T.C

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRON-ATOM ($_{93}$Np, $_{94}$Pu, $_{95}$Am, $_{96}$Cm, $_{97}$Bk, $_{98}$Cf, $_{99}$Es, $_{100}$Fm $_{101}$Md, $_{102}$No, $_{103}$Lr) ETKİLEŞMESİYLE N ALT KABUKLARI SEVİYESİNDE İYONİZASYON TESİR KESİTLERİNİN LOTZ DENKLEMİYLE HESAPLANMASI

Hikmet BOZKURT

DOKTORA TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

ARALIK -2020

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı öneren ve her aşamasında bana yol gösteren, tamamlanması için yoğun çalışan Danışmanım Sn. Prof. Dr. Mahmut AYDINOL'a ve DUBAP(FF-53) no'lu proje bilgisayarını kullanmamıza müsaade ettikleri için Dicle Üniversitesi Araştırma Fonu yetkililerine teşekkür ederiz. Ayrıca yapıcı eleştirilerinden dolayı Fizik bölümü ve Atom ve Molekül Fiziği Anabilim Dalı Başkanı Sn. Prof. Dr. Hadice Budak GÜMGÜM, Atom ve Molekül Fiziği Anabilim Dalı öğretim üyelerinden; Tez takip komitesi üyesi Sn. Prof. Dr. Şemsettin OSMANOĞLU ve Sn. Prof. Dr. M. Zafer KÖYLÜ, Sn. Gülten Kavak hocalarıma, Kimya bölümü Anabilim Dalı öğretim üyesi ve tez takip komitesi üyesi Sn. Prof. Dr. Mehmet KARAKAPLAN hocama teşekkürlerimi sunarım.

Teknik bilgilerde desteğini esirgemeyen Nusaybin Mehmet Akif Ersoy Ortaokulu Müdür Yardımcısı Sn. Mehmet Selim TAN hocama ve her türlü destekte bulunan değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... **I**
İÇİNDEKİLER ..... **II**
ÖZET ..... **III**
ABSTRACT ..... **IV**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **V**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **VII**
KISALTMA VE SİMGELER ..... **XI**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Elektron- Atom Etkileşmesi 3
1.1.1. Esnek (elastik) Etkileşme 6
1.1.2. Esnek Olmayan (inelastik) Etkileşme 7
1.2. Elektron- Atom Etkileşmelerinde Saçılma Olayı 7
1.3. Geçişler 8
1.3.1. Auger Geçişleri 9
1.3.2. Fluoresans Verimler ve Coster-Kronig Geçişler 8
1.4. Elektron- Atom Etkileşmesiyle İç-Kabuk İyonizasyon Tesir Kesiti Çalışmaları 10
1.5. Born Yaklaşımı (Born Approximation) 11
1.6. Lotz'un Yarı - Ampirik Formülü 14
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR **17**
3. MATERYAL VE METOT **21**
3.1. Materyal 21
3.2. Metot 21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA **25**
5. SONUÇ VE ÖNERİLER **61**
6. KAYNAKLAR **63**
ÖZGEÇMİŞ 67

ÖZET

ELEKTRON-ATOM ($_{93}$Np, $_{94}$Pu, $_{95}$Am, $_{96}$Cm, $_{97}$Bk, $_{98}$Cf, $_{99}$Es, $_{100}$Fm, $_{101}$Md, $_{102}$No, $_{103}$Lr) ETKİLEŞMESİYLE N ALT KABUKLARI SEVİYESİNDE İYONİZASYON TESİR KESİTLERİNİN LOTZ DENKLEMİYLE HESAPLANMASI

DOKTORA TEZİ

Hikmet BOZKURT

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

2020

$_{93}$Np den $_{103}$Lr ye kadar olan atomların N kabuğu ve N_i (i=1,2,3,…7) alt kabuklarının E_o enerjili elektronlarla etkileşmeleri(bombardımanı) sonucu iyonizasyon tesir kesirleri σ_N ve σ_{Ni} incelendi. Her bir atom için $E_{Ni}<E_{oi}<6E_{Ni}$ aralığında on dört farklı enerjili elektron etkileşim enerjisi (E_{oi}) için Lotz denklemi ve Matlab kullanılarak atomların iyonizasyon tesir kesirleri σ_N ve σ_{Ni} hesaplandı. Bütün atomlar için ortak E_o bombardıman enerjisi (4keV) kullanıldığında atom numarası arttıkça ($_{93}$Np den $_{103}$Lr ye) iyonizasyon tesir kesitinin azaldığı görüldü. Sonuçlar, N_i(i=1, 2,….7) alt kabukları iyonizasyon tesir kesiti, atomik yapıların, astrofizik, radyasyon ve nükleer fizik alanındaki bazı konuların anlaşılmasında faydalı olacaktır. Uranyum ötesi elementlerin N_i(i=1, 2, 3.,,,7) alt kabukları σ_N ve σ_{Ni} ilgili deneysel planlamalarda vakum teknolojisinde kullanılacak elektron demetleri ve atom demetleri yoğunluklarını belirlemede bu çalışmada elde edilen N alt kabukları σ_N ve σ_{Ni} değerlerini kullanmak faydalı olacaktır. Bu çalışmada verilen sonuçlar ileride yapılacak benzer teorik hesaplamaların ve deneysel uranyum ötesi atomların N alt kabukları σ_N ve σ_{Ni} sonuçlarının karşılaştırılmasında da kaynak olarak kullanılabilecektir.

Anahtar kelimeler: N alt kabukları İyonizasyon tesir kesiti, Elektron Etkileşim enerjisi, (93Np≤Z≤103Lr), Lotz Denklemi

ABSTRACT

ELECTRON IMPACT EXCITATION OF SINGLE ($_{93}$Np, $_{94}$Pu, $_{95}$Am, $_{96}$Cm, $_{97}$Bk, $_{98}$Cf, $_{99}$Es, $_{100}$Fm $_{101}$Md, $_{102}$No, $_{103}$Lr) ATOMS N AND N SUBSHELLS IONIZATION CROSS SECTION BY USING LOTZ'S EQUATIONS

PhD THESIS

Hikmet BOZKURT

DEPARTMENT OF PHYSICS

INSTITUTE OF SCIENTIFIC STUDIES

UNIVERSITY OF DICLE

2020

N shell and N_i subshells ionization cross sections σ_N and σ_{Ni}(i = 1,.,7) following electron impact on $_{93}$Np to $_{103}$Lr atoms calculated. By using Lotz' equation for in Matlab program σ_N and σ_{Ni} cross section values obtained for fourteen electron impact energy(E_{oi}) values in $E_{Ni}<E_{oi}<6E_{Ni}$ range for each atom. Lotz's parameters and special commands used for each σ_{Ni} calculations. Starting allmost from $E_{oi} = E_{Ni}$ values; σ_N and σ_{Ni} are increasing rapidly with E_{oi}. For a fixed E_{oi} =4keV while Z value increases from 93≤ Z ≤103; σ_N and σ_{Ni} decrease with Z. Results show that for smaller values of E_{oi} very close to E_{Ni} values; $\sigma_{N\,i}$ of i^{th} subshells decreases while competing other yields are increase. Results may help to understand similar findings which obtained from other electron impact excitation of N shell σ_N and N subshells σ_{Ni} studies for single atoms.

Keywords: N_i subshells ionization cross section, Electron impact on atoms (93Np≤Z≤103Lr) , Lotz's equations

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 1.1.	$_{93}$Np'den $_{103}$Lr'ye N_1, N_2, N_3, ..N_7 alt elektron kabuklarına ait kullanılan elektron bağlanma enerji değerleri	3
Çizelge 1.2.	Lotz'un yarı- ampirik formülünde kullanılan parametreler, a_i, b_i,c_i ve q_i alt kabuk eşdeğer elektron sayısı, etkin yük yoğunluğu (Lotz 1967-1970)	16
Çizelge3.1.	Np'den Lr'ye kadar olan atomlar için eV cinsinden kullanılan bombardıman enerjileri	23
Çizelge 3.2.	Lotz'un yarı deneysel formülünde kullanılan parametreler, a_i, b_i, c_i ve q_i de (i) ninci N_i alt kabuk eşdeğer elektron sayısı veya gelen elektron tarafından görülen eşdeğer elektron yüküdür	24
Çizelge 4.1.	$_{93}$Np atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri	26
Çizelge 4.2.	$_{93}$Np atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri	28
Çizelge 4.3.	$_{94}$Pu atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri	29
Çizelge 4.4.	$_{94}$Pu atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri	31
Çizelge 4.5.	$_{95}$Am atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri	32
Çizelge 4.6.	$_{95}$Am atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri	34
Çizelge 4.7.	$_{96}$Cm atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri	35
Çizelge 4.8.	$_{96}$Cm atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri	37
Çizelge 4.9.	$_{97}$Bk atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri	38
Çizelge 4.10.	$_{97}$Bk atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri	40

Çizelge 4.11. $_{98}Cf$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri 41

Çizelge 4.12. $_{98}Cf$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri 43

Çizelge 4.13. $_{99}Es$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri 44

Çizelge 4.14. $_{99}Es$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri 46

Çizelge 4.15. $_{100}Fm$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri 47

Çizelge 4.16. $_{100}Fm$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri 49

Çizelge 4.17. $_{101}Md$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri 50

Çizelge 4.18. $_{101}Md$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri 52

Çizelge 4.19. $_{102}No$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri 53

Çizelge 4.20. $_{102}No$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri 55

Çizelge 4.21. $_{103}Lr$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri 56

Çizelge 4.22. $_{103}Lr$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri 58

Çizelge 4.23. E_o = 4 keV enerjili elektronlarla uyarılmış atomların N alt kabuklar iyonizayon tesir kesitlerinin Z ye bağımlılığının barn cinsinden değerler 59

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.1.	Bir potansiyel alanın etkileşme olayına etkisi	5
Şekil 1.2	Merkezi bir alandan saçılmanın şematik gösterimi. (r, θ) parçacığın Koordinatları, p etkileşme (impact) parametresi, r_C en yakın yaklaşma mesafesi, Φ saçılma açısıdır. (Aksoy-2015)	8
Şekil 1.3.	Auger Olayı (Taş-2011)	9
Şekil 4.1.	Np atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, ….. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi	26
Şekil 4.2.	Np atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,….. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi	27
Şekil 4.3.	Np atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,….. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi	28
Şekil 4.4.	Pu atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, N_3 , …. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi	29
Şekil 4.5.	Pu atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, ……..N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi	30
Şekil 4.6.	Pu atomunun N kabuğu ve N_1, N_2….. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi	31
Şekil 4.7.	Am atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, N_3 , …. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi	32
Şekil 4.8.	Am atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir $\sigma_{Ni,}$ elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi	33
Şekil 4.9.	Am atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, …… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi	34

Şekil 4.10. Cm atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, .. …. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron bombardıman enerjisinin E_o(keV)fonksiyonu olarak değişimi 35

Şekil 4.11. Cm atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, ……N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 36

Şekil 4.12. Cm atomunun N kabuğu ve N_1, N_2…… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV)fonksiyonu olarak değişimi 37

Şekil 4.13. Bk atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, N_3 , …. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 38

Şekil 4.14. Bk atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, ….. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 39

Şekil 4.15. Bk atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, …… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 40

Şekil 4.16. Cf atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, N_3 , …. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 41

Şekil 4.17. Cf atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, …. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 42

Şekil 4.18. Cf atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,….. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 43

Şekil 4.19. Es atomunun N kabuğu ve N_1, N_2…… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 44

Şekil 4.20. Es atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, ……N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 45

Şekil 4.21. Es atomunun N kabuğu ve N_1, N_2…… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 46

Şekil 4.22. Fm atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV)fonksiyonu olarak değişimi 47

Şekil 4.23. Fm atomunun N_1, N_2,…….N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin $\sigma_{Ni,}$ elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi verilmiştir 48

Şekil 4.24. Fm atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, ……. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 49

Şekil 4.25. Md atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,…. N_7 alt kabuklarına ait İyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 50

Şekil 4.26. Md atomunun N kabuğuna ait N_1, N_2, …..N_7 alt kabuklarına iyonizasyon tesir kesitlerini σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 51

Şekil 4.27. Md atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,….. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerini σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 52

Şekil 4.28. No atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, …… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 53

Şekil 4.29. No atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, …. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 54

Şekil 4.30. No atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,….. N_7 alt kabuklarına ait İyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 55

Şekil 4.31. Lr atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,…. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 56

Şekil 4.32. Lr atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,….. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 57

Şekil 4.33. Lr atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, …..N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi 58

Şekil 4.34. E_o = 4 keV enerjili elektronlarla uyarılmış atomların (Np den Lr'ye) N alt kabuklarının iyonizayon tesir kesitlerinin Z ye bağımlılığı 59

Şekil 4.35. E_o = 4 keV enerjili elektronlarla uyarılmış atomların (Np den Lr'ye) N alt kabukları ve N toplam iyonizayon tesir kesitlerinin Z ye bağımlılığı 60

KISALTMA VE SİMGELER

E_o :Atomu uyarmak için kullanılan elektronun kinetik enerjisi(Bombardıman enerjisi)

E_i :Atomun alt kabuklarındaki elektronlara ait bağlanma enerjileri(eV)

E_{Ni} :N_1, N_2, N_3, N_4, N_5. N_6, N_7 alt kabuklarının enerjisi(eV)

σ_{Ni} : N_1, N_2,..,N_7 alt kabuklarının relativistik olmayan tesir kesiti (cm^2 veya barn)

σ_{Ni}^{rel} :N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6 ve N_7 alt kabuklarının relativistik tesir kesiti

σ_{Ntop} :N_1, N_2, ….N_7 alt kabuklarının toplam tesir kesiti(barn)

a_i :Katsayı (10^{-14} cm^2 $(eV)^2$)

b_i :Katsayı

c_i :Katsayı

i :1,2,3,4,5,6,7 (alt indis)

q_i :Alt kabuk elektron sayısı uyarım için kullanılan dıştan gelen elektronun uyarılan yörünge için elektron yükü cinsinden algıladığı, etkileştiği etkin yük

m :Elektronun kütlesi ($9{,}11.10^{-31}$ kg)

b :Barn ($10^{-24}cm^2$)

c :Işık hızı (3 x 108 m/s)

l :Yörünge kuantum sayısı

n :Baş kuantum sayısı

Z :Atom numarası

Np :Neptunium (Neptünyum)

Pu :Plutonium (Plütonyum)

Am :Americium(Amerikyum)

Cm :Curium (küriyum)

Bk : Berkelium (Berkelyum)

Cf :Californium(kaliforniyum)

Es :Einsteinium (Aynştaynyum)

Fm :Fermium (Fermiyum)

Md :Mendelevium (Mendelevyum)

No :Nobelium (Nobelyum)

Lr :Lawrencium (Lavrensiyum)

1. GİRİŞ

Elektron-atom çarpışma deneyleri ile kuantum mekaniksel olarak atomların dinamik yapıları anlaşılır hale gelmektedir. Atom ve molekül fiziğinde elektron-atom çarpışmaları üzerine araştırmalar hem deneysel hem de teorik olarak yapılmaktadır. Bu çalışmalar temel seviyedeki çoklu parçacık sistemlerinin dinamiklerinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

Nötr bir atomun iyonlaşması, foton, nötron, elektron ve protonlarla gerçekleşebilir. Atomların elektron etkisiyle iyonlaşması, atomik çarpışma çalışmalarında en ilgi çeken alanlardan birisidir. Atom ve molekül fiziği alanında özellikle serbest atom-elektron etkileşmelerini incelemek için sürekli geliştirilen deneysel ve teorik metotlarla diğer temel bilimlere; fizik, kimya biyoloji, astrofizik, tıp, metalürji elektronik gibi bilimlere temel oluşturacak bilgiler ve aletsel uygulamaların elde edilmesini sağlar. Özellikle kuantum teorisinin ve algılama kayıt ve ölçme tekniklerinin gelişmesi ile elektron – atom çarpışma deneyleri saçılma olaylarının anlaşılmasında önemli üstünlükler sağlamıştır. Bu tür çalışmalar temel seviyedeki çok parçacıklı sistemin dinamiklerinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

Atom ve moleküllerin doğal ortamda iyonlaşmalarının anlaşılmasında çarpışma deneylerinin önemli bir yeri vardır. Çarpışma deneylerinde incelenen numuneye göre birçok değişik spektroskopi dalı bulunmaktadır. Genel olarak çarpışma spektroskopisi, belirlenen bir hedef (atom, molekül veya katı) ile monokromatik ince bir demetin (elektron, proton, iyon veya foton) çarpışması ve etkileşmeden çıkan ürünlerdeki (elektron, iyon veya foton) değişiklikleri incelemektedir (Lahmam-Bennani 2002). Bu tür olaylar parçacıkların etkileşimi boyunca mekanizmanın temeli hakkında sağlıklı bilgi verir.

Bu çalışmada $_{93}$Np, $_{94}$Pu, $_{95}$Am, $_{96}$Cm, $_{97}$Bk, $_{98}$Cf, $_{99}$Es, $_{100}$Fm $_{101}$Md, $_{102}$No, ve $_{103}$Lr atomlarının N alt kabuklarına ait elektron bağlanma enerjileri yani iyonizasyon enerjileri literatürden belirlenerek Çizelge-1 de verilmiştir[GwynWilliams 2010, Porter ve Freedman 1978]. Seçilen hedef atom için kullanılacak 14 farklı bombardıman enerjisi, o atoma ait en düşük ve en büyük eşik enerji değerli N_7 ve N_1 elektron alt kabuklarının her birinde uyarım/iyonizasyon olacak şekilde seçilmiştir. Bu nedenle eşik enerjisi

değerinden itibaren bombardıman için kullanılacak elektronların enerji bölgesi, eşik enerjisi değerlerine yakın olma şartını da gözeterek en düşük bağlanma enerjisinin yaklaşık 1-6 katı kadar bir enerji aralığı seçilmiştir. Daha sonra bu atomların N kabuğundaki elektronlarını koparabilmek için, yani hedef atomu bu enerji seviyesinde uyarabilmek için literatür taraması sonucu bulunan Tablo.1 de verilen en küçük bağlanma enerjilerinden başlayarak daha yüksek enerjili elektronlar kullanılmıştır.

Bir elektronun belirli bir kabuktaki enerjisi, baş kuantum sayısı(n) kadar olmasa da yörünge kuantum sayısına(l) da bağlıdır. Karmaşık bir atomda tüm nükleer yükün, belirli bir elektrondan, aradaki diğer elektron tabakalarınca ne dereceye kadar perdelendiği, o elektronun olasılık yoğunluğu dağılımına bağlı olarak değişir. Yörünge kuantum sayısı(l) küçük olan bir elektronun diğer elektronlarca az perdelendiği çekirdeğin civarında bulunma olasılığı, büyük kuantum sayılı (l) bir elektrona göre daha fazladır. Buna göre her bir tabakadaki elektron enerjisi artan l ile artar.

Bir tabakadaki belirli bir yörünge açısal momentum (l) değerini paylaşan elektronların aynı alt tabakada oldukları söylenir. Bir alt tabakadaki bütün elektronların enerjileri hemen hemen aynıdır, çünkü elektron enerjisinin manyetik kuantum sayısı(m_l) ve spin kuantum sayısına (m_s)'ye bağlılığı kısmen azdır.

Araştırma konusu olan elementlerin N alt kabuklarına ait elektronların çizelge-1 deki bağlanma enerjileri incelendiğinde N_1 den N_7 ye doğru gidildikçe(içten dışa) elektronu çekirdeğe bağlayan enerjinin azaldığı görülür.

Büyük çekirdekli herhangi bir atomun N alt kabuklarındaki(N_1'den N_7' ye) elektronların bağlanma enerjileri farklı olduğundan atomun bu kabuklar seviyesindeki iyonizasyonları aynı enerji değerleri için farklılık göstermesi beklenir.

Çizelge 1.1. $_{93}$Np den $_{103}$Lr ye N_1, N_2,…N_7 alt elektron kabuklarına ait kullanılan elektron bağlanma enerji değerleri (eV) olarak verilmiştir [Gwyn Williams 2010, Porter and Freedman 1978]

ELEMENTLER	E_{N1}	E_{N2}	E_{N3}	E_{N4}	E_{N5}	E_{N6}	E_{N7}
Neptünyum Np(93)	1501	1328	1087	816	771	414	403
Plütonyum Pu(94)	1560	1380	1123	846	798	436	424
Amerikyum Am(95)	1620	1438	1165	880	829	460	445
Küriyum Cm(96)	1665	1498	1207	916	862	484	470
Berkelyum Bk(97)	1744	1558	1249	955	898	511	495
Kaliforniyum Cf(98)	1801	1620	1292	991	930	538	520
Aynştanyum Es(99)	1880	1683	1336	1029	965	564	546
Fermiyum Fm(100)	1942	1740	1369	1057	985	583	564
Mendelevyum Md(101)	2011	1800	1413	1100	1016	608	587
Nobelyum No(102)	2083	1877	1462	1137	1060	639	617
Lawrensyum Lr(103)	2159	1953	1517	1183	1100	673	651

1.1. Elektron- Atom Etkileşmesi

Elektronların, diğer kuantum parçacıklarıyla karşılaştırıldığında, saçılma deneylerinde kullanılmasının avantajı çoktur. Elektron demetinin üretimi, örneğin foton demeti üretimine göre daha kolay ve az maliyetlidir. Elektron bir temel parçacık olduğundan hedef atomdan bağımsız olarak bütün atomik ve moleküler sistemlere uygulanabilir. Etkileşimde kullanılan elektron demetinin enerjisi ve miktarı ayarlanabildiğinden; Elektronlarla atomları taban durumlarından başlayarak her yörüngedeki elektronun enerjisini değiştirmek veya elektronu koparmak mümkündür. Dolayısıyla foton ile atom uyarılması veya etkileşmesine göre, kuantum mekaniksel olarak elektron-atom etkileşmesiyle atomun yapısı hakkında daha fazla bilgi elde edilebilmektedir. Elektron-atom çarpışmasıyla elde edilen veriler atom ve molekül fiziğinde; uyarılma, iyonlaşma, kendiliğinden iyonlaşma ve Auger olayı için geliştirilen teorik modellerin doğruluğunun test edilmesine imkan sağlamaktadır.

İyonlaşma olayının hem teorik hem de deneysel olarak ayrıntılı bir şekilde tanımlanması ve araştırılması bir çok fizik dalında önem taşımaktadır. En önemli uygulamalarından bazıları, plazma fiziği, astrofizik, üst atmosfer fiziği ve radyasyon kimyası şeklindedir. Elektron etkisiyle iyonlaşma olayı, teorik problemlerin de tartışılmasına imkan sağlamaktadır. Elektron etkisiyle iyonlaşma olayında çarpışmadan sonra birbirleriyle uzun menzilli Coulomb etkileşmesi içinde olan en az üç parçacık bulunmaktadır. iyonlaşma mekanizmasının tanımlanması, çok parçacık probleminin

çözülmesini gerektirmektedir. Elektron etkisiyle iyonlaşma olayı, elektronun enerjisine bağlı olarak direkt iyonlaşma, kendiliğinden iyonlaşma (Autoionization), iç ya da orta enerji seviyelerinden iyonlaşma (Auger) olaylarını da içine almaktadır.

Elektron etkisiyle serbest atomların iyonlaşma olayının dinamiklerinin anlaşılması, diğer çarpışma olaylarına da anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. Elektronla uyarma yönteminin avantajları şöyle sırlanabilir: i) Yüksek uyarma verimi nedeniyle hafif elementler için iyi hassasiyet gösterir, ii) Elektronlar ancak ince yüzey tabakalarından geçebildiklerinden soğurma şiddetlendirme etkileri küçüktür, iii) Elektronlar ince filmde büyük ölçüde soğurulabildikleri için iyi hassasiyet gösterirler. Oysa x- ışınları, yüzeyden geçmeleri sonucu çok az iyonlaşmaya neden olurlar.

Düşük atom numaralı elementler dışında da hedefi katı hal durumundan bir tek atom haline yani gaz atomlarına dönüştürerek çok iyi hassas bir şekilde deneysel veya teorik elektron- atom etkileşmesi çalışmaları yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Elektronlarla uyarmada, çok hızlı elektronlarla atomlar bombardıman edilerek (mümkünse serbest haldeki atomlarda) atomlarda elektron boşlukları meydana getirilir. Gelen elektron saçılırken atomdan bir elektron sökülür. Saçılan elektrona saçılmış primer elektron, sökülen elektrona da sekonder elektron denir. Daha sonra dış taraftaki elektronlardan biri boşluğu belirli kurallara göre doldurur.

Elektron-atom etkileşmesinde gerçekleşebilecek olaylar şöyle özetlenebilir: Dışarıdan atom üzerine gönderilen elektronun kinetik enerjisine bağlı olarak elektron, atomun içyapısında herhangi bir değişikliğe neden olmadan saçılabilir. Atomun uyarılma enerjisine eşit veya daha yüksek enerjili bir elektron, atoma çarparak atomdan bir foton salınmasına sebep olabilir. Gelen elektron atomdan bir elektronunu koparabilecek enerjiye sahipse yani bağlanma enerjisini karşılıyorsa atom iyonlaştırılabilir. Eğer atom birden fazla elektrona sahip ve gelen elektronun enerjisi bu elektronları iyonlaştırabilecek seviyede ise birden fazla elektron koparılabilir(Ulu 2007). İyonizasyon, etkileşim için kullanılan elektronun E_o kinetik enerjisine bağlı olarak belirli olasılıklarla değişik yörüngelerdeki elektronların sökülmesiyle gerçekleşir.

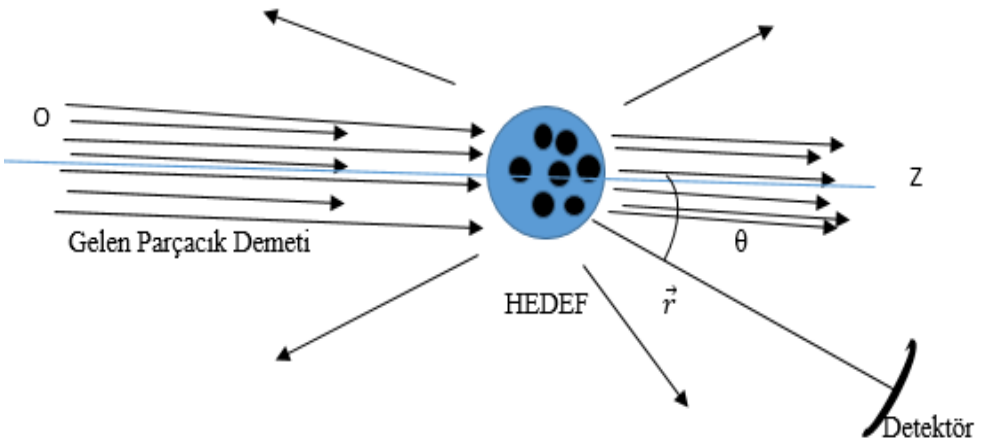
Bir kaynaktan çıkan *m* kütleli elektronlardan oluşan v hızlı bir elektron demetinin $+z$ yönünde ilerlemiş olduğunu ve kullanılan detektörün kutupsal koordinatlarının

$\vec{r}$ = (r, θ ,φ) olan bir noktaya yerleştirildiğini düşünelim. Hiçbir kuvvet etkisinde bulunmayan parçacıklar serbest parçacıklardır ve bunlar bir düzlem dalga şeklinde temsil edilir (Erbil 1990).

Demet üzerine hiçbir kuvvet etki etmediğinde, elektron demeti hiçbir sapmaya uğramadan yoluna devam edebilir. Gelen her parçacığın momentumu $\vec{P} = \frac{h}{2\pi}\vec{k}$ biçimindedir. Gelen demet üzerine bir kuvvet etki ettiğinde parçacıklar hedeften saçılıp detektörlerle sayılır ve bu sayım sonucunda reaksiyonun meydana gelme olasılığı bulunur. Bu olasılık ise elektron atom etkileşmesinde de deneysel olarak gözlenip teorik olarak hesaplanabilir ve diferansiyel tesir kesitiyle orantılıdır. Saçılan elektronların çevredeki diğer yüklü parçacıklardan etkilenmemesi için elektron algılayıcı detektör (elektron katlayıcı) topraklanmış bir zırhla korunur. Her detektörün etkin bir elektron algılayıcı alanı vardır ve alan dS ile gösterirsek detektörün gördüğü katı açı,

$$d\Omega = \frac{ds}{r^2} sin\theta d\theta sin\emptyset \qquad (1.1)$$

ile verilir. elektron demeti bir bir $U(r)$ potansiyeli etkisiyle hareket doğrultusundan sapmaya uğrayabilir (Kansu 2007).



