Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **17** (2017) 021105 (432-439) AKU J. Sci. Eng. **17** (2017) 021105 (432-439)
DOI: 10.5578/fmbd.59767

Araştırma Makalesi / Research Article

İnce Katman Aktivasyon Yöntemi için $^{48}Ti(\alpha,n)^{51}Cr$ Reaksiyon Tesir Kesiti Hesabı

Caner Yalçın[1]
[1] *Kocaeli Üniversitesi, Fizik Bölümü, 41380, Umuttepe, Kocaeli*
e-posta: caner.yalcin@kocaeli.edu.tr

Geliş Tarihi: 07.01.2017 ; Kabul Tarihi: 18.08.2017

Anahtar kelimeler
İnce Katman Aktivasyon Yöntemi; Reaksiyon Tesir Kesiti; Titanyum; Korozyon; Aşınma.

Özet

İnce Katman Aktivasyon Yöntemi, sanayide aşınma, korozyon ve erozyon hızlarının ölçülmesinde kullanılan en hassas ve güçlü yöntemdir. Yöntemde öncelikle araştırılmak istenen yüzeyde bir radyoaktif katman oluşturulur ve daha sonra burada oluşan aktivite ölçülerek yüzeydeki aşınma incelenir. Aktivitedeki değişimin katman kalınlığındaki azalma miktarına dönüştürülmesi için deneysel yada teorik bir kalibrasyon eğrisine ihtiyaç vardır. Teorik kalibrasyon eğrisi için ilgili maddenin durdurma gücü ve meydana gelen nükleer reaksiyonun tesir kesti enerjiye bağlı olarak çok hassas olarak bilinmelidir. Bu çalışmada havacılık, uzay ve sağlık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Titanyum ve alaşımlarının korozyonunu ve aşınmasını incelemek için, $^{48}Ti(\alpha,n)^{51}Cr$ reaksiyonun tesir kesiti, farklı optik model potansiyelleri ve düzey yoğunluğu modelleri ile hesaplanmış ve literatürde bulunan deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Calculation of $^{48}Ti(\alpha,n)^{51}Cr$ Reaction Cross Section for the Thin Layer Activation Method

Abstract

The thin layer activation method for the corrosion and wear measurement at the industry is the most effective and precise method among the others. In the method, firstly a radioactive layer is formed on the surface to be investigated and then the activity occurring is measured to examine the wear on the surface. In order to convert the change in activity to the amount of decrease in layer thickness, a theoretical or experimental calibration curve is needed. For the theoretical calibration curve, the energy dependence in the related material stopping power and in the nuclear reaction cross sections have to be precisely known. In this study, to investigate the corrosion and wear of Titanium and its alloys widely used in aviation, aerospace and health industries, the cross section of the $^{48}Ti(\alpha,n)^{51}Cr$ reaction were calculated using different optical model potentials and level intensity models, and compared with the experimental results at the literature.

Keywords
Thin Layer Activation Method; Reaction Cross Section; Titanium; Corrosion ; Wear.

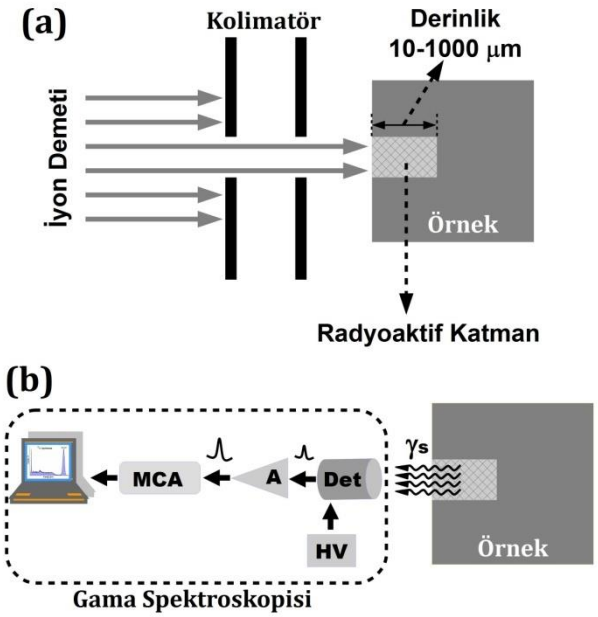
© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

İnce Katman Aktivasyon yöntemi (İKA) uzun yıllardan beri maddelerin yüzeylerindeki aşınma, korozyon ve erozyon hızlarının ölçülmesi için kullanılmaktadır. Otomotiv, havacılık, uzay ve sağlık endüstrisinde kritik makina parçalarının, güç santrali (nükleer ve nükleer olmayan) işletmesinde, petrol ve petrokimya rafinerilerinde aşınma ve korozyon ölçümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Konstantinovve ark. 1971, Evans 1980, Chowdhury ve ark. 1989, Conlon 1982, Scharf and Niewczas 1987, Wallace ve ark. 1989, Wallace ve ark. 2001, Garci ve ark. 2002, Stroosnijder ve ark. 2002, Cioffi ve ark. 2005). Yöntem tahribatsız olması, çok hassas olması ve özellikle de çalışan

makina parçalarının aşınmasını anlık olarak ölçme yeteneğine sahip olması nedeniyle çok önemlidir.

