



NÜKLEER REAKTÖRLERDE YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN
ELEMENTLERDE GAZ ÜRETİMİ

GAS PRODUCTION WHICH IS USED IN NUCLEAR REACTOR AS BUILDING
MATERIAL

Aydan ALTIKULAÇ^a

^aMuğla Üniversitesi , Ula Ali Koçman Meslek Yüksekokulu

aydanaltikulac@gmail.com

Özet

Nükleer reaktörlerde yapı malzemesi olarak kullanılan Fe ve Hızlandırıcı Güdümlü Sistemlerde (HGS) hedef olarak kullanılan W ve Pb elementlerinde nötronların sebep olduğu radyasyon hasarının tespiti oldukça önemlidir. Bu yüzden Fe, W ve Pb elementleri, merkezinde 150 MeV enerjili noktasal nötron kaynağı bulunan ve yarıçapı 15 cm olan küreler olarak seçildi. Kaynaktan salınan nötron ve bu kaynak nötronların meydana getirdiği ikincil nötronların oluşturduğu (n,p), (n,d), (n,t), (n,³He), (n,α) çekirdek reaksiyonlarında toplam proton, döteryum, trityum, ³He, alfa üretimi ve atom başına yer değiştirme (Dpa) 0-150 MeV enerji aralığında MCNPX.250 Nükleer Program kullanılarak hesaplandı. Hesaplamalarda ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-3.0 ve JEFF-2.2, BROND-2.2 ve CENDL-2 Değerlendirilmiş Veri Dosyaları (ENDF) kullanıldı. Bu beş farklı kütüphaneden alınan kesitleri kullanılarak bulunan sonuçlar birbirleriyle kıyaslandı

Anahtar Kelimeler: Akı, gaz üretimi, atom başına yer değiştirme, atom

Abstract

It is quite important to determine the radiation damage which caused by neutrons in Fe elements used in Nuclear reactors as building material and at Accelerator Driven System which is used as a target in W and Pb elements. So it was choosed that in its center there was a point source with 150 MeV energy and it was built that Fe, W and Pb, which was 15cm radius sphere. The neutrons which are grown light from source cause (n,p), (n,d), (n,t), (n,³He), (n,α) reactions, total proton, deuteron, triton, ³He, ⁴He production and displacement per atom (dpa) are calculated which between 0-150 MeV energy and MCNPX.250 Nuclear Program is used. In calculations ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-3.0 ve JEFF-2.2, BROND-2.2 and CENDL-2 Evaluated Nuclear Data File (ENDF) is used. Cross section which are taken from five different libraries are used to compare each other.

Key Words: Flux, gas production, displacement per atom, atom

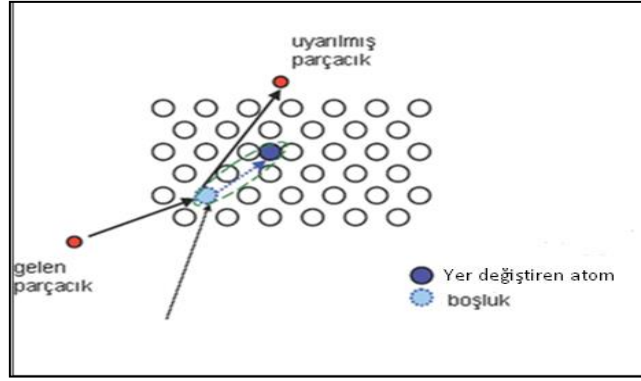
1. GİRİŞ

Monte Carlo metodu olasılık teorisi üzerine kurulu bir sistemdir. Amaç istatistiksel ve matematiksel tekniklerle bir deneyi veya çözülmesi gereken bir fiziksel olayı, rastgele sayıları defalarca kullanarak simüle edip çözmektir [1]. Fizik ve matematik problemlerinin çözümünde MCNP (Monte Carlo N-Parçacık Taşınım) kodu kullanılarak nükleer transport hesaplamalarında iyi sonuçlar alınabilir. MCNP, Monte Carlo simülasyonu ve bir takım modelleri içeren, nükleer özellikleri olan fizik ve matematik konularını içeren bir koddur. Bu kod, karmaşık parçacık taşınımını modellemeye de uygulanır, bunun için sürekli tesir kesiti verisi kullanır. MCNP, Monte Carlo grubu tarafından Los Alamos laboratuvarında teorik fizik için geliştirilmiş 40000 satır fortran ve yorumlar içeren 1000 satır C kaynak kodlayıcı ve program uygulayan genel bir bloğa sahiptir. Bu kod 1940 yıllarında nükleer savunma ve silahları için geliştirilmiştir. Özellikle 1930'lerden sonra hızlı bir şekilde gelişmeye başlayan Monte Carlo Tekniği Los Alamos laboratuvarlarında ilk kez ortaya atılmıştır [2]. Metodun bir probleme uygulanması, problemin rastgele sayıları kullanarak simüle edilip, hesap edilmek istenen parametrenin bu simülasyonların sonuçlarına bakarak yaklaşık hesaplanması düşüncesine dayanır [3].