Şekil 1.1 Bir potansiyel alanın etkileşme olayına etkisi

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi detektörle ölçüm yapıldığı zaman sapmış elektronların gözlenme olasılığı vardır. O - Z doğrultusu ile θ açısı yapan bir $d\Omega$ katı açısı içinde etkileşen elektronların olasılığının dσ olduğu düşünülürse, elektron demetinin genişledikçe $d\sigma$ olasılığının küçüldüğü görülecektir. $d\sigma$ olasılığı elektron demetin dik kesitinin A alanı ile ters orantılıdır(Erbil 1990). Kuantum mekaniksel olarak bu $d\sigma$

değerinin nasıl bulunacağını görelim: Birim zamanda birim kesitten geçen elektron sayısına elektron akısı adı verilir ve J ile gösterilir. Bu akıya karşılık, detektörün kapsadığı $d\Omega$ katı açısı içine birim zamanda etkileşen elektronların sayısı dN olduğunda, bir etkileşme deneyinin diferansiyel tesir kesiti,

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{dN}{J} \tag{1.2}$$

bağıntısıyla ortaya çıkar. Atom ve nükleer fizikte diferansiyel tesir kesitinin boyutu alan cinsindendir ve bu büyüklük gerçekte kesit değil, etkileşme olasılığıyla ilgilidir. Tesir kesit birimi olarak barn kullanılır. $1barn = 10^{-24} cm^2$ dir. Bu büyüklük genellikle, seçilen (θ,φ) kutupsal açılarının bir fonksiyonu şeklindedir (Kansu 2007). Diferansiyel tesir kesitinin tüm açılar üzerinden integrali alındığında toplam tesir kesiti elde edilir (Kansu 2007). Tüm bu bağıntılar klasik ve kuantum mekaniğinde birlikte ele alındığında geçerlilik kazanırlar.

$$\sigma = \int d\Omega \frac{d\sigma}{d\Omega} = \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} \frac{d\sigma}{d\Omega} sin\theta d\theta d\emptyset \tag{1.3}$$

1.1.1. Esnek (elastik) Etkileşme

Yüksek enerjili elektron atomun etrafında oluşan elektromanyetik alan ile değişik şiddetlerde etkileşebilir. Örneğin enerjisi atomdan elektron koparmaya yetmez ise frenleme ışınımı salarak ve geliş yönlendirildiği doğrultudan belirli bir sapmayla esnek saçılma yapar. Gelen elektronun saçılması atomik elektronlardan veya nükleer potansiyelin ucuna ulaştığında, etkileşme doğrudan (hedef atomdaki nükleonlarla çarpışmaksızın) hedef çekirdeğin şekli ile büyüklüğüne ve bunların oluşturduğu potansiyel kuyuya bağlı olarak dalga fonksiyonunun kısmi bir yansıması şeklinde de olabilir. Esnek etkileşmede başlangıçtaki giriş kanalı elemanları ($a + X$), çıkış kanalı elemanlarıyla aynıdır. Yani (a+X) = ((X=Y)+ (a=b)) eşittir. Gelen parçacık ile reaksiyondan çıkan parçacık birbirleri ile aynı (a=b) olduğu gibi, hedef atom ile kalan atom da birbiri ile aynıdır (X=Y) ve reaksiyonda açığa çıkan enerji Q değeri sıfır kabul edilebilir(Satchler 1980). Atomların iç yapılarında ve elamanlarında herhangi bir değişmenin olmadığı esnek etkileşme işlemi,

a +X → X+a

formuna sahiptir. Hedef atomun enerji durumunda bir değişikliğin olmadığı esnek etkileşme işleminde; hedefe gönderilen elektronlardan en az biri, sabit durduğunu varsaydığımız bir hedef atom ile arasındaki etkileşmeye bağlı olarak geliş doğrultusundan saparak etkileşir(Kürkçüoğlu 2006).

1.1.2. Esnek Olmayan (inelastik) Etkileşme

Yüksek enerjili elektron Coulomb engelini aşabilecek enerjiye sahipse, bir atom ile doğrudan bir etkileşme söz konusudur. Esnek olmayan saçılmalarda reaksiyondan çıkan parçacık a' , gelen elektron a ile aynıdır; fakat daha küçük enerjiye sahiptirler. Bu durumda yüksek enerjili elektron(e^{-1})=a, uyardığı hedef atomu daha düşük bir enerji ile terk edecektir. Bu tür etkileşim

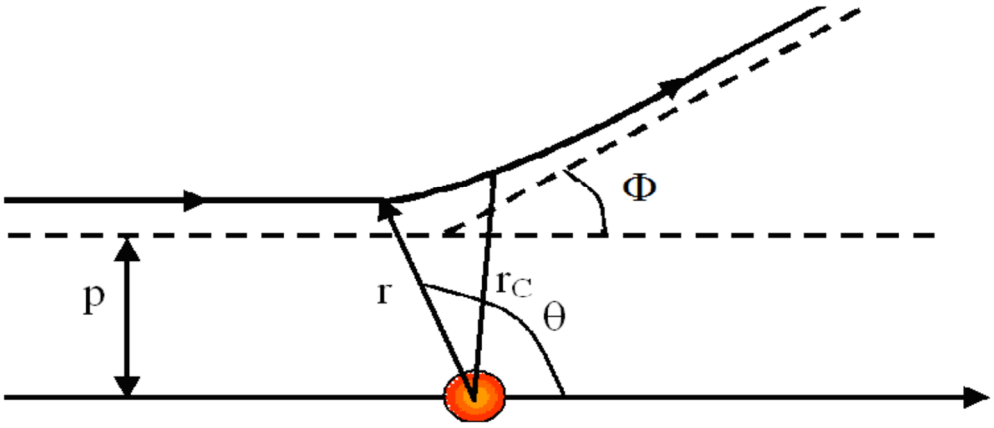
$$a + X = X^* + a' + Q \tag{1.4}$$

şeklinde sembolize edilebilir. Burada X*, X atomun uyarılmış bir durumunu, a'ise ürün parçacığı (saçılan elektron) temsil etmektedir. Esnek olmayan etkileşimler için Q değeri sıfırdan farklıdır ve hedef atomun uyarılmış durumuna geçmesi için gereken uyarılma enerjisi (E_X) cinsinden Q= - E_X ile verilmektedir(Sachler 1980).

1.2. Elektron- Atom Etkileşmelerinde Saçılma Olayı

Saçılma olayları; temel parçacıkların yapılarını anlamamızı sağlayan deneysel yöntemlerdir. Bu yöntemde sabit tutulduğu varsayılan hedefte bulunan bir tek atom veya molekül üzerine enerjisi ve açısı bilinen elektronlar gönderilerek saçılan parçacıklar yön ve enerjilerine göre analiz edilir. Bir hedef üzerine gelen bir parçacık göz önüne alalım (Şekil 1.2). Parçacığa etkiyen merkezcil kuvvetin büyük uzaklıklarda sıfıra düştüğünü varsayalım. Buna göre parçacık, kuvvet merkezinden çok büyük uzaklıklarda iken, doğrusal bir yörünge boyunca hareket eder. Merkezcil kuvvete yaklaştığında ise çekici ya da itici bir etkileşmeye uğrar ve bu nedenle, başlangıçta doğrusal çizgi olan yolundan sapmaya uğrar. Parçacık saçıldıktan sonra üzerine etki eden kuvvet sıfır olur. Bunun sonucunda yörüngesi tekrar doğrusal çizgiye yaklaşır. Genel olarak hareketin son

doğrultusu geliş doğrultusundan farklıdır ve parçacığın merkezcil kuvvet tarafından saçıldığı söylenir.



Şekil 1.2. Merkezi bir alandan saçılmanın şematik gösterimi. (r, θ) parçacığın koordinatları p etkileşme (impact) parametresi, r_C en yakın yaklaşma mesafesi, Φ saçılma açısıdır. (Aksoy 2015)

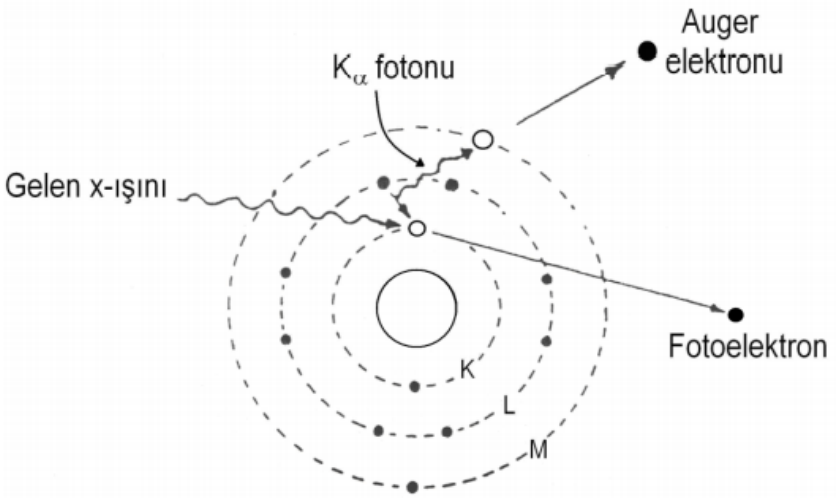
Saçılma olayını tanımlayan tesir kesitlerinin hesaplanmasında giren ve çıkan parçacıkların özelliklerine bağlı olarak bazı yaklaşımlar yapılmaktadır. Elektron – atom çarpışmasında meydana gelen olayların tanımlanabilmesi çarpışmadan önce ve sonra sistemin toplam dalga fonksiyonlarının belirlenmesine bağlıdır (Marchalant 1996).

1.3.Geçişler

Herhangi bir olay sonucu atomda meydana gelen boşluk üst tabakadaki başka bir elektron tarafından ışımalı veya ışımasız olarak doldurulabilir. Bunlar Auger, Coster-Kronig, kendiliğinden geçişler ve ışımalı geçişlerdir. Işımasız geçişlerin her biri ayrı ayrı isimlendirilmiş olsa da aslında hepsi Auger olayıdır(Ferreira 1987).

1.3.1. Auger Geçişleri

Atomda herhangi bir yolla, meydana getirilen bir boşluk diğer üst kabuk elektronları tarafından, ışımalı olarak doldurulabildiği gibi ışımasız olarak da doldurulabilir. Auger olayında yayımlanan ışın, atomun üst kabuk elektronlarından birini daha söker ve böylece atom iki defa uyarılmış duruma geçer. Bu olay değişik isimlerle ışımasız geçişler ve Auger olayı olarak bilinmektedir. Bu olayda sökülen elektrona Auger elektronu denir. Bu olay (Şekil 1.3)'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Auger Olayı (Taş 2011)

Auger olayı elektronları daha gevşek bağlı ve karakteristik fotonların daha kolay soğurulduğu küçük atom numaralı elementlerde daha sık görülür. Bu nedenle Auger olayı, N serisi için L serisinden daha baskındır.

1.3.2. Fluoresans Verimler ve Coster-Kronig Geçişler

Atomun tabaka veya alt tabaka flüoresans verimi, o tabaka veya alt tabakada herhangi bir yolla meydana getirilmiş bir boşluğun karakteristik X-ışını yayımlanarak doldurulması ihtimalidir. Atomda bir boşluk meydana getirilmiş ise o atom uyarılmış haldedir. Uyarılmış halin ortalama ömrü τ ise halin toplam seviye genişliği, belirsizlik ilkesine göre $\Gamma=\hbar/\tau$ ile verilir. Γ, toplam seviye genişliği; Γ_R ışımalı seviye genişliği, Γ_A ışımasız seviye genişliği ve Γ_{CK}, Coster-Kronig seviye genişliğinin toplamıdır. ($\Gamma=\Gamma_R+\Gamma_A+\Gamma_{CK}$) Bundan dolayı ω fluoresans verim,

$$\omega = \frac{\Gamma_R}{\Gamma} \tag{1.5}$$

ile verilir.

Coster kronik geçişi Auger geçişinin özel bir halidir. Auger olayından farklı olarak boşluğun bulunduğu kabuk ile bu boşluğu dolduran elektronun kabuk düzeyi aynıdır yani $\Delta n = 0'$dır. Bir kabuğun alt kabukları arasındaki enerji seviyeleri farkı oldukça düşük olacağından, elektron ilgili atomun en düşük seviyesinden kopacaktır. Böylece Coster-Kronig elektronun enerjisi de Auger elektronunun enerjisine göre daha düşük olacaktır. Kendiliğinden geçişler ise en üst seviyedeki iki elektron eş zamanlı olarak doldurulmamış

daha yüksek bir seviyeye uyarılır. Elektron eski hallerine döndürüldüğünde diğer bir elektron sökülür. Bu işlemde ikiden fazla elektron da kullanılabilir (Yılmaz 2010).

Herhangi bir yolla x elektron kabuğu (L, M, N, ...); veya x alt kabuğunda meydana getirilmiş bir boşluğun, daha yüksek enerjili x_j alt kabuğuna kayma ihtimali Coster-Kronig geçiş ihtimali olup f_{ij}^{x} ile gösterilir. Örneğin, M kabuğu için f_{13} Coster-Kronig geçişi, M_3 alt kabuğundan M_1 alt kabuğuna bir elektronun geçiş ihtimalidir. Coster-Kronig geçişler ışımalı ve ışımasız olmak üzere iki kısımdır. Bunlar ışımalı kısmı $f_{ij}^{x}(R)$ ile, ışımasız kısmı ise $f_{ij}^{x}(A)$ ile gösterilir. Herhangi bir x elektron kabuğunun i ve j alt kabukları arasında Coster -Kronig geçişleri için; $f_{ij}^{x}(A) \gg f_{ij}^{x}(R)$ eşitsizliği vardır. Coster kronig geçişleri için;

$$f_{ij}^{x} = f_{ij}^{x}(R) + f_{ij}^{x}(A) \tag{1.6}$$

yazılabilir. $f_{ij}^{x}(R)$, $f_{ij}^{x}(A)$ yanında ihmal edilirse,

$$f_{ij}^{x} = \frac{\Gamma_A(L_i L_j X)}{\Gamma(L_i)} \quad X = M, N, O \;\; ve \; J > \text{İ} \tag{1.7}$$

Olur. Burada Γ_A, Auger kısmi genişliğidir (Auger geçiş hızlarının toplamı) (Yılmaz 2009).

1.4. Elektron- Atom Etkileşmesiyle İç-Kabuk İyonizasyon Tesir Kesit Çalışmaları

Elektron yardımıyla atomik iç kabukların iyonlaşma kesitlerini doğru ve güvenilir şekilde çalışma yapılabilmesi için çok amaçlı elektron-atom etkileşim deney sistemleri gerektirir. Bu sistemler x ışınları spektroskopisi, elektron probmikro analizi (EPMA) ve Auger elektron spektroskopisi (AES) uygulamalarını da aynı anda içermelidir. Konunun karmaşıklığı ve deneysel verilerin azlığı nedeniyle bu alandaki çalışmalar dikkat çekicidir. Konunun teorik çalışılması için Lotz denkleminden ve MATLAB programının getirdiği hesaplama kolaylıklarından faydalanılacaktır. Bu tip çalışmaların sonuçları ileride deneysel veya teorik çalışacaklar için kaynak teşkil edecektir.

Atom fiziğinde bir temel parçacıkla bir atomun etkileşimi, tesir kesitinin büyüklüğü ile anlaşılır. Ayrıca gelen ve saçılan elektron demetlerinin akılarının hesaplanması ile hedef atomun kuantum durumlarındaki değişim olasılıklarının belirlenmesi dalga fonksiyonlarının içerdiği bilgilerin anlamlı hale getirilmesine imkan sağlayacaktır. Gelen elektron demeti akısının hedef atom başına saçılan dalga fonksiyonun akısına oranı diferansiyel tesir kesiti ile verilir (Durakev 1987).

Çok düşük enerjili elektronlarla elektron-atom çarpışmaları konusunda bazı tesir kesiti ölçümleri de yapılmıştır (Doğan ve ark. 1998).

Mikroskobik boyuttaki fizik alanında teoriler genellikle kesinlik ifade etmez. Yani meydana gelen herhangi bir olay genelde belirli bir olasılık ile ifade edilir. Örneğin bir atomun herhangi bir t anında bozunması ya da üzerine gönderilen yüksek enerjili bir elektronla uyarılması olayı olasılıkla verilir.

Tesir kesiti, herhangi bir olayın meydana gelme ihtimalinin bir ölçüsüdür. Bu ölçü, hedef parçacığı kuşatan hayali bir alanla karakterize edilir. Bir hedef atom veya molekülün tesir kesiti, ilgili olayın tabiatına ve gelen parçacığın enerjisine bağlıdır ve hedefin geometrik kesitinden daha büyük ya da daha küçük olabilir. Bu nicelik, ışının madde ile etkileşmesine bağlı olarak soğurma ve saçılma tesir kesiti olarak adlandırılır (Tuzluca 2007).

1.5. Born Yaklaşımı(Born Approximation)

m kütleli bir parçacığın sabit $V(\vec{r})$ potansiyelinden saçılmasını hesaplamak için Schrödinger denkleminden yararlanılır. Bilindiği gibi zamandan bağımsız Schrödinger denklemi,

$$\left[-\frac{h^2}{2m}\nabla^2 + V(\vec{r})\right]\chi(\vec{r}) = E\chi(\vec{r}) \tag{1.8}$$

İle verilir. Buradaki E parçacığın kineti enerjisi ve $\hat{H}$ enerji operatörü (Hamiltoniyeni) belirtmek üzere özdeğer denklemi,

$$H\chi(\vec{r}) = E\chi(\vec{r}) \tag{1.9}$$

Şeklindedir.

$k = (\frac{2mE}{h^2})^{1/2}veU = \frac{2mV}{h^2}$ dönüşümleriyle denklem

$$[\nabla^2 - U(\vec{r}) + k^2\ ]\chi(\vec{r}) = 0 \qquad (1.10)$$

haline gelir. *V= 0* olduğunda potansiyel enerji de sıfır olacağından denklemin çözümü bir düzlem dalgayı gerektiren,

$\chi(\vec{r}) = e^{i\vec{k}.\vec{r}}$çözümüne ulaşılır. Bu ise dağılmamış bir demeti ifade eder. Merkezi bir kuvvet tarafından saçılan bir parçacığın saçılma denklemi ise,

$$(\nabla^2 + k^2\ )\chi(\vec{r}) = U(\vec{r})\chi(\vec{r}) = F(\vec{r}) \qquad (1.11)$$

Şeklindedir. $V = 0$ iken serbest parçacığın E enerjisi için denklem,

$$(\nabla^2 + k^2)\chi_0(\vec{r}) = 0 \qquad (1.12)$$

halini alır. Bu denklemin çözümü

$\chi_0\,(\vec{r}) = e^{i\vec{k}\vec{r}}$olan düzlem dalgaya sahip olacaktır.

Ancak buradaki *V* potansiyelinin varlığı gelen düzlem dalgaya ek olarak saçılan bir dalga ortaya koyar. Denklem (1.11) in sağ kısmındaki $U(\vec{r})\chi(\vec{r}) = F(\vec{r})$ teriminin bu saçılmış dalgaları meydana getirdiği düşünülebilir. Gelen dalga ile saçılan dalganın birlikte oluşturduğu dalga fonksiyonu,

$$\chi(\vec{k},\vec{r}) = e^{i\,\vec{k}.\vec{r}} - \frac{1}{4\pi}\int \frac{e^{i\vec{k}|\vec{r}-\vec{r'}|}}{|\vec{r}-\vec{r'}|}U(\vec{r})\chi(\vec{k},\vec{r})d\vec{r} \qquad (1.13)$$

Biçiminde olacaktır. Elde edilen son ifade denklem (1.11) Schrödinger diferansiyel denklemine eşdeğerdir. Ancak gerekli olan sınır koşullarını kapsadığından daha fazla bilgi içerir. Saçılma genliğini elde etmek için büyük r değerleri $\chi(\vec{r})$ ifadesine ihtiyaç vardır. $V(\vec{r})$büyük r' için ortadan kalkar, bu yüzden denklem(1.13) ifadesinde sadece $r' << r$katkıda bulunur. Büyük *r* için

$\frac{1}{\left|\vec{r}-\vec{r'}\right|} \approx \frac{1}{r}$ve $\vec{k}'$de $\vec{r}$'nin yönelimine bağlı *k* 'nın büyüklüğüyle ilgili vektörü olup

$$k\left|\vec{r}-\vec{r'}\right| \approx k.r - \vec{k'}.\vec{r'}$$

İle gösterilir. Bunlar da denklem ((1.13) de yerine konulursa ifade

$$\chi(\vec{k},\vec{r}) \xrightarrow{\text{büyük } r} e^{i.\vec{k}.\vec{r}} - \frac{e^{i.k.r}}{4\pi}\int e^{-i.\vec{k\prime}.\vec{r}\prime}\, U(\vec{r})\chi(\vec{k},\vec{r})\mathrm{d}\vec{r} \qquad (1.14)$$

olacaktır. Buradan saçılma genişliği,

$$f(\theta,\emptyset) = -\frac{1}{4\pi}\int e^{-i.\vec{k\prime}.\vec{r}\prime}\,\mathrm{U}(\vec{\mathrm{r}})e^{i\vec{k\prime}\vec{r}\prime}\,d\vec{r} \qquad (1.15)$$

Şeklinde elde edilir. Ancak bu denklem saçılma probleminin bilimsel çözümünden daha fazlasını ortaya koymaz, çünkü integrant halen $\chi(\vec{r})$ bilinmeyen dalga fonksiyonunu içermektedir. Ancak bu yine de yaklaşımlar için uygun bir başlangıç noktasıdır. Örneğin, *V* potansiyeli zayıfsa saçılan dalga küçük bir genliğe sahip olur ve denklem (1.13)' nın ilk terimi tarafından denklem (1.15) te $\chi(\vec{r}')$' ye yaklaştırılabilir. Böyle bir durum düzlem dalganın kendisi,

$$f_{B,A}(\theta,\emptyset) = -\frac{1}{4\pi}\int e^{-i.\vec{k\prime}.\vec{r}\prime}\,\mathrm{U}(\vec{\mathrm{r}})e^{i\vec{k}.\vec{r}\prime}\,d\vec{r'} \qquad (1.16)$$

şeklinde olacaktır. Bu ifade Born Yaklaşımı olarak bilinir.

$\vec{q} = \vec{k} - \vec{k'}$ ifadesi, hesaplanan potansiyelin Fourier transformu olarak bilinir. Burada

$\vec{q}$, saçılan parçacığın momentum değişimidir. Bu $\vec{q}$ momentumu hedefe transfer edilir ve hedefin geri tepmesi olarak tekrar ortaya çıkar. f_{BA} genliği ⌀ ' den bağımsızdır, ancak θ ye bağlıdır. Çünkü,

$q^2 = k^2 - k'^2 - 2kk'cos\theta$ şeklindedir.

Eğer *U* ($\vec{r}$) potansiyeli küresel simetrikse bu ifade $\vec{r}$' nin büyüklüğüne bağlı fakat yöneliminden bağımsızdır. Burada $\vec{r}'$ değişkeninin kutupsal koordinatları (*r*,α ,β) olarak ifade edilip *d* ′ hacim elemanı,

$d\vec{r'} = d^3r' = r'^2 dr' sin\alpha d\alpha d\beta$ ve $\vec{q}.\vec{r} = qrcos\alpha$ şeklindedir.

Matematiksel işlemlerle denklem,

$$f_{BA}(\theta,\emptyset) = -\frac{1}{4\pi}\int e^{-\vec{q}.\vec{r}}\; U(\vec{r})d\vec{r} \qquad (1.17)$$

$$f_{BA}(\theta,\emptyset) = -\frac{1}{4\pi}\iiint r'^2\, dr' sin\alpha d\beta\, e^{-qrcos\alpha} U(r') \tag{1.18}$$

$$f_{BA}(\theta,\emptyset) = -\frac{1}{q}\int \sin(qr')\, U(r') r' dr' \tag{1.19}$$

İfadesine indirgenir. Born Yaklaşımının geçerli olabilmesi için etkileşim parçacığının gelen mermi parçacığın enerjisine kıyasla zayıf olması ve θ saçılma açısının küçük olması gerekmektedir (Kansu2007).

1.6. Lotz'un Yarı - Ampirik Formülü

1967'de Lotz tarafından elektron-atom/iyon etkileşmesinde orta enerjilerde atomların iç kabuklarının iyonizasyon tesir kesitini hesaplamak için bir formül geliştirilmiştir. Bu formül önce atom numarası 1-20 arasında olan atomlarda Lotz tarafından denenmiştir. Daha sonra ise V.M.Pessa ve W. R Newell (1971) de bu formülü atom numarası 4-90 olan atomların iyonizasyon tesir kesitlerini hesaplamak üzere kullanmışlardır.

Relativistik olmayan bölgede iyonizasyon tesir kesitini hesaplamak için kullanılan Lotz'un yarı-ampirik formülü (Lotz 1969) aşağıda verilmiştir.

$$\sigma = \sum_{i=1}^{N} a_i\, \mathrm{q_i}\, \frac{\ln(\frac{E_0}{E_i})}{E_o E_i}\left\{1 - \mathrm{b_i exp}\left[-\mathrm{c_i}\left(\frac{\mathrm{Eo}}{\mathrm{E_i}} - 1\right)\right]\right\}, \quad \mathrm{E_o} \geq E_i \tag{1.20}$$

Burada E_0, atom üzerine gönderilen etkileşim (bombardıman) elektronun enerjisi, E_i ise i'ninci alt kabuktaki elektronun bağlanma enerjisi; q_i, i'ninci alt kabuktaki eşdeğer elektron sayısı; a_i, b_i ve c_i ise Lotz'un belirlediği sabit değerlerdir.

Denklemde $\frac{\ln(E_0/E_i}{E_0 E_i}$ terimi, düşük enerjili elektronlar için düzeltme faktörüdür.

$$f(v) = \frac{k_1}{k_2}\left(\frac{k_1}{k_{1+}\, k_2}\right)^{3/2} \tag{1.21}$$

$$F(v) = \frac{k_1}{k_2}\left(\frac{2+k_1}{2+k_2}\right)\left(\frac{1+k_2}{1+k_1}\right)^2 \left(\frac{(1+k_1)^2}{(1+k_1)^2+\frac{k_1}{k_2}\left(\frac{2+k_1}{2+k_2}\right)\left(\frac{1+k_2}{1-k_1}\right)^2}\right)^{3/2} \quad (1.22)$$

Dinamik sistemlerin elektron- elektron çarpışmalarında$f(v)$ relativistik olmayan çarpışmalar için $F(v)$ relativistik çarpışmalar için coulomb hız dağılım fonksiyonudur.

$k_1 = \frac{E_i}{mc^2}$ $k_2 = \frac{E}{mc^2}$

Bu ifadede m, elektronun kütlesi, c ışığın boşluktaki hızı, E, olay elektronun etkileşme enerjisi, E_i ilgili yörüngedeki elektronların bağlanma enerjisidir.

Denklem (1.22), denklem (1.21)'e bölündükten sonra elde edilen sonuç Lotz denklemi ile (1.20) çarpıldığında aşağıdaki (1.23) denklemi yani relativistik iyonizasyon tesir kesiti elde edilir (Newel ve Pessa 1971).

$$\sigma_i^{rel} = \left(\frac{F(v)}{f(v)}\right)_i \sigma_i \quad (1.23)$$

Şeklindedir.

Çizelge 1.2. Lotz'un yarı- ampirik formülünde kullandığı parametreler(Lotz 1967-1970)

Alt elektron kabuğu	$a_i(10^{-14}cm^2(eV)^2)$	b_i	c_i	q_i
N_1	4	0	0	2
N_2	4	0.5	0.5	2
N_3	4	0.5	0.5	4
N_4	2.0	0.94	0.94	5
N_5	2.0	0.94	0.94	5
N_6	1.0	0.97	0.97	4
N_7	1.0	0.97	0.97	4

Çizelge 1.2 de verilen a_i, b_i ve c_i değerleri, daha önce Lotz tarafından belirlenen sabit parametrelerdir. q_i ise, i' ninci alt kabuk eşdeğer elektron sayısı veya gelen elektron tarafından görülen eşdeğer elektron yüküdür(Lotz 1967-1970). Bu sabitler MATLAB bilgisayar programına yüklenen Lotz yarı ampirik formülünde kullanılacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Jones ve ark.(1928) tarafından gerçekleştirilen elektron-atom çarpışma deneylerini ve Massey ve Mohr (1933) tarafından kurulan teorik alt yapının geliştirilmesi izlemiştir.

Lotz 1968'de elektronun hidrojen (Z=1)'den kalsiyum (Z=20)'a kadar olan serbest atomlarla etkileşmelerini teorik olarak inceledi. İyonizasyon tesir kesiti hesabını yaparken daha önce geliştirdiği yarı ampirik Lotz formülünü kullandı [Lotz 1968-1971].

Bederson (1968), Bederson ve Kieffer (1971), elektron etkisiyle uyarılma ve iyonlaşma olaylarının integral tesir kesitleri, optik uyarılma etkisinin (enerjinin bir fonksiyonu olarak ölçülen tesir kesiti) ölçülmesi konularını ayrıntılı çalışılmıştır.

Pessa ve Newell 1971 yılında yaptıkları teorik çalışmada Lotz'un yarı-ampirik formülünü kullanarak K alt kabuğu için bağlanma enerjileri 100 eV'den 1000 eV'e kadar ve atom numarası 4 (Be) atomundan 90 (Th toryum) atomuna kadar elektron etkisiyle iyonizasyon tesir kesitlerini hesaplamışlardır. Scofield 1973'de bir çok element için 1 keV'den 1500 keV'e kadar olan uyarma enerjilerinden K, L, M ve daha üst tabakalar için alt tabaka ve toplam fotoiyonizasyon tesir kesitleri ile ilgili yapılan teorik hesaplama sonuçlarını belirlemiştir.

Ishii ve ark. 1977'de ultra relativistik enerjilerde elektron etkisiyle atomun iç kabukları(K, L, M) için iyonizasyon tesir kesitlerini deneysel olarak ölçmüşlerdir. Çalışmada K kabuğu için atom numarası 13-92 arasında olan 19 tane element için L ve M kabukları için 70-270 MeV enerji aralığında L kabuğu için 9 element, M kabuğu için 2 element için ölçüm yapmışlardır.

James (1978); elektron etkisiyle çok yüksek enerjilerde (50 keV -1 GeV) atom numarası 18 - 92 arasında olan atomlar için K ve L kabukları için iyonizasyon tesir kesitlerini teorik olarak hesaplamışlardır. Bu hesaplamada Birinci Born yaklaşımını kullanmışlardır. Daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırmışlardır

Aydınol ve Arkadaşları (1976-1981, 2014-2020) ve Hippler ve ark. (1981) yaptıkları deneysel çalışmalar da; serbest Argon ve Xenon atomları için L_3 alt kabuklarının iyonizasyon eşik enerjisi değerlerinin 1-3 katı bölgesinde değişik

elektron etkileşim enerjileri için mutlak iyonizasyon tesir kesitini ölçmüşlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar teorik değerlerle karşılaştırılmıştır.

Mott ve Massey (1987) elastik ve elastik olmayan elektron atom çarpışmalarının teorisini ayrıntılı olarak bir kitapta toplamışlardır.

Byron ve Joachain (1989) elektron-atom çarpışmalarında tekli iyonlaşma olayını incelemiştir.

Müller-Fiedler ve ark. (1986) elektron-atom çarpışmalarında ikili iyonlaşma olayı üzerinde çalışmalar yapmıştır.