İKA yöntemi iki aşamalıdır. İlk aşama incelenecek makina parçası yüzeyinde ince bir katmanın radyoaktif hale getirilmesidir. Bunun için makine parçasının ilgili yüzeyi, parçacık hızlandırıcılarında 5 ile 50 MeV enerji aralığında proton, detöron, trityum yada alfa parçacıklarıyla bombardıman edilir. Bombardıman parçacığı ilgili makina parçasının yapıldığı elementlere göre belirlenir. Çünkü makina parçası yüzeyinde uygun nükleer reaksiyonlarla uygun bir radyoizotop üretilmelidir. Üretilen radyoizotop, uygun enerjilerde yüksek yayınlama olasılığına sahip bir gama ışını yayınlamalı ve yarı-ömrü ölçüm yapmaya imkan verecek kadar uzun olmalıdır. Makina parçasında yüzeyinde oluşturulmak istenen radyoaktif katmanın kalınlığı, hızlandırılan parçacığın enerjisi değiştirilerek ayarlanabilir. Genellikle üretilen toplam aktivitedeki %1 oranındaki bir değişim kolayca gözlenebilir. Bu nedenle daha hassas ölçümler için daha ince katmanlar oluşturulmalıdır. Makina parçası yüzeyinde ince radyoaktif katman üretildikten sonra, parça makinadaki yerine monte edilir ve makina çalıştırılır. Çalışan makinanın dışında uygun bir geometride bir radyasyon dedektörü yerleştirilir ve toplam aktivitedeki azalma belirli aralıklarla gözlenir. Bunun için üretilen izotopun yayınladığı gama ışını enerjilerine göre NaI yada HPGe dedektörler kullanılır. Deney düzeneğinin şeması Şekil 1. de verilmiştir.



Şekil 1. İnce Katman Aktivasyon Yöntemi deney düzeneği. (a) Aktivasyon aşaması, (b) gama spektroskopisi ile aktivite ölçme aşaması.

Radyoaktivitedeki azalmadan makina parçasının yüzeyindeki aşınma yada korozyon miktarını belirleyebilmek için bir kalibrasyon eğrisine ihtiyaç vardır. Bu kalibrasyon eğrisi deneysel yada teorik olarak oluşturulabilir. Deneysel kalibrasyon eğrisi için makina parçasının yapıldığı malzemeden üretilmiş çok ince folyolara (bir kaç mikrometre kalınlığında) ihtiyaç vardır. Bu folyolar üst üste konarak, İKA yönteminde makina parçasının yüzeyinde oluşturulan katmanın kalınlığından daha fazla olacak şekilde sabitlenir. Daha sonra oluşturulan bu folyo hedef kullanılarak, deney aynı parametrelerle tekrarlanır. Folyo hedef radyoaktif hale getirildikten sonra, radyasyon dedektörü ile aynı geometride ölçülür. Her bir ölçümden sonra hedefin yüzeyindeki bir folyo alınarak geri kalanlar tekrar ölçülür. Bu işleme tüm folyolar bitinceye kadar devam edilir. Sonuç olarak hedefte oluşturulan radyoaktif katmanın kalınlığına bağlı olarak, hedefte oluşan radyoaktivite miktarları ölçülmüş olur. Bu verilerle bir grafik çizilir ve bu deneysel noktalar eğriye uydurulursa kalibrasyon eğrisi oluşturulmuş olur.

Ancak deneysel kalibrasyon eğrisinin bazı dezavantajları vardır. Kalibrasyonda kullanılacak folyoların element içeriği, makina parçasıyla aynı olmalıdır, örneğin makina parçası bir çelik alaşımından üretilmişse folyoda aynı cins çelikten üretilmiş olmalıdır. Folyoların kalınlığı üretilen radyoaktif katmana oranla çok ince olmalıdır. Aksi halde kalibrasyon eğrisinin oluşturulması sürecinde, az sayıda deneysel nokta ile eğriye uydurma işlemi yapılacak ve bu da hatalara neden olacaktır. Başka bir deyişle oluşturulacak kalibrasyon eğrisinde çok sayıda deneysel noktaya ihtiyaç vardır. Örneğin Titanyumun 9 MeV enerjili alfa parçacıklarıyla ışınlanmasında yaklaşık 30 μm kalınlıklı radyoaktif katman oluşmaktadır. Ancak piyasada en ince 5 μm kalınlıklı folyolar bulunabilmektedir, yani deneysel olarak sadece 6 nokta ile kalibrasyon eğrisi üretilebilmektedir. Ayrıca folyoların kalınlıklarının çok hassas olarak bilinmesi gerekmektedir. Aksi halde kalibrasyon eğrisi hatalı olacaktır. Ancak ne varki, bilimsel malzeme satıcılarının (Goodfellow, Advent Research Material, Lebow, American Elements) sattıkları folyoların kalınlığındaki tolerans genellikle %10 ile %20 arasında değişmektedir. Bu nedenle kalibrasyon deneyi yapılmadan önce folyoların kalınlıkları tek tek ölçülmelidir. Bu da fazladan bir efor ve zaman harcanmasına neden olmaktadır. Bu dezavantajları nedeniyle deneysel kalibrasyon eğrisine alternatif olarak teorik