Simülasyon, gerçeğin temsil edilmesi şeklinde tanımlanabilir. Simülasyonun amacı, bir gerçek hayat sistemini girdi ve çıktılarıyla matematiksel olarak ifade etmek, gerçek sistemi kuran model üzerinde tanıyıp araştırmak, değişik kararları ve seçenekleri gerçek sistemde hiçbir değişiklik yapmadan deneyebilmektir. Bu teknik sayesinde analitik işlemleri çok karışık ve deneysel işlemleri de çok pahalı olan nükleer savunma problemleri başarı ile çözüldü. Yapılan çalışmada hesaplamalar yapılırken bu teknik kullanıldı. Nötron üretimi için birçok nükleer reaksiyon vardır. Buna karşın, nötronların üretiminde protonların kullanımı, nötron ekonomisi açısından en uygun yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüksek enerjili parçacık, çekirdekle etkileştikten sonra, hedeften bazı nükleonların ya da hafif çekirdeklerin çıkmasına yol açar. Bu esasa dayanarak yüksek enerjili proton (0,5–1GeV mertebesinde) hedef çekirdeğe çarptırılır. Hedef çekirdekten çıkan yüksek enerjili nükleonlar çevresindeki çekirdeklerle etkileşirler. Bu iki süreç içerisinde hedef çekirdeklerin belirli bir kısmı ya parçalanma ya da buharlaşma suretiyle dışarı fazladan nükleon fırlatırlar ki bu nükleonların içerisinde üretilen nötronlar (20 MeV altı) fisyon yapması için hedefi çevreleyen korda kullanılır. Dolayısıyla bir Hızlandırıcı Güdümlü Sistem'de (HGS), nötronik açıdan hızlı proton başına çıkan nötronların maksimize edilmesi temel düşüncedir. Yapılan pek çok çalışmada kurşun (Pb) hedefte üretilen nötronların sayısının Np, U, Am, W gibi hedeflere göre daha az olmasına karşın, CERN'de geliştirilen HGS'de birkaç nedenden ötürü hedef kütle kurşun olarak seçildi. Bu nedenler, reaktör korunu soğutmak için seçilen ve ısı avantajları yüksek olan eriyik kurşunla aynı elementer özellikleri taşıması (yüksek kaynama sıcaklığı), nötron yutma ve aktivasyon açısından da bu gruptaki diğer elementlerle (civa, tungsten vb.) mukayese edilebilir düzeyde iyi olması şeklinde sıralanabilir. Nötronların genel etkileri atomik yer değiştirme, safsızlık oluşumu, iyonlaşma ve enerji depolama şeklinde ifade edilir.

Atomik yer değiştirme kinetik enerji transferiyle olur. Madde içinden geçen parçacığın enerjisi orbitallerdeki elektronları uyarmak ve nükleonlarla elastik çarpışma yapmak için harcanır. Elastik çarpışma, atomu normal örgü pozisyonundan dışarı çıkarabilir, dışarı çıkan bu atom, çarpışmaya maruz kalan atom (primary knock-on) olarak bilinir ve hareketsiz hale gelmeden önce atomik yer değiştirmelerin çıkma sebep olabilir. Yer değiştiren atom, örgüde çarpışma doğrultusunda bir yer işgal eder ve önceki pozisyonunda bir boşluk bırakır. Şekil 1'de görüldüğü gibi yer değiştiren atom gerisinde boşluk bırakır. Yer değiştiren atom ve gerisinde bıraktığı boşluğun her ikisine birden FRENKEL ÇİFTİ denir. Yer değiştiren bir kaç atom, ikincil yer değiştirmeye sebep olur, örneğin yer değiştiren atom çarpışma ile metal içinde bir başka atomun yerini alabilir. Yer değiştirmeye oluşan hasar, örgü kusurlarına sebep olan saçılmaların sonucudur. Gelen tek bir parçacık metalin örgü atomlarının bir kısmına etki eden çarpışmaların çıkma sebep olabilir. Bu çarpışmalar proton, nötron ve iyon gibi diğer parçacıklar tarafından oluşturulur.

Yer değiştirme NIEL ile ifade edilir. NIEL, birim uzunluk başına iyonlaşma olmayan olaylarda enerji kaybıdır ve birimi MeV/cm veya MeVcm²/gr'dır. NIEL, yer değiştirme hasarı etkilerinin, iyonlaşmamış parçacığın enerji kaybı ve geri tepen atom ile orantılı olduğu gerçeği üzerine kuruludur. Boşluk ve yer değiştiren atomların oluşması, kristal örgü içinde depo edilen potansiyel enerjinin parçacığa kinetik enerji olarak transfer edilmesine yol açar. Boşluk ve yer değiştiren atomun her ikisi yeterince yüksek sıcaklıklar da hareketlidir. Bu sıcaklıkta örgü içindeki atomların titreşimi gittikçe artar ve o civarlarda yer değiştiren atom bir boşluğa hareket edebilir, böylece her iki defekt de saptanır.