Trajmar ve ark. (1994), elektron–atom çarpışma teorisiyle elde edilen tesir kesitleri ile bu tesir kesitlerinin deneysel olarak ölçümleri üzerinde durmuştur.

Burke ve Joachain (1995), elektron - atom etkileşmelerini ayrıntılı olarak bir kitapta toplamışlardır. Elektron – atom teorisini geliştirerek deneysel ve teorik sonuçları karşılaştırmıştır. Ayrıca teorik yaklaşımlara da yer vermiştir

McCarthy ve Weigold (1995),toplam tesir kesiti, integral ve momentum transfer tesir kesitleri ölçümleri ile ilgili ayrıntılı bilgileri bir kitapta toplamışlardır.

Rao ve arkadaşlarının 1995'deki çalışmasında, atom numaraları $78 \leq Z \leq 82$ aralığındaki elementlerin 6.47 ve 7.57 keV'lik foton kaynaklarla uyarılması ile fluoresans veriminin deneysel ve teorik hesaplama sonuçları mevcuttur.

Rescigno ve ark. (1999), üç parçacıklı sistemi kuantum mekaniksel olarak incelemiş ve iyonlaşma tesir kesitlerinin kuantum mekaniksel olarak elde edilmesini konu almıştır.

Öz ve ark. (2001), Atom numarası $59 \leq Z \leq 90$ arasındaki bazı elementler için *L* kabuğu Coster-Kronig verimlerini çalışmışlardır.

Nagatomi 2005'teki çalışmasında 10 keV ile 30 keV arasında birçok atom için K ve L kabukları için iyonizasyon tesir kesitlerini teorik olarak hesaplamış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır.

Puri ve Sing (2006), atom numarası $70 \leq Z \leq 92$, elementler için Flüoresans ve Coster-Kronig verimleri tespit etti.

Haque ve ark. 2010 yılındaki çalışmalarında farklı ampirik formüller geliştirerek çok yüksek enerjilerde hidrojenden uranyuma kadar olan bazı atomların K, L_1, L_2, L_3 ve M kabukları için iyonizasyon tesir kesitlerini hesaplamışlardır.

Taş 2011 de Atom numarası $61 \leq Z \leq 71$ arasındaki elementlerin L tabakasına ait tesir kesit ve Coster-Kronig şiddetlendirme faktörlerinin hesaplanmıştır.

Aydınol ve Gelir 2011'de elektron atom etkileşmesiyle Ar, Ni, Kr, Xe ve W atomlarını enerjileri 375-40000 eV aralığında değişen elektronlarla teorik olarak L iç kabuklarını iyonizasyon eşiği seviyesinde uyarım tesir kesitlerini Lotz denklemiyle hesaplamıştır.

Aydınol ve Aydeniz 2015'te, 76Os,78Pt, 80Hg, 82Pb, 84Po, 86Rn,88Ra, 90Th, 92U, 94Pu elektron-atom etkileşmesiyle L iç kabuklarının iyonizasyon eşiği seviyesinde uyarılması ve tesir kesitlerini Lotz denklemiyle hesaplamıştır.

Aydinol M, 1978-2020 yılları arasında bu teze öncülük ve örnek oluşturan atomlar dahil bir çok atomun K, L, M, N, O alt kabuklarının iyonizasyon tesir kesitlerini hesaplamıştır. Bu kaynaklardan yayınlananların bir kısmı literatür kısmında verilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada $_{93}$Np, $_{94}$Pu, $_{95}$Am, $_{96}$Cm, $_{97}$Bk, $_{98}$Cf, $_{99}$Es, $_{100}$Fm $_{101}$Md, $_{102}$No, $_{103}$Lr atomlarının N kabuklarına ait elektron bağlanma enerjileri yani iyonizasyon enerjileri literatürden belirlenerek, seçilen hedef atom için kullanılacak 14 bombardıman enerjisi, o atoma ait en düşük ve en büyük eşik enerji değerli N_7 ve N_1 elektron alt kabuklarının her birinde uyarım/ iyonizasyon olacak şekilde seçilmiştir. İşte bu nedenle eşik enerji değerinden itibaren bombardıman için kullanılacak elektronların enerji bölgesi, eşik enerji değerlerine yakın olma şartını da gözeterek en düşük bağlanma enerjisinin 6 katına kadar 14 farklı enerjili bombardıman elektronları, atomların N kabuğundaki elektronlarını koparabilmek için kullanılmıştır. Bu kabuklara ait daha önce Lotz tarafından hesaplanmış bazı parametreler (a,b,c) ve etkin elektron yoğunlukları MATLAB (Matrix Laboratory) hesaplama programı ile hesaplandı.

3.2. Metot

Neptünyum 'den Lavrensiyum atomuna kadar olan atomların iyonizasyonu çalışmaları için, laboratuvar şartlarının uygun olmaması nedeniyle bu atomların N kabuklarını, iyonizasyon eşik enerjisine yakın değerlerden başlamak üzere elektronlarla bombardımanı teorik olarak incelenecek. İyonizasyon tesir kesitlerini her bir atomun 7 tane N alt elektron kabukları için teorik çalışma yapılacaktır. Bu hesaplama için seçilen Lotz'un yarı amprik formülü (n burada alt elektron kabuğu sayısını temsil etmek üzere)

$$\sigma i = \sum_{i=1}^{n} a_i \, \mathrm{q_i} \frac{\ln(\frac{E_0}{E_i})}{EoE_i} \left\{1 - \mathrm{b_i} \exp\left[-\mathrm{c_i}\left(\frac{\mathrm{Eo}}{\mathrm{E_i}} - 1\right)\right]\right\}, \quad \mathrm{E_o} \geq E_i \tag{3.1}$$

Şeklineki formül MATLAB programı ortamında kullanılmıştır. $_{93}$Np, $_{94}$Pu, $_{95}$Am, $_{96}$Cm, $_{97}$Bk, $_{98}$Cf, $_{99}$Es, $_{100}$Fm $_{101}$Md, $_{102}$No, $_{103}$Lr atomlarının N kabuklarına ait elektron bağlanma enerjileri literatür çalışması sonucu giriş bölümünde çizelge halinde verilmiştir. Seçilen hedef atomları uyarmak üzere 14 farklı enerjili bombardıman elektronları kullanılarak iyonizasyon tesir kesiti hesaplanmıştır. Burada E_o, atom üzerine gönderilen elektronun enerjisi, E_i ise i'ninci alt kabuktaki elektronun bağlanma enerjisi; q_i, i'ninci alt kabuktaki eşdeğer elektron sayısını ifade ederken

a_i, b_i ve c_i ise deneysel olarak belirlenen bireysel sabit varsayımlardır.

Denklemde $\frac{\ln(E_0/E_i}{E_0 E_i}$ terimi, düşük enerjili elektronlar için düzeltme faktörüdür.

$$f(v) = \frac{k_1}{k_2}\left(\frac{k_1}{k_{1+}\ k_2}\right)^{3/2} \tag{3.2}$$

burada

$$F(v) = \frac{k_1}{k_2}\left(\frac{2+k_1}{2+k_2}\right)\left(\frac{1+k_2}{1+k_1}\right)^2\left(\frac{(1+k_1)^2}{(1+k_1)^2+\frac{k_1}{k_2}\left(\frac{2+k_1}{2+k_2}\right)\left(\frac{1+k_2}{1-k_1}\right)^2}\right)^{3/2} \tag{3.3}$$

Dinamik sistemlerin elektron- elektron çarpışmalarında$f(v)$ relativistik olmayan çarpışmalar için ve $F(v)$ relativistik çarpışmalar için coulomb hız dağılım fonksiyonudur.

$k_1 = \frac{E_i}{mc^2}$ $\qquad$ $k_2 = \frac{E}{mc^2}$

Bu ifadede m, elektronun kütlesi, c ışığın boşluktaki hızı, E, etkileşim için kullanılan elektronun etkileşme enerjisi, E_i ilgili yörüngedeki elektronların bağlanma enerjisidir. Relativistik iyonizasyon tesir kesiti denklemi,

$$\sigma_i^{rel} = \left(\frac{F(v)}{f(v)}\right)_i \sigma_i \tag{3.4}$$

Şeklinde hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda Çizelge.3.1 deki bombardıman enerjileri Matlab bilgisayar programı ortamında birer matris olarak kullanılıp Lotz parametreleri ve qi etkin yük değerleriyle her bir atoma ait relativistik ve nonrelativistik N alt elektron kabukları seviyesindeki tesir kesitleri hesaplanıp çizelge ve grafikler şeklinde verilecektir.

Çizelge 3.1. Np den Lr ye kadar olan atomlar için eV cinsinden kullanılan bombardıman enerjileri

E_o (eV)	$_{93}$Np	$_{94}$Pu	$_{95}$Am	$_{96}$Cm	$_{97}$Bk	$_{98}$Cf	$_{99}$Es	$_{100}$Fm	$_{101}$Md	$_{102}$No	$_{103}$Lr
E_{o1}	500	550	600	650	700	1000	1000	1000	1000	1150	1200
E_{o2}	800	900	900	900	1000	1300	1300	1400	1400	1600	1400
E_{o3}	1100	1200	1200	1150	1300	1600	1600	1800	1800	2000	2000
E_{o4}	1400	1500	1400	1450	1600	1900	2000	2200	2200	2400	2400
E_{0o}	1700	1800	1700	1750	1900	2200	2400	2600	2600	2800	2800
E_{o6}	2000	2000	2000	2050	2200	2500	2800	3000	3000	3200	3200
E_{o7}	2300	2400	2300	2400	2500	2800	3200	3400	3400	3600	3600
E_{o8}	2600	2700	2600	2750	2800	3100	3600	3800	3800	4000	4000
E_{o9}	2900	3000	3000	3150	3100	3400	4000	4200	4200	4400	4400
E_{o10}	3100	3300	3400	3550	3400	3800	4400	4600	4600	4800	4800
E_{o11}	3400	3600	3800	3950	3800	4200	4800	5000	5000	5200	5200
E_{o12}	3800	4000	4200	4350	4300	4600	5200	5400	5400	5600	5600
E_{o13}	4200	4400	4600	4750	4800	5100	5600	5800	5800	6000	6000
E_{o14}	4600	4800	5000	5200	5300	5600	5900	6100	6100	6300	6400

Neptünyumdan lavrensiyuma kadar olan atomların N alt kabuklarını uyarmak için bu çalışmada seçilen bombardıman (elektron etkileşim enerjisi) elektronların kinetik enerjileri Çizelge 3.1 de verilmiştir. Np den Lr ye kadar olan her bir atom için literatürden belirlenen a, b, c ve q sabitleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Bu sabitler, atomların iyonizasyon tesir kesitlerini hesaplamak için Lotz yarı ampirik formülünde kullanılacaktır.

Çizelge 3.2. Lotz'un yarı deneysel formülünde kullandığımız parametreler: a_i, b_i, c_i ve q_i de (i) ninci N_i alt kabuk eşdeğer elektron sayısı veya gelen elektron tarafından görülen eşdeğer elektron yüküdür (Lotz 1967-1970). Her bir N alt kabukları için Lotz parametreleri ve etkin q_i elektron yükü değerleri

Atom	a_i, b_i, c_i ve q_i parametreleri(7 şer adet)
$_{93}$Np	**a=[4e-14 4e-144e-14 2e-14 2e-14 1,5e-14 1,3e-14];** **b=[0,3 0,5 0,5 0,94 0,94 0,97 0,97];** **c=[0,3 0,5 0,5 0,15 0,15 0,11 0,11];** **q=[2 2 4 4 6 5 3,6];**
$_{94}$Pu	**a=[4e-14 4e-14 4e-14 2e-14 2e-14 1,5e-14 1,35e-14];** **b=[0,3 0,5 0,5 0,94 0,94 0,97 0,97];** **c=[0,3 0,5 0,5 0,15 0,15 0,11 0,11];** **q=[2 2 4 4 6 5 3,65];**
$_{95}$Am	**a=[4e -14 4e-14 4e-14 2e-14 2e-14 1,5e-14 1,35e-14];** **b=[0,3 0,5 0,5 0,94 0,94 0,97 0,97];** **c=[0,3 0,5 0,5 0,15 0,15 0,11 0,11];** **q=[2 2 4 4 6 5 3,65];**
$_{96}$Cm	**a=[4e-14 4e-14 4e-14 2e-14 2e-14 1,5e-14 1,35e-14];** **b=[0,3 0,5 0,5 0,94 0,94 0,97 0,97];** **c=[0,3 0,5 0,5 0,15 0,15 0,11 0,11];** **q=[2 2 4 4 6 5 3,66];**
$_{97}$Bk	**a=[4e-14 4e-144e-14 2e-14 2e-14 1,5e-14 1,35e-14];** **b=[0,3 0,5 0,5 0,94 0,94 0,97 0,97];** **c=[0,3 0,5 0,5 0,15 0,15 0,11 0,11];** **q=[2 2 4 4 6 5 3,66];**
98Cf	**a=[4e-14 4e-144e-14 2e-14 2e-14 1,5e-14 1,37e-14];** **b=[0,3 0,5 0,5 0,94 0,94 0,97 0,97];** **c=[0,3 0,5 0,5 0,15 0,15 0,11 0,11];** **q=[2 2 4 4 6 5 3,67];**
$_{99}$Es	**a=[4e-14 4e-144e-14 2e-14 2e-14 1,5e-14 1,38e-14];** **b=[0,3 0,5 0,5 0,94 0,94 0,97 0,97];** **c=[0,3 0,5 0,5 0,15 0,15 0,11 0,11];** **q=[2 2 4 4 6 5 3,68];**
$_{100}$Fm	**a=[4e-14 4e-144e-14 2e-14 2e-14 1,5e-14 1,38e-14];** **b=[0,3 0,5 0,5 0,94 0,94 0,97 0,97];** **c=[0,3 0,5 0,5 0,15 0,15 0,11 0,11];** **q=[2 2 4 4 6 5 3,69];**
$_{101}$Md	**a=[4e-14 4e-144e-14 2e-14 2e-14 1,5e-14 1,38e-14];** **b=[0,3 0,5 0,5 0,94 0,94 0,97 0,97];** **c=[0,3 0,5 0,5 0,15 0,15 0,11 0,11];** **q=[2 2 4 4 6 5 3,7];**
$_{102}$No	**a=[4e-14 4e-144e-14 2e-14 2e-14 1,5e-14 1,38e-14];** **b=[0,3 0,5 0,5 0,94 0,94 0,97 0,97];** **c=[0,3 0,5 0,5 0,15 0,15 0,11 0,11];** **q=[2 2 4 4 6 5 3,8];**
$_{103}$Lr	**a=[4e-14 4e-144e-14 2e-14 2e-14 1,5e-14 1,38e-14];** **b=[0,3 0,5 0,5 0,94 0,94 0,97 0,97];** **c=[0,3 0,5 0,5 0,15 0,15 0,11 0,11];** **q=[2 2 4 4 6 5 3,9];**

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Lotz'sun yarı-ampirik formülünü kullanarak elektron bağlanma enerjileri 403eV ile 2159 eV arasında ve atom numaraları sırasıyla 93, 94, 95, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, ve 103 olan; Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, ve Lr olan atomları, enerjileri 500 eV ile 6400eV aralığındaki elektron bombardımanıyla N iç kabukları seviyesinde uyarıldığını varsayarak, N kabuğunun ve N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7 alt kabukları için iyonizasyon tesir kesir kesitleri hesaplandı. Her atom ilk önce eşik enerjisine en yakın enerjili elektronla iyonizasyona uğratıldı. Daha sonra bu bağlanma enerjisinin (E_{Ni}) yaklaşık olarak 6 katına kadar arttırılarak on dört farklı bombardıman enerjisi(elektron etkileşim enerjisi) (E_{oi}) ile uyarıldı. Her bir atomu uyarmak üzere en düşük enerjili elektron kullanıldığında N iç kabuğundaki çekirdeğe yakın (N_1, N_2 gibi) kabukların negatif değerli olduğu görüldü. Bunun izahı da fırlatılan elektronların kinetik enerjilerinin bu kabuktaki elektronların bağlanma enerjilerinden az olduğu şeklindedir. Dolayısıyla uyarım/iyonizasyon bu enerji değerleri ile oluşmadığı şeklinde yorumlanabilir. Hesaplamalar sonucunda bulunan veriler grafikler ve çizelgeler şeklinde aşağıda verilmiştir. Verilerin iyi karşılaştırılıp doğru yorumların yapılabilmesi için her bir atoma ait veriler hem tablo hem de 8 renkli grafiklerle aynı sayfada verilmiştir. Ayrıca N toplam iyonizasyon tesir kesiti değerleri grafiklerden silinerek sadece 7 alt N kabukları iyonizasyon tesir kesitleri değerleri de farklı ölçekli grafiklerle sunulmuştur. Tüm atomların sabit bir E_o=4 keV gibi bir elektron bombardıman enerjisi için Atom numarası Z ye bağlı olarak tüm iyonizasyon tesir kesitlerinin değişimi ayrı bir tablo ve grafikte sunulmuştur

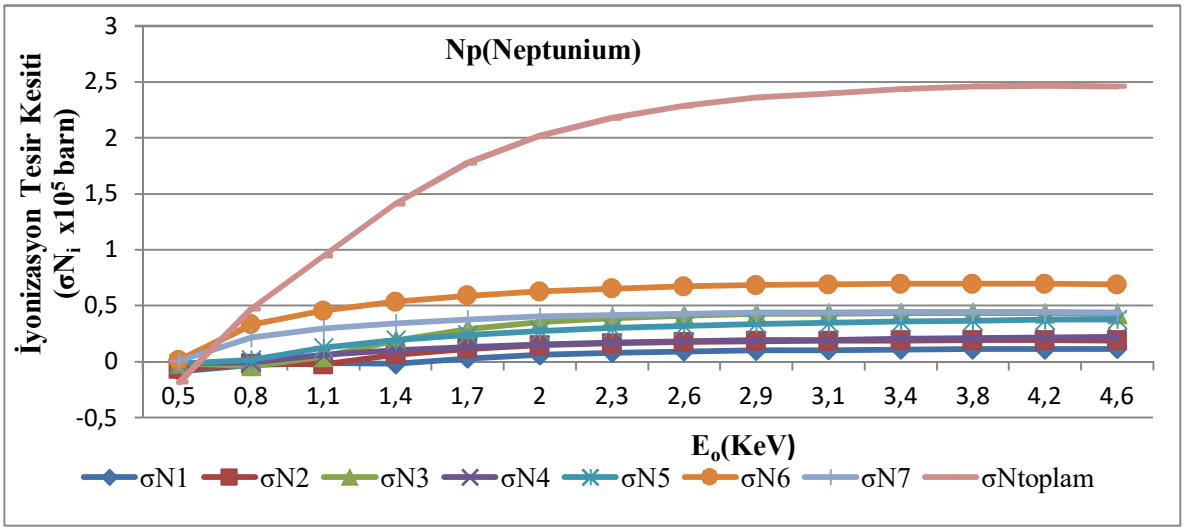
Relativistik bölge için (σ_{Ni}^{rel}) elde edilen veriler de ayrıca renkli tablo ve grafikler şeklinde her bir atom için ayrı ayrı değerlendirilmek üzere verilmiştir.

Neptünyum(Np) İçin Sonuçlar

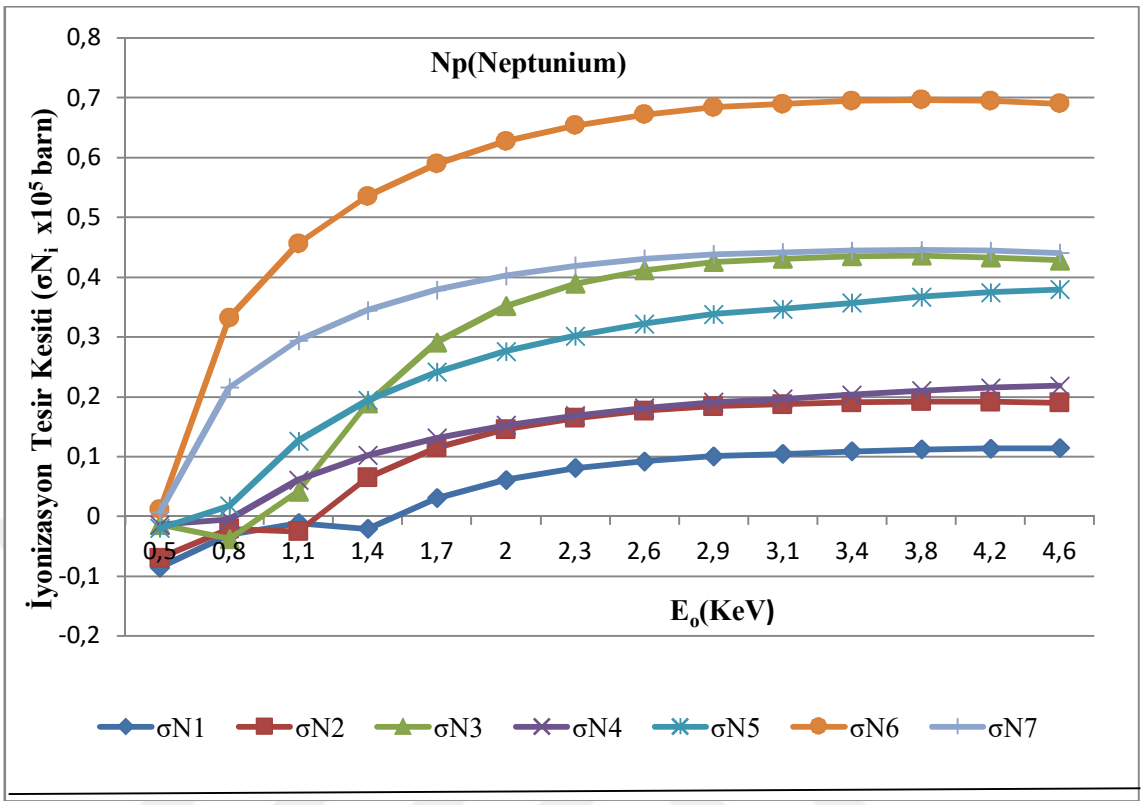
Neptünyum atomunun relativistik olmayan iyonizasyon tesir kesitini hesaplamak için lotz denkleminin tanımlı olduğu Matlab bilgisayar programına matris şeklinde 14 farklı elektron etkileşim enerji değerlerini(E_o), alt kabuk bağlanma enerjilerini, bu kabuklar için lotz tarafından belirlenen a, b, c, sabitlerini ve q değerini yükleyerek program çalıştırıldı. Elde edilen ham veriler düzenlenerek aşağıdaki çizelgeye yazıldı.

Çizelge 4.1. $_{93}Np$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1}.10^5$b	$\sigma_{N2}.10^5$b	$\sigma_{N3}.10^5$b	$\sigma_{N4}.10^5$b	$\sigma_{N5}.10^5$b	$\sigma_{N6}.10^5$b	$\sigma_{N7}.10^5$b	$\sigma_{Ntotal}.10^5$b
0,5	-0,0854	-0,0693	-0,0138	-0,0137	-0,0197	0,0111	0,0075	-0,1833
0,8	-0,0312	-0,0208	-0,0374	-0,0051	0,0178	0,3321	0,2158	0,4712
1,1	-0,0114	-0,0253	0,0421	0,0611	0,1263	0,4561	0,2944	0,9433
1,4	-0,0207	0,0647	0,1888	0,1024	0,1943	0,5355	0,3448	1,4098
1,7	0,0305	0,1151	0,2911	0,1312	0,2415	0,5896	0,3791	1,7781
2	0,0609	0,1455	0,3518	0,1524	0,2761	0,6273	0,4028	2,0168
2,3	0,0811	0,1645	0,3891	0,1686	0,3022	0,6538	0,4194	2,1787
2,6	0,0923	0,1765	0,4119	0,1813	0,3224	0,6719	0,4308	2,2871
2,9	0,1005	0,1841	0,4255	0,1911	0,3382	0,6842	0,4383	2,3619
3,1	0,1044	0,1874	0,4311	0,1965	0,3467	0,6897	0,4416	2,3974
3,4	0,1085	0,1905	0,4354	0,2033	0,3571	0,6947	0,4446	2,4341
3,8	0,1118	0,1921	0,4362	0,2102	0,3675	0,6968	0,4456	2,4602
4,2	0,1135	0,1917	0,4333	0,2152	0,3747	0,6948	0,4441	2,4673
4,6	0,1141	0,1902	0,4281	0,2187	0,3795	0,6899	0,4407	2,4612



Şekil 4.1. Np atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,….. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni} ve σ_{Ntop} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi



Şekil 4.2. Np atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,….. N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

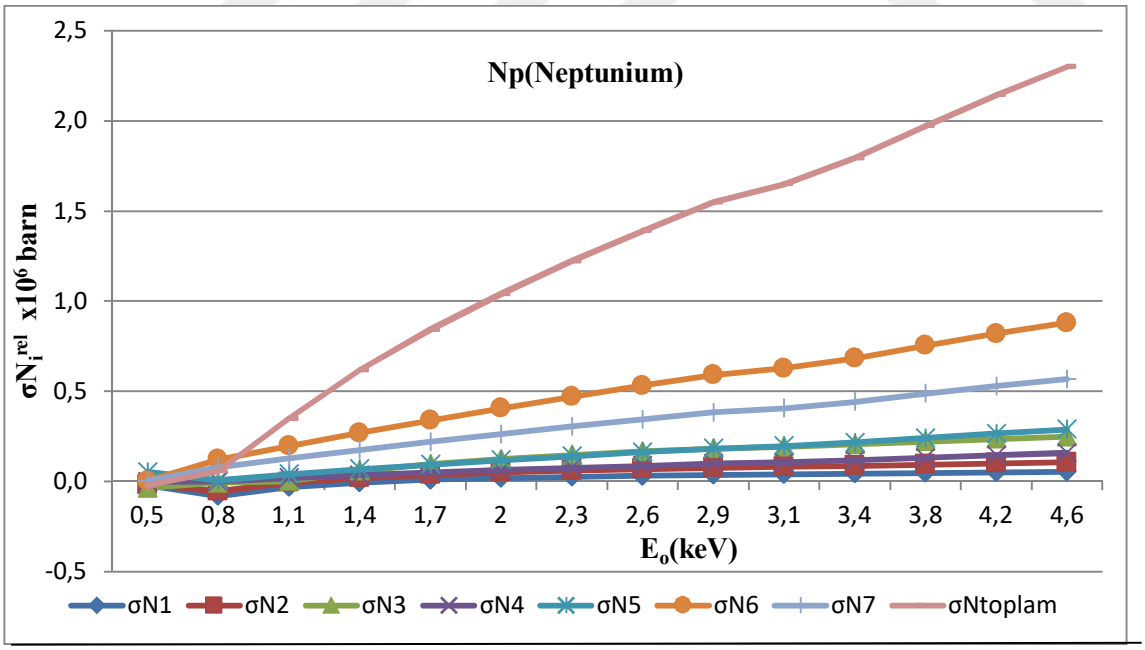
Şekil 4.1'deki grafiği ayrıntılı şekilde incelemek için toplam iyonizsayon tesir kesiti eğrisi kaldırıldığında şekil 4.2 deki gibi alt kabuk iyonizasyon tesir kesitinin değişim eğrileri daha belirgin şekilde görülmektedir.

Eğriler incelendiğinde N_6 alt kabuğunun bağlanma enerjisi N_7 ye göre biraz fazla olmasına rağmen (Çizelge1.1 den) N_6'nın daha fazla iyonize olduğu görülür. Bu durum, alt kabuklardaki elektronların bağlanma enerjilerinden çok yüksek kinetik enerjili bombardıman(etkileşim) elektronları kullanıldığında, alt kabuklardaki elektronların iyonizasyon tesir kesitinin bağlanma enerjileriyle doğrudan ilişkilendiremeyeceği şeklinde yorumlanabilir. Benzer durum diğer atomlar için de söylenebilir.

Neptünyum atomuna ait relativistik iyonizasyon tesir kesit değeri için elde edilen veriler aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 4.2. $_{93}$Np atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N2.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N3.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N4.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N5.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N6.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N7.10}{}^{6}$b	$\sigma_{Ntotal.10}{}^{6}$b
0,5	-0,0228	-0,0181	-0,0359	-0,0036	0,0518	0,0033	0,0022	-0,0230
0,8	-0,0812	-0,0552	-0,0090	-0,0014	0,0051	0,1206	0,0788	0,0577
1,1	-0,0305	-0,0071	0,0012	0,0189	0,0401	0,1968	0,1280	0,3474
1,4	-0,0058	0,0193	0,0574	0,0350	0,0684	0,2688	0,1745	0,6176
1,7	0,0089	0,0367	0,0953	0,0492	0,0938	0,3380	0,2192	0,8411
2	0,0188	0,0497	0,1237	0,0623	0,1174	0,4048	0,2623	1,0390
2,3	0,0260	0,0600	0,1465	0,0748	0,1399	0,4691	0,3038	1,2201
2,6	0,0317	0,0686	0,1657	0,0868	0,1615	0,5309	0,3436	1,3888
2,9	0,0363	0,0760	0,1822	0,0983	0,1823	0,5901	0,3818	1,5470
3,1	0,0390	0,0804	0,1921	0,1058	0,1958	0,6283	0,4064	1,6478
3,4	0,0425	0,0864	0,2055	0,1168	0,2154	0,6834	0,4418	1,7918
3,8	0,0466	0,0935	0,2213	0,1308	0,2406	0,7531	0,4866	1,9725
4,2	0,0502	0,0997	0,2353	0,1443	0,2647	0,8185	0,5287	2,1414
4,6	0,0534	0,1052	0,2477	0,1572	0,2877	0,8799	0,5680	2,2991



Şekil 4.3. Np atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,..... N_7alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

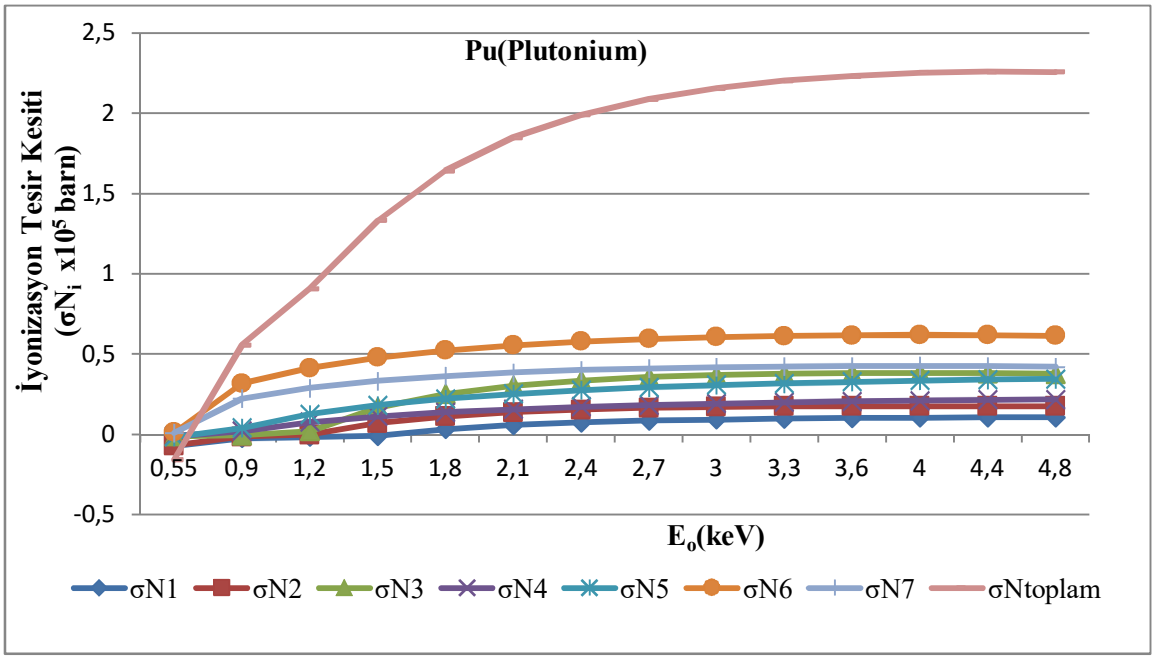
Relativistik bölgede iyonizsyonun relativistik olmayan bölgeye göre yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu görülüyor.