kalibrasyon eğrisi oluşturulabilir. Ancak bunun için aşınması incelenecek örneğin üretildiği elementle ilgili daha önceden bazı fiziksel büyüklüklerin ölçülmüş olması gerekmektedir. Bunlar durdurma gücü, nükleer reaksiyon tesir kesiti ve üretilen ürün çekirdeğin yarı-ömrüdür.

Titanyumun, çelik kadar kuvvetli ancak yoğunluğunun daha az olması ve yüksek sıcaklığa olan dayanımı nedeniyle uçak, uzay gemisi ve füzelerde; korozyona olan kuvvetli dayanımı nedeniyle de güç santrallerindeki yoğuşturucuların borularında, denizaltılarda, jet motorlarında; kemiklere kuvvetli tutunması nedeniyle de sağlık sektöründe kalça kemik protezleri ve diş implant çivileri başta olmak üzere çok yaygın bir kullanım alanı vardır. Özellikle uçak jet motorları gibi çalışan parçalardaki aşınmanın eş zamanlı ölçümü için İKA tek yöntemdir. İKA yönteminin uygulanabilmesi için, örnek yüzeyinde kolaylıkla ölçülebilecek kadar aktivite oluşturulmalı, reaksiyon sonucunda oluşan ürün çekirdek uygun enerjili bir gama ışını yayınlamalı ve bu ürün çekirdeğin yarı-ömrü İKA yöntemiyle ölçüm yapmaya fırsat verecek kadar uzun olmalıdır.

Titanyumun 5 doğal izotopu içerisinde en fazla orana sahip olanı %73,72 ile ^{48}Ti izotopudur (Tablo 1). Bu izotopun (α,n) reaksiyonun tesir kesiti oldukça yüksektir. Nükleer reaksiyon sonucunda oluşan ürün çekirdeği ^{51}Cr izotopu, 320 keV enerjili bir gama yayınlamakta ve 27,70 gün gibi bir uygun yarı-ömre sahiptir (Int Kyn. 1). Yani İKA yöntemi için gerekli tüm koşulları sağlamaktadır. Titanyumun diğer bir doğal izotopu ^{47}Ti'nin (α,γ) reaksiyonu sonucunda da ^{51}Cr izotopu oluşmaktadır. Ancak Talys kodu ile yapılan hesaplamalarda bu reaksiyonun ^{51}Cr izotopu üretimine katkısı %0,02 kadar olduğu bulunmuştur. Yani pratik olarak ihmal edilebilir ve tüm ürün çekirdeğin $^{48}Ti(\alpha,n)^{51}Cr$ reaksiyonu ile üretildiği göz önüne alınabilir

Tablo 1.Titanyumunizotoplarınındoğalbollukdağılımı.

İzotop	^{46}Ti	^{47}Ti	^{48}Ti	^{49}Ti	^{50}Ti
Doğal Bolluğu (%)	8,25	7,44	73,72	5,41	5,18

Bu çalışmada, Titanyum ve alaşımlarının korozyon ve aşınma ölçümlerinin İKA yöntemiyle yapılabilmesi için gerekli olan kalibrasyon eğrisinin teorik olarak elde edilip edilemeyeceği tartışılacak ve bunun için başlıca gereksinim olan $^{48}Ti(\alpha,n)^{51}Cr$ reaksiyon tesir kesiti farklı optik potansiyel ve düzey yoğunluğu modellerine göre hesaplanarak, deneysel sonuçlarla karşılaştırılacak ve tesir kesiti hesabı için en uygun nükleer modeller önerilecektir.

2. Materyal ve Metot

Teorik kalibrasyon eğrisinin oluşturulabilmesi için, alfa parçacıklarının Titanyum içinde durdurma gücünün, $^{48}Ti(\alpha,n)^{51}Cr$ reaksiyon tesir kesitinin ve üretilen ürün çekirdeğinin (^{51}Cr) yarı-ömrü bilinmelidir. ^{51}Cr izotopunun yarı ömrü çok hassas olarak ölçülmüş ve literatürde 27.7025±0.00*24* gün olarak verilmektedir (Int Kyn. 1). Gerekli olan diğer parametrelerin nasıl hesaplandığı izleyen bölümde açıklanmıştır. Hesaplamalar Titanyumun İKA yöntemi ile incelenmesinde uygun bir enerji olan 9,0 MeV enerjili alfa parçacıkları göz önüne alınarak yapılmıştır.