Şekil 1. Radyasyonun madde üzerindeki ilerleyişi

Safsızlık oluşumu, bir metal içinde oluşabilen herhangi bir kirlilik değil, radyasyonun sebep olduğu kirliliktir. Kristal içindeki kirlilikler elektriksel ve mekanik özellikleri değiştirebilen yapılardır. Radyasyonun kimyasal bağı bozmakla dolaylı yoldan kirlilik oluşturacağı düşünülür. Kirlilik üretiminin en önemlisi, iyon ve nötronlardan gelen etkileridir. Gelen iyonlar, enerji kaybederek yavaşlar ve nötr hale gelmek için elektronları yakalar böylece protonlar hidrojene, alfa parçacıkları da helyuma dönüşür. Bu olayların her ikisinde nötr atom oda sıcaklığında gaz halinde bulunur ve onun komşusu olan atomlara basınç uygular. Nötron ve iyon yayılması, radyoaktif durumların türleridir. Bir nükleon tarafından yayınlanan nötron, kimyasal yapıyı bozamaz ama izotop yapısını değiştirebilir yani izotop radyoaktif olabilir ve birkaç değişik yolla bozulabilir.

İyonlaşma, nötr bir atoma bir elektron ilavesi veya elektron uzaklaştırılmasıyla iyon oluşumudur. Bu terim iyonlaşmış bir atomdan elektronun uzaklaşması anlamında da kullanılır. Bu süreç, bir elektronun enerjisinin yükseldiği uyarılmadır. Enerji Depolama, Bütün radyasyonlar, iyonlaştırma sürecinde ilgili materyallerde enerji ve yük depolanmasına sebep olur. Su ve organiklerde iyonlaşma enerjisinin büyük bir kısmı kimyasal bağı bozar.

Materyallerde kendini termal ısı olarak gösteren enerji esasen materyalde depolanan kinetik enerjidir. Depo edilen ısıyla birlikte yükselen sıcaklık materyalin pek çok özelliğini değiştirebilir.

Gelen iyonlar tarafından yer değiştiren örgü atomlarına, primary knock-on atomlar ya da PKA denir. Gelen enerjik parçacık bir örgü atomuyla çarpışmaya maruz kaldığında, birincil geri tepen atom oluşur. Eğer atoma transfer edilen enerji yeterince büyükse ($E \gg Ed$), çarpılan atom, yer değiştirme süreçlerine devam edebilir. İlave atomların yer değiştirmesine dönüşebilen, ikincil geri tepen atom yer değiştirmeleri oluşur. Yer değiştirme olayları birbirine komşu atomlar arasında gerçekleşir. Çarpışma olaylarının art arda olmasına çarpışma çığı denir.

Çığ içinde yer değiştiren atomların sayısı $\langle Nd(E) \rangle$, yer değiştirmeye hasar fonksiyonu olarak tanımlanır.

değiştirme hasar fonksiyonu olarak tanımlanır. Hasar fonksiyonunun $\langle Nd(E) \rangle$ basit hesaplamaları katı-küre modeline dayanır. Bu model içinde bir takım varsayımlar yapılmıştır.

Çarpışmalar benzer atomlar arasında olur. Örneğin $M1=M2$ olduğunda çarpışma süresince enerji transferi Eşitlik (1)' de gösterilmiştir.

$$P(E, T)dT \cong \frac{dT}{\gamma E} = \frac{dT}{E} \quad (1)$$

$\gamma = 1$ ve $M1 = M2$ için

Çığ, art arda iki cisim çarpışmasıyla olur.

Tüm çarpışmalar, nükleer geçişlerin dikkate alındığı, elektronik durdurucuların göz ardı edildiği elastiktir. Yer değiştiren atom için harcanan enerji Ed , göz ardı edilir.

Katı içinde atom dizilişi gelişigüzeledir.

Eğer bir knock-on atom, $E_d > E$ olan bir çarpışmada ortaya çıkıyorsa, çığa bir katkısı olmaz.

Atom E_d ile $2E_d$ arasında bir enerji alırsa yer değiştirir fakat yer değiştirmelerin toplam sayısı artmaz.