Plütonyum (Pu) İçin Sonuçlar

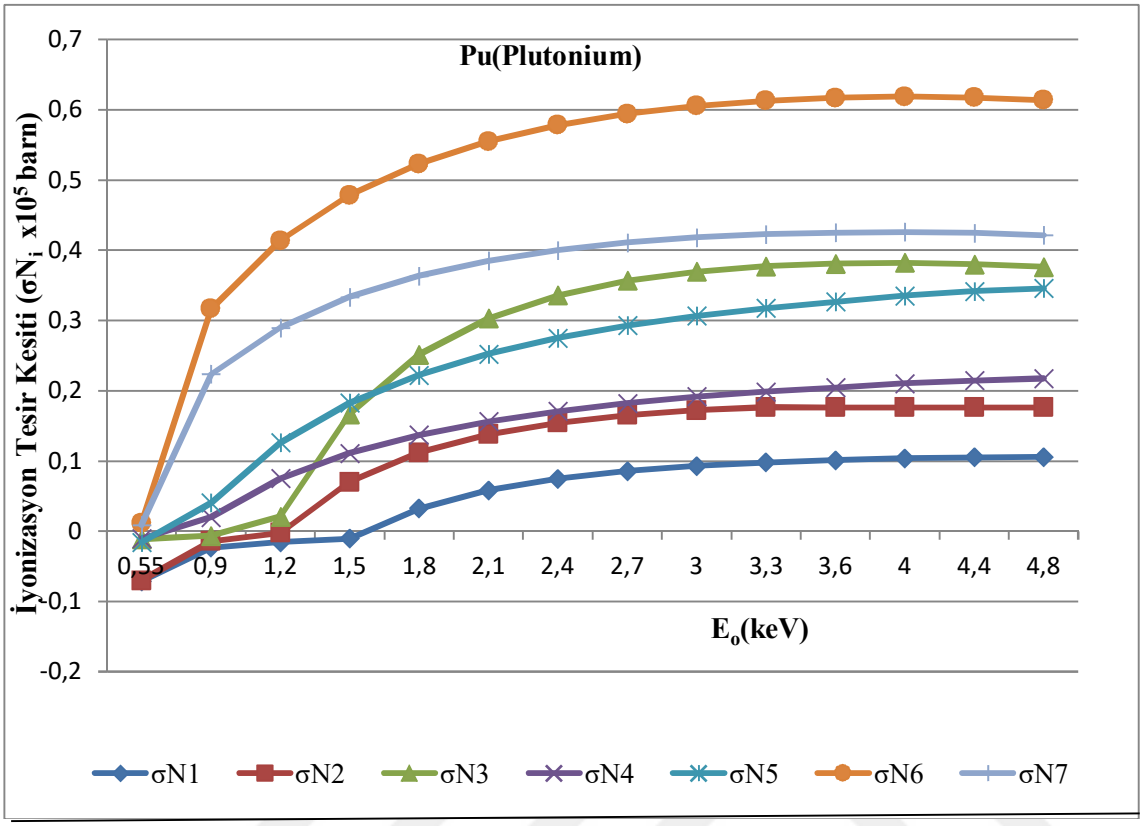
Pu atomlarının iyonizasyonu için akısı sabit 14 faklı enerjili elektron demeti bombardıman için kullanıldığında iyonizasyon tesir kesitlerinin barn cinsinden değerleri aşağıdaki çizelgede düzenlenmiştir.

Çizelge 4.3. $_{94}$Pu atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1}.10^5$b	$\sigma_{N2}.10^5$b	$\sigma_{N3}.10^5$b	$\sigma_{N4}.10^5$b	$\sigma_{N5}.10^5$b	$\sigma_{N6}.10^5$b	$\sigma_{N7}.10^5$b	$\sigma_{Ntotal}.10^5$b
0,55	-0,0711	-0,0701	-0,0113	-0,0106	-0,0155	0,0115	0,0086	-0,1585
0,9	-0,0234	-0,0142	-0,0063	0,0198	0,0404	0,3168	0,2238	0,5569
1,2	-0,0154	-0,0022	0,0021	0,0751	0,1264	0,4139	0,2898	0,8897
1,5	-0,0104	0,0702	0,1669	0,1113	0,1826	0,4784	0,3335	1,3325
1,8	0,0321	0,1123	0,2515	0,1371	0,2225	0,5233	0,3638	1,6426
2,1	0,0581	0,1382	0,3033	0,1562	0,2523	0,5553	0,3852	1,8486
2,4	0,0746	0,1547	0,3361	0,1709	0,2751	0,5783	0,4004	1,9901
2,7	0,0856	0,1653	0,3568	0,1825	0,2929	0,5945	0,4111	2,0887
3	0,0929	0,1721	0,3697	0,1917	0,3069	0,6056	0,4182	2,1571
3,3	0,0979	0,1764	0,3773	0,1989	0,3179	0,6129	0,4228	2,2041
3,6	0,1012	0,1763	0,3811	0,2047	0,3268	0,6171	0,4252	2,2324
4	0,1039	0,1763	0,3822	0,2106	0,3356	0,6191	0,4261	2,2538
4,4	0,1053	0,1763	0,3803	0,2148	0,3418	0,6176	0,4246	2,2607
4,8	0,1058	0,1763	0,3763	0,2177	0,3459	0,6139	0,4216	2,2575



Şekil 4.7. Pu atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

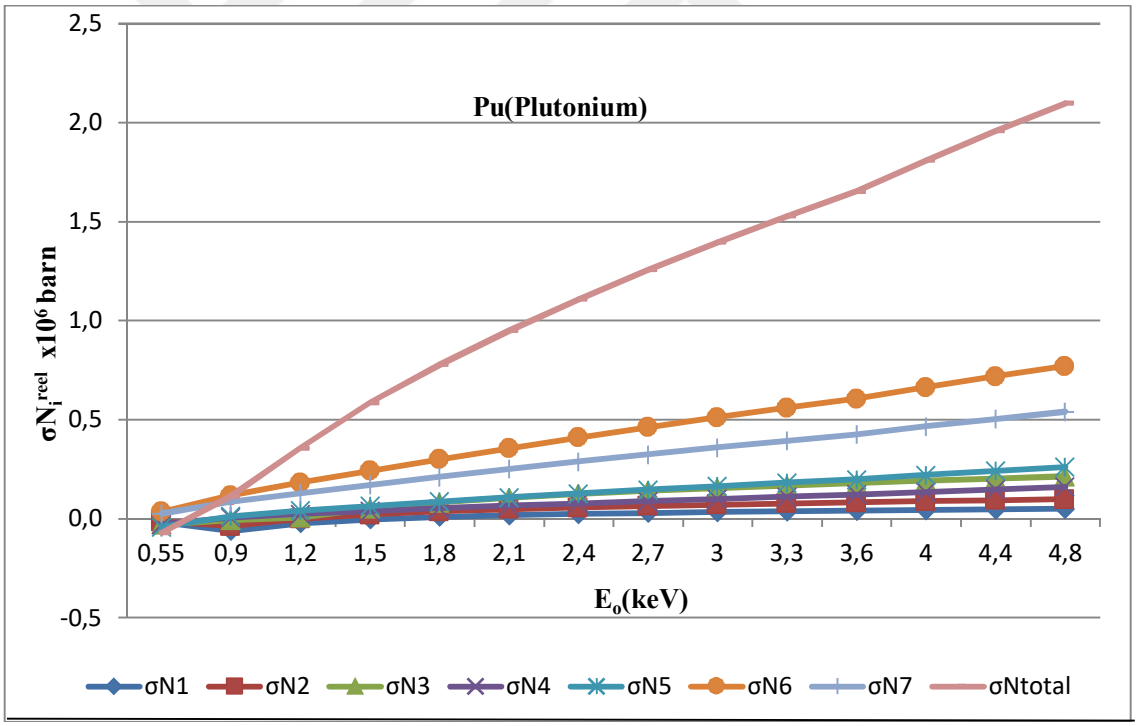


Şekil 4.5. Pu atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, ...N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o (keV) fonksiyonu olarak değişimi

Bu eğriler incelendiğinde N_3 kabuğundaki elektronların bağlanma enerjisi N_5 ten fazla olmasına rağmen N_3 te daha çok iyonizasyon olduğu görülür. Bunun nedeni, atoma gönderilen bombardıman elektronlarının N kabuğunun orta kısımlarına(N_3) daha fazla etkileştiği şeklinde yorumlanır.

Çizelge 4.4. $_{94}Pu$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N2.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N3.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N4.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N5.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N6.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N7.10}{}^{6}b$	$\sigma_{Ntotal.10}{}^{6}b$
0,55	-0,0188	-0,0148	-0,0295	-0,0281	-0,0411	0,0347	0,0263	-0,0713
0,9	-0,0611	-0,0378	-0,0071	0,0057	0,0118	0,1184	0,0847	0,1146
1,2	-0,0229	-0,0006	0,0058	0,0240	0,0408	0,1816	0,1289	0,3576
1,5	-0,0029	0,0212	0,0508	0,0391	0,0650	0,2417	0,1711	0,5860
1,8	0,0095	0,0361	0,0820	0,0527	0,0869	0,2996	0,2117	0,7785
2,1	0,0180	0,0475	0,1058	0,0655	0,1075	0,3556	0,2510	0,9509
2,4	0,0243	0,0567	0,1250	0,0776	0,1271	0,4096	0,2888	1,1091
2,7	0,0294	0,0644	0,1413	0,0893	0,1459	0,4617	0,3252	1,2572
3	0,0335	0,0710	0,1553	0,1006	0,1641	0,5118	0,3601	1,3964
3,3	0,0370	0,0769	0,1677	0,1115	0,1817	0,5599	0,3937	1,5284
3,6	0,0401	0,0822	0,1789	0,1220	0,1987	0,6060	0,4258	1,6537
4	0,0437	0,0884	0,1920	0,1356	0,2205	0,6645	0,4665	1,8112
4,4	0,0468	0,0939	0,2037	0,1487	0,2415	0,7196	0,5048	1,9590
4,8	0,0496	0,0989	0,2141	0,1612	0,2616	0,7716	0,5408	2,0978



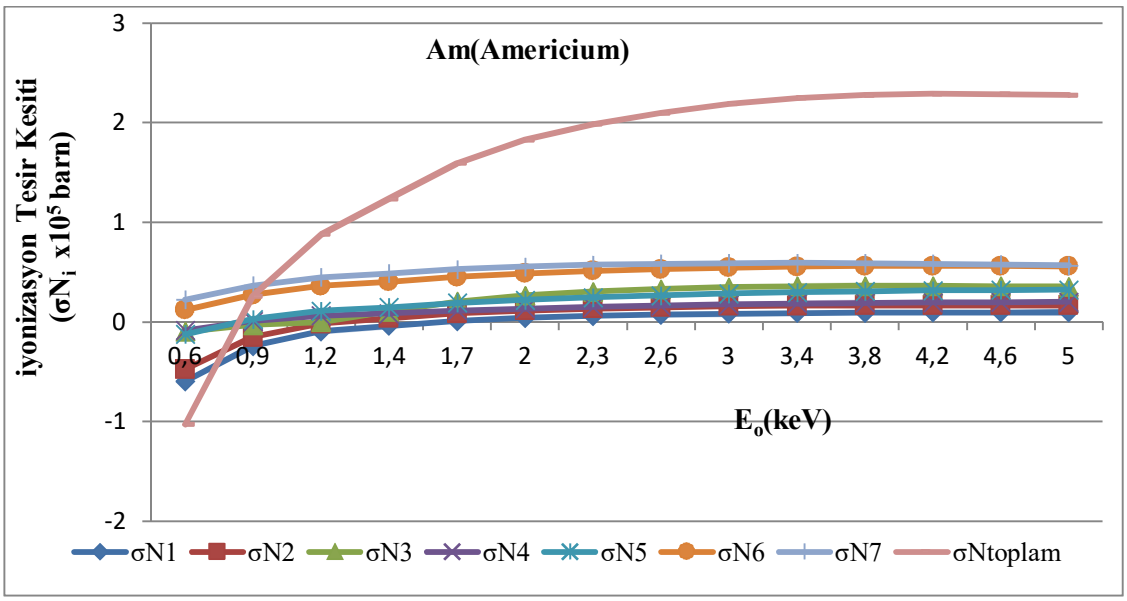
Şekil 4.6. Pu atomunun N kabuğu ve N_1, N_2..... N_7alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

Amerikyum (Am) İçin Sonuçlar

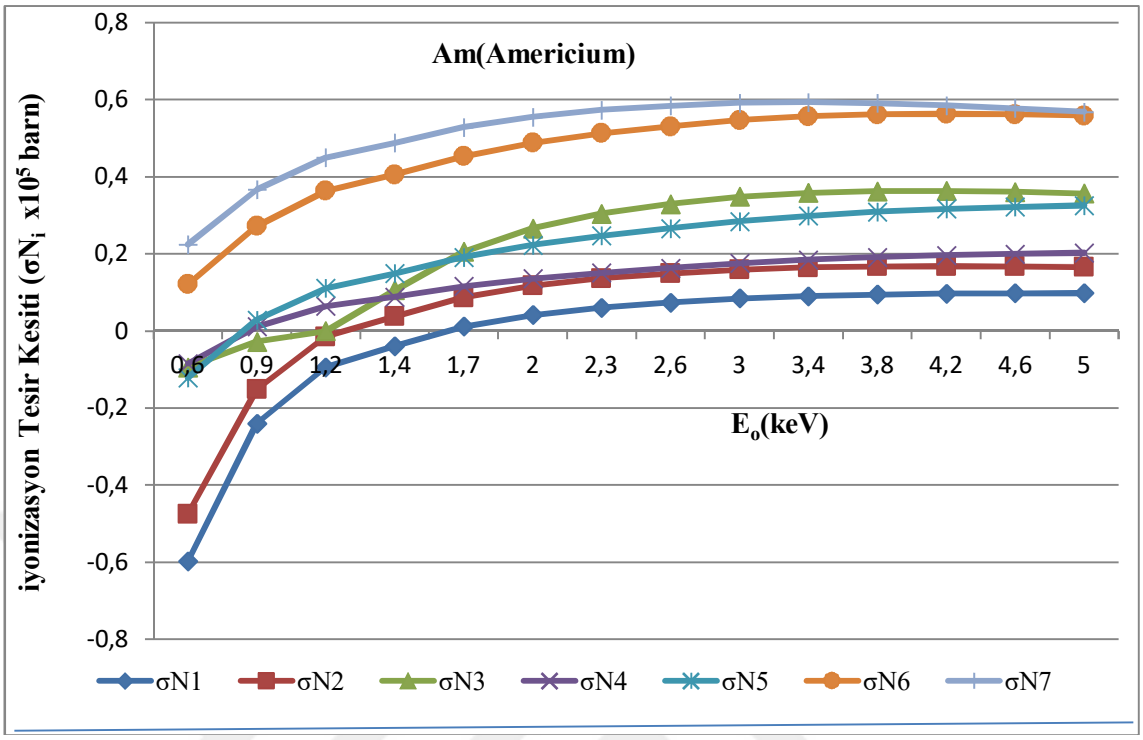
Amerikyum için Matlab programına komutlar verildiğinde bu atomlara ait iyonizasyon tesir kesitleri her bir N alt kabuğa ait barn cinsinden veriler sütunlarda verilmiştir.

Çizelge 4.5. $_{95}$Am atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabuklarının ve N toplam kabuğunun hesaplanan teorik iyonizasyon tesir kesitlerinin barn cinsinden değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10^5}$b	$\sigma_{N2.10^5}$b	$\sigma_{N3.10^5}$b	$\sigma_{N4.10^5}$b	$\sigma_{N5.10^5}$b	$\sigma_{N6.10^5}$b	$\sigma_{N7.10^5}$b	$\sigma_{Ntotal.10^5}$b
0,6	-0,5981	-0,4748	-0,0941	-0,0846	-0,1213	0,1209	0,2243	-1,0277
0,9	-0,2406	-0,1517	-0,0279	0,0113	0,0284	0,2725	0,3669	0,2589
1,2	-0,0938	-0,0145	0.0501	0,0641	0,1109	0,3631	0,4501	0,8799
1,4	-0,0396	0,0376	0,1058	0,0884	0,149	0,4059	0,4881	1,2352
1,7	0,0109	0,0871	0,2059	0,1157	0,1917	0,4536	0,5287	1,5936
2	0,0413	0,1172	0,2665	0,1358	0,2232	0,4878	0,5557	1,8275
2,3	0,0605	0,1365	0,3048	0,1512	0,2472	0,5127	0,5735	1,9864
2,6	0,0732	0,1491	0,3294	0,1633	0,2659	0,5307	0,5847	2,0963
3	0,0841	0,1592	0,3489	0,1756	0,2849	0,5471	0,5923	2,1921
3,4	0,0905	0,1648	0,3589	0,1848	0,2989	0,5567	0,5937	2,2483
3,8	0,0944	0,1673	0,3629	0,1916	0,3092	0,5618	0,5911	2,2783
4,2	0,0966	0,1681	0,3631	0,1966	0,3167	0,5633	0,5854	2,2898
4,6	0,0977	0,1674	0,3608	0,2002	0,3221	0,5621	0,5778	2,2881
5	0,0981	0,1659	0,3569	0,2028	0,3257	0,5591	0,5686	2,2771



Şekil 4.7. Am atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

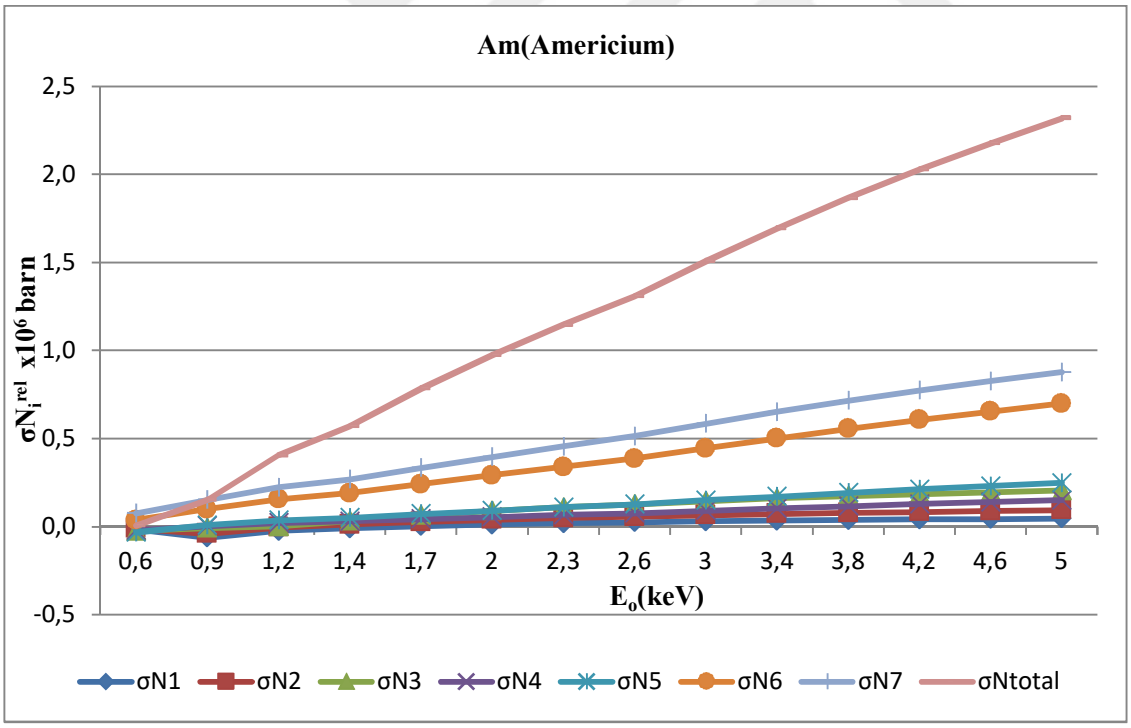


Şekil 4.8. Am atomunun N kabuğunun N_1, N_2,… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

Amerikyum için verilen yukarıdaki şekil incelendiğinde iyonizasyon tesir kesitinin bombardıman (elektron etkileşim enerjisine) enerjisine bağlı değişiminin N_1 ve N_2 alt kabuklarında 1,2 keV'ye kadar negatif değerde olduğu görülür. Bunun nedeni bombardımanda kullanılan elektronların kinetik enerjilerinin N_1 ve N_2 kabuklarındaki elektronların bağlanma enerjilerinden küçük olmasıdır.

Çizelge 4.6. $_{95}Am$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10^6}b$	$\sigma_{N2.10^6}b$	$\sigma_{N3.10^6}b$	$\sigma_{N4.10^6}b$	$\sigma_{N5.10^6}b$	$\sigma_{N6.10^6}b$	$\sigma_{N7.10^6}b$	$\sigma_{Ntotal.10^6}b$
0,6	-0,0158	-0,0123	-0,0244	-0,0224	-0,0323	0,0371	0,0757	0,0056
0,9	-0,0626	-0,0403	-0,0075	0,0032	0,0082	0,0995	0,1519	0,1524
1,2	-0,0250	-0,0041	0,0001	0,0202	0,0354	0,1549	0,2224	0,4039
1,4	-0,0108	0,0110	0,0313	0,0296	0,0507	0,1902	0,2676	0,5696
1,7	0,0031	0,0271	0,0650	0,0424	0,0715	0,2415	0,3330	0,7836
2	0,0124	0,0389	0,0899	0,0543	0,0908	0,2912	0,3957	0,9732
2,3	0,0191	0,0482	0,1097	0,0655	0,1091	0,3392	0,4557	1,1465
2,6	0,0243	0,0559	0,1261	0,0762	0,1267	0,3856	0,5129	1,3077
3	0,0297	0,0645	0,1445	0,0900	0,1492	0,4449	0,5849	1,5077
3,4	0,0341	0,0717	0,1600	0,1031	0,1707	0,5014	0,6521	1,6931
3,8	0,0377	0,0780	0,1735	0,1157	0,1913	0,5549	0,7146	1,8657
4,2	0,0408	0,0835	0,1853	0,1279	0,2110	0,6056	0,7727	2,0268
4,6	0,0436	0,0884	0,1958	0,1395	0,2300	0,6534	0,8266	2,1773
5	0,0461	0,0929	0,2053	0,1507	0,2482	0,6987	0,8766	2,3185



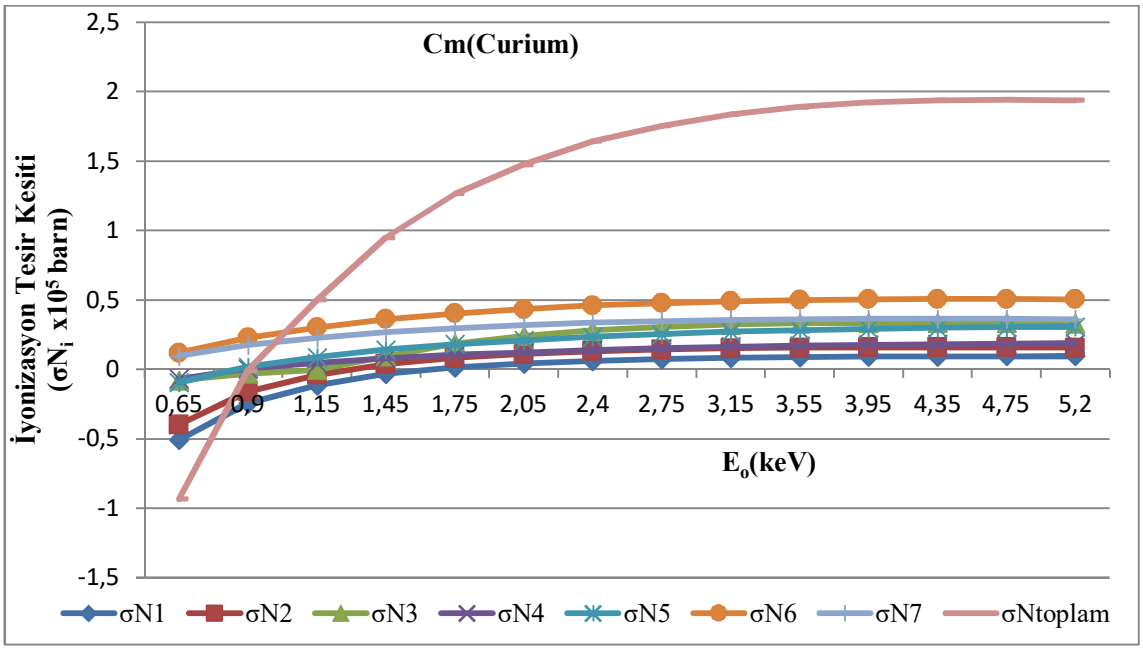
Şekil 4.9. Am atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,..... N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o (keV) fonksiyon olarak değişimi

Küriyum(Cm) İçin Sonuçlar

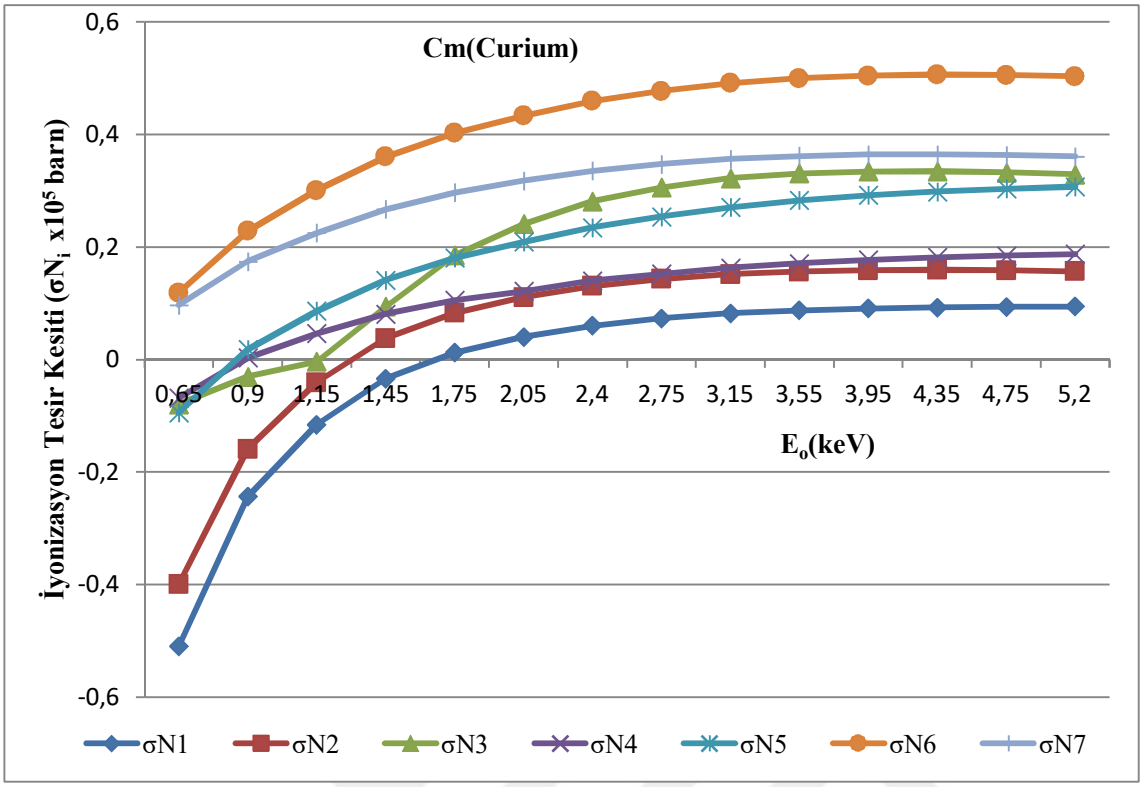
Küriyum atomu için elektron etkileşim enerjisine bağlı elde edilen veriler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.7. $_{96}$Cm atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan teorik iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1}.10^5$b	$\sigma_{N2}.10^5$b	$\sigma_{N3}.10^5$b	$\sigma_{N4}.10^5$b	$\sigma_{N5}.10^5$b	$\sigma_{N6}.10^5$b	$\sigma_{N7}.10^5$b	$\sigma_{Ntotal}.10^5$b
0,65	-0,5097	-0,3991	-0,0791	-0,0681	-0,0943	0,1185	0,0969	-0,9349
0,9	-0,2438	-0,1592	-0,0304	0,0031	0,0178	0,2284	0,1745	-0,0096
1,15	-0,1158	-0,0404	-0,0035	0,0463	0,0863	0,3006	0,2253	0,4988
1,45	-0,0339	0,0377	0,0943	0,0812	0,1416	0,3604	0,2672	0,9485
1,75	0,0121	0,0826	0,1851	0,1057	0,1804	0,4027	0,2966	1,2652
2,05	0,0401	0,1105	0,2409	0,1214	0,2094	0,4334	0,3178	1,4735
2,4	0,0603	0,1308	0,2813	0,1402	0,2348	0,4593	0,3354	1,6421
2,75	0,0731	0,1433	0,3059	0,1524	0,254	0,4773	0,3474	1,7534
3,15	0,0821	0,1518	0,3223	0,1631	0,2706	0,4912	0,3564	1,8375
3,55	0,0875	0,1564	0,3309	0,1711	0,2829	0,4998	0,3617	1,8903
3,95	0,0908	0,1585	0,3344	0,1771	0,2921	0,5045	0,3642	1,9216
4,35	0,0927	0,1591	0,3347	0,1816	0,2987	0,5062	0,3646	1,9376
4,75	0,0937	0,1583	0,3328	0,1849	0,3035	0,5057	0,3635	1,9424
5,2	0,0941	0,1568	0,3291	0,1875	0,3071	0,5031	0,3608	1,9385