2.1. Alfa parçacığı için Titanyumun durdurma gücü ve menzil hesabı

İKA yönteminde Titanyumdan yapılmış örnek, yüzeyinde radyoaktif bir katman üretmek için hızlandırıcıda alfa parçacıklarıyla bombardıman edilmektedir. Alfa parçacıkları örneğe girdiklerinde enerjilerini kaybetmeye başlarlar ve belli bir derinlikte tamamen dururlar. Alfa parçacıklarının hangi derinlikte duracağı durdurma gücü olarak isimlendirilen parametre ile belirlenir. Durdurma gücü, birim uzunluk başına enerji kaybı olarak tanımlanır. Durdurma gücü enerjiye bağlı oluğundan alfa parçacığı madde içinde enerjisini kaybettikçe durdurma gücü de değişir. Dolaysı ile durdurma gücünün enerjiye bağlı olarak iyi bir şekilde bilinmesi demek, alfa parçacıklarının madde içinde hangi derinlikte hangi enerjide olduğunun bilinmesi demektir. Bu teorik kalibrasyon eğrisinin (yani derinliğe bağlı aktivite değişiminin) hesaplanması için çok önemlidir. Çünkü aktiviteyi hesaplamak için gerekli olan reaksiyon tesir kesiti de enerjiye bağlı olarak değişmektedir.

Durdurma gücü, teorik ve yarı-deneysel bir yaklaşımla üretilmiş bir program olan The Stopping and Range of Ions in Matter (SRIM) ile hesaplanabilmektedir (Ziegler ve ark. 1995, IntKyn. 2). Durdurma gücü hesaplayan bir çok program bulunmaktadır, ancak SRIM, bütün gelen iyonlar ve hedef maddeleri için, bütün enerji aralığında deneysel durdurma gücü değerlerini en iyi tahmin eden programdır. Durdurma gücü hesaplayan programlar ve tabloların değerlendirilmesi (Paul ve

Sanchez-Parcerisa 2013, Paul 2012, Paul 2010) referansları ve onların referanslarında detaylı olarak anlatılmıştır.

Ayrıca SRIM durdurma gücü değerlerini kullanan ThiMeT kodu (Yalçın 2015, IntKyn. 3) ile alfa parçacıklarının ne kadar derine girebilecekleri ve reaksiyonun eşik enerjisine hangi derinlikte ulaşacakları hesaplanmıştır. ThiMeT kodu alfa parçacıkları madde içinde ilerlerken birim kalınlık başına kaybettikleri enerji değerini dikkate alarak, parçacığın enerjisi değiştikçe durdurma gücünü yeniden hesaplayarak revize eder. Hesaplamalar 9,0 MeV enerjili alfa parçacıkları için gerçekleştirilmiştir.

2.2. Reaksiyon tesir kesiti hesabı

Teorik kalibrasyon eğrisinin oluşturulması için en kritik parametre olan $^{48}Ti(\alpha,n)^{51}Cr$ reaksiyonun tesir kesiti, TALYS koduyla (Koningve ark. 2007) farklı optik model potansiyelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan optik model potansiyelleri Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca tesir kesiti düzey yoğunluğuna da bağlı olduğu için, farklı düzey yoğunluğu modellerinin tesir kesiti sonuçları üzerine etkisi de incelenmiştir. Test edilen düzey yoğunluğu modelleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Tesir kesiti hesaplamalarında kullanılan Optik Model Potansiyelleri (OMP).

Kısaltma	Optik model Potansiyeli
OMP-1	Normal alfa potansiyeli (Watanabe 1958)
OMP-2	McFadden ve Satchler (1966)
OMP-3	Demetriou ve ark. (2002) (Tablo 1)
OMP-4	Demetriou ve ark. (2002) (Taolo 2)
OMP-5	Demetriou ve ark. (2002) (dağılma modeli)
OMP-6	Avrigeanu ve ark. (2014)
OMP-7	Nolte ve ark. (1987)
OMP-8	Avrigeanu ve ark. (1994)

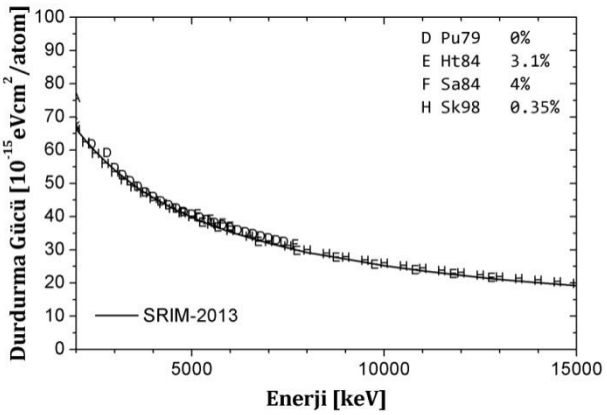
Tablo 3.Tesir kesiti hesaplamalarında kullanılan Düzey Yoğunluğu Modelleri (DYM).