Bu varsayımlardan aşağıdaki durum elde edilir.

$$\langle N_d(E) \rangle = 0, \quad E < E_d \text{ için} \quad (2)$$

$$\langle N_d(E) \rangle = 1, \quad E_d \leq E \leq 2E_d \quad (3)$$

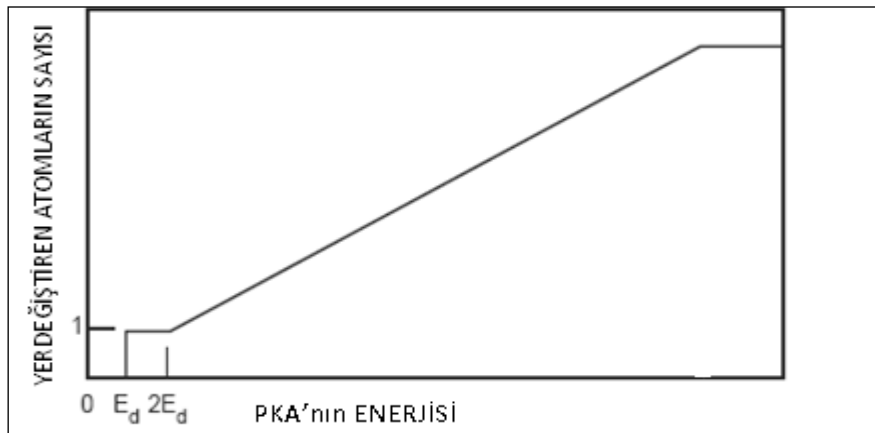
E_d ve $2E_d$ arasında enerjisi olan bir PKA oluşumu düşünülür [4]. Gelen parçacık örgü atomuyla çarpışmaya maruz kaldığı için olaylar art arda gerçekleşmektedir. Eğer PKA tarafından örgü atomuna transfer edilen enerji E_d 'den büyük ise örgü atomunun yeri değişecek fakat ilk PKA, E_d 'den daha az Senerjiye sahip olur. Bu durumda çarpılan atom örgüdeki yerinden uzaklaşır fakat PKA boşluğa düşer, onun geri kalan bütün enerjisi ısı olarak dağılır. Bu süreç tekrarlanan çarpışmalardan ibarettir.

$E > 2E_d$ için hasar fonksiyonu $\langle N_d(E) \rangle$ tarif edilmelidir. E enerjili bir PKA tarafından üretilen ortalama enerji, geri tepme enerjisi hesaplanarak başarıldı. Geri tepme enerjisi Eşitlik (4) kullanılarak Kinchin ve Pease kinetik enerjisi, yer değiştiren atomlar ile kaybedilen enerji kaybıyla bağdaştırarak tarif ettiler. Bu bilgiler ışığı altında Kinchin- Pease yer değiştiren atomların oluşturduğu hasarın fonksiyonu oluşturuldu [5].

$$\langle T \rangle = \int_0^T T(E, T) dt = \frac{1}{T} \int_0^T T dt = \frac{E}{2} \quad (4)$$

$$\langle N_d(E) \rangle = \begin{cases} 0 & (E < E_d) \\ 1 & (E_d < E < 2E_d / \varepsilon) \\ \frac{\varepsilon v(E)}{E_d} & \frac{2E_d}{\varepsilon} \leq E < \infty \end{cases} \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemde ε değerinin, bilgisayar simülasyonlarında 0,8 olarak alınması uygun olarak görülmüştür.



Şekil 2. Kinchin ve Pease'nin öngördüğü modele göre PKA'nın bir fonksiyonu olarak yer değiştiren atomların sayısı

PKA yavaşladığı zaman elektronik ve nükleer çarpışmaların her ikisiyle enerji kaybeder ve kristal içinde hareketsiz hale gelir. Yalnızca ikinci süreç yani nükleer çarpışmalar iyonlar etrafında örgü düzensizliği oluşturur ve radyasyon hasarı etkisinden sorumludur. PKA tarafından oluşturulan düzensizlik göz önüne alındığında, elektronik ve nükleer süreçler arasında enerjinin taksimi tarif edilmelidir. Örgü düzenli iken yapılan hesaplamalar arasındaki fark 2. durumda yer değiştiren atomların da göz önüne alınmasıdır. Düzenli iyon dağılımı durumunda, kristal yapı nükleer çarpışmalarda kaybolan enerjinin miktarını etkileyebilir [6]. Atomik hareketle son bulunan toplam enerji v ve kazanılan parçacığın (hedefe düşen parçacık) enerjisi $\eta + v = E$ olarak düşünülür. M1 = M2 durumunda, mono atomik metaller için PKA enerjisinin bir fonksiyonu olarak, atomik çarpışmalarda katı içinde depo edilen PKA enerjisinin kesrini gösterir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Endf Formatları