Şekil 4.10. Cm atomunun N kabuğu ve N_1, N_2..... N_7alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

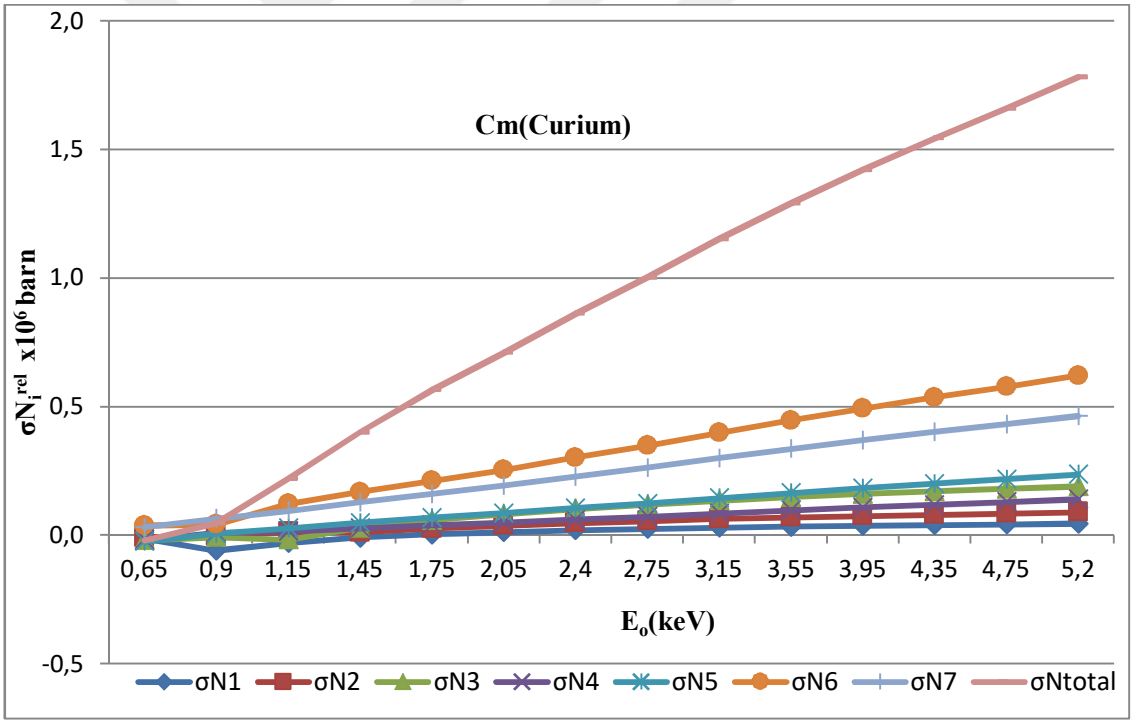


Şekil 4.11. Cm atomunun N kabuğu ve N1, N2, …… N_7alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

Küriyum için verilen yukarıdaki Şekil 4.11 incelendiğinde iyonizasyon tesir kesitinin elektron bombardıman enerjisine bağlı değişiminin N_1 alt kabuğunun 1,6 keV, N_2 alt kabuğunun ise 1,5 keV'ye kadar negatif değerde olduğu görülür. Bunun nedeni, ilk başlarda bombardımanda kullanılan elektronların kinetik enerjilerinin N_1 ve N_2 kabuklarındaki elektronların bağlanma enerjilerinden küçük olmasıdır. Eşik enerjisinden sonra bütün alt kabuklarda iyonizasyon olayından söz edilebilir. Çok yüksek bombardıman enerjilerine doğru gidildikçe iyonizasyon tesir kesitinin stabil bir değere doğru yönelim göstermektedir.

Çizelge 4.8. $_{96}Cm$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N2.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N3.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N4.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N5.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N6.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N7.10}{}^{6}b$	$\sigma_{Ntotal.10}{}^{6}b$
0,65	-0,0134	-0,0104	-0,0206	-0,0181	-0,0253	0,0367	0,0306	-0,0204
0,9	-0,0603	-0,0042	-0,0081	0,0086	0,0051	0,0412	0,0634	0,0457
1,15	-0,0306	0,0111	-0,0176	0,0142	0,0268	0,1214	0,0933	0,2186
1,45	-0,0093	0,0110	0,0278	0,0272	0,0482	0,1670	0,1274	0,3993
1,75	0,0035	0,0257	0,0581	0,0386	0,0673	0,2109	0,1601	0,5642
2,05	0,0120	0,0366	0,0807	0,0492	0,0850	0,2534	0,1919	0,7088
2,4	0,0192	0,0465	0,1013	0,0608	0,1045	0,3013	0,2276	0,8612
2,75	0,0246	0,0545	0,1181	0,0719	0,1231	0,3475	0,2619	1,0016
3,15	0,0294	0,0622	0,1341	0,0841	0,1435	0,3981	0,2994	1,1508
3,55	0,0333	0,0687	0,1477	0,0958	0,1630	0,4463	0,3351	1,2899
3,95	0,0367	0,0744	0,1596	0,1070	0,1818	0,4922	0,3689	1,4206
4,35	0,0395	0,0794	0,1702	0,1178	0,1998	0,5358	0,4009	1,5434
4,75	0,0421	0,0839	0,1796	0,1281	0,2171	0,5771	0,4312	1,6591
5,2	0,0447	0,0884	0,1891	0,1394	0,2358	0,6210	0,4632	1,7816

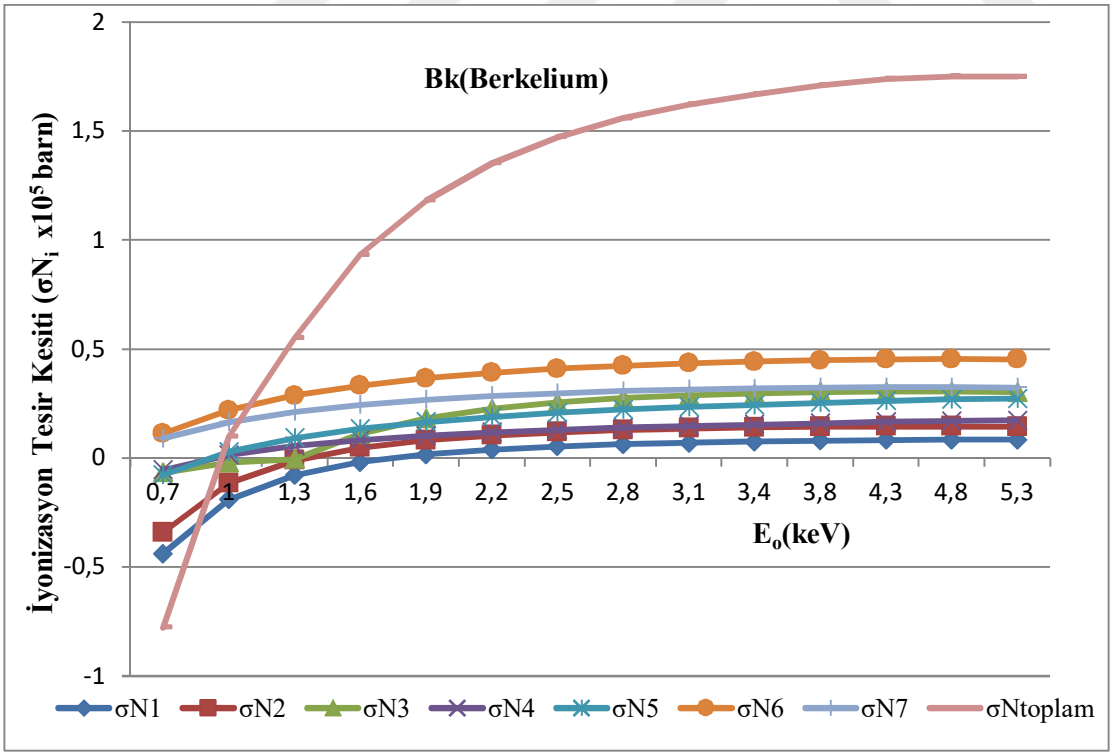


Şekil 4.12. Cm atomunun N kabuğu ve N_1, N_2…… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σNi^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

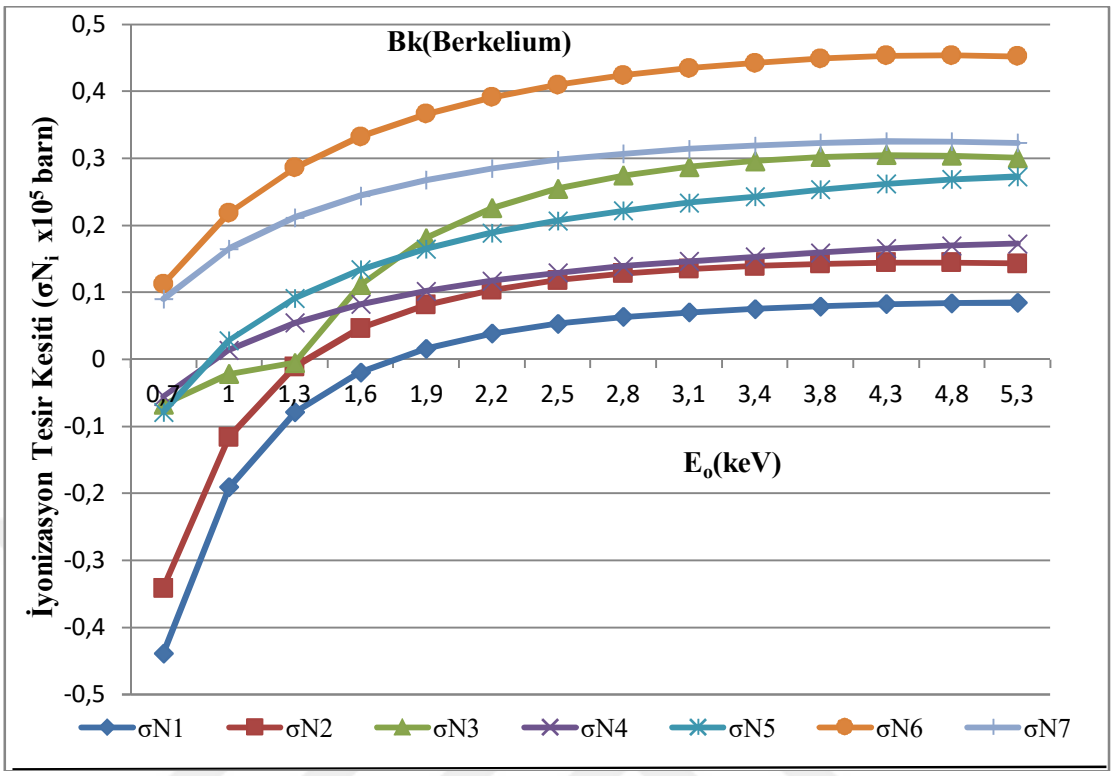
Berkelyum(Bk) İçin Sonuçlar

Çizelge 4.9. $_{97}$Bk atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan teorik iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1}.10^5$b	$\sigma_{N2}.10^5$b	$\sigma_{N3}.10^5$b	$\sigma_{N4}.10^5$b	$\sigma_{N5}.10^5$b	$\sigma_{N6}.10^5$b	$\sigma_{N7}.10^5$b	$\sigma_{Ntotal}.10^5$b
0,7	-0,4391	-0,3411	-0,0675	-0,0552	-0,0783	0,1125	0,0904	-0,7783
1	-0,1907	-0,1155	-0,0217	0,0142	0,0287	0,2188	0,1651	0,0989
1,3	-0,0788	-0,0108	-0,0051	0,0549	0,0917	0,2861	0,2121	0,5501
1,6	-0,0191	0,0467	0,1112	0,0823	0,1343	0,3324	0,2445	0,9323
1,9	0,0162	0,0815	0,1812	0,1023	0,1652	0,3661	0,2679	1,1804
2,2	0,0385	0,1037	0,2257	0,1176	0,1888	0,3911	0,2851	1,3505
2,5	0,0532	0,1184	0,2549	0,1295	0,2072	0,4098	0,2977	1,4707
2,8	0,0632	0,1283	0,2744	0,1392	0,2219	0,4239	0,3072	1,5581
3,1	0,0701	0,1349	0,2874	0,1467	0,2337	0,4344	0,3141	1,6213
3,4	0,0751	0,1393	0,2958	0,1531	0,2432	0,4421	0,3189	1,6675
3,8	0,0793	0,1428	0,3022	0,1596	0,2533	0,4488	0,3231	1,7091
4,3	0,0825	0,1445	0,3049	0,1656	0,2623	0,4531	0,3252	1,7381
4,8	0,0841	0,1444	0,3041	0,1698	0,2686	0,4538	0,3251	1,7499
5,3	0,0846	0,1432	0,3008	0,1727	0,2727	0,4521	0,3231	1,7492



Şekil 4.13. Bk atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, …N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin N_{top} ve N_i, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

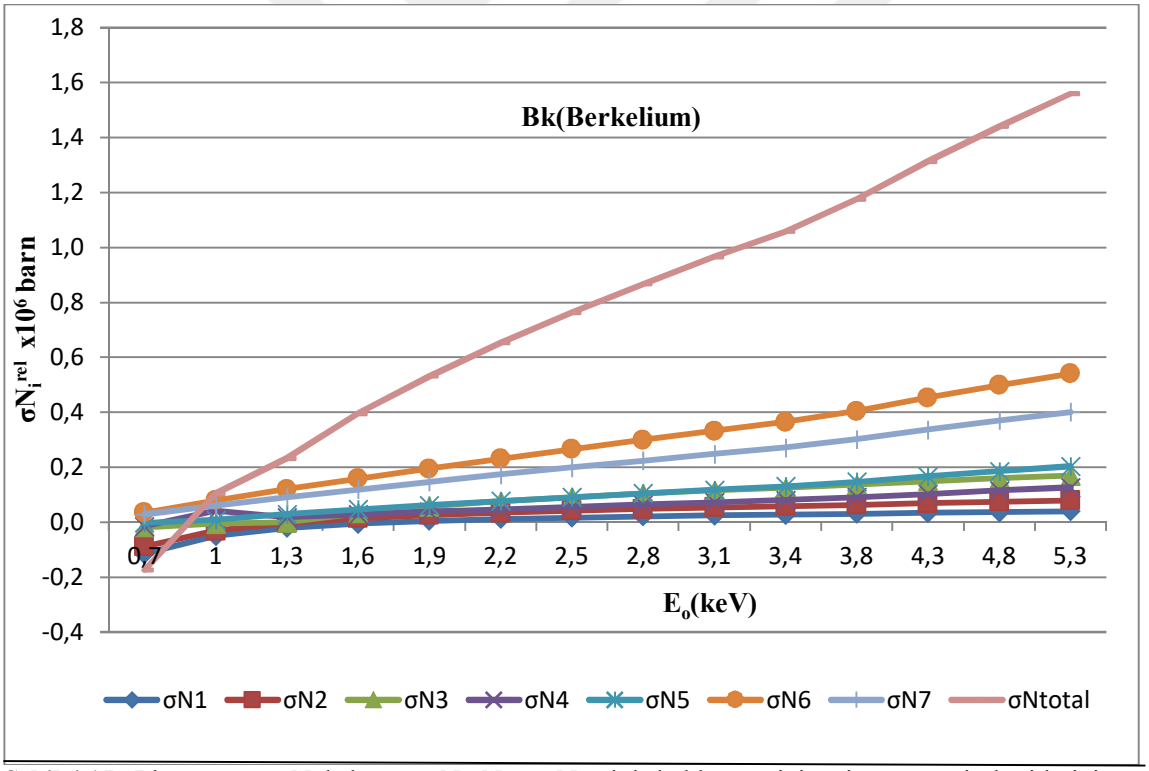


Şekil 4.14. Bk atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, N_3 , N_4, N_5 ,N_6 ve N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

Berkelyum için verilen Şekil 4.14 incelendiğinde iyonizasyon tesir kesitinin elektron bombardıman enerjisine bağlı değişiminin N_1 alt kabuğunun 1,7 keV, N_2 alt kabuğunun ise 1,5 keV'ye kadar negatif değerde olduğu görülür. Bunun nedeni, bombardımanda kullanılan elektronların kinetik enerjilerinin N_1 ve N_2 kabuklarındaki elektronların bağlanma enerjilerinin eşik değerlerinden küçük olmasıdır. Çok yüksek bombardıman enerjilerine doğru (6keV) gidildikçe N alt kabuklarına ait iyonizasyon iyonizasyon tesir kesitleri stabil bir değere doğru eğilim göstermektedir.

Çizelge 4.10. $_{97}$Bk atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N2.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N3.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N4.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N5.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N6.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N7.10}{}^{6}$b	$\sigma_{Ntotal.10}{}^{6}$b
0,7	-0,1150	-0,0886	-0,0176	-0,0147	-0,0021	0,0352	0,0287	-0,1741
1	-0,0497	-0,0308	-0,0058	0,0410	0,0084	0,0798	0,0615	0,1042
1,3	-0,0210	-0,0030	-0,0014	0,0173	0,0292	0,1200	0,0913	0,2324
1,6	-0,0053	0,0139	0,0333	0,0283	0,0466	0,1583	0,1197	0,3948
1,9	0,0047	0,0257	0,0577	0,0382	0,0624	0,1954	0,1472	0,5313
2,2	0,0117	0,0347	0,0764	0,0474	0,0772	0,2313	0,1738	0,6525
2,5	0,0169	0,0420	0,0915	0,0562	0,0913	0,2662	0,1996	0,7637
2,8	0,0210	0,0481	0,1043	0,0647	0,1049	0,3000	0,2246	0,8676
3,1	0,0244	0,0534	0,1154	0,0729	0,1180	0,3328	0,2488	0,9657
3,4	0,0272	0,0581	0,1252	0,0809	0,1307	0,3646	0,2722	1,0589
3,8	0,0305	0,0636	0,1367	0,0911	0,1471	0,4052	0,3020	1,1762
4,3	0,0339	0,0695	0,1491	0,1034	0,1667	0,4534	0,3373	1,3133
4,8	0,0368	0,0747	0,1600	0,1151	0,1854	0,4986	0,3703	1,4409
5,3	0,0394	0,0792	0,1695	0,1263	0,2032	0,5411	0,4012	1,5599



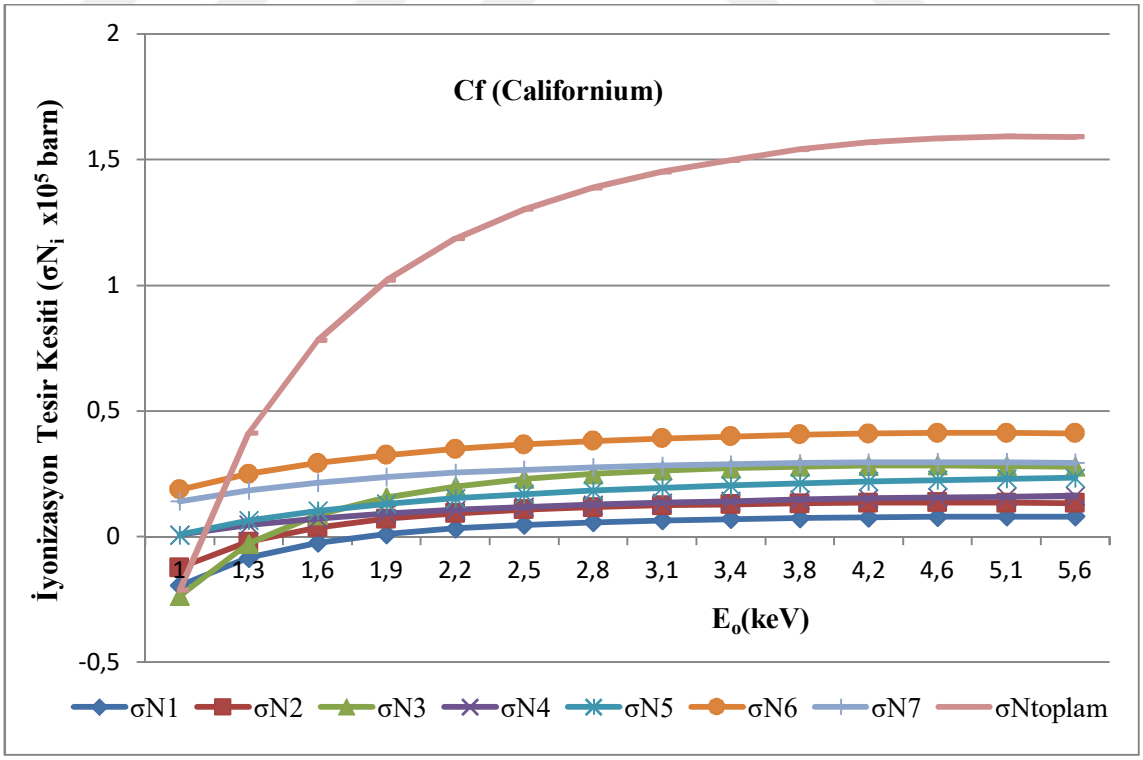
Şekil 4.15. Bk atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, … N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

Kaliforniyum(Cf) İçin Sonuçlar

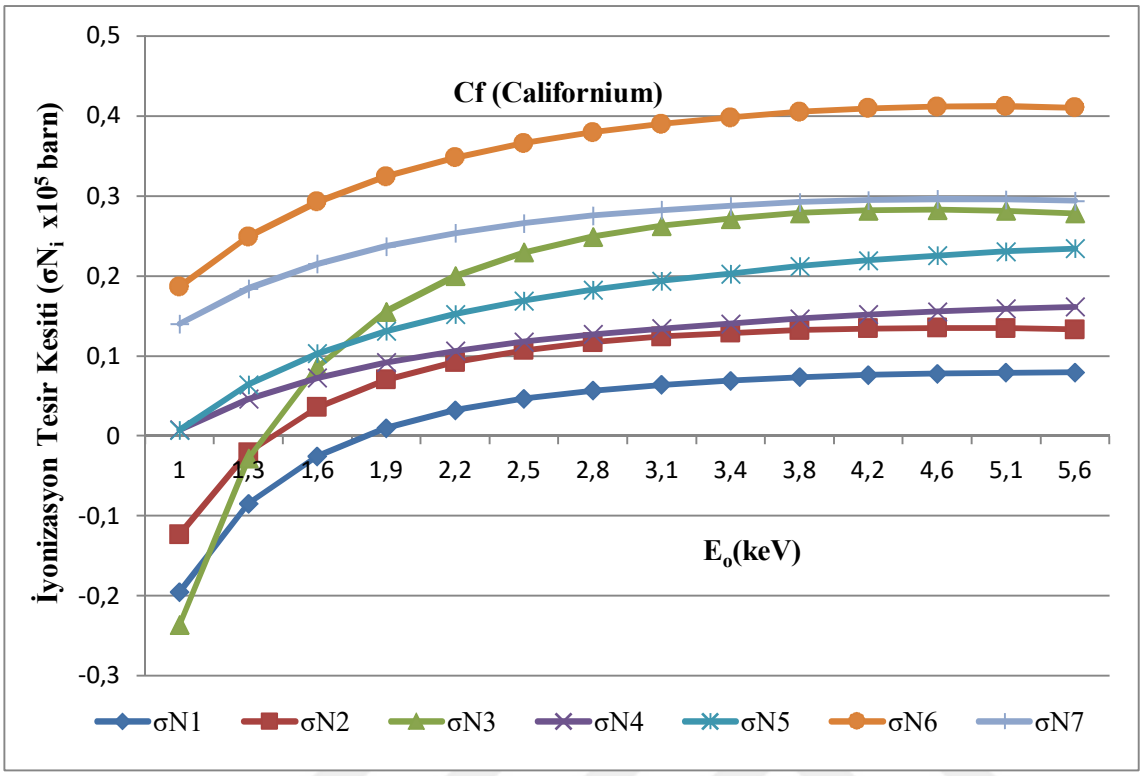
Kaliforniyum için elde edilen veriler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.11. $_{98}$Cf atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan teorik iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1}.10^5$b	$\sigma_{N2}.10^5$b	$\sigma_{N3}.10^5$b	$\sigma_{N4}.10^5$b	$\sigma_{N5}.10^5$b	$\sigma_{N6}.10^5$b	$\sigma_{N7}.10^5$b	$\sigma_{Ntotal}.10^5$b
1	-0,1951	-0,1237	-0,2365	0,0076	0,0073	0,1867	0,1403	-0,2134
1,3	-0,0845	-0,0208	-0,0282	0,0464	0,0644	0,2492	0,1844	0,4109
1,6	-0,0253	0,0359	0,0863	0,0726	0,1029	0,2927	0,2151	0,7802
1,9	0,0098	0,0703	0,1556	0,0918	0,1311	0,3244	0,2372	1,0202
2,2	0,0321	0,0924	0,1999	0,1063	0,1525	0,3482	0,2537	1,1851
2,5	0,0467	0,1072	0,2294	0,1178	0,1693	0,3662	0,2661	1,3027
2,8	0,0568	0,1172	0,2492	0,1269	0,1828	0,3799	0,2755	1,3883
3,1	0,0639	0,1241	0,2627	0,1344	0,1938	0,3903	0,2825	1,4517
3,4	0,0689	0,1287	0,2716	0,1405	0,2028	0,3981	0,2877	1,4983
3,8	0,0734	0,1325	0,2788	0,1469	0,2124	0,4053	0,2923	1,5416
4,2	0,0762	0,1344	0,2821	0,1518	0,2197	0,4096	0,2949	1,5687
4,6	0,0779	0,1351	0,2829	0,1556	0,2254	0,4118	0,2961	1,5848
5,1	0,0791	0,1346	0,2815	0,1591	0,2306	0,4122	0,2957	1,5928
5,6	0,0794	0,1333	0,2784	0,1614	0,2342	0,4105	0,2941	1,5913



Şekil 4.16. Cf atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,…… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

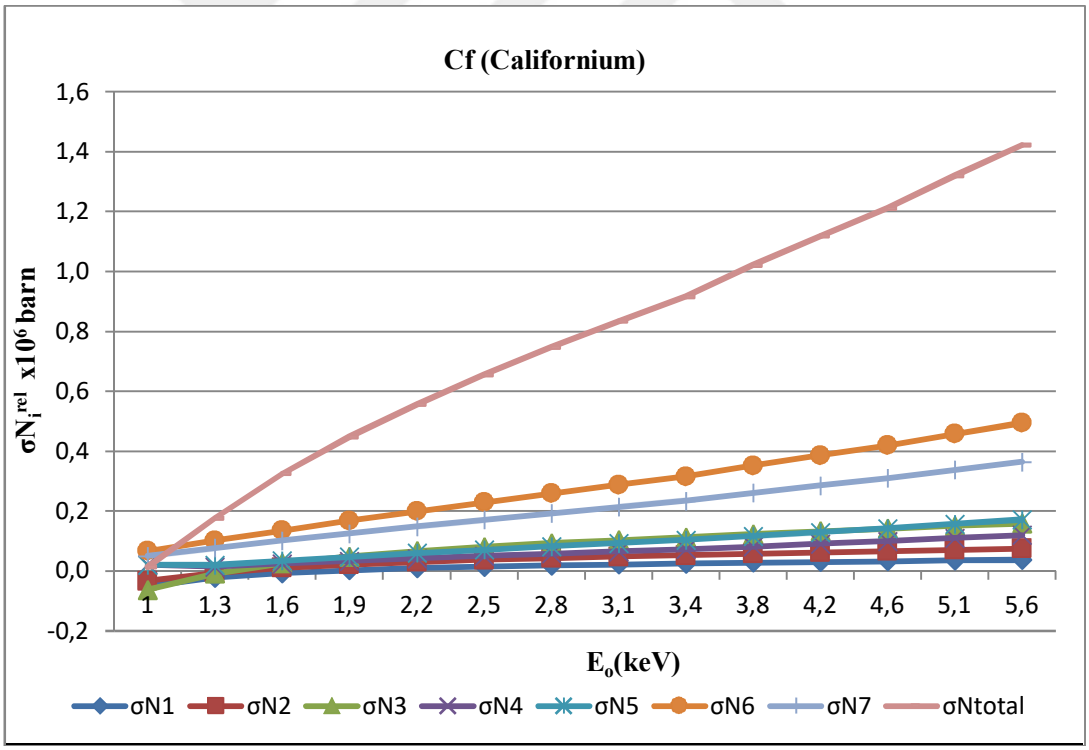


Şekil 4.17. Cf atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, ... N_7alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

Kaliforniyum için verilen Şekil 4.17 incelendiğinde iyonizasyon tesir kesitinin elektron bombardıman enerjisine bağlı değişimi verilmiştir. N_1,N_2 ve N_3 alt kabuklarında belli bir değere kadar bombardıman elektronlarının enerjileri elektronların bu kabuklardaki eşik enerjilerinden düşük olduğundan iyonizasyon olayı gerçekleşmemektedir.

