN, 1 AY, 1 YIL,
10 YIL, 30 YIL)3.60000E+03 8.64000E+04 2.59200E+06 3.15360E+07
3.15360E+08 9.46080E+08

ZONE NO,	MATERYAL,	YARI OMUR,	YUZDE,	ACT. NO
1				
4	CR50(N,GA)	2.39328E+06	0.04350E+00	46
4	FE56(N,P)	9.36000E+03	0.91800E+00	47
4	CR52(N,2N)	2.39328E+06	0.83800E+00	48
5	FE56(N,2N)	8.51472E+07	0.91800E+00	53
5	NA23(N,2N)	8.19936E+07	1.00000E+00	73
00000000000000	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	10 SILINMEYECEK

EK-3 Yardımcı kod ERDEMLİ 'nin kullanılması ve inputunun hazırlanması için açıklamalar.

1. Input Hazırlama İle İlgili Açıklamalar

Örnek inputtada görüldüğü üzere input üç kısımdan meydana gelmektedir. Birinci kısmında ANISN çıktılarından okunan aktivite değerlerinin atomik yoğunluklarla çarpılması için gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Bu kısım incelendiğinde başlıca 5 sütundan meydana geldiği görülecektir. Birinci sütun açıklama mahiyetinde bilgiler olup, program akışı ile bir ilgisi yoktur. Bu sütuna A13 formatında olacak şekilde bölge ile ve izotopla ilgili bilgiler yazılabilir. Bu sütundan sonra gelen ikinci ve üçüncü sütunlar ise reaksiyonların aktivite numarasıdır. Bu sütunlar 2I5 formatında yazılacaktır. Dördüncü sütun ise izotopların atomik yoğunluklarıdır. Dördüncü sütun Üçüncü sütundan sonra 2 boşluk bırakıldıktan sonra E11.5 formatında yazılmalıdır. Son sütun ise bölge numarasını göstermektedir.

Misal-1:

```
ZONE-2 LI-7      9   12..5.57755E-03  2
ZONE-2 LI-7     25  25..5.57755E-03  2
```

şeklinde bir yazılımı izah edelim. Atomik yoğunluğu $5.57755E-3$ atom/cm³ olan Li-7 izotopu, 2.bölgede kullanılmaktadır ve Li-7 ile ilgili reaksiyonların aktivite numaraları 9,10,11,12 ve 25 dir.

Inputun ikinci kısmı ise TOT. CROSS SECTION ile başlamaktadır. Hemen sonra ise 3I5 formatıyla üç tane tamsayı girilmektedir. Bunların ikinci ve üçüncü değerleri ortalama enerji hesabı ile ilgilidir. Ortalama enerji hesabı için bölüm durumunda olan aktivitenin numarası 2. haneye , bölünen durumunda olan aktivitenin numarası ise 3. haneye yazılacaktır. Burada birinci haneye hemen alt satırda virgüllerle formatsız olarak yazılmış sayıların adet olarak toplamı yazılacaktır. Bu kısmın yazılım

formatı aşağıdaki misalde görülmektedir.

Misal-2:

```

.....4.....1.....2
1,1,4,4
.....3.PHEAT.....68...00...00...00...00...00...00...00...00
  3 THEAT          69  00  00  00  00  00  00  00  00  00
  2 PHEAT          5   9  13  17  00  00  00  00  00  00
  2 THEAT          6  10  14  18  00  00  00  00  00  00
  I5              A10  I5  I5  I5  I5  I5  I5  I5  I5  I5

```

Bu hesaplamada 4 tane reaksiyonun bölgeler için toplamı yaptırılacaktır. Ortalama enerji ile ilgili aktivite numaraları 1 ve 2 dir. 3 ve 2 nolu bölgedeki PHEAT ve THEAT hesaplarının yapılması istenmektedir. 3. bölgede sadece bir izotop PHEAT ve THEAT reaksiyonu yapmakta ve bu izotopun ilgili reaksiyonlar için aktivite numaraları 68 ve 69 dur. 2. bölgede ise aynı reaksiyonları yapan 4 tane izotop vardır. PHEAT reaksiyonunu veren izotopların aktivite numaraları 5,9,13,17 iken ,THEAT reaksiyonunu da veren izotopların aktivite numaraları ise 6,10, 14,18 dir.

Inputun üçüncü kısmı aktivasyon hesapları için ayrılmıştır. Hemen altında I5 formatıyla kaç tane zaman dilimi için aktivasyon hesabının yapılacağına adedi girilecektir. Örnek inputta bu değer 6 dir. Eu satırın altına zamanlar saniye cinsinden E11.5 formatıyla , önlerinde 2'şer karakter boşlukla girilecektir. Program akışı yönünden herhangi katkısı olmayan bazı açıklamaların yazıldığı satırdan sonra I5 formatıyla tercih girilecektir. Bu eger aktivasyon hesabı yapılacaksa 1, yapılmayacaksa 0 olarak alınmalıdır. Bu satırın hemen altında 5 tane sütun görülmektedir. Bunlar bir misal ile açıklanabilir.