Değerlendirilmiş Nükleer Data Dosyaları (ENDF), dünyanın her yerinde nükleer teknoloji ve nükleer araştırmalar için oluşturulan, Değerlendirilmiş Nükleer Dataları tanımlamakta kullanılır. ENDF formatları, ENDF/B olarak adlandırılan Ulusal Nükleer Data Dosyalarının ABD’de kullanımı için geliştirildi. Bu dosyalar ENDF/B-III, ENDF/ B-IV, ENDF/B-V ve ENDF/B-VI ve ENDF/B-VII gibi çeşitli versiyonlarla güncelleştirildi [7]. ENDF/ B-VI hazırlanırken, ENDF formatlarının, Avrupa’da JEFF, Japonya’da JENDL ve Rusya’da BROND kütüphaneleri dahil dünyanın her yerinde geniş bir şekilde kullanılmaya başlandığı kaydedildi. Uluslararası kullanım kolaylığını sağlamak için ENDF formatlarının, ENDF/B kütüphanelerinden ayrılmasına karar verildi. ENDF formatlarının denetimi, US Cross Section Evaluated Working Grup (CSEWG) tarafından yapılmaktadır ve Brookhaven National Laboratuvarı’ndan (BNL), Milli Nükleer Data Merkez ile (NNDC) tüm dünya ile paylaşılmaktadır. ENDF formatlarının ilk birkaç versiyonu termal reaktör uygulamaları için tasarlandı [8]. ENDF/B-IV ve ENDF/B-V hızlı reaktörler ve füzyon uygulamalarını için geliştirildi. ENDF/B-VI ile ilgili ilave gelişmeler, hızlandırıcı uygulamaları ve yüklü parçacıklar için yapılmaktadır. Son yıllarda ENDF formatları, düşük enerjili nükleer fizik verilerinin arşividir. ENDF/B kütüphaneleri, materyallerde radyasyon etkileşimini tek tek saymakta kullanılır. Ayrıca foton ve nötron gibi yüksüz parçacıkların taşınımının gerektirdiği hesaplamaların olduğu uygulamalarda kullanılır. ENDF’den yararlanılan kütüphanelerde kullanılan örnekler, fisyon ve füzyon reaktörlerindeki hesaplamaları, zırlama, nükleer silahlar, nükleer fizik araştırmaları, medikal radyoterapi, radyoizotop terapi, teşhis ve tedavi, hızlandırıcı model ve etkileri ayrıca radyoaktif akı hesaplarını içerir. ENDF formatı içinde bir dosya meydana getirmek için yapılması gereken iş ‘nükleer dataları değerlendirme’ olarak adlandırılır. Bu değerlendirilmiş data dosyaları, önemli uygulamalar için kullanılmak üzere geliştirilmiştir [9].

2.2. Njoy Programı

Yapılan hesaplamalarda NJOY nükleer data işleme sistemi, ENDF formatındaki Değerlendirilmiş Nükleer Data Dosyalarından ilgili nicelikleri, tesir kesitleri ve ek etkileri üretmek için kullanılan, geliştirilmiş kapsamlı bilgisayar programıdır.

2.3 Mcnpx Programı

Hesaplamalarda MCNP ve LAHET’in birleşimi olan Monte Carlo kod MCNPX kullanıldı. Yüksek enerjili nötronlar ve protonların taşınımı için LAHET kullanıldı [10]. MCNPX programı, CEM LAHET kod sistemi, ISABEL [11] , BERTINI nükleer modellerini ve MCNP kodunu kullanır [12] $E < 20$ MeV enerjili radyasyonların taşınımında MCNP kodu kullanılır. $E > 150$ MeV enerjili parçacıkların taşınımında nükleer modeller kullanılırken, $E < 150$ MeV enerjili parçacıkların taşınımında tesir kesiti kütüphaneleri kullanılır [13]. Çalışma süresince yapılan hesaplamalarda ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-3.0 JEFF-2.2, BROND-2.2 ve CENDL-2 tesir kesiti kütüphaneleri kullanıldı.

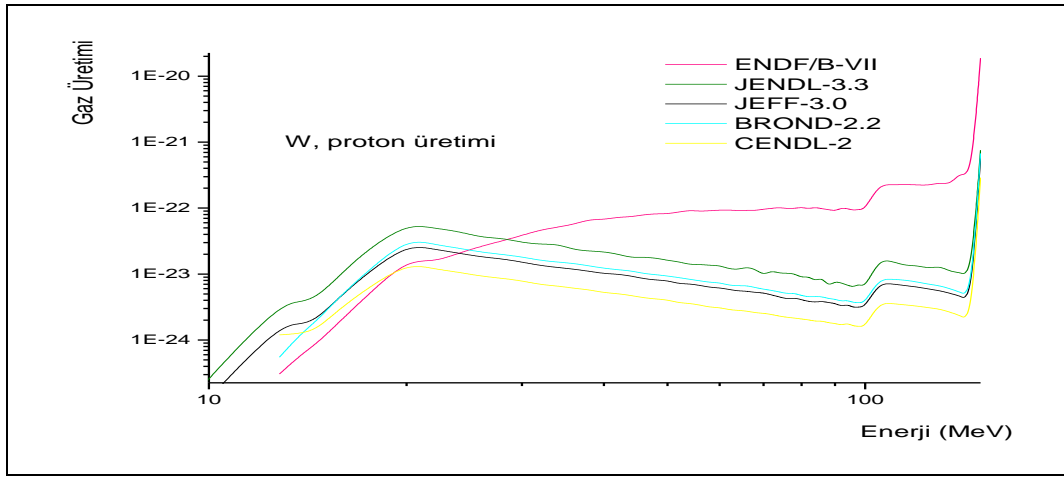
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Çalışma için merkezinde noktasal nötron kaynak bulunan ve yapı malzemesi doğal demir, wolfram, kurşun, 54Fe, 56Fe, 57Fe, 58Fe, 182W, 183W, 184W, 186W, 204Pb, 206Pb, 207Pb ve 208Pb olan 15 cm yarıçaplı küre seçilmiştir. Küreyi oluşturan element ve izotoplardaki nötron akısı, (n,p), (n,d), (n,t), (n,3He), (n, α) reaksiyonlarıyla oluşan gazlar ve bu reaksiyonlara bağlı olarak meydana gelen dpa hesaplanmıştır. Hesaplamalar için (n,p), (n,d), (n,t), (n,3He), (n, α) reaksiyonların tesir kesitleri LANL’den alınmıştır. Bu dosyalarda çalışılan sıcaklık 0 K olup bir takım reaksiyonlara ait tesir kesiti bulunmamaktadır. NJOY programı ile tesir kesiti olmayan reaksiyonların tesir kesitleri elde edilmiştir.

