

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNSAN SAÇININ NÖTRON AKTİVASYON ANALİZİ YÖNTEMİ İLE  
KALİTATİF ve KANTİTATİF ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Emine GÜNAY**

**Anabilim Dalı : Fizik Mühendisliği**

**Programı : Fizik Mühendisliği**

**OCAK 2010**





**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNSAN SAÇININ NÖTRON AKTİVASYON ANALİZİ YÖNTEMİ İLE  
KALİTATİF ve KANTİTATİF ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Emine GÜNAY  
(509051102)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009  
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cenap Ş. ÖZBEN (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Kerem CANKOÇAK (İTÜ)  
Doç. Dr. İskender REYHANCAN(NKÜ)**

**OCAK 2010**





## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, her türlü desteğiyle yanımda olan danışman hocam sayın Doç. Dr. Cenap Ş. ÖZBEN'e çok teşekkür ederim. Üniversitemizin Enerji Enstitüsündeki reaktöründe çalışmalarımı sorunsuzca yapmamı sağlayan ve bu konuda yardımlarını esirgemeyen İTÜ Enerji Enstitüsü Müdürlüğü'ne ve çalışanlarına teşekkürlerimi bir borç bilirim. Reaktördeki ışınlamalarım sırasındaki yardımlarından dolayı özellikle sayın Dr. Muhittin Okka ve Sahip Kızıлтаş'a, laboratuvarında data analizlerinde yardımlarından ve tecrübelerinden faydalandığım arkadaşım Yük. Fizikçi M. Erhan Emirhan'a, son olarak da her zaman beni destekleyen ve yanımda olan aileme çok teşekkür ederim.

Aralık 2009

Emine GÜNEY



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                        |      |
|--------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                             | iii  |
| İÇİNDEKİLER.....                                       | v    |
| KISALTMALAR.....                                       | vii  |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                   | ix   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                     | ixi  |
| ÖZET.....                                              | xiii |
| SUMMARY.....                                           | xv   |
| 1. GİRİŞ .....                                         | 16   |
| 2. GAMA IŞINLARI.....                                  | 5    |
| 2.1 Gama Işınlmasının Madde ile Etkileşimi.....        | 5    |
| 2.1.1 Fotoelektrik soğurma .....                       | 5    |
| 2.1.2 Compton saçılımı .....                           | 7    |
| 2.1.3 Çift oluşumu.....                                | 8    |
| 2.2 Yarı İletken Dedektörler .....                     | 10   |
| 3. SAYIM SİSTEMİ.....                                  | 13   |
| 3.1 Yüksek Saflıklı Germanyum (HPGe) Dedektörler ..... | 13   |
| 3.2 Spektroskopi Yükselteci .....                      | 14   |
| 3.3 Çok Kanallı Analizör.....                          | 14   |
| 3.4 Kurşun Zırh Sistemi .....                          | 14   |
| 4. KALİBRASYONLAR.....                                 | 15   |
| 4.1 Enerji Kalibrasyonu .....                          | 15   |
| 4.2 Dedektörün Verim Kalibrasyonu .....                | 16   |
| 5. NÖTRON AKTİVASYON ANALİZİ .....                     | 19   |
| 5.1 Numune Toplama ve Hazırlama .....                  | 20   |
| 5.2 Çizelgeler .....                                   | 24   |
| 5.3 Grafikler.....                                     | 29   |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                             | 41   |
| KAYNAKLAR.....                                         | 43   |
| EKLER.....                                             | 45   |