Kısaltma	Düzey Yoğunluğu Modeli
DYM-1	Sabit sıcaklık+Fermi gaz (Gilbert ve ark. 1965)
DYM-2	Geri-kaydırılmış Fermi gaz (Digl ve ark. 1973 Demetriou ve Goriely 2001)
DYM-3	Genelleştirilmiş süper akışkan (Ignatyuk ve ark. 1979, Ignatyuk ve ark. 1983)
DYM-4	Mikroskopik DY (Skyrme kuvveti) Goriely'nin tablosu (Goriely ve ark. 2008)
DYM-5	Mikroskopik DY (Skyrme kuvveti) Hilaire'nin tablosu (Hilaire ve Goriely 2006)
DYM-6	Mikroskopik DY (Sıcaklığa bağlı Hartree-Fock-Bogoliubov +Gogny kuvveti) Hilaire'nin tablosu (Hilaire ve ark. 2012)

3. Bulgular

ThiMeT kodu hesaplamalarına göre, Titanyum yüzeyinin 9,00 MeV enerjili alfa parçacıklarıyla bombardımanı sonucunda, alfa parçacıkları 37,53 µm derinliğe kadar girebilirler. Ancak $^{48}Ti(\alpha,n)^{51}Cr$ reaksiyonun eşik enerjisi 2,911 MeV olduğundan, 29,93 µm derinlikten daha sonra reaksiyon meydana gelmez, yani titanyum parçanın yüzeyinde sadece 29,93 µm bir tabaka radyoaktif hale gelir. Dolayısı ile durdurma gücü ve tesir kesiti hesaplamaları 2.9 MeV ile 9,0 MeV enerji aralığını kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

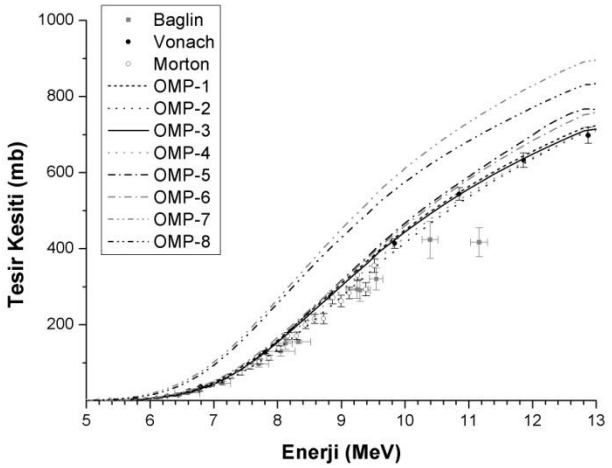
Şekil 2'de SRIM programı ile hesaplanan durdurma gücü değerleri ile deneysel durdurma gücü değerleri kıyaslanmaktadır. İlgili enerjilerde hesaplanan durdurma gücü değerleri deneysel verilerle çok iyi bir uyum göstermektedir. Deney ile hesaplama arasındaki uyuşmazlık %5'in altındadır



Şekil 2. Alfa parçacığının Titanyum elementi için SRIM ve deneysel durdurma gücü.

Farklı optik model potansiyelleri ile gerçekleştirilen tesir kesiti hesaplamaları ile deneysel tesir kesitleri Şekil 3'te görülmektedir. Şekilde dört optik model deneysel sonuçları ile oldukça iyi bir uyum içinde olduğu görülmektedir. Bu optik model potansiyelleri; Normal (OMP-1), McFadden ve Satchler (1966), (OMP-2), Demetriou ve ark (2002) (OMP-3, OMP-4). Diğer optik modellerden Nolte ve ark. (1987) (OMP-7) ile Avrigeanu ve ark. (1994) (OMP-8) tesir kesitini diğer potansiyellere göre çok daha yüksek vermektedir. Demetriou ve ark. (2002) (OMP-5) ile Avrigeanu ve ark. (2014) (OMP6), nispeten iyi sonuç verse de enerji arttıkça artmakta ve deneysel sonuçlardan uzaklaşmaktadır.