Ayrıca çalışılan sıcaklık 300 K'e çıkarılmıştır. NJOY'dan elde edilen tesir kesiti dosyaları MCNPX programı kullanılarak simüle edilip grafikler çizilmiştir.

3.1 Gaz Üretimi

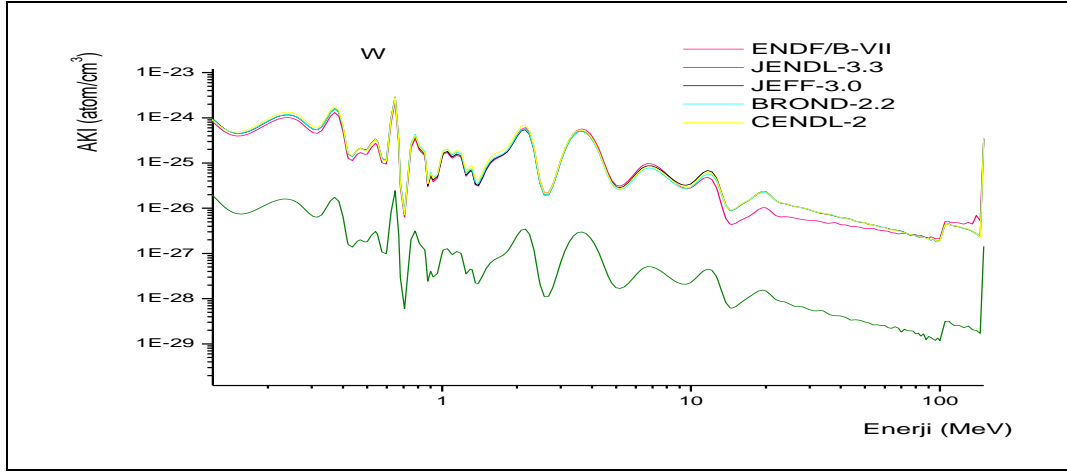
Fisyon blanketlerinde, materyalin yapısını bozan önemli faktörlerden biri, başlıca (n,p), (n, α) olmak üzere (n,d), (n,t) reaksiyonlarına kadar uzanan çeşitli nükleer reaksiyonlardan kaynaklanan gaz üretimidir. Alfa parçacıklarının birçoğu kütlelerinden dolayı dışarı saçılmaz ve metal içinde helyum gazı üreterek yapıyı bozar. Aynı şekilde MeV mertebesindeki fisyon uygulamalarında gaz üretimiyle oluşan gaz baloncukları yapıyı meydana getiren malzemenin örgü dizilişini bozarak yapının kırılmasına neden olur [14]. Nötronların başlattığı (n,p), (n,d), (n,t) çekirdek reaksiyonlarıyla üretilen hidrojen izotopları metal örgüden dışarıya saçılır [15]. Saçılan hidrojen izotopları reaktörün duvarına çarparak radyasyon hasarına neden olur ve böylece reaktörün ömrü kısalmır. Nükleer çalışmaların zorluğu ve malzemenin pahalı olması nedeniyle bu istenilmeyen bir durumdur ve bu anlamda yapılan çalışmalarda gaz üretimi hesabı oldukça önemlidir. Doğal wolfram ve ^{182}W , ^{184}W , ^{184}W , ^{186}W izotopları için farklı tesir kesiti kütüphaneleri ile yapılan çalışmada hesaplanan gaz üretimi Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. Doğal Wolfram ve ^{182}W , ^{183}W , ^{184}W , ^{186}W izotopları için ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-3.0, BROND-2.2, CENDL-2 tesir kesiti kütüphaneleri kullanılarak hesaplanan gaz üretiminin enerjiye bağlı değişimi