## **KISALTMALAR**

|                |                                                          |
|----------------|----------------------------------------------------------|
| <b>ADC</b>     | : Analog Digital Converter                               |
| <b>NAA</b>     | : Nötron Aktivasyon Analizi                              |
| <b>MCA</b>     | : Multi Channel Analyzer                                 |
| <b>HPGe</b>    | : High Purity Germanium                                  |
| <b>FWHM</b>    | : Full Width Half Maximum                                |
| <b>IAEA</b>    | : International Atomic Energy Agency                     |
| <b>GPS</b>     | : Gamma Per Second                                       |
| <b>PIXE</b>    | : Proton Induced X-Ray Emission                          |
| <b>ICP-MS</b>  | : Inductively Coupled Argon Plasma Mass Spectrometry     |
| <b>ICP-AES</b> | : Inductively Coupled Argon Atomic Emission Spectrometry |
| <b>Ge(Li)</b>  | : Lityum katkılı germanyum dedektör                      |
| <b>XRA</b>     | : X Ray Analysis                                         |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 5.1 :</b> Hekimhan yöresinden alınan 10 numuneye ait NAA yöntemi ile belirlenen element miktarları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).....  | 24 |
| <b>Çizelge 5.2 :</b> Hekimhan yöresinden alınan 10 numuneye ait NAA yöntemi ile belirlenen element miktarları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).....  | 25 |
| <b>Çizelge 5.3 :</b> İstanbul bölgesinden alınan 10 numuneye ait NAA yöntemi ile belirlenen element miktarları ( $\mu\text{gr/gr}$ )..... | 26 |
| <b>Çizelge 5.4 :</b> İstanbul bölgesinden alınan 10 numuneye ait NAA yöntemi ile belirlenen element miktarları ( $\mu\text{gr/gr}$ )..... | 27 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 : Pb için fotoelektrik tesir kesiti. Kesikli sıçramalar elektron kabuklarının bağlanma enerjilerine karşılık gelir .....                        | 6  |
| Şekil 2.2 : Dedektörün tek enerjili $\gamma$ -ışınları için vereceği tipik bir cevap (Fotopik)...                                                         | 7  |
| Şekil 2.3 : $\gamma$ -ışınının dedektör içinde detektör malzemesi ile etkileşmesi sonucu meydana gelen olaylar ..                                         | 9  |
| Şekil 2.4 : $\gamma$ -ışınlarının enerjilerine göre etkileşme olasılıkları ve bu etkileşmelerin baskın olduğu bölgeler. ....                              | 10 |
| Şekil 2.5 : İletken, yarı iletken ve yalıtkan maddelerde enerji-bant aralığı. ....                                                                        | 11 |
| Şekil 3.1 : Sayım sistemi. ....                                                                                                                           | 13 |
| Şekil 4.1 : Genie 2000 analiz programında oluşturulan enerji kalibasyonu. ....                                                                            | 16 |
| Şekil 4.2 : Kaynak- dedektör penceresi mesafesi 5 cm iken mutlak verim. ....                                                                              | 16 |
| Şekil 4.3 : Dairesel bir dedektör için katı aç $\Omega$ . ....                                                                                            | 17 |
| Şekil 5.1 : Işınlanmış örnek aktivitesinin zamana göre değişimi. ....                                                                                     | 20 |
| Şekil 5.2 : Tavşan sisteminde 5 dakika ışınlama sonrasında 5 dakika sayımı alınan bir numuneye ait gama enerji spektrumu. Soğuma süresi 2 dakikadır. .... | 21 |
| Şekil 5.3 : Au ve As elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).....                              | 29 |
| Şekil 5.4 : Sb ve W elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).....                               | 30 |
| Şekil 5.5 : Zn ve K elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).....                               | 31 |
| Şekil 5.6 : La ve Mg elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).....                              | 32 |
| Şekil 5.7 : Mn ve Cu elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).....                              | 33 |
| Şekil 5.8 : In ve Na elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).....                              | 34 |
| Şekil 5.9 : V ve Cl elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).....                               | 35 |
| Şekil 5.10 : Al ve Br elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).....                             | 36 |
| Şekil 5.11 : Cr ve Zr elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).....                             | 37 |
| Şekil 5.12 : Mo ve Co elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).....                             | 38 |
| Şekil 5.13 : Ta elementine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).....                                      | 39 |