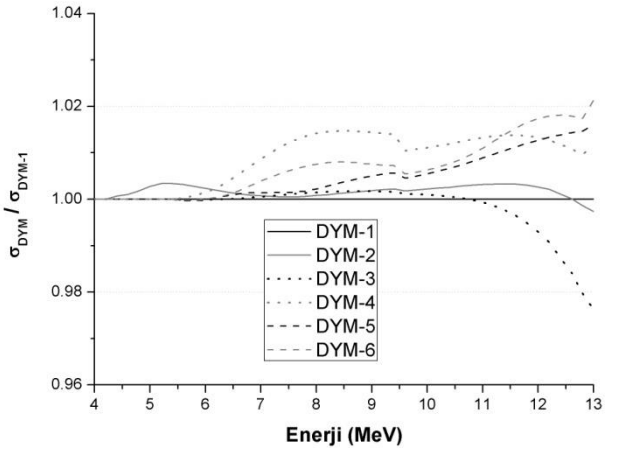
Bu durumun ana nedeni; reaksiyon tesir kesitini doğru hesaplayabilmek için gerekli olan çekirdek potansiyeli, izotop kütleleri, düzey yoğunlukları gibi bir çok nükleer özelliğin doğru olarak bilinmemesidir. Bunlardan en önemlisi ve sonucu en fazla etkileyeni bu reaksiyon için alfa+çekirdek potansiyelidir. Bu potansiyeli belirlemek için izlenen yol, genellikle daha önce yapılmış saçılma deney sonuçlarının genelleştirilmesinden ibarettir. Yani belirli bir kütle ve enerji aralığında gerçekleştirilen deneysel sonuçlar, eğriye uydurularak daha düşük enerjilere yada başka kütle bölgesine kaydırılmaktadır. Ancak ne varki bu işlem sonucunda belirlenen optik model parametreleri, genellikle kullanılan deneysel enerji ve kütle aralığında iyi sonuç verirken diğer enerji ve kütle bölgelerinde başarısız olmaktadır.



Şekil 3. Farklı optik model potansiyelleri ile hesaplanan tesir kesiti değerlerinin, Baglin ve ark. (2005), Vonach ve ark. (1983) ve Morton ve ark. (1992) tarafından ölçülen deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.

Baglin ve ark. (2005) ile Morton ve ark. (1995) tarafından ölçülmüş olan deneysel tesir kesiti değerlerinin problemli olduğu düşünülmektedir. Özellikle Baglin ve ark. (2005) tarafından aynı deney esnasında ölçtükleri diğer bir reaksiyon olan $^{107}Ag(\alpha,\gamma)^{111}Sb$ reaksiyonun tesir kesiti, yine deneysel olarak Yalçın ve ark. (2015) tarafından ölçülen tesir kesitlerinden çok farklı çıkmıştır. Ayrıca sonuçlar bir konferans bildirisi olarak yayınlanmış ancak daha sonra herhangi bir bilimsel dergide de yayınlanmamıştır. Bu nedenle, Baglin ve ark. (2005) tarafından ölçülen tesir kesiti değerlerinin şüpheli olduğu düşünülmektedir.

Tesir kesiti hesaplamaları aynı zamanda düzey yoğunluğuna da bağlı olduğu için, farklı düzey yoğunluk modellerinin tesir kesiti üzerine olan etkisi de araştırılmıştır. Bunun için tüm diğer parametreler sabit tutulup sadece düzey yoğunluğu modeli değiştirilerek tesir kesitleri hesaplanmıştır. Hesaplanan tesir kesitleri, Talys kodunun varsayılan modeli olan sabit sıcaklık + Fermi gaz modeline oranlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4'te verilmektedir. Sonuçlara göre düzey yoğunlu modellerinin tesir kesiti hesaplamaları üzerideki etkisi ilgili enerjilerde sınırlıdır. Şekil 4'ten görüleceği üzere farklı düzey yoğunlukları ile hesaplanan tesir kesitleri birbiri ile %2 den daha az olacak şekilde uyumludur. Başka bir deyişle seçilen düzey yoğunluğu modelinin bu reaksiyon için ilgili enerjilerde pratik olarak etkisi olmadığı söylenebilir.



Şekil 4. Farklı düzey yoğunlu modellerinin tesir kesiti hesaplamaları üzerine etkisi.

4. Tartışma ve Sonuç

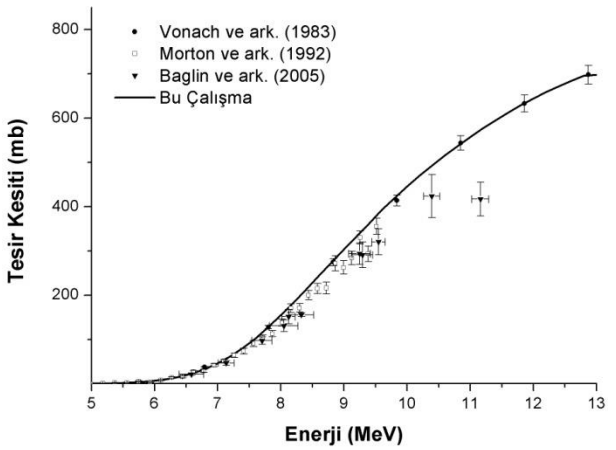
İnce katman aktivasyon yöntemi, bir çok alanda aşınma ve korozyon ölçümü için vazgeçilmez bir yöntemdir. Bu çalışmada, Titanyum ve alaşımlarından üretilmiş parçaların aşınma ve korozyon miktarları ölçümlerini yapabilmek için gerekli olan kalibrasyon eğrisinin teorik olarak

hesaplanabilmesi için gerekli olan parametreler incelenmiştir. Alfa parçacıklarının Titanyum içindeki durdurma gücü, ilgili enerjilerde %5'ten daha az bir belirsizlikle SRIM kodu tarafından hesaplanmaktadır. Ayrıca oluşan ürün çekirdeği ^{51}Cr'nin yarı-ömrü %0,009 gibi çok hassas bir şekilde bilinmektedir.