3.2 Akı

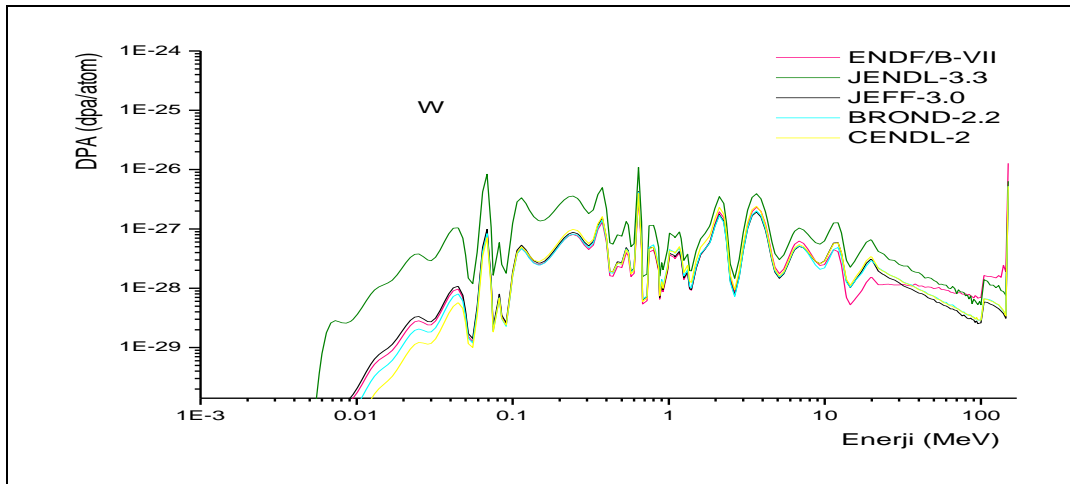
Nükleer çalışmaların en önemli hedeflerinden biri ortam içindeki nötron akı dağılımını tespit etmektir. Nötronların başlattığı (n,p), (n,d), (n,t), (n, ^3He), (n, α) çekirdek reaksiyonlarında, reaksiyon ürünlerinin oluşumu nötron enerjisinin fonksiyonu olduğundan, nötron akı dağılımının, nötron enerjisine bağlı olarak da ifade edilmesi gerekir. Nötron akı dağılımını etkileyen faktörler, nötron ve çekirdek arasındaki reaksiyonlar ile ortam malzemesinin atomik yoğunluğu ve ortam geometrisidir. Nötronlar ile ortam malzemesi arasındaki reaksiyonlar, tesir kesiti yardımıyla matematiksel olarak ifade edilebilir [16]. Tesir kesiti değerleri ortam atomlarının geometrik kesitinden farklı olup, nötron ile ortam arasındaki reaksiyon türünü ifade eder. Bu çalışmada farklı kütüphaneler ile yapılan nötron akı hesapları yapıldı. Şekil 4'de Doğal wolfram ve ^{182}W , ^{184}W , ^{184}W , ^{186}W izotopları için ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-3.0, BROND-2.2, CENDL-2 tesir kesiti kütüphaneleri kullanılarak hesaplanan nötron akısının enerjiye bağlı değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4. Doğal Wolfram ve 182W, 183W, 184W, 186W izotoplar için ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-3.0, BROND-2.2, CENDL-2 tesir kesiti kütüphaneleri kullanılarak hesaplanan nötron akısının enerjiye bağlı değişimi

3.3 Dpa (Atom Başına Yer değiştirme)

Işınlanmayla oluşan hasarın, kullanılan ölçümü genellikle Dpa' dır. Yüksek enerjili radyasyonların metale çarpmasıyla atomların örgü pozisyonundaki yerini değiştirmesi veya ortalama olarak ışınlanan hacimdeki her atomun örgüdeki noktasından bir kez yer değiştirmesi olarak ifade edilir. Dpa metaldeki radyasyon hasarını değerlendirmek için seçilen bir kriterdir. Yapılan birçok çalışma Nükleer reaktörlerde dpa'nın, çoğunlukla hızlı nötronların malzemeden saçılmasıyla oluştuğunu gösterir. Enerjisi 1 MeV'den büyük nötronlar örgünün dizilişinin bozulmasından önemli ölçüde sorumludur. Termal nötronlar ise tek başlarına atomik yer değiştirmeye sebep olmazlar. (n,γ) reaksiyonlarıyla üretilen, enerjisi 5-10 MeV arasında değişen yüksek enerjili γ ışınları, metalik örgüde Frenkel çifti oluşturarak dpa'ya katkıda bulunur. Doğal wolfram ve 182W, 184W, 184W,186W izotopları için ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-3.0, BROND-2.2, CENDL-2 tesir kesiti kütüphaneleri kullanılarak hesaplanan Dpa'nın enerjiye bağlı değişimi Şekil 5'deki gibidir.