## **İNSAN SAÇININ NÖTRON AKTİVASYON ANALİZİ YÖNTEMİ İLE KALİTATİF ve KANTİTATİF ANALİZİ**

### **ÖZET**

Bu tez çalışmasında iki farklı bölgede yaşayan insanlardan toplanan 40 adet saç numunesindeki elementer konsantrasyonlar, Nötron Aktivasyon Analizi (NAA) yöntemi ile belirlenmiş ve Mg, Mn, Cu, In, Na, V, Cl, Al, Br, Au, As, Sb, W, Zn, K, La, Ta, Cr, Zr, Mo ve Co elementleri için konsantrasyonlar (gramdaki mikrogram) tayin edilerek sonuçların yaşa, cinsiyete ve bölgeye (şehir ve kırsal kesim) göre dağılımlarına bakılmıştır.

Saç içerisindeki elementer konsantrasyonlarının dağılımları çevresel faktörler, beslenme, genetik, saç rengi gibi birçok faktöre bağlı olduğundan, kişiye özgü karakteristik bir özellik taşırlar. Numuneler boya veya kına kullanmayan kişilerden toplanmış ve bölgesel farklılıkları irdelleyebilmek için de son on yıldır aynı bölgede yaşayan kişiler tercih edilmiştir. Toplanan saç örneklerinin yaklaşık yarısı taşırayı temsil eden Malatya iline bağlı Hekimhan ilçesinde yaşayan insanlardan, kalanı ise İstanbul'da ikamet eden insanlardan toplanmıştır.

Numuneler alkol ve saf su ile bu tür numunelerin temizlenmesinde kullanılan standart metotlar kullanılarak temizlenmiştir.

İşinlamalar İTÜ Enerji Enstitüsünde bulunan TRIGA-MARK II reaktöründe yapılmıştır. Herbir numuneden iki farklı örnek alınarak 40 örnek kısa yarı ömürlü radyonüklidlerin tayini için kısa süreli işinlamalara (5 dk), diğer 40 örnek de uzun ömürlü radyonüklidlerin tayin edilmesi için uzun süreli işinlamalara (1-1.5 saat) maruz bırakılmıştır. Kısa süreli işinlamaların akabinde spektrumlar Enerji Enstitüsünde bulunan yüksek saflıklı germanyum detektör ile, uzun süreli işinlama yapılan numunelerin spektrumları ise Fizik bölümündeki benzer detektör ile alınmıştır. Alınan bütün gama spektrumlarının analizi, Fizik bölümü nükleer fizik araştırma laboratuvarında bulunan Genie2000 programı kullanılarak yapılmıştır.

Spektrumlardan kalitatif ve kantitatif sonuçlara gidebilmek için detektörlerin enerji ve verim kalibrasyonları yapılmıştır.

Bulunan elementer konsantrasyonların yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağımlılığı incelenmiştir.



## **QUALITATIVE AND QUANTITATIVE ANALYSIS OF HUMAN HAIR WITH NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS**

### **SUMMARY**

Neutron Activation Analysis technique was used for determining concentrations of Mg, Mn, Cu, In, Na, V, Cl, Al, Br, Au, As, Sb, W, Zn, K, La, Ta, , Cr, Zr, Mo and Co elements in 40 hair samples collected from the people who live in the rural and urban areas. The possible correlations between the concentration values and age, sex and living regions of the samplers were studied in this work.

Concentrations of the elements in human hair depend on many parameters such as, environmental factors, genetics, nutrition, color of the hair and the race. Therefore, the concentration map of the elements is unique to the person like a finger print. None of our samples contained hair with paint or henna. In order to be able to study the regional dependence, all of our samplers were chosen to be the people who have been living in their region for at least ten years. Half our samples were collected from Hekimhan region of Malatya city where is considered to be rural area. Other half of our samples was collected from the people who live in Istanbul.