Teorik kalibrasyon eğrisinin oluşturulmasında en kritik parametre olan reaksiyon tesir kesiti için yapılan hesaplamalar sonucunda, farklı düzey yoğunlu modellerinin tesir kesiti üzerine etkisinin %2'den daha az olduğu ve Demetriou ve ark. (2002)'nın optik model potansiyeli (OMP-3) ile Genelleştirilmiş süper akışkan düzey yoğunluğu modeli (Ignatyuk ve ark. 1979, Ignatyuk ve ark. 1983) (DYM-3) kullanılarak gerçekleştirilen hesaplamanın deneysel sonuçlarla en uyumlu olanı olduğu görülmüştür (Şekil 5.). Bu nedenle, ilgili enerji aralığında tesir kesiti hesapları bu modeller kullanılarak yapılmalıdır. Elde edilen tesir kesiti sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. En uygun nükleer modellerle (OMP-3, DYM-3) hesaplanmış tesir kesiti sonuçları.

Enerji (MeV)	Tesir Kesiti (mb)
4.0	0.0075
4.2	0.01911
4.4	0.04536
4.6	0.10101
4.8	0.2121
5.0	0.42202
5.2	0.79945
5.4	1.44673
5.6	2.51155
5.8	4.19613
6.0	6.76573
6.2	10.552
6.4	15.9483
6.6	23.3847
6.8	33.2944
7.0	46.0605
7.2	61.9242
7.4	80.9723
7.6	103.079
7.8	127.871
8.0	154.874
8.2	183.526
8.4	213.235
8.6	243.486
8.8	273.838
9.0	303.955
9.2	333.527
9.4	362.381
9.6	392.936
9.8	419.757
10.0	445.497
10.2	470.106
10.4	493.62
10.6	516.009
10.8	537.308
11.0	557.617
11.2	576.87
11.4	595.176
11.6	612.584
11.8	628.927
12.0	644.448
12.2	658.993
12.4	672.053
12.6	684.604
12.8	695.383
13.0	698.145



Şekil 5. Demetriou ve ark. (2002)'nın optik model potansiyeli (OMP-3) ile Genelleştirilmiş süper akışkan düzey yoğunluğu modeli (Ignatyuk ve ark. 1979, Ignatyuk ve ark. 1983) (DYM-3) kullanılarak gerçekleştirilen tesir kesiti hesaplamasının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.

Sonuç olarak, Titanyumun ve alaşımlarının korozyon ve aşınmasının İKA yöntemiyle incelenebilmesi için oluşturulacak teorik kalibrasyon eğrisi hesaplarında gerekli olan tüm parametreler iyi bir şekilde bilinmektedir. Teorik kalibrasyon eğrisinin oluşturulması sadece deneysel belirsizlikleri azaltma ve deneyi kolaylaştırma dışında, deney öncesinde yapılan planlama aşamasında, ışınlama enerjisi seçimi ve örnekte üretilecek aktivite miktarının kestirilmesi açısından da çok yararlıdır.

Kaynaklar

Avrigeanu, V., Avrigeanu, M., Mănăilescu, C. 2014. Further explorations of the α-particle optical model potential at low energies for the mass range A≈45–209. *Physical Review C*, **90**, 044612 .

Avrigeanu, V., Hodgson, P. E., Avrigeanu, M. 1994.Global optical potentials for emitted alpha particles.*Physical Review C*,**49**, 2136.

Baglin, C.M., Norman, E.B., Larimer, R., Rech, G.A. 2005. Measurement of $^{107}Ag(\alpha,\gamma)^{111}In$ Cross Sections. AIP Conference Proceedings. **769**, 10.1063

Chowdhury, D.P., Chaudhuri, J., et al., 1989.Study of wear between piston ring and cylinder housing of an internal combustion engine by thin layer activation technique.*Nucl. Instr. and Meth. B* **42**, 375.

Cioffi, M. Gilliland, D. Ceccone G., Chiesa, R. Cigada, A. 2005. Electrochemical release testing of nickel–titanium orthodontic wires in artificial saliva using thin layer activation. *Acta Biomaterialia,***1**, 717–724

Conlon, T.W., 1982. Doping surface with radioactive atoms-for research and industry. *Contemp. Phys.***23**, 353.

Demetriou, P. Grama C., Goriely, S. 2002. Improved global α-optical model potentials at low energies.Nucl.Phys.A, **707**, 253.

Demetriou, P., Goriely, S. 2001. Microscopic nuclear level densities for practical applications.*Nucl.Phys.A,***695**, 95.

Dilg, W. ,Schantl, W., Vonach, H., Uhl, M. 1973. Level density parameters for the back-shifted fermi gas model in the mass range 40 < A < 250. *Nucl.Phys.A,* **217**, 269.