Çizelge 4.12. $_{98}Cf$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N2.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N3.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N4.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N5.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N6.10}{}^{6}$b	$\sigma_{N7.10}{}^{6}$b	$\sigma_{Ntotal.10}{}^{6}$b
1	-0,0508	-0,0329	-0,0631	0,0217	0,0209	0,0665	0,0508	0,0132
1,3	-0,0225	-0,0058	-0,0079	0,0144	0,0199	0,1018	0,0768	0,1767
1,6	-0,0070	0,0106	0,0256	0,0246	0,0346	0,1353	0,1015	0,3252
1,9	0,0028	0,0219	0,0488	0,0336	0,0476	0,1676	0,1254	0,4477
2,2	0,0096	0,0305	0,0666	0,0421	0,0598	0,1990	0,1486	0,5562
2,5	0,0146	0,0374	0,0809	0,0501	0,0714	0,2295	0,1711	0,6550
2,8	0,0186	0,0432	0,0929	0,0578	0,0825	0,2592	0,1929	0,7471
3,1	0,0219	0,0482	0,1033	0,0653	0,0932	0,2880	0,2141	0,8340
3,4	0,0246	0,0526	0,1125	0,0725	0,1036	0,3160	0,2346	0,9164
3,8	0,0277	0,0578	0,1233	0,0818	0,1170	0,3518	0,2609	1,0203
4,2	0,0304	0,0623	0,1327	0,0908	0,1299	0,3862	0,2861	1,1184
4,6	0,0327	0,0663	0,1411	0,0995	0,1424	0,4189	0,3100	1,2109
5,1	0,0352	0,0708	0,1505	0,1099	0,1574	0,4578	0,3383	1,3199
5,6	0,0375	0,0748	0,1588	0,1198	0,1718	0,4943	0,3648	1,4218



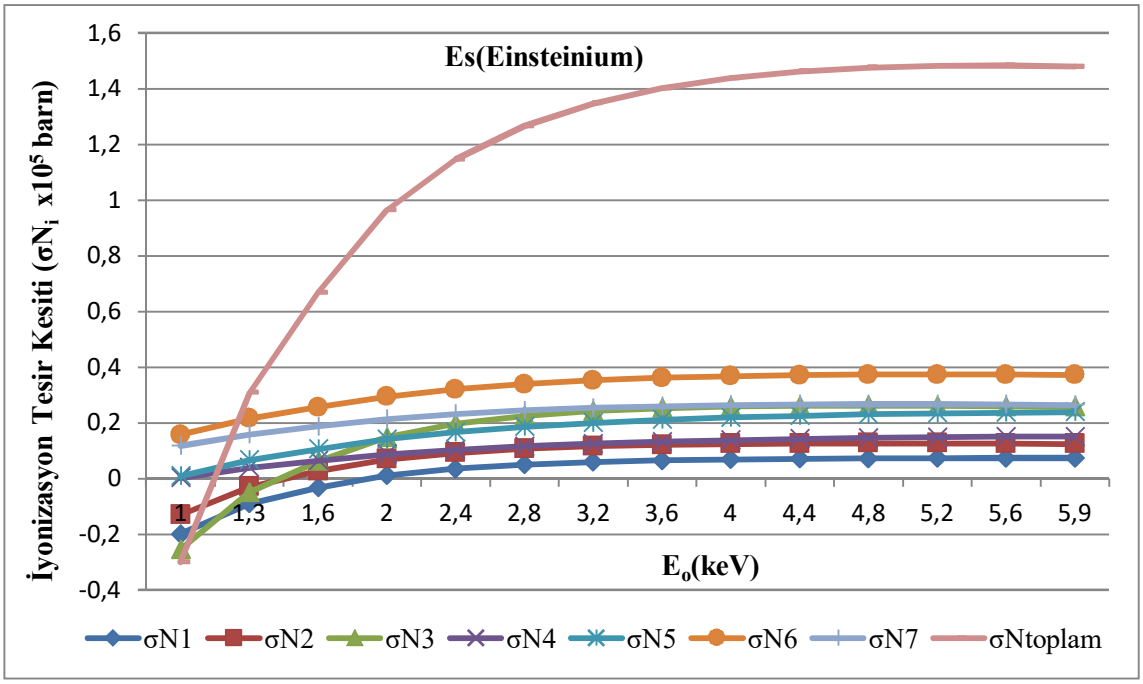
Şekil 4.18. Cf atomunun N kabuğu ve N_1, $N_{2,\ldots}$ N_7alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o (keV) fonksiyonu olarak değişimi

Aynştaynyum(Es) İçin Sonuçlar

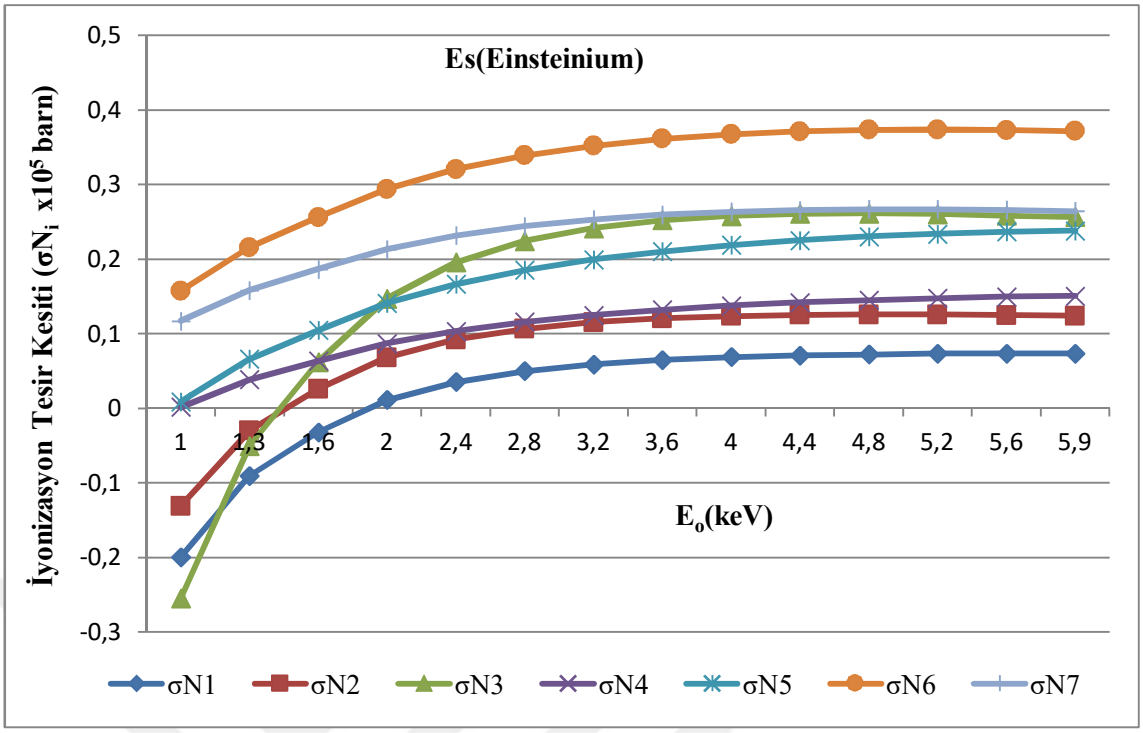
Aynştaynyum atomunun her bir N alt kabuğu için elde edilen iyonizasyon tesir kesit değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.13. $_{99}$Es atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan teorik iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10^5}$b	$\sigma_{N2.10^5}$b	$\sigma_{N3.10^5}$b	$\sigma_{N4.10^5}$b	$\sigma_{N5.10^5}$b	$\sigma_{N6.10^5}$b	$\sigma_{N7.10^5}$b	$\sigma_{Ntotal.10^5}$b
1	-0,1994	-0,1313	-0,2547	0,0016	0,0087	0,1576	0,1172	-0,3003
1,3	-0,0905	-0,0301	-0,0504	0,0387	0,0661	0,2157	0,1582	0,3077
1,6	-0,0321	0,0257	0,0622	0,0637	0,1049	0,2562	0,1867	0,6673
2	0,0112	0,0681	0,1474	0,0871	0,1411	0,2942	0,2133	0,9624
2,4	0,0354	0,0921	0,1956	0,1035	0,1665	0,3205	0,2316	1,1452
2,8	0,0499	0,1066	0,2244	0,1157	0,1853	0,3391	0,2444	1,2654
3,2	0,0589	0,1154	0,2418	0,1249	0,1996	0,3521	0,2534	1,3461
3,6	0,0647	0,1208	0,2522	0,1321	0,2105	0,3613	0,2595	1,4011
4	0,0685	0,1238	0,2581	0,1376	0,2189	0,3673	0,2634	1,4376
4,4	0,0709	0,1254	0,2608	0,1419	0,2254	0,3711	0,2658	1,4613
4,8	0,0723	0,1258	0,2614	0,1452	0,2303	0,3732	0,2669	1,4751
5,2	0,0732	0,1256	0,2605	0,1477	0,2341	0,3735	0,2669	1,4815
5,6	0,0736	0,1248	0,2586	0,1496	0,2368	0,3729	0,2662	1,4825
5,9	0,0736	0,1239	0,2566	0,1506	0,2383	0,3718	0,2643	1,4791



Şekil 4.19. Es atomunun N kabuğu ve N_1, N_2…… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi



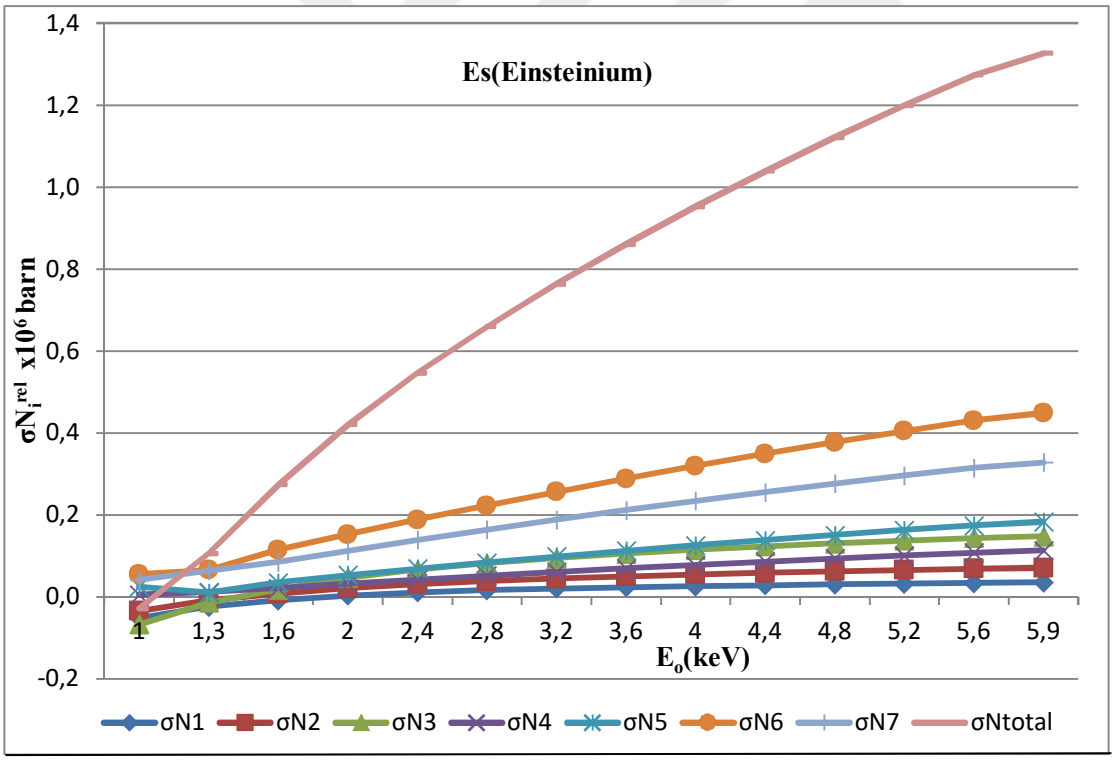
Şekil 4.20. Es atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, N_3 , N_4, N_5 ,N_6 ve N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

.

Es atomuna ait N alt kabukları 1000eV ile uyarıldığında N_1, N_2 ve N_3 dışındaki alt kabukların iyonize olduğu görülmektedir. Eğriler üzerindeki her bir nokta elektron bombardıman enerji değerine karşılık iyonizasyon tesir kesitini göstermektedir.

Çizelge 4.14. $_{99}Es$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N2.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N3.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N4.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N5.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N6.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N7.10}{}^{6}b$	$\sigma_{Ntotal.10}{}^{6}b$
1	-0,0518	-0,0347	-0,0676	0,0047	0,0247	0,0549	0,0413	-0,0286
1,3	-0,0240	-0,0083	-0,0140	0,0119	0,0105	0,0657	0,0638	0,1056
1,6	-0,0087	0,0075	0,0182	0,0212	0,0353	0,1148	0,0851	0,2734
2	0,0032	0,0213	0,0465	0,0321	0,0527	0,1522	0,1124	0,4204
2,4	0,0108	0,0311	0,0665	0,0421	0,0687	0,1881	0,1386	0,5459
2,8	0,0161	0,0386	0,0820	0,0515	0,0838	0,2228	0,1640	0,6588
3,2	0,0201	0,0447	0,0947	0,0605	0,0983	0,2562	0,1883	0,7628
3,6	0,0233	0,0500	0,1055	0,0692	0,1121	0,2884	0,2117	0,8602
4	0,0260	0,0545	0,1149	0,0775	0,1255	0,3193	0,2342	0,9519
4,4	0,0284	0,0585	0,1232	0,0855	0,1384	0,3489	0,2557	1,0386
4,8	0,0304	0,0621	0,1306	0,0933	0,1508	0,3772	0,2762	1,1206
5,2	0,0323	0,0654	0,1373	0,1008	0,1628	0,4043	0,2958	1,1987
5,6	0,0339	0,0683	0,1435	0,1081	0,1744	0,4302	0,3144	1,2728
5,9	0,0351	0,0704	0,1477	0,1133	0,1828	0,4488	0,3279	1,3260



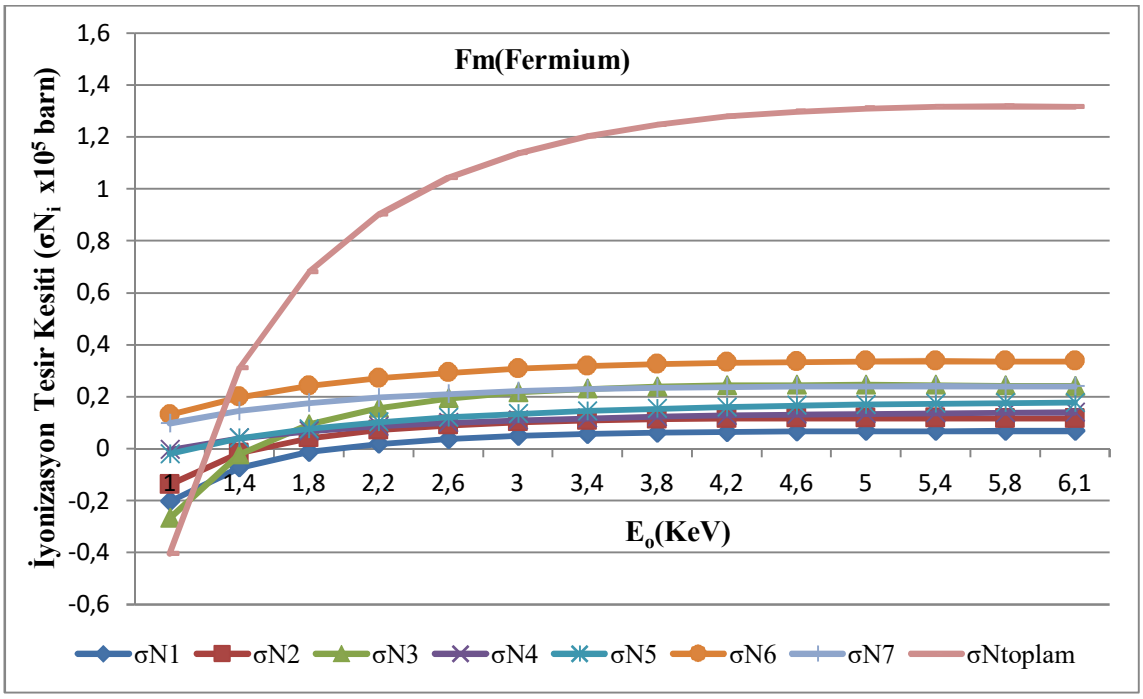
Şekil 4.21. Es atomunun N kabuğu ve N_1, N_2…… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

Fermiyum(Fm) İçin Sonuçlar

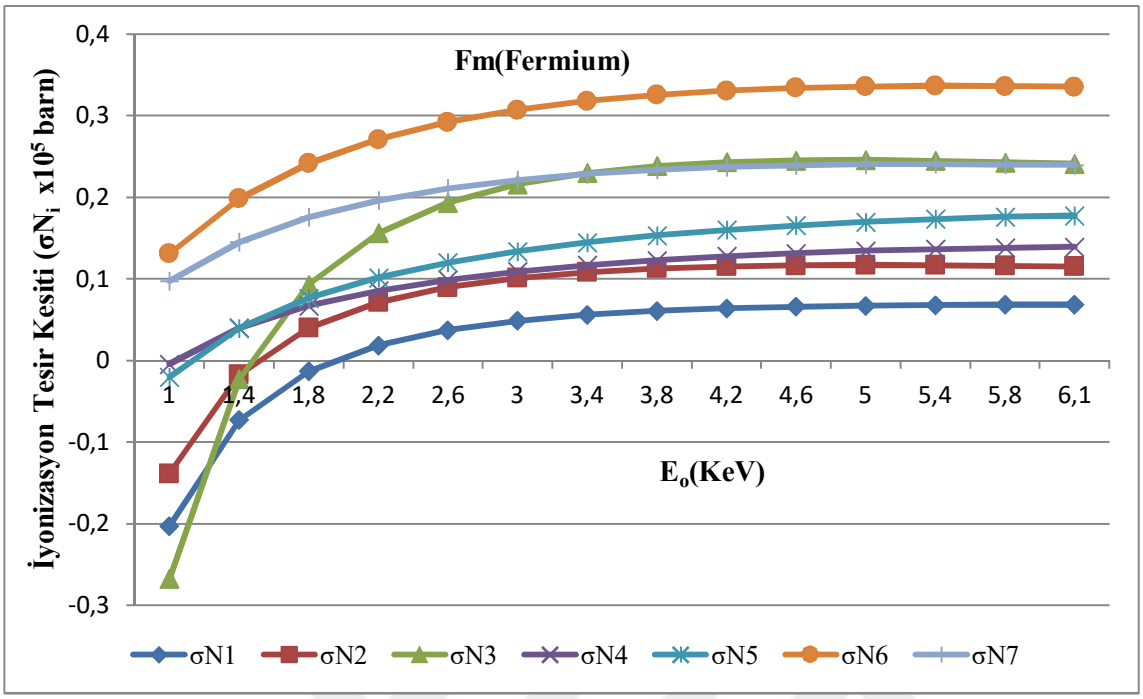
Fermiyum atomunun elektron etkileşim enerjisine bağlı N alt kabuk iyonizasyon tesir kesit değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir

Çizelge 4.15. $_{100}$Fm atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan teorik iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1}.10^5$b	$\sigma_{N2}.10^5$b	$\sigma_{N3}.10^5$b	$\sigma_{N4}.10^5$b	$\sigma_{N5}.10^5$b	$\sigma_{N6}.10^5$b	$\sigma_{N7}.10^5$b	$\sigma_{Ntotal}.10^5$b
1	-0,2031	-0,1383	-0,2675	-0,0042	-0,0202	0,1308	0,0976	-0,4049
1,4	-0,0729	-0,0174	-0,0227	0,0399	0,0398	0,1984	0,1452	0,3103
1,8	-0,0133	0,0399	0,0931	0,0669	0,0765	0,2415	0,1755	0,6801
2,2	0,0185	0,0713	0,1562	0,0854	0,1014	0,2711	0,1962	0,9001
2,6	0,0371	0,0898	0,1933	0,0988	0,1198	0,2921	0,2108	1,0417
3	0,0485	0,1013	0,2161	0,1091	0,1338	0,3071	0,2212	1,1371
3,4	0,0559	0,1084	0,2299	0,1168	0,1446	0,3178	0,2287	1,2021
3,8	0,0607	0,1128	0,2383	0,1229	0,1532	0,3255	0,2337	1,2471
4,2	0,0639	0,1153	0,2431	0,1277	0,1601	0,3307	0,2373	1,2781
4,6	0,0659	0,1165	0,2451	0,1314	0,1654	0,3341	0,2393	1,2977
5	0,0672	0,1169	0,2455	0,1343	0,1698	0,3358	0,2403	1,3098
5,4	0,0679	0,1167	0,2446	0,1366	0,1732	0,3365	0,2406	1,3161
5,8	0,0683	0,1159	0,2428	0,1382	0,1759	0,3361	0,2401	1,3173
6,1	0,0683	0,1152	0,2411	0,1392	0,1775	0,3354	0,2394	1,3161



Şekil 4.22. Fm atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,... N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o (keV) fonksiyonu olarak değişimi



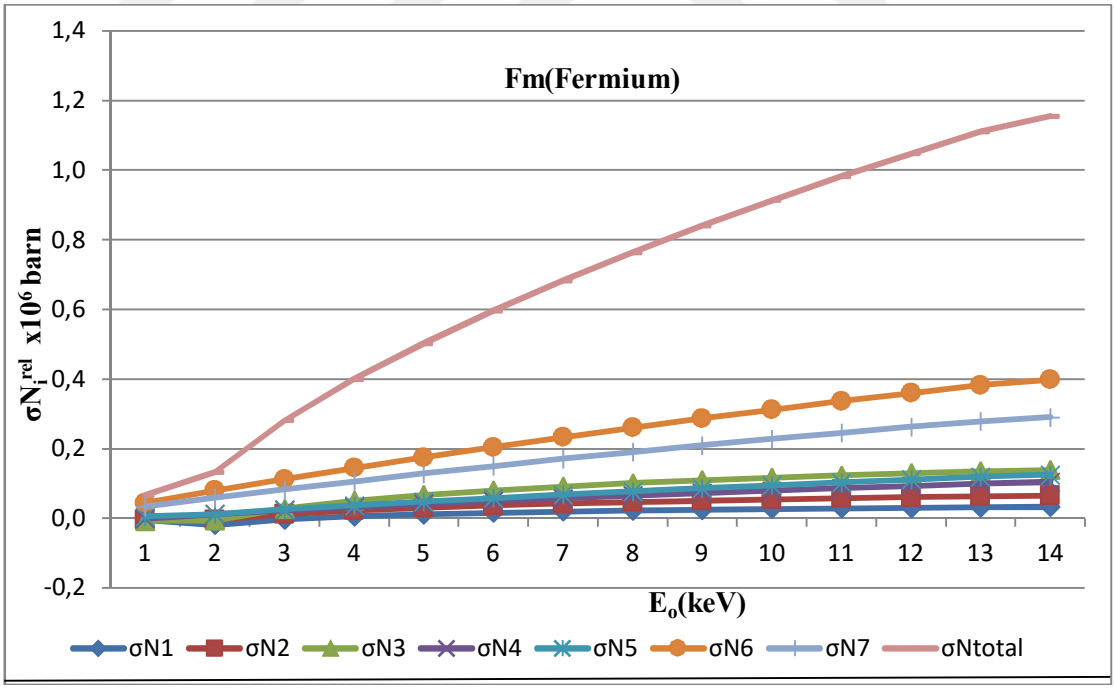
Şekil 4.23. Fm atomunun N_1, N_2,…….N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

Fermiyum için verilen sonuçlar incelendiğinde iyonizasyon tesir kesitinin N_6 alt kabuğunda en fazla olduğu görülmektedir. Grafik eğrileri üzerindeki her bir nokta, bombardımanda kullanılan elektron enerji değerine bağlı iyonizasyon tesir kesitini vermektedir. Belli bir elektron etkileşim enerjisinden sonra grafikler paralellik göstermektedir. Dolayısıyla çok yüksek enerji değerlerinin iyonizasyon tesir kesitlerini fazla etkilemediği söylenebilir.

Fermiyum atomunun N alt kabuklarına ait relativistik iyonizasyon tesir kesit değerleri farklı E_o enerjileri için Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. $_{100}Fm$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N2.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N3.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N4.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N5.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N6.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N7.10}{}^{6}b$	$\sigma_{Ntotal.10}{}^{6}b$
1	-0,0053	-0,0036	-0,0071	-0,0012	0,0056	0,0444	0,0335	0,0664
1,4	-0,0194	-0,0048	-0,0064	0,0124	0,0121	0,0798	0,0592	0,1329
1,8	-0,0037	0,0119	0,0280	0,0231	0,0255	0,1127	0,0833	0,2808
2,2	0,0054	0,0228	0,0505	0,0325	0,0371	0,1443	0,1063	0,3989
2,6	0,0115	0,0309	0,0672	0,0412	0,0478	0,1748	0,1286	0,5020
3	0,0159	0,0373	0,0805	0,0494	0,0580	0,2044	0,1501	0,5956
3,4	0,0193	0,0426	0,0915	0,0574	0,0677	0,2329	0,1709	0,6823
3,8	0,0221	0,0471	0,1010	0,0650	0,0770	0,2603	0,1908	0,7633
4,2	0,0244	0,0511	0,1094	0,0724	0,0861	0,2867	0,2100	0,8401
4,6	0,0265	0,0547	0,1168	0,0795	0,0948	0,3121	0,2284	0,9128
5	0,0283	0,0579	0,1235	0,0864	0,1033	0,3364	0,2460	0,9818
5,4	0,0300	0,0608	0,1295	0,0931	0,1115	0,3598	0,2629	1,0476
5,8	0,0315	0,0634	0,1351	0,0996	0,1195	0,3821	0,2790	1,1102
6,1	0,0325	0,0653	0,1389	0,1043	0,1253	0,3982	0,2906	1,1551



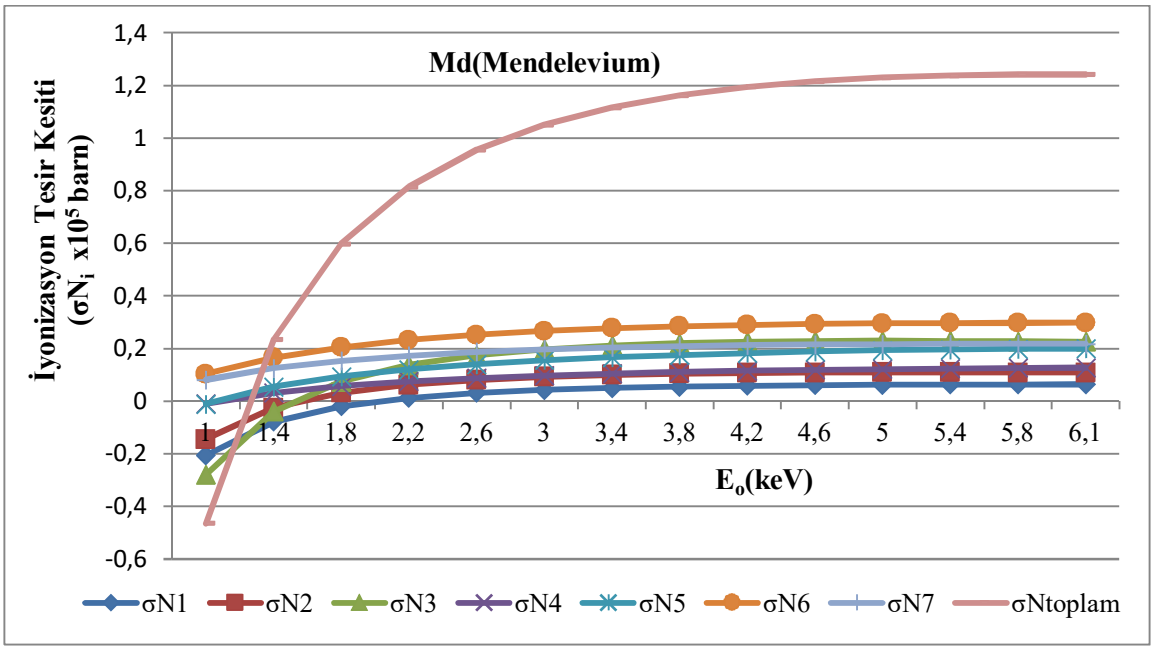
Şekil 4.24. Fm atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, ... N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o (keV) fonksiyonu olarak değişimi