Samples were cleaned with alcohol and purified water according to the standard procedure given in the literature. Irradiations took place in TRIGA MARK II reactor in the Energy Institute of our university. Two samples from each hair was taken and one of them was irradiated for the determination of the short-lived radioisotopes for 5 minutes while the other was irradiated for the long-lived radioisotopes for 1-1.5 hours. Spectra from the short irradiations were taken using a high purity germanium detector located in the reactor building. Another high-purity germanium detector in the Physics building was used for the record of the long-lived spectra of the irradiated samples. Analysis of the spectra was performed with Genie2000 software of nuclear physics research laboratory of physics department.

Qualitative and quantitative results were obtained after proper energy and efficiency calibrations of the counting systems.

Correlations of concentrations of elements in the samples with age, sex and region were studied.



## 1. GİRİŞ

Nötron aktivasyon analizi (NAA) tekniği oldukça eski bir teknik olmakla birlikte, numune içerisindeki eser elementlerin tespit edilmesi açısından günümüzde halen yeni malzemeler için yaygın olarak kullanılan tekniklerden birisidir [1]. NAA çok geniş bir alana uygulanabilmesinin yanı sıra, oldukça hassas sonuçlar veren, çok az miktarda numune ile sonuç alınabilen, elementer konsantrasyonun hesaplanmasında önemli bir yere sahip, çoklu element analiz yöntemidir [2]. Tekniğin milyonda bir hassaslıkta eser miktardaki elementleri tayin edebilmesi yeteneğinden dolayı son derece güvenilirdir.

Saç analizi için kullanılan X-Işını analizi (XRA), proton katkılı X-Işını yayılımı (PIXE) spektroskopisi, endüktif bağdaşmalı plazma-atomik kütle spektroskopisi (ICP-MS), endüktif bağdaşmalı plazma-atomik absorpsiyon spektroskopisi (ICP-AES), soğuk buharlı atomik absorpsiyon analizi gibi birçok analiz yöntemi olmakla birlikte, örnek miktarının az olduğu durumlarda dahi, saç içerisinde element konsantrasyonunun doğru olarak belirlenebilmesindeki en hassas yöntem NAA yöntemidir [3].

Saçta elementer analiz, özellikle adli tıpta bilhassa As elementi için [4,5], çevresel kontaminasyonlardan kaynaklanan ağır elementlere maruz kalmış insanların saç örneğinin içeriğindeki eser elementlerin tayin edilmesinde (As, Cd, Cr, Mn, Se, Al ) [6] ve beslenmeye bağlı durumlarda (Ca, Mg, Na, Se, Sr, V, Zn, Cu, Co) elementer konsantrasyonların belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır [3].

Saç içerisindeki elementer konsantrasyonların dağılımı birçok faktöre bağlı olduğundan kişiye özgü karakteristik bir özellik gösterirler. Saçın kolayca toplanması, örneklenmesi ve saklanması yanı sıra içindeki elementer konsantrasyon uzun süreli bilgi içermektedir. Ayrıca bu konsantrasyonlar saçta, diğer vücut dokuları ve akışkanları ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. Elementlerin vücut sıvısı veya kandan saçta geçmesi, aslında organizmanın zararlı maddelerden arınma doğasının bir sonucudur.

İlgilenilen elementlerin fazlası, gerek temel gerek toksik, saç içerisinde güvenlice depolanmaktadır. Ancak bulunan elementin saçtaki konsantrasyonunun yüksek olması, bu elementin her zaman vücut içindeki konsantrasyonunun daha fazla olacağı anlamına gelmeyeceği söylenebilir. Bunun asıl anlamı; o element organizmaya girmiş ve saç içerisinde depolanmıştır. Bu süreç saçın uzaması boyunca devam eder ve elementer kompozisyon organizmanın mineral durumu hakkında bilgi verir.