Şekil 5. Doğal Wolfram ve 182W, 183W, 184W, 186W izotoplar için ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-3.0, BROND-2.2 ve CENDL tesir kesiti kütüphaneleri kullanılarak hesaplanan dpa'nın enerjiye bağlı değişimi

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Nükleer hesaplamalarda kullanılmak üzere geliştirilmiş tüm dünya devletleri tarafından kabul edilen ortak tek bir Değerlendirilmiş Nükleer Data Dosya yoktur. Bazı ulusların kendi ülkeleri adına geliştirdikleri çeşitli Değerlendirilmiş Nükleer Data Dosyaları vardır. Bu durum, hesaplamalar yapılırken aynı reaksiyon için farklı tesir kesitlerinin kullanılabilmesi anlamına gelmektedir. Farklı tesir kesitlerinin kullanımı, yapılan çalışma sonucunu önemli ölçüde etkileyecektir. Bu yüzden tesir kesiti hesabı oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Los Alamos National Laboratuvar'ından alınan farklı Değerlendirilmiş Nükleer Data Dosyaları kullanılarak yapılan hesapların sonuçları tespit edildi. Bu dosyalar NJOY Programında bazı modüller kullanılarak işlendi. NJOY programı sayesinde işlenen dosyalar hesaplamalar için daha uygun hale geldi. Örneğin, kullanılan gaspr modülü ile LANL'den elde edilen dosyada olmayan reaksiyonların tesir kesitleri bu dosyaya ilave edildi. Böylece tesir kesiti bakımından zengin olan tesir kesiti kütüphaneleri oluşturuldu. Kütüphaneler genellikle 0-150 MeV aralığındaki reaksiyonlara ait tesir kesitlerini içerdiğinden çalışma yukarıda belirtilen enerji aralığında seçilmiştir. Simülasyon için MCNPX programı kullanılmıştır. Bu program 0-150 MeV aralığında hesaplama yapabilmek için tesir kesiti kütüphanelerine ihtiyaç duyar. Hesaplamalar yapılırken ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-3.0, JEFF-2.2, BROND-2.2 CENDL-2 tesir kesiti kütüphaneleri kullanıldı. Sonuçlar grafik çizilerek karşılaştırıldı. Grafiklere bakıldığında kütüphanelerin genel olarak biçim ve büyüklük bakımından birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Fakat farklı tesir kesitlerinin kullanılması hesaplama sonuçlarını önemli ölçüde etkileyeceği için hesaplamaların ciddi ölçüde tartışmaya açık olabileceği kanısına varıldı.

5. TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Başar ŞARER'e teşekkür ederim.

6. KAYNAKLAR

- [1] Briesmeister, J (1993). "RISC Computer Code Collection MCP4A, Monte Carlo N-Particle Transport Code System", Los Alamos National Laboratory, New Mexico.
- [2] Johnston, R (1963). "A General Monte Carlo Neutronics Code", LAMS-2856, Los Alamos.
- [3] Haçerlioğulları, A (2003). "Apex Hibrid Reaktör Modellemesi için Monte Carlo Yöntemi,kullanarak Nötron Transport Hesaplamalarının Yapılması", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [4] Brinkmann, J.A (1956). Production of ATOMIC displacement by high-energy particles. Am.J. Phys, 24,246 .
- [5] Robinson, M.T(1965). The influence of the scattering law on the radiation damage display cascade. Phil. Mag,12, 741.
- [6] Kinchin, G.H., Pease, .RS (1955). The Displacement of atoms in solids by radiation. Rep. Prog. Phys. 18, 1.
- [7] Davies, J.A (1956). Collision cascades and spike effects. In: Poate, J.M. Foti, G., Jacobson, D.C. (eds.) Surface Modification and Alloying by Laser, Ion, and Electron Beams, pp. 189-210. Plenum, New York.
- [8] Prael RE, Lichtenstein H (1989). User guide to LES: the LAHET code system, Los Alamos National Laboratory Report LA-UR-89-3014, Revised September 15.
- [9] Carmichael B,M (1974) . "Standard Interface Files and Procedures for Reactor Physics Codes, Version III," Los Alamos Scientific Laboratory report LA-5486-MS.
- [10] Bertini HW et al. (1968). Nucl Instrum Methods.
- [11] Junghans AR et al. (1998). Nucl Phys A.
- [12] Yariv Y, Fraenkel Z. Phys Rev C 1981.
- [15] Şahin, HM (2007). Monte Carlo calculation of radiation damage in first wall of an experimental hybrid reactor. Ann Nucl Energy 2007;34:861.
- [16] Ozer. O (1971). "Description of the ENDF/B Processing Codes and Retrieval Subroutines, "Brookhaven National Laboratory report BNL-50300 (ENDF 11) June.