Mendelevyum(Md) İçin Sonuçlar

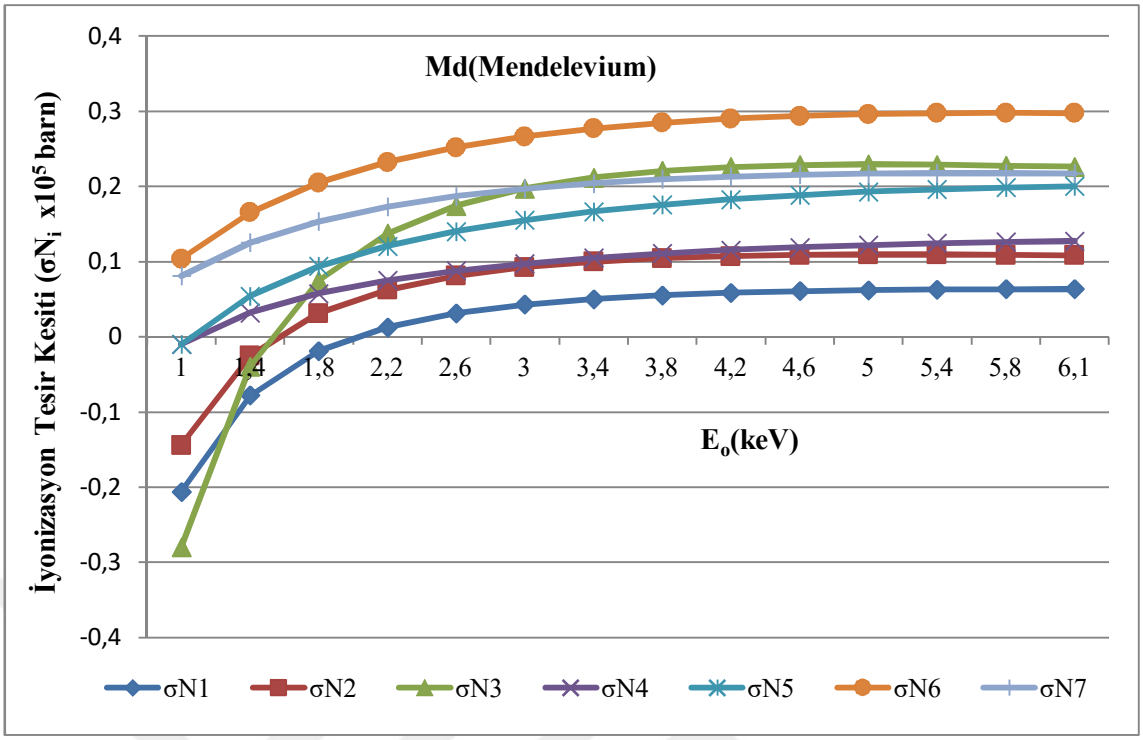
Lotz yarı ampirik formülünden mendelevyum atomunun N alt kabuklarının iyonizasyon tesir kesit değerleri barn cinsinden çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.17. $_{101}$Md atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan teorik iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1}.10^5$b	$\sigma_{N2}.10^5$b	$\sigma_{N3}.10^5$b	$\sigma_{N4}.10^5$b	$\sigma_{N5}.10^5$b	$\sigma_{N6}.10^5$b	$\sigma_{N7}.10^5$b	$\sigma_{Ntotal}.10^5$b
1	-0,2061	-0,1439	-0,2799	-0,0096	-0,0101	0,1039	0,0811	-0,4646
1,4	-0,0779	-0,0251	-0,0392	0,0322	0,0544	0,1656	0,1254	0,2354
1,8	-0,0189	0,0315	0,0749	0,0577	0,0938	0,2051	0,1537	0,5978
2,2	0,0127	0,0626	0,1375	0,0752	0,1208	0,2325	0,1732	0,8145
2,6	0,0313	0,0811	0,1746	0,0879	0,1405	0,2521	0,1871	0,9546
3	0,0429	0,0927	0,1976	0,0976	0,1554	0,2665	0,1972	1,0499
3,4	0,0503	0,1001	0,2119	0,1051	0,1669	0,2771	0,2045	1,1159
3,8	0,0554	0,1045	0,2208	0,1111	0,1759	0,2847	0,2097	1,1621
4,2	0,0586	0,1073	0,2261	0,1157	0,1831	0,2902	0,2134	1,1944
4,6	0,0607	0,1088	0,2286	0,1193	0,1886	0,2939	0,2158	1,2157
5	0,0622	0,1094	0,2296	0,1223	0,1931	0,2963	0,2172	1,2301
5,4	0,0631	0,1094	0,2291	0,1245	0,1964	0,2976	0,2178	1,2379
5,8	0,0635	0,1089	0,2278	0,1263	0,1989	0,2979	0,2178	1,2411
6,1	0,0636	0,1083	0,2264	0,1273	0,2004	0,2977	0,2174	1,2411



Şekil 4.25. Md atomunun N kabuğu ve N_1, $N_{2,...}$ N_7alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerini σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o (keV) fonksiyonu olarak değişimi

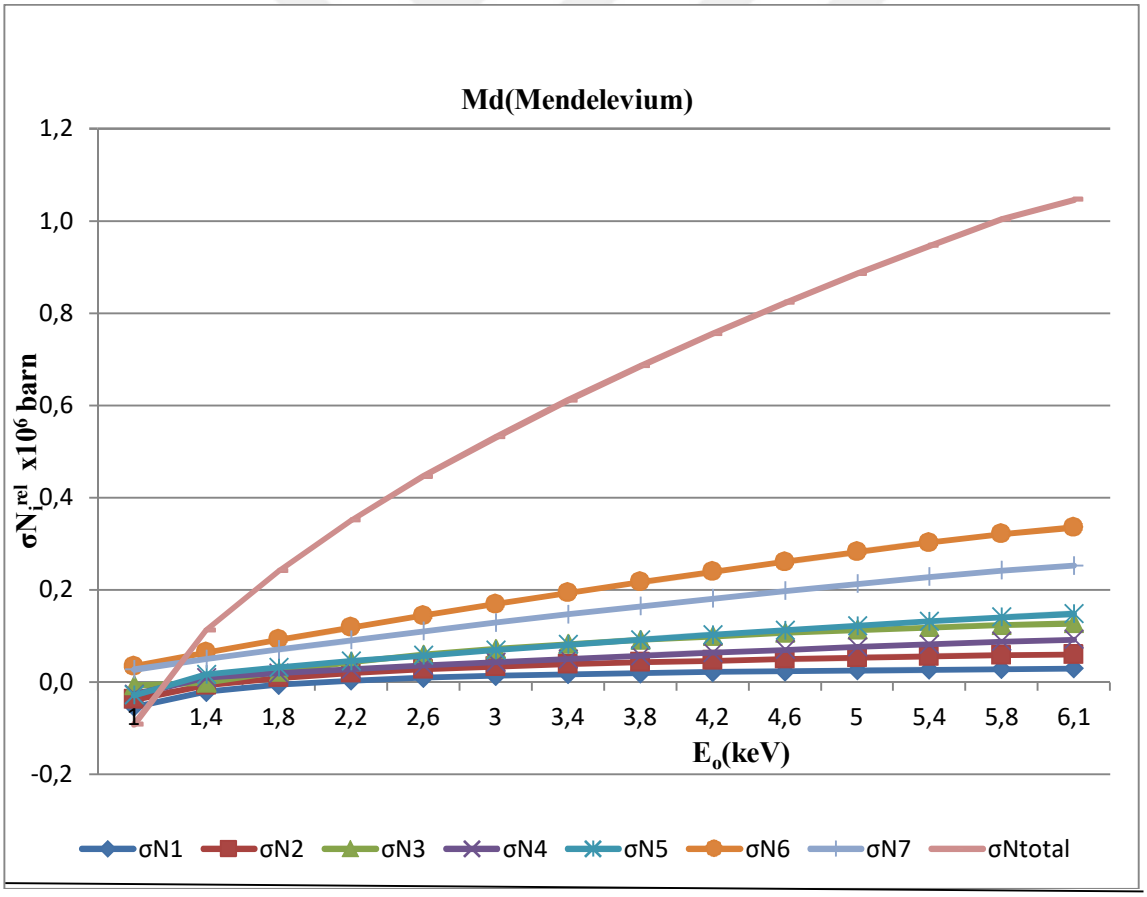


Şekil 4.26. Md atomunun N kabuğuna ait N_1, N_2, …..N_7 alt kabuklarına iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

Mendelevyum atomları için grafikler incelendiğinde 1keV elektron etkileşim enerjisi değerinde N_5, N_6 ve N_7 alt kabuklarında iyonizasyon olayının gerçekleştiği, 5keV değerinden itibaren neredeyse hiç değişmediği görülmektedir.

Çizelge 4.18. $_{101}$Md atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N2.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N3.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N4.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N5.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N6.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N7.10}{}^{6}b$	$\sigma_{Ntotal.10}{}^{6}b$
1	-0,0536	-0,0378	-0,0074	-0,0267	-0,0283	0,0344	0,0273	-0,0921
1,4	-0,0206	-0,0069	-0,0011	0,0099	0,0168	0,0644	0,0497	0,1122
1,8	-0,0052	0,0093	0,0223	0,0195	0,0321	0,0922	0,0706	0,2408
2,2	0,0037	0,0198	0,0439	0,0280	0,0455	0,1188	0,0907	0,3504
2,6	0,0096	0,0275	0,0598	0,0358	0,0579	0,1446	0,1101	0,4453
3	0,0138	0,0335	0,0724	0,0432	0,0697	0,1695	0,1288	0,5309
3,4	0,0171	0,0386	0,0828	0,0503	0,0810	0,1936	0,1469	0,6103
3,8	0,0198	0,0429	0,0918	0,0571	0,0919	0,2170	0,1644	0,6849
4,2	0,0220	0,0466	0,0996	0,0637	0,1024	0,2395	0,1813	0,7551
4,6	0,0239	0,0500	0,1066	0,0701	0,1126	0,2612	0,1975	0,8219
5	0,0257	0,0530	0,1129	0,0763	0,1224	0,2821	0,2130	0,8854
5,4	0,0272	0,0557	0,1186	0,0822	0,1319	0,3022	0,2280	0,9458
5,8	0,0286	0,0582	0,1238	0,0881	0,1411	0,3215	0,2423	1,0036
6,1	0,0296	0,0600	0,1275	0,0923	0,1479	0,3354	0,2526	1,0453



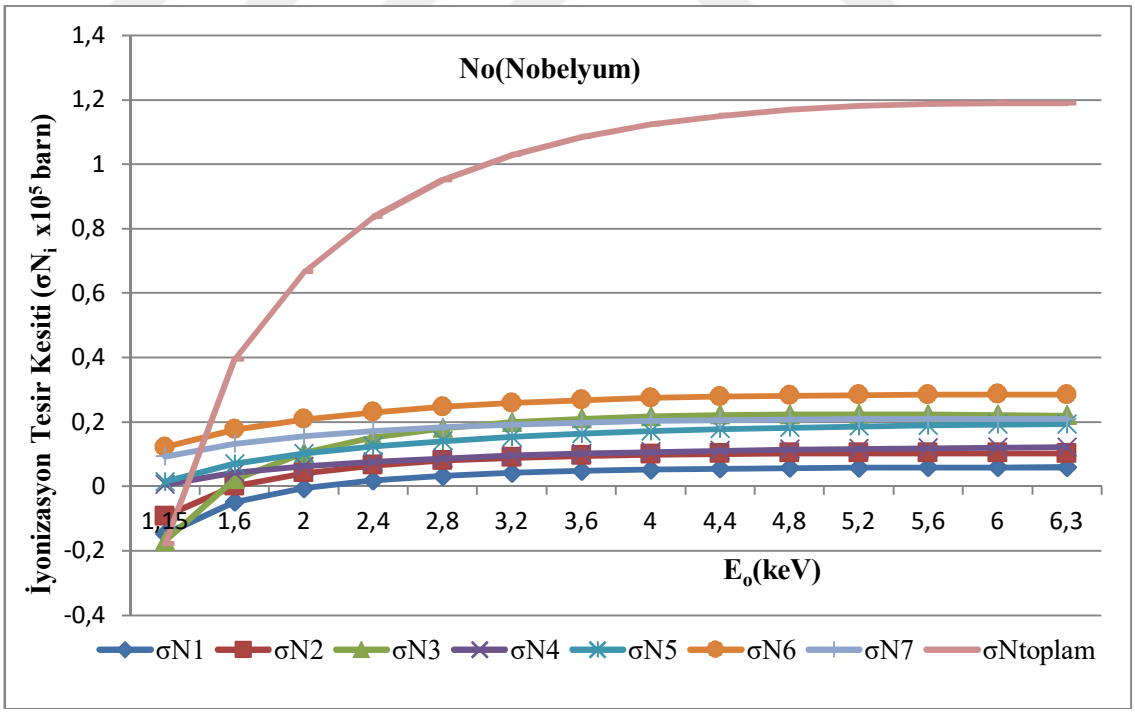
Şekil 4.27. Md atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,..... N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o (keV) fonksiyonu olarak değişimi

Nobelyum(No) İçin Sonuçlar

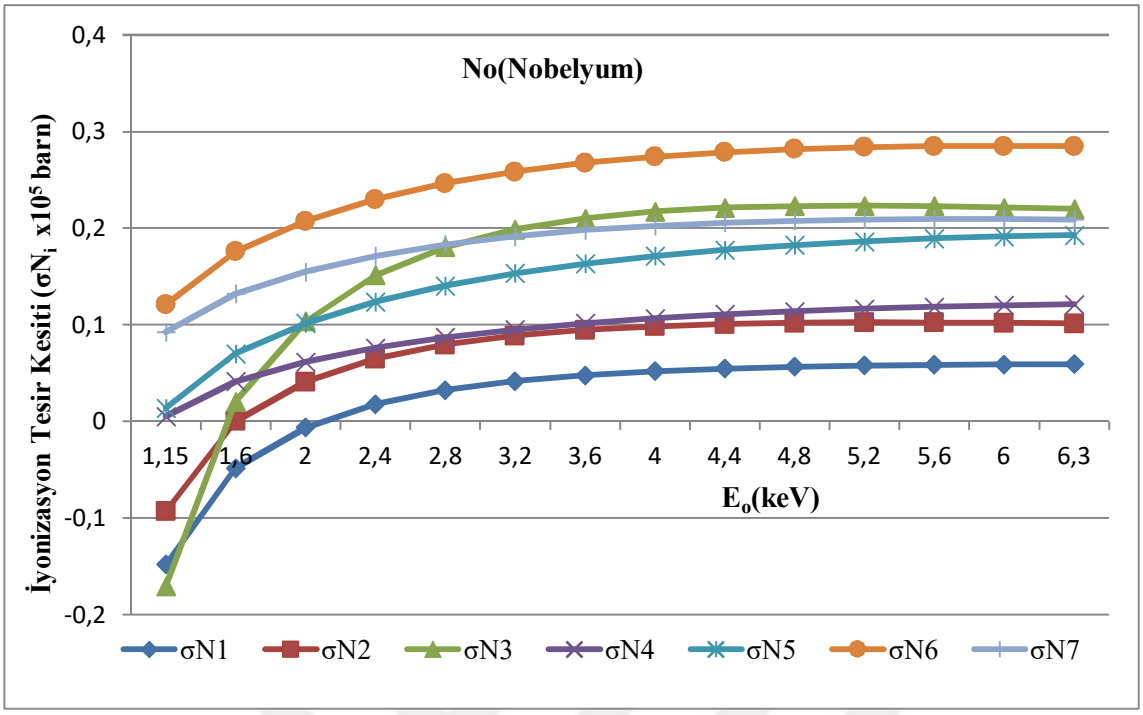
Nobelyum için elde edilen verilen çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.19. $_{102}$No atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan teorik iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10^5}$b	$\sigma_{N2.10^5}$b	$\sigma_{N3.10^5}$b	$\sigma_{N4.10^5}$b	$\sigma_{N5.10^5}$b	$\sigma_{N6.10^5}$b	$\sigma_{N7.10^5}$b	$\sigma_{Ntotal.10^5}$b
1,15	-0,1481	-0,0931	-0,1705	0,0055	0,0141	0,1211	0,0924	-0,1786
1,6	-0,0482	0,0004	0,0206	0,0416	0,0702	0,1759	0,1321	0,3926
2	-0,0061	0,0413	0,1037	0,0618	0,1017	0,2076	0,1551	0,6651
2,4	0,0179	0,0651	0,1514	0,0762	0,1241	0,2301	0,1713	0,8361
2,8	0,0324	0,0796	0,1805	0,0871	0,1407	0,2465	0,1831	0,9499
3,2	0,0418	0,0888	0,1988	0,0952	0,1535	0,2586	0,1917	1,0284
3,6	0,0479	0,0948	0,2102	0,1017	0,1635	0,2676	0,1981	1,0838
4	0,0521	0,0986	0,2173	0,1068	0,1713	0,2741	0,2026	1,1228
4,4	0,0549	0,1008	0,2213	0,1109	0,1776	0,2787	0,2057	1,1499
4,8	0,0568	0,1021	0,2231	0,1142	0,1825	0,2819	0,2078	1,1684
5,2	0,0581	0,1026	0,2235	0,1168	0,1864	0,2838	0,2091	1,1803
5,6	0,0587	0,1025	0,2229	0,1188	0,1894	0,2848	0,2096	1,1867
6	0,0592	0,1021	0,2214	0,1203	0,1916	0,2851	0,2096	1,1893
6,3	0,0593	0,1015	0,2199	0,1213	0,1929	0,2848	0,2092	1,1889



Şekil 4.28. No atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, …… N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin Eo (keV) fonksiyonu olarak değişimi

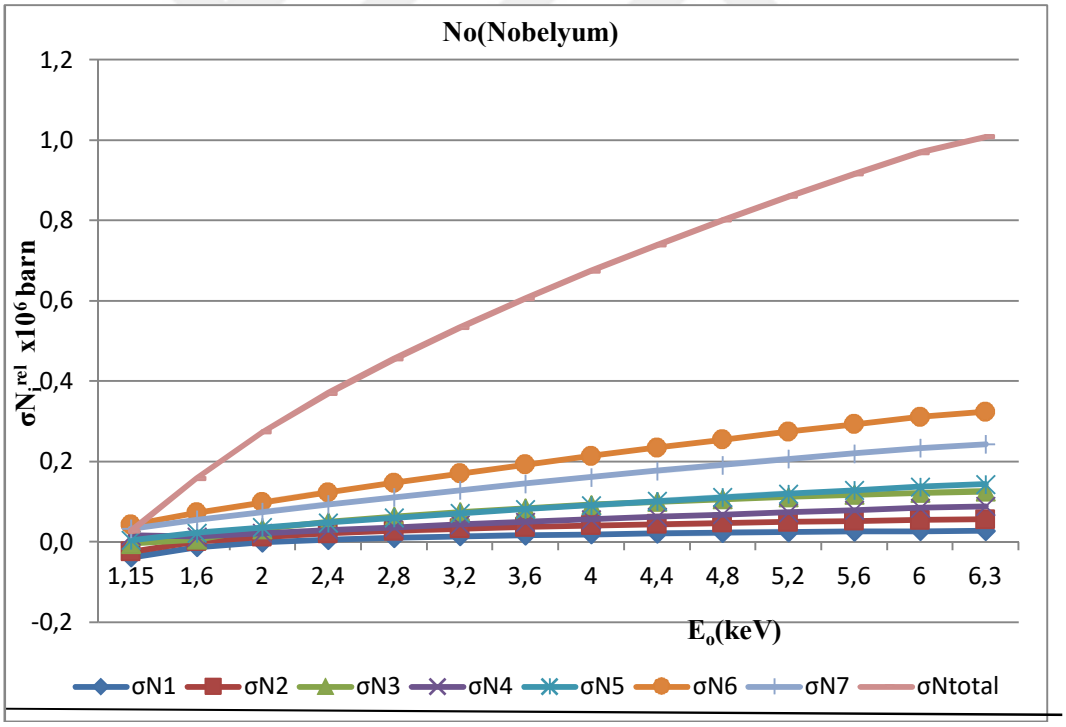


Şekil 4.29. No atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, ... N_7alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

Nobelyum atomu için hesaplanan iyonizasyon tesir kesit değeri N_3 alt kabuğu dışında genelde düzenli bir yükseliş olduğu söylenebilir. Burada N_7 alt kabuğunun eşik enerjisi civarında iyonizasyon olayı bir miktar yükseliş gösterdikten sonra sabit bir değer etrafında diğer eğrilerle paralellik göstermektedir.

Çizelge 4.20. $_{102}$No atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10^6}$b	$\sigma_{N2.10^6}$b	$\sigma_{N3.10^6}$b	$\sigma_{N4.10^6}$b	$\sigma_{N5.10^6}$b	$\sigma_{N6.10^6}$b	$\sigma_{N7.10^6}$b	$\sigma_{Ntotal.10^6}$b
1,15	-0,0385	-0,0248	-0,0046	0,0158	0,0041	0,0422	0,0326	0,0269
1,6	-0,0129	0,0012	0,0059	0,0133	0,0226	0,0728	0,0555	0,1583
2	-0,0017	0,0125	0,0318	0,0217	0,0361	0,0983	0,0746	0,2733
2,4	0,0053	0,0210	0,0498	0,0293	0,0484	0,1229	0,0931	0,3698
2,8	0,0100	0,0274	0,0635	0,0364	0,0598	0,1467	0,1110	0,4548
3,2	0,0136	0,0327	0,0747	0,0432	0,0708	0,1698	0,1283	0,5331
3,6	0,0164	0,0371	0,0841	0,0497	0,0813	0,1921	0,1450	0,6057
4	0,0188	0,0409	0,0923	0,0559	0,0914	0,2138	0,1612	0,6743
4,4	0,0207	0,0442	0,0996	0,0620	0,1012	0,2346	0,1768	0,7391
4,8	0,0225	0,0472	0,1060	0,0679	0,1107	0,2547	0,1918	0,8008
5,2	0,0240	0,0499	0,1119	0,0736	0,1199	0,2741	0,2062	0,8596
5,6	0,0254	0,0524	0,1172	0,0791	0,1288	0,2928	0,2201	0,9158
6	0,0266	0,0546	0,1221	0,0845	0,1374	0,3107	0,2334	0,9693
6,3	0,0275	0,0562	0,1255	0,0884	0,1437	0,3237	0,2431	1,0081

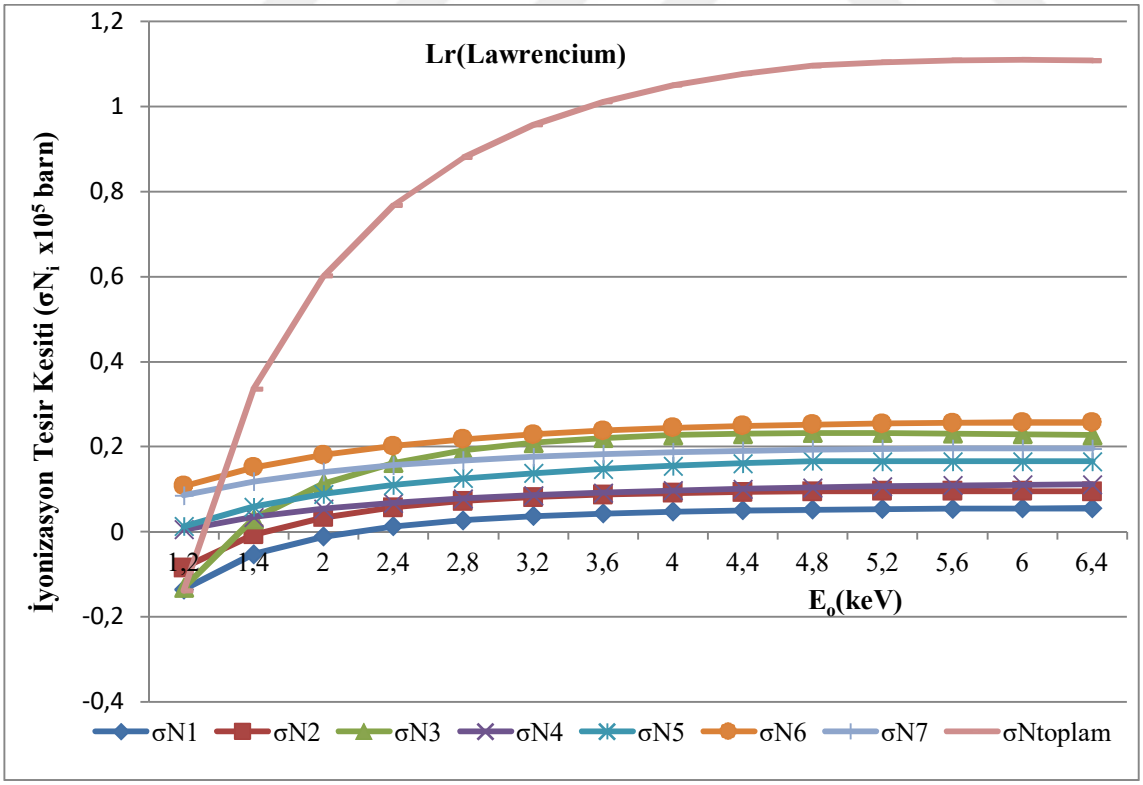


Şekil 4.30. No atomunun N kabuğu ve N_1, N_2,..... N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o (keV) fonksiyonu olarak değişimi

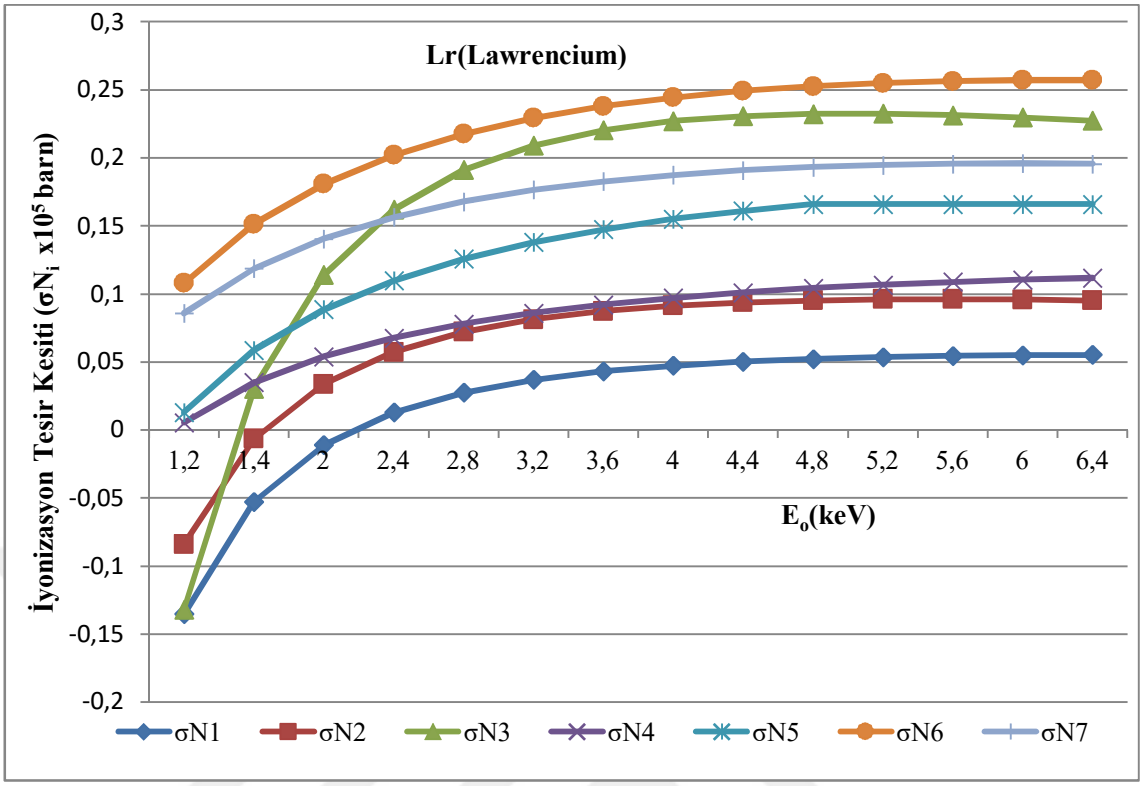
Lawrensyum(Lr) İçin Sonuçlar

Çizelge 4.21. $_{103}$Lr atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan teorik iyonizasyon tesir kesitinin barn cinsinden değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1}.10^5$b	$\sigma_{N2}.10^5$b	$\sigma_{N3}.10^5$b	$\sigma_{N4}.10^5$b	$\sigma_{N5}.10^5$b	$\sigma_{N6}.10^5$b	$\sigma_{N7}.10^5$b	$\sigma_{Ntotal}.10^5$b
1,2	-0,1353	-0,0839	-0,1319	0,0055	0,0132	0,1078	0,0858	-0,1388
1,4	-0,0527	-0,0065	0,0304	0,0349	0,0588	0,1514	0,1186	0,3349
2	-0,0111	0,0339	0,1141	0,0541	0,0886	0,1809	0,1407	0,6012
2,4	0,0128	0,0574	0,1621	0,0677	0,1098	0,2021	0,1564	0,7683
2,8	0,0274	0,0721	0,1911	0,0781	0,1257	0,2176	0,1679	0,8799
3,2	0,0368	0,0813	0,2091	0,0859	0,1379	0,2292	0,1765	0,9567
3,6	0,0431	0,0874	0,2203	0,0921	0,1475	0,2379	0,1828	1,0111
4	0,0473	0,0914	0,2271	0,0971	0,1551	0,2444	0,1875	1,0499
4,4	0,0502	0,0938	0,2308	0,1011	0,1611	0,2492	0,1909	1,0771
4,8	0,0522	0,0953	0,2324	0,1043	0,1661	0,2526	0,1933	1,0962
5,2	0,0535	0,0961	0,2325	0,1068	0,166	0,2549	0,1948	1,1046
5,6	0,0544	0,0961	0,2315	0,1089	0,166	0,2563	0,1956	1,1088
6	0,0549	0,0959	0,2298	0,1105	0,166	0,2571	0,1959	1,1101
6,4	0,0552	0,0953	0,2275	0,1117	0,166	0,2571	0,1957	1,1085



Şekil 4.31. Lr atomunun N kabuğu ve N_1, $N_{2,...}$ N_7alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop} ve σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o (keV) fonksiyonu olarak değişimi