Analiz sonuçlarının değerlendirilmesindeki zorluklar; konsantrasyon oranlarının alındığı referansların doğruluğu, elementin depolanmasının nedeninin iç-kaynaklı (endogenous) yada dış-kaynaklı (exogenous) olması ve beslenme kaynaklı farkların yorum güçlüklerinden kaynaklanır. Referans miktarları ile karşılaştırıldığında meydana gelen farklılıkları belirleyen etkenler yaş, cinsiyet, saç rengi, etnik köken ve coğrafi bölge, çevresel faktörler, beslenme faktörleridir [7].

Saç numuneleri gerekli işlemlere tabi tutulduktan sonra İTÜ Enerji Enstitüsünde bulunan TRIGA MARK II reaktöründe nötronlar ile ışınlanmıştır. Uzun ömürlü radyoizotopların belirlenebilmesi için yapılan ışınlamalar, reaktörün kalbinde yer alan merkezi kolonda, kısa ömürlü radyoizotopların tayini için yapılan ışınlamalar ise tavşan (pnömatik) sisteminde yer almıştır. Kısa ömürlü radyoizotopların spektrumları reaktör binasında bulunan % 40 verimli Canberra GR4021 yüksek saflıklı germanyum dedektörü ile alınmıştır. Işınlamanın sonrasında (bir-iki dakika içerisinde) pnömatik sistemden alınan numunelerin sayımına başlanmış ve yarı ömrü alüminyum gibi kısa olan radyoizotopların belirlenmesi mümkün olmuştur. Merkezde ışınlanan numuneler için farklı soğuma zamanlarında Fizik bölümündeki Canberra GX2018 Yüksek saflıklı Ge dedektörü kullanılarak spektrumlar alınmış ve uzun ömürlü elementler bu spektrumlardan belirlenmiştir [8]. Bütün spektrumların analizleri Fizik bölümünde bulunan Genie2000 programları ile yapılmıştır.

Nötron aktivasyon analizi tekniğinde hedef çekirdek nötronlar ile bombardıman edilerek kararsız hale getirilir. Çekirdek kararlı duruma geçerken genelde alfa ve/veya beta bozunmalarını takiben gama bozunmaları gerçekleştirir. Gama ışınları yüksek saflıklı ve yüksek ayırma güçlü bir germanyum dedektörü ile gözlenir. Elde edilen spektrumların analizi sonucu hedefte bulunan çekirdeklerin türü ve miktarı tayin edilir. Tekniğin milyonda bir hassaslıkta eser miktardaki elementleri tayin edebilmesi yeteneği birçok parametreye dayanmakla birlikte, incelenecek olan elementin nötron yutma etki kesiti, gama şiddeti ve nötron kaynağının akısının

büyükliğü en önemli parametrelerdendir. Hesaplamalarda, önceden belirlenmiş olan nötron akısı değeri kullanılmıştır [9].

Bu tez çalışmasında iki farklı bölgede yaşayan 40 kişiden toplanan saç örneklerinin elementer yapısı ve konsantrasyonları NAA yöntemi ile  $\mu\text{gr/gr}$  biriminde belirlenmiştir. Bulunan elementer konsantrasyonların yaşa, cinsiyete ve bölgesel farklılıklara göre korelasyonlarına bakılmış ve daha önce farklı bölgelerdeki benzer çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır [10,11].



## 2. GAMA IŞINLARI

Gama ışınları elektromanyetik spektrumda dalga boyu en kısa, enerjisi en yüksek olan, yüksüz elektromanyetik radyasyon olarak tanımlanır. Enerjileri genelde 0,1 - 10 MeV arasında olup, yüksek enerjilerinden dolayı madde içerisinde yol alabilirler, ışık hızı ile yayılırlar ve gazları iyonlaştırıcı özellikleri vardır. Ayrıca yüksüz olmalarından dolayı elektrik ve manyetik alanda saptırılamazlar.

Radyoaktif bozunum (alfa veya beta) yapmış veya bir nükleer reaksiyondan sonra ortaya çıkan ürün çekirdek genellikle uyarılmış enerji seviyesinde kalır. Bu durumdaki çekirdek ikinci bir bozunum ile bir foton yayınlamaya ya daha düşük enerji seviyesine veya taban enerji seviyesine düşer. Bu şekilde, çekirdeğin uyarılmış enerji seviyesinden temel enerji seviyesine düşerken yayınladığı fotonlara gama ışını denir.