Evans, R., 1980. Radioisotope methods for measuring engine wear: a thin layer activation for the measurement of cam follower wear and its comparison with a neutron activation method. *Wear***64**, 311.

Garci, M.C., Macchim, G., et al., 2002. Electrochemical release testing of a stainless steel in a glucose solution using thin layer activation. *Corros. Sci.* **44**, 129–143.

Gilbert, A. , Cameron, A.G.W. , 1965 A composite nuclear-level density formula with shell corrections.*Can. J. Phys.,* **43**,1446.

Goriely, S. Hilaire S., Koning, A.J. 2008.Improved microscopic nuclear level densities within the Hartree-Fock-Bogoliubov plus combinatorial method.*Physical Review C*,**78**, 064307.

Hilaire, S., Girod, M., Goriely, S., Koning, A.J. 2012.Temperature-dependent combinatorial level densities with the D1M Gogny force. *Physical Review C* ,**86**, 064317.

Hilaire, S., Goriely, S., 2006.Global microscopic nuclear level densities within the HFB plus combinatorial method for practical applications.*Nucl.Phys.A***779**, 63.

Ignatyuk, A.V., Istekov, K.K., Smirenkin, G.N. 1979. The Role of Collective Effects in the Systematics of Nuclear Level Densities, Sov. J. Nucl. Phys. **29**, 450.

Ignatyuk, A.V., Weil, J.L., Raman, S., Kahane, S. 1993. Density of discrete levels in ^{116}Sn. *Physical Review C,***47**, 1504.

Koning, A. J., Hilaire, S., veDuijvestijn, M. C. in Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, April 22-27, **2007**, Nice, France.

Konstantinov, I.O., Krasnov, N.N., 1971. Determination of the wear of machine parts by charged particle surface activation. *J. Radioanal. Chem.,***8**, 357.

McFadden, L., Satchler, G.R. 1966. Optical-model analysis of the scattering of 24.7 MeV alpha particles.Nucl.Phys. **84**, 177.

Morton, A.J., Tims, S.G., Scott, A.F., Hansper, V.Y., Tingwell, C.I.W., Sargood D.G. 1992. The $^{48}Ti(\alpha,n)^{51}Cr$ and $^{48}Ti(\alpha,p)^{51}V$ cross sections. *Nuclear Physics A*, **537**,167.

Nolte, M., Machner, H., Bojowald, 1987. Global optical potential for α particles with energies above 80 MeV. *Physical Review C,***36**, 1312.

Paul H. 2010. Recent results in stopping power for positive ions, and some critical comments, *Nucl. Instr. Meth. B*, **268**, 3421.

Paul H. 2012. Comparing experimental stopping power data for positive ions with stopping tables, using statistical analysis, *Nucl. Instr. Meth. B*, **273**, 15.

Paul H., Sanchez-Parcerisa D. 2013. A critical overview of recent stopping power programs for positive ions in solid elements, *Nucl. Instr. Meth. B,***312**, 110 – 117.

Scharf, W., Niewczas, A., 1987. Traction studies of piston ring using an external radiometric method with proton activation. *Nucl. Instr. and Meth. B***22**, 57.

Stroosnijder, M.F., Brugnoni, C., et al., 2002. Atmospheric corrosion evaluation of galvanised steel by thin layer activation. *Corros. Sci.***46**, 2355–2359.

Vonach, H., Haight, R.C., Winkler, G. 1983. (α,n) and total α-reaction cross sections for Ti-48 and V-51. *Physical Review C*, **28**, 2278.

Wallace, G., Boulton, H.L., Hodder, D., 1989. Corrosion monitoring on a large steel pressure vessel by thin-layer activation, *Corrosion* **45**, 1016.

Wallace, G., Pohl, K.P., Hutchinson, E.F., Hemmingen, I.D., 2001. The application of thin layer activation for on-line erosion monitoring, *Appl. Radiat. Isot.***55**, 281.

Watanabe, S. 1958. High energy scattering of deuterons by complex nuclei.Nucl.Phys. **8**, 484.

Yalçın, C. 2015. Thickness measurement using alpha spectroscopy and SRIM.*Journal of Physics: Conference Series,***590**, 012050.

Yalçın, C., Gyürky, Gy., Rauscher, T., Kiss, G. G., Özkan, N, Güray, R. T., Halász, Z., Szücs, T., Fülöp, Zs., Farkas, J., Korkulu, Z., Somorjai, E. 2015. Test of statistical model cross section calculations for α-induced reactions on ^{107}Ag at energies of astrophysical interest. *Physical Review C*, **91**, 034610.

Ziegler J F, Biersack J P and Littmark U 1995 The Stopping and Range of Ions in Solids (New York:Pergamon Press).

İnternet kaynakları

1- www.nndc.bnl.gov/nudat2/(01.01.2017).

2- www.srim.org (01.01.2017).

3- www.thimet.org(01.01.2017).