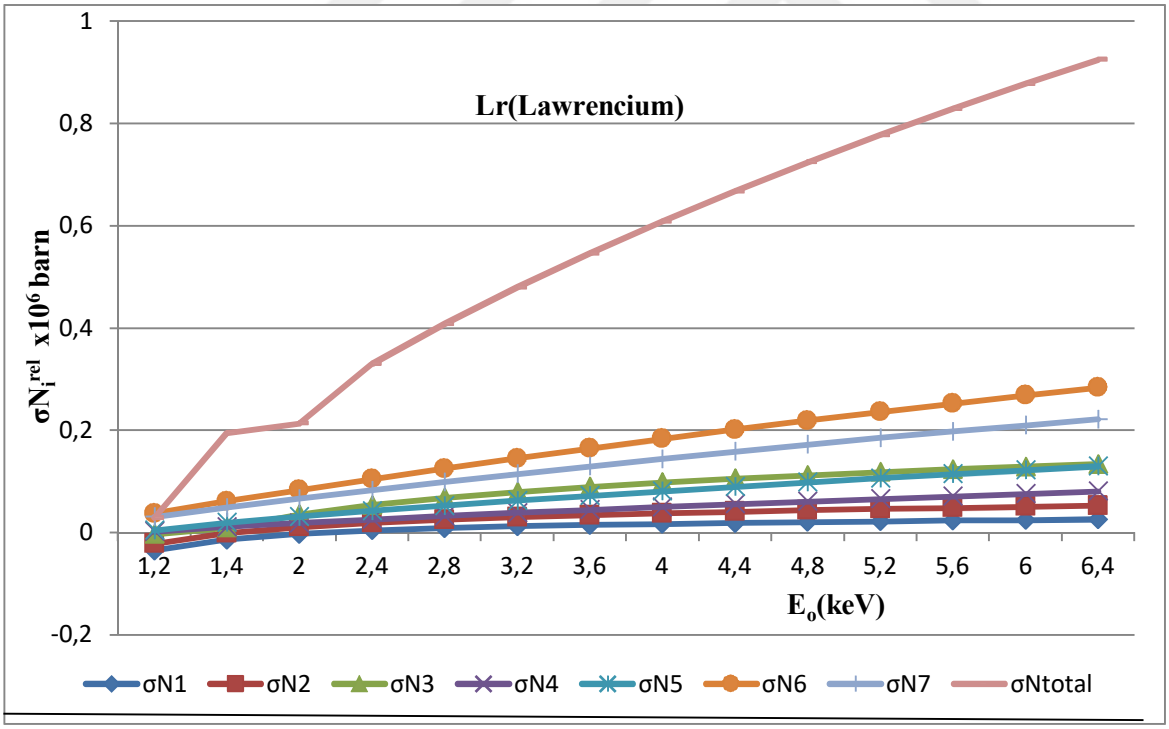


Şekil 4.32. Lr atomunun N kabuğu ve N_1, $N_{2,.....}$ N_7alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ni}, elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

Lavrensiyum atomu için grafik eğrileri incelendiğinde en hassas şekilde elektron bombardıman enerjisinden etkilenen ve eşik enerji değerinden itibaren iyonizasyon tesir kesitinde ani yükseliş gösteren alt kabuğun N_3 olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.22. $_{103}Lr$ atomunun N_1 den N_7 ye kadar elektron alt kabukları ve N toplam kabuğu için hesaplanan σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} değerleri

E_o (keV)	$\sigma_{N1.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N2.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N3.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N4.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N5.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N6.10}{}^{6}b$	$\sigma_{N7.10}{}^{6}b$	$\sigma_{Ntotal.10}{}^{6}b$
1,2	-0,0352	-0,0224	-0,0035	0,0016	0,0038	0,0374	0,0302	0,0282
1,4	-0,0141	-0,0018	0,0087	0,0111	0,0187	0,0609	0,0485	0,1943
2	-0,0031	0,0101	0,0352	0,0186	0,0309	0,0829	0,0657	0,2131
2,4	0,0037	0,0183	0,0537	0,0255	0,0419	0,1042	0,0823	0,3296
2,8	0,0084	0,0245	0,0679	0,0319	0,0522	0,1248	0,0984	0,4081
3,2	0,0118	0,0294	0,0794	0,0381	0,062	0,1448	0,1141	0,4794
3,6	0,0145	0,0336	0,0892	0,0439	0,0714	0,1642	0,1291	0,5459
4	0,0167	0,0372	0,0976	0,0495	0,0804	0,1831	0,1438	0,6082
4,4	0,0186	0,0403	0,1051	0,0551	0,0892	0,2012	0,1579	0,6673
4,8	0,0203	0,0432	0,1118	0,0603	0,0978	0,2188	0,1716	0,7238
5,2	0,0217	0,0457	0,1179	0,0654	0,1061	0,2358	0,1847	0,7772
5,6	0,0231	0,0481	0,1234	0,0704	0,1141	0,2522	0,1974	0,8284
6	0,0242	0,0502	0,1284	0,0753	0,1218	0,2681	0,2096	0,8775
6,4	0,0253	0,0521	0,1331	0,0801	0,1293	0,2832	0,2214	0,9244

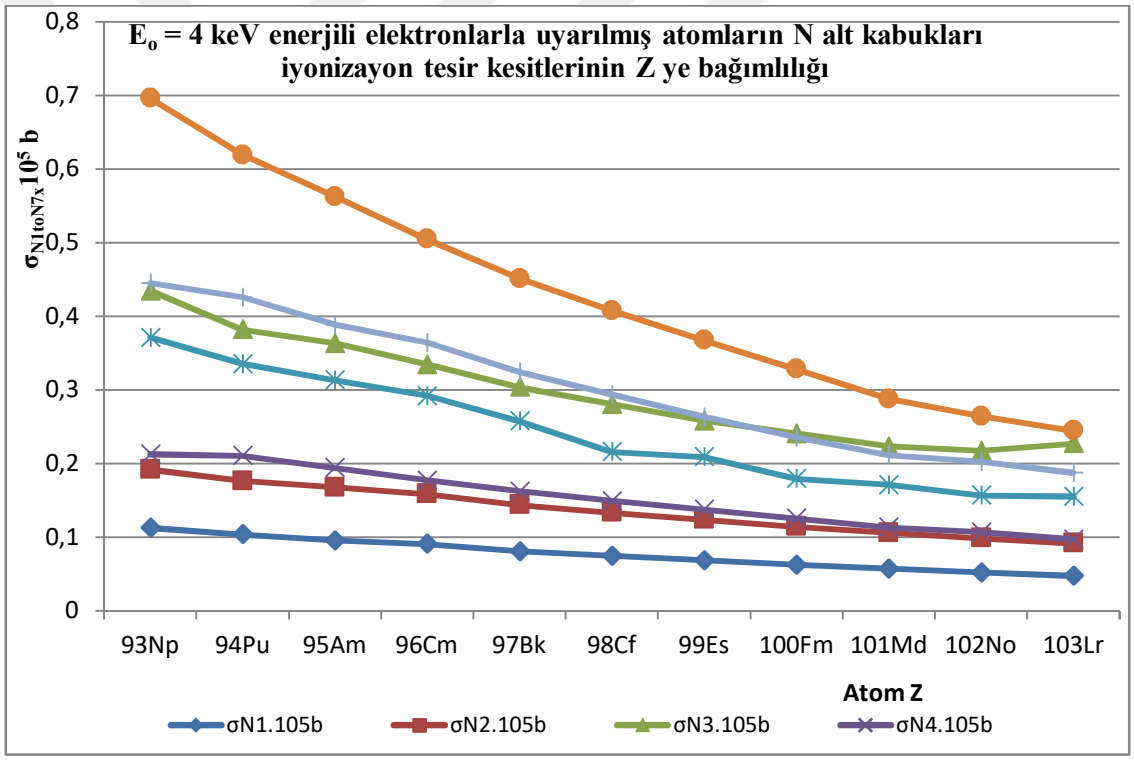


Şekil 4.33. Lr atomunun N kabuğu ve N_1, N_2, ...N_7 alt kabuklarına ait iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{Ntop}^{rel} ve σ_{Ni}^{rel} elektron etkileşim enerjisinin E_o(keV) fonksiyonu olarak değişimi

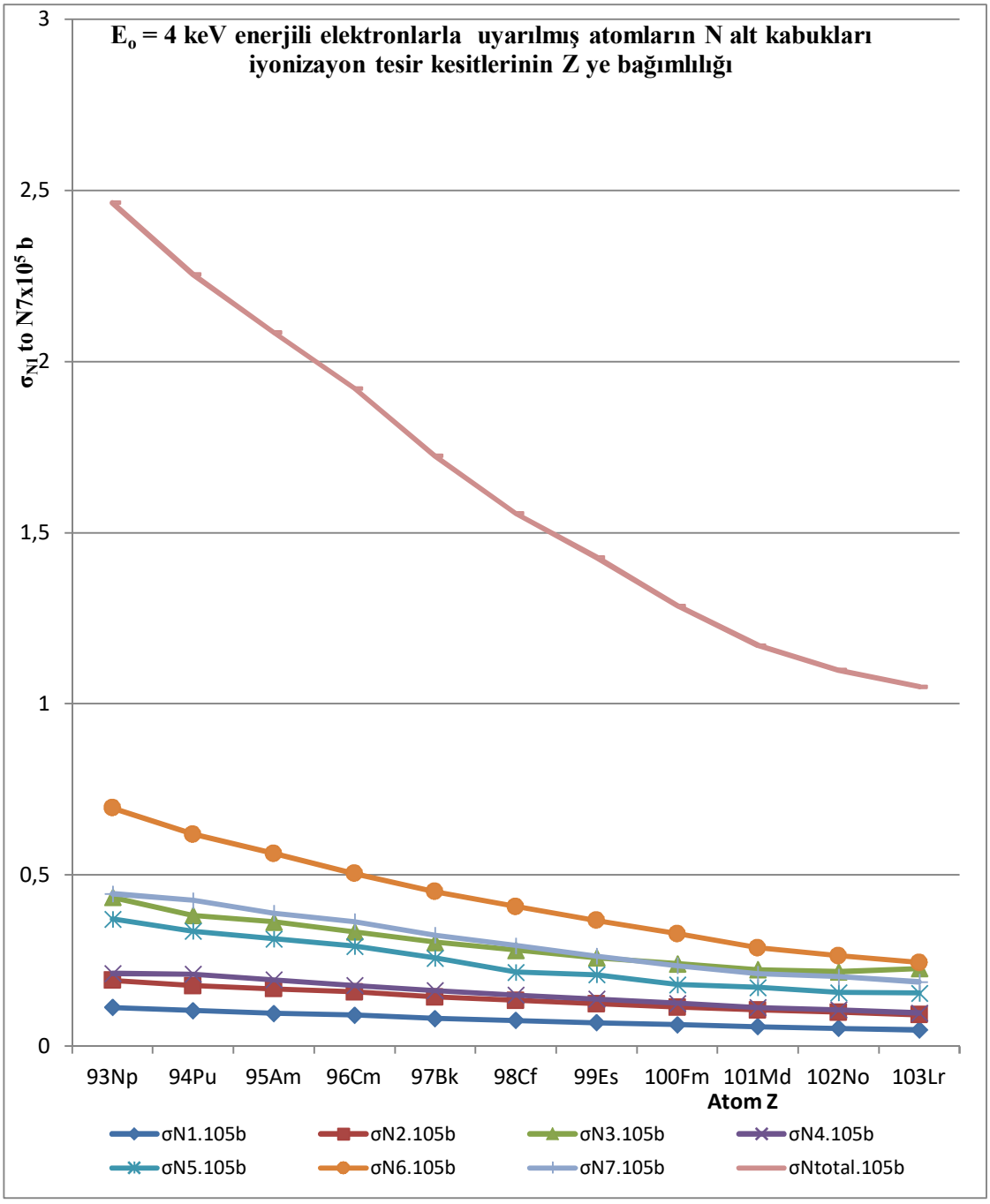
Bu çalışmada ele alınan Np'den Lr'ye kadar olan bütün atomlar için ortak bir enerji değerine sahip(4keV) bombardıman elektronları kullanıldığında, çizelge 4.23te verilen iyonizasyon tesir kesit değerleri elde edilmektedir.

Çizelge 4.23. E_o = 4 keV enerjili elektronlarla uyarılmış atomların N alt kabukları iyonizayon tesir kesitlerinin Z ye bağımlılığının barn cinsinden değerleri

Atom	E_o(keV)	$\sigma_{N1}.10^5$b	$\sigma_{N2}.10$b	$\sigma_{N3}.10^5$b	$\sigma_{N4}.10^5$b	$\sigma_{N5}.10^5$b	$\sigma_{N6}.10^5$b	$\sigma_{N7}.10^5$b	$\sigma_{Ntotal}.10^5$b
93Np	4	0,1127	0,1919	0,4348	0,2127	0,3711	0,6958	0,4449	2,4639
94Pu	4	0,1039	0,1763	0,3822	0,2106	0,3356	0,6191	0,4261	2,2538
95Am	4	0,0955	0,1677	0,3631	0,1941	0,3135	0,5626	0,3883	2,0848
96Cm	4	0,0908	0,1585	0,3344	0,1771	0,2921	0,5045	0,3642	1,9216
97Bk	4	0,0809	0,1437	0,3037	0,1626	0,2578	0,4512	0,3242	1,7241
98Cf	4	0,0748	0,1335	0,2805	0,1494	0,2161	0,4075	0,2936	1,5554
99Es	4	0,0685	0,1238	0,2581	0,1376	0,2089	0,3673	0,2634	1,4276
100Fm	4	0,0623	0,1141	0,2407	0,1253	0,1795	0,3281	0,2355	1,2855
101Md	4	0,0571	0,1059	0,2235	0,1134	0,1713	0,2875	0,2116	1,1703
102No	4	0,0521	0,0986	0,2173	0,1068	0,1567	0,2641	0,2026	1,0982
103Lr	4	0,0473	0,0914	0,2271	0,0971	0,1551	0,2444	0,1875	1,0499



Şekil 4.34. E_o = 4 keV enerjili elektronlarla uyarılmış atomların (Np den Lr'ye) N alt kabukları iyonizasyon tesir kesitlerinin Z ye bağımlılığı



Şekil 4.35. E_o = 4 keV enerjili elektronlarla uyarılmış atomların (Np den Lr'ye) N alt kabukları ve N toplam iyonizayon tesir kesitlerinin Z ye bağımlılığı

Np dan Lr ye kadar olan atomların N alt elektron kabukları aynı enerji değeri ile (4keV) uyarıldığında (bombardıman edildiğinde) atomların iyonizasyon tesir kesitleri farklılık gösterir. Şekildeki eğriler incelendiğinde atomların N alt elektron kabukları iyonizasyon tesir kesitlerinin atom numarası (Z) ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada $_{93}$Np, $_{94}$Pu, $_{95}$Am, $_{96}$Cm, $_{97}$Bk, $_{98}$Cf, $_{99}$Es, $_{100}$Fm $_{101}$Md, $_{102}$No, ve $_{103}$Lr atomlarının N kabuklarına ait elektron bağlanma enerjileri yani iyonizasyon enerjileri literatürden belirlenerek Tablo.1 de verilmiştir. Seçilen hedef atom için kullanılan 14 bombardıman enerjisi, o atoma ait en düşük ve en büyük eşik enerji değerli N_7 ve N_1 elektron alt kabuklarının her birinde uyarım/ iyonizasyon olacak şekilde seçilmiştir. Bu nedenle eşik enerji değerinden itibaren etkileşimde kullanılacak elektronların enerjileri bölgesi, eşik enerji değerlerine yakın olma şartı da gözetilerek en düşük bağlanma enerjisinin yaklaşık, 1-6 katı kadar bir enerji aralığı seçilmiştir. Daha sonra bu atomların N kabuğundaki elektronlarını koparabilmek için, yani hedef atomu bu enerji seviyesinde uyarabilmek için Tablo.1 de verilen en küçük bağlanma enerjilerinden başlayarak daha yüksek enerjili elektronlar kullanılmıştır. Anılan atomlara ait tablolar incelendiğinde; örneğin $_{93}$Np için iyonizasyon tesir kesitlerinin σ_{N1}, σ_{N2}, σ_{N3}, σ_{N4}, σ_{N5}, σ_{N6} ve σ_{N7} sırasına uyarak uyarıldıkları, yani başlangıçta iyonizasyon eşik enerjisi en düşük olan yörüngedeki elektronların iyonlaşmaya başladıkları görülmüştür. Bu durum diğer atomlara ait tablolarda da görülmektedir. Elektron etkileşim enerjisi arttıkça iyonizasyon tesir kesitleri değerleri farklı miktarlarda artmaktadır: Örneğin σ_{N1}, ile σ_{N2}, σ_{N3}, σ_{N4}, σ_{N5}, grafikleri eşik enerjisine yakın bölgede kesişmektedir. σ_{N1}, değeri σ_{N2}, σ_{N3}, σ_{N4}, σ_{N5}, değerlerinden daha az arttığı için onlar tarafından kesilmektedir. Yüksek enerjilere yaklaşıldığında ise σ_{N1}, σ_{N2}, çok az artmakta fakat σ_{N6}, σ_{N7}, daha büyük artışlarla hatta σ_{Ntotal} da hepsinin artış miktarlarının toplamı kadar artmaktadır. Bu karşılaştırmalardan hareketle Coster-Kronig ve Auger Elektron salınmalarına ait tesir kesitlerinin alt kabuk iyonizasyon tesir kesitlerine nasıl etki yapacağını kestirmek kolay değil. Mutlaka etkileşim için gelen elektronun alt yörüngelerden geçerken gördüğü etkin elektron yük yoğunlukları değişimleri, ve elektronların hareketleri nedeniyle sahip oldukları kendilerine özgü ve yakınlarındaki diğer elektronların öz magnetik alanları bileşkelerinin toplamı, mermi olarak kullanılan elektronun elektro magnetik alanıyla etkileşimi de iyonizasyon tesir kesiti değerlerine doğrudan etki edecek faktördür. Bu etki de relativistik etki hesaba katılarak bulunan değerlerden anlaşılmaktadır. Daima relativistik ionizasyon tesir kesiti değerleri her bir atom için relativistik olmayan değerlerden az miktarlarda daha büyük bulunmuştur. Her hangi bir atoma ait ilgili

relativistik olmayan ve relativistik tablolardaki karşılıklı tesir kesitleri her hangi bir elektron etkileşim değeri için karşılaştırılarak veya oranlanarak tesir kesitindeki değişim miktarı değerlendirilebilir. Bu çalışmada sunulan tüm N alt kabukları tesir kesiti değerleri, transuranik(uranyum ötesi) atomların N alt kabukları iyonizasyon enerjisi değerlerine çok yakın elektron-atom etkileşimleri için ilk ve sistematik hesaplanmış ve referans değerler olarak kullanıma hazırdır. Bu konuda planlanacak deneysel çalışmalara da ön referans bilgiler olacak niteliktedir. Datalara topluca bakıldığında her bir σ_{Ni}(i=1,2,…7) alt kabuğu iyonizasyon tesir kesitleri ve σ_{Ntotal} N toplam iyonizasyon tesir kesiti atom numarası Z, 93'ten 103'e değiştikçe exponansiyel olarak azalmaktadır.

6. KAYNAKLAR

Aksoy, E. 2015. Elektron Etkisiyle Metan Molekülünün Düzlemsel Geometride İyonlaşma Tesir Kesitlerinin Ölçülmesi, Y. Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe üniversitesi, Afyonkarahisar, 74.

Aydeniz, D. 2015.Elektron -Atom ($_{76}$Os,$_{78}$Pt, $_{80}$Hg, $_{82}$Pb, $_{84}$Po, $_{86}$Rn, $_{88}$Ra, $_{90}$Th, $_{92}$U, $_{94}$Pu) Etkileşmesiyle L İç Kabukları İyonizasyon Eşiği Seviyesinde Uyarılması ve Tesir Kesitlerinin Lotz Denklemiyle Hesaplanması, Y. Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle üniversitesi, Diyarbakır, 71.

Aydinol, M. 1981. Ionization of xenon L subshells by low-energy electron impact. J of Phys. B: Atom Mol. Phys. 14: 741-750.

Aydinol M., Aydeniz D, Following Electron Impact Excitations of (Os, Pt, Hg, Pb, Po) Single Atom L Subshells Ionization Cross Section Calculations by Using Lotz's Equation, Book of Abstracts of BPU9 Congress, 24-27/8/2015, İstanbul, Turkey

Aydinol, M., Aydeniz D. Following Electron Impact Excitations of (Rn, Ra, Th, U, Pu) Single Atom L Subshells Ionization Cross Section Calculations by Using Lotz's Equation, AIP Conference Proc. 1722, 060001-1-060001 -4; doi: 10.1063/1.4944146(2016); http://dx.doi.org/10.1063/1.4944146:BPU9, Book of Abstracts of BPU9 Congress, 24-27/8/2015, İstanbul, Turkey.

Aydinol M, Aydeniz D. Following electron impact excitations of single (Os, Pt, Hg, Pb, Po) atoms L subshells ionization cross section calculations by using Lotz's equation, AIP Conference Proc. 1722, 0600028(2016); [http://dx.doi.org/10.1063/1.4944147]: BPU9, 24-27 August 2015, Istanbul, Turkey.

Aydinol M, Following electron impact excitations of single(N, O, F, Ne, Na, Mg, Al, Si) atoms L subshells ionization cross section calculations by using Lotz's equation, AIP Conference Proc. 1815, 030001(2017); [http://doi.org/10.1063/1.4976349]:TFD32, 6-9 September 2016, Bodrum, Turkey.

Aydinol M, Following electron impact excitations of single(Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni) atoms L subshells ionization cross section calculations by using Lotz's equation, AIP Conference Proceedings,1815,030002(2017), [http://doi.org/10.1063/1.4976350]:TFD32, 6-9 September 2016, Bodrum, Turkey.

Aydinol M, Following electron impact excitations of single(Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh Pd) atoms Relativistic L subshells ionization cross section calculations by using Lotz's equation, UPHUK6 Conference, 29-31 2016 August, Book of Abstracts, Bodrum, Turkiye.

Aydinol M, Following Electron Impact Excitation of Single(As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo) Atom Nonrelativistic L Subhell Ionization Cross Sections by Using Lotz's Equations, TFD33 Congress, 6-9 September 2017, Book of Abstracts, Bodrum, Turkey.*(to be published in AIP Conference Proceedings at early 2018).*

Aydinol M, Following Electron Impact Excitation of Single(Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te) Atom Nonrelativistic L Subhell Ionization Cross Sections by Using Lotz's Equations, TFD33

Congress, 6-9 September 2017, Book of Abstracts, Bodrum, Turkey.*(to be published in AIP Conference Proceedings at early 2018).*

Aydinol M, Following Electron Impact Excitation of Single(Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La) Atom Nonrelativistic M Subhells Ionization Cross Sections by Using Lotz's Equations, International Advanced Researches and Engineering Congress-2017, http://iarec.osmaniye.edu.tr/Osmaniye/Turkey.

Aydinol M. (2018), Following Electron Impact Excitation of Single $_{58}$*Ce to* $_{67}$*Ho* Atom M Subhell Ionization Cross Sections by Using Lotz's Equations, ***TFD34 Intern. Physics Conf.*** *4-9 Sept. 2018 Bodrum, Turkey; AIP Conf. Procs* 2042, 020020(2018). [http://doi.org/10.1063/1.5078892].

Aydinol M. (2019), 106Sg, to 118U atoms O subshell ionization cross sections by using Lotz's equation, ***AIP Conf. Procs*** *2178, 030024 ;* [https://doi.org/ 10.1063/1.5135422]:Pub. Online: 25th Nov.2019.

Aydinol M. Following Electron Impact Excitation of Single $_{78}$Pt, $_{79}$Au, $_{80}$Hg, $_{81}$Tl, $_{82}$Pb, $_{83}$Bi Atoms N Subhell Ionization Cross Sections by Using Lotz's Equations, *The 1st Intern. Conference on Contemporary Problems Physics and Mathematics with Applications,*4-6 Sept., 2020 Baku, Azerbaijan.

Bederson, B., Fıte, W. L. 1968. Methods of experimental physics. Atomic and Electron Physics Atomic Interactions Part A.Editör; Marton L. (7): 1-95.

Bederson, B. Kieffer, L. J. 1971. Total Electron - atom collision cross sections at low energies. Rev. Mod. Phys. 43: 601-640

Burhop E.H.S, Theory of collisions. *Quantum theory.A Press.* 299-436. New York, 1961

Burke, G. Philip., Joachain, J. Charles. 1995. Theory of electron-atom collisions. Plennum Press, sayfa: 270.

Byron, F.W. and Joachain, C.J. (1989). Phys.Report. 179, 211- 272.

Dogan, M., Crowe, A., Bartschat, K., Marchalant, P. J. (1998). Simultaneous excitation-ionization of Heliumtothe He+(2p) state. ***Journal of Physics B****: Atomic, Moleculerand Optical Physics,* **31:** 1611–1624.

Durakev G. F. (1987). "Collisions of Electrons With Atoms and Molecules" Plenum Pres NewYork and London.

Erbil, H. 1990. Kuantum Fiziği. Ege Üniversitesi Basımevi, sayfa:380. Bornova-İzmir.

Ferreıra, J.G. 1987. X-ray Spectroscopy In Atomic And Solid State Physics. Plenum Press. New York. 423s.

Gelir, A. 2011. Elektron-Atom(Ar, Ni, Kr, Xe ve W) Etkileşmesiyle İç Kabuğu İyonizasyonu Eşiği Seviyesinde Uyarılması ve İyonizasyonTtesir kesitlerinin Lotz Denklemiyle Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enst., Dicle Üniversitesi, Diyarbakır. 68.

Haque, A. K. F., M R Talukder, M. R., Shahjahan M. M A Uddin, M. A., Basak, A. K., Saha, B.C. 2010. An extended empirical formula forinner-shell ionization of atoms. Journal of physicis B: Atomic, molecular and optical physicis. 43: 8.

Ishii, K., Kamiya, M., Sera, K., Morita, S. 1977. Inner-shell ionization by ultrarelativistic electrons. Physical Review A. 15(3): 906-913.

James H. ScofieId. 1978. K and L shell ionization of atoms by relativistic electrons. Physical Review A. 18(3): 963-970.

Kansu, M. E. 2007. Astrofizikteki Nükleer Reaksiyonların Tesir kesiti Hesaplamaları. Yüksek lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya. 107.

Kürkçüoğlu, M. E. 2006. $_{16}O + _{16}O$ Esnek Saçılmasının Fenomenolojik ve Mikroskobik Potansiyeller ile Optik Model Analizleri. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi. 247.

Lahmam – Bennani, A. (2002). J.Elec.Spect., 123, 365-376.

Langmuir and Jones, (1928). Phys. Rev., 31, 357.

Lotz, W. Electron impact ionization cross section and ionization rate coefficients for atoms and ions. Astrophysical Journal Supplement. 14: 207-238,1966.

Lotz, W. 1967. Electron-Impact Ionization Cross-Sections and Ionization Rate Coefficients for Atoms and Ions. Astrophysical Journal Supplement. 14(2): 207 -238.

Lotz, W. 1967. An empirical formula for the electron-impact ionization cross-section. Zeitschriftfür Physik A Hadrons and Nuclei. 206(2): 205-211, 1967

Lotz, W. 1970. Electron-impact ionization cross-sections for atoms up to Z=108. Zeitschriftfür Physik A Hadrons and Nuclei. 232(2) : s 101-107.

Marchalant P.J, 1996. (e,2e) Excitation-Ionization of Helium. PhD Thesis, The Queen's University of Belfast.

Mott N.F., Massey H.S.W. 1987. The Theory of Atomic Collisions. Oxford Science Publications.

McCarthy, I. E., Weigold, E. 1991. Electron momentum spectroscopy of atoms and molecules. Rep. Prog. Phys. 54: 789-879.

McCarthy, I. E. And Weigold, E. (1995). Electron-atom collision, Cambridge University Press.

Müller-Fiedler, R., Schlemmer, P. And Jung, K., Ehrhardt, H., (1985). Absolutetriple Differential cross sections for electron impacti onization of helium: Comparison Between experimental and theoretical results at 256 eV collision energy Z. Phys. A. 320: 89-94.

Nagatomi, T. 2005. Monte Carlo modeling of electron-excited X-ray emission from bulk material sandthin-film/substrate systems. Surface and interface analysis. 37: 887-894

Öz, E. ve ark. 2001. "Measurement of atomic L Shell Coster-Kronig yields (f12, f23 and f13) for some elements in the atomic number range $59 \leq Z \leq 90$'', ***J. Phys. B: At.***

Mol. Opt. Phys., 34, 631-638.

Pessa V. M, W. R. Newell, Eelectron impact ionization cross sections of inner atomic shells, Physica Scripta (Sweden) 3, 165-168, 1971.

Porter, F.T.,and M. S. Freedman. "Recommended Atomic Electron Binding Energies, 1s to 6p3/2, for the Heavy Elements, Z = 84 to 103" *J. of Phys. andChem. Ref. Data,* Vol.7, 4, 1978, pp. 1267–1284.

Puri, S., Singh N., 2006. Li (i= 1-3) subshell fluorescence and Coster-Kronig yields For elements with 70≤Z≤92, ***"Radiation Physics and Chemistry"*** *75,* 2232–2238.

Rao, P.V., Cesareo, R. And Gıgante, G. E., 1995. "L X-Ray Fluorescence Cross-Section, Fluorescene Yield and Intensity Ratios For Auand Pb At Excitation Energies. 21.56, 31.64 and 34.17'', ***Rational Physics Chem.,*** 46. 17-22.

Rescigno, T.N., Baertschy M., Isaac W.A. andMcCurdyC.W.,(1999).Science,

Scofield James H., 1970. K- and L-shell ionization of atoms by relativistic electrons, Physical Rev. 3,18, 963,970.

Taş, R. 2011. Atom Numarası 61 ≤ Z ≤71 Arasındaki Elementlerin L Tabakasına Ait Tesir kesit ve Coster-Kronig Şiddetlendirme Faktörlerinin Hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 54.

Trajmar S., McConkey J.W. and Kanik I., (1994). Atomic, Molecular and Optical Physics Handbook*,* American Institue of Physics, p. 712-723.

Tuzluca, F. N. 2007. Bazı Elementlerin L tabakasından M ve N Tabakasına Boşluk Geçiş İhtimallerinin Ölçülmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş 73.

Ulu, M. 2007. Elektron - Elektron Çakışma Deney Düzeneğinin Kurulması ve Düzeneğin Simülasyonu. Fen Bilimleri Enstitüsü Selçuk Üniversitesi, Konya.56.

Williams, G. Electron Binding Energies*.* *http://www.jlab.org/~gwyn/ebindene.html.* Accessed on January, 2010.

Yılmaz ve ark. 2009. Measurement of Coster-Kronig enhancement factors forYb, Lu, Os and Pt Elernents. ***"Radiation Physicsand Chemistry",*** 78, 318–322.

Yılmaz, R. and Arıcı K., 2010. Measurements of Coster-Kronig Enhancement Factors and L Subshell X-Ray Fluorescence Cross-Sectionsfor 55Cs Vol. 22,No 7, "***Asian Journal of Chemistry****",* 5463–54.