### 2.1 Gama Işınlarının Madde İle Etkileşimi

Radyoaktif kaynaklardan yayınlanan  $\gamma$  ışınlarının incelenmesi, uyarılmış nükleer durumların yapısı hakkında bilgi edinebileceğimiz önemli araçlardan biridir. Gama ışınlarının deteksiyonu için genelde germanyum detektörler kullanılır. Bir dedektör içine giren gama ışınları dedektör malzemesi ile esas olarak üç şekilde etkileşir; Fotoelektrik soğurma, Compton saçılması ve Çift oluşumu.

#### 2.1.1 Fotoelektrik soğurma

Fotoelektrik olayda, foton atom tarafından soğurulur ve atomun elektronlarından birinin salınmasına neden olur. Salınan bu elektrona fotoelektron denir. Fotoelektronun kinetik enerjisi ( $T_e$ ), aşağıdaki eşitlikteki gibi gelen gama ışınının enerjisi ( $E_\gamma$ ) ile elektronun bağlanma enerjisinin ( $B_e$ ) farkına eşittir (2.1).

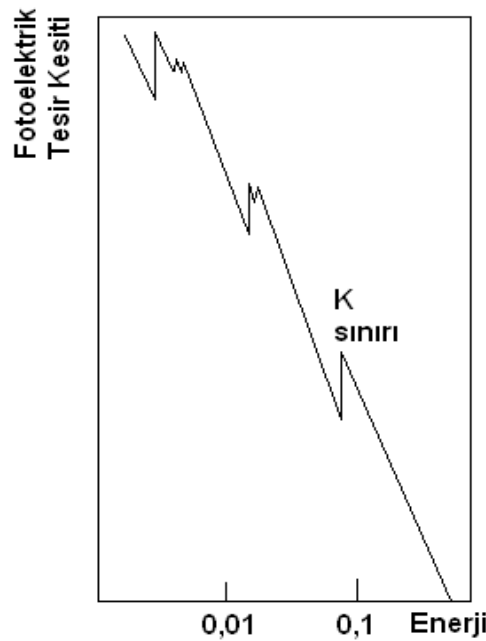
$$T_e = E_\gamma - B_e \quad (2.1)$$

Dedektör kristalin elektronları ile gelen gama ışınlarının etkileşmesi sonucu fotoelektrik soğurma olur. Etkileşme sırasında gama ışınının bütün enerjisi kaybolurken, bu enerjinin tamamı elektronlara kinetik enerji olarak aktarılmaz. Bir kısmı elektronu uyarmak için kullanılır ki bu elektronlar, fotoelektronlardır.

Fotoelektrik soğurmadan sonra boş kalan elektronların yerini başka elektronların doldurması ile karakteristik X-ışınları yayınlanır. Bu X-ışınlarının soğurulması ve ikincil elektronların kinetik enerjiye dönüşmeleri bir anlamda kayıp enerjiyi geri çağırmaaktır. Teorik olarak artık fotonların enerjisinin bir kısmı, geri tepen atomların kinetik enerjisine geçer, ancak bu ihmal edilebilir. Diğer yandan, geri tepen atom tarafından taşınan momentum da önemlidir. Fotoelektrik etkide atoma bağlı elektronlar olayın içindedir.

$$\tau \propto Z^4 / E_\gamma^3 \quad (2.2)$$

(2.2) eşitliğinden de anlaşılacağı gibi fotoelektrik olayın olma olasılığı gelen fotonun enerjisi ( $E_\gamma$ ) arttıkça azalırken, atom numarası ( $Z$ ) büyük olan atomlar için artmaktadır. Bu sebeple dedektör sisteminde atom numarası büyük olan malzemeler kullanılır.