Misal-3:

```

      3 (1 SAAT,          1 GUN,          1 AY)
      3.60000E+03  8.64000E+04  2.59200E+06
ZONE NO,MATERYAL, YARI OMUR,          YUZDE,          ACT. NO
  1
  4 CR50(N,GA)    2.39328E+06  0.04350E+00  46
  4 CR52(N,2N)    2.39328E+06  0.83800E+00  48
  5 FE56(N,2N)    8.51472E+07  0.91800E+00  53

```

Bu misale göre reaksiyonu takip eden1 saat, 1 gün ve 1 ay için aktivasyon hesabı yapılacaktır. 1 sayısı ile aktivasyon hesabının yapılması tercih edilmiştir. 4 ve 5 nolu bölgelerde aktivasyon hesabı yapılacaktır. $Cr50(n,\gamma)$, $Cr52(n,2n)$ ve $Fe56(n,2n)$ reaksiyonları için hesaplama yapılacaktır. Üçüncü sütunda bu bozunmaların yarıömürleri, dördüncü sütunda yüzdeleri ve beşinci sütunda ise ilgili reaksiyonların aktivite numaraları verilmiştir. Bu bölümün yazılım formatı I3,A12,2(2X,E11.5),I5 şeklindedir.

2. Programla İlgili Kullanım Bilgileri

Programın kullanılması için bazı kriterlerin bilinmesi gereklidir. Ram hafıza bilgisayarın büyüklüğü ile alakalı olduğu için bu programın kullanımı için de önemli bir rol oynamaktadır. Ana programda sağlıklı bir işlem yapılabilmesi için COMMON deyimi ile 6 ayrı ortam değişkenlerin kullanımına açılmıştır.

Bu ortamlardan SEB01, reaksiyonların interval olarak okunup işlenmesi için kullanılırken , SEB02 ise reaksiyonların ortalama olarak (Bölge toplamı) okunup işlenmesi için ayrılırken, SEB04, SEB05 ve SEB06 ise aktivasyon hesaplarının yapılabilmesi için ayrılmıştır.

Şayet kullanılan bilgisayarın hafızası çok büyük ise bu ortamların boyutları çok büyük alınarak bir daha değiştirilmemelidir. Dimension boyutlarının fazla ayrılmasının bu program açısından bir sakıncası yoktur. Eger bu hesaplamalardan bir kısmı yapılmayacaksa ilgili boyut çok küçük alınabilir.

Ana programda değişik nükleer büyüklüklerin ayrı yerlerde saklanabilmesi için çeşitli dosyalar OPEN deyimi ile açılmıştır. Bunların sayısı ilgili bölümlerde WRITE deyimi ilavesi ile artırılabilir. Yazdırma formatı kişinin isteğine göre ANA isimli alt programında değiştirilebilir. Hazırlanmış olan input ana programda 20 nolu OPEN deyimine yazılmalıdır.

Eger ANISN çıktıları bu programın okuma formatına uygun değilse değiştirilmelidir. Her okunan nükleer büyüklüğün okunduğu yer program içinde C deyimi ile açıklanmıştır. Mesela RT LEAKAGE okunurken, RT LEAKAGE'nin okunması şeklinde önceden açıklayıcı bilgi verilmiştir.

Her bölge için aynı reaksiyonları veren izotoplar için, toplam değer ve her izotopun katkısı , inputtaki ikinci kısımdaki sıralamaya göre çıktı olarak verilecektir. 2.misal'e göre bu program çalıştığında ,2.bölgenin PHEAT çıktıları aşağıdaki şekilde bir formda gözlenecektir:

Misal-2 'nin sonucu:

ZONE=2 PHEAT

```

=====
5. Aktivite 9. Aktivite 13.Aktivite 17.Aktivite Toplam
  (Bu aralık interval olarak çıkacaktır.)
=====
5. Aktivite 9. Aktivite 13.Aktivite 17.Aktivite Toplam
  (Bu degerler bölgenin ortalaması olarak çıkacaktır.)
=====
5. Aktivite 9. Aktivite 13.Aktivite 17.Aktivite Toplam
  (Burada bölge ortalaması normalizasyon faktörüne [XNF]
  bölümü çıkacaktır.)

```

Aktivasyon hesaplamalarında her izotopun, reaksiyonu takip eden zaman dilimleri için aktivasyon değerleri interval olarak, Curie biriminde verilirken, hemen altında o bölgenin toplam aktivasyonu içerisinde verilecektir. Her reaksiyon için bu sıralamadan sonra altta ,her intervaldeki toplam aktivasyon verilecektir. Bu açıdan misal-3'ün , 4. bölge için şu şekilde bir çıktı verdiği gözlenecektir.

Misal-3'ün cevabı:

ZONE-4

		1 Saat	1 Ay	1 Gün	
Cr50(n, γ)	1.interval	x1 (% w1)	x2 (% w2)	x3 (% w3)	
	2.interval	y1 (% q1)	y2 (% q2)	y3 (% q3)	
	n.interval	z1 (% e1)	z2 (% e2)	z3 (% e3)	
	=====				
	Cr52(n, 2n)	1.interval	a1 (% d1)	a2 (% d2)	a3 (% d3)
		2.interval	b1 (% f1)	b2 (% f2)	b3 (% f3)
n.interval		c1 (% g1)	c2 (% g2)	c3 (% g3)	
=====					
ZONE-4 INTERVAL OLARAK TOPLAM AKTIVASYON					
	1.interval	a1+x1	a2+x2	a3+x3	
	2.interval	q1+b1	q2+b2	q3+b3	
	n.interval	z1+c1	z2+c2	z3+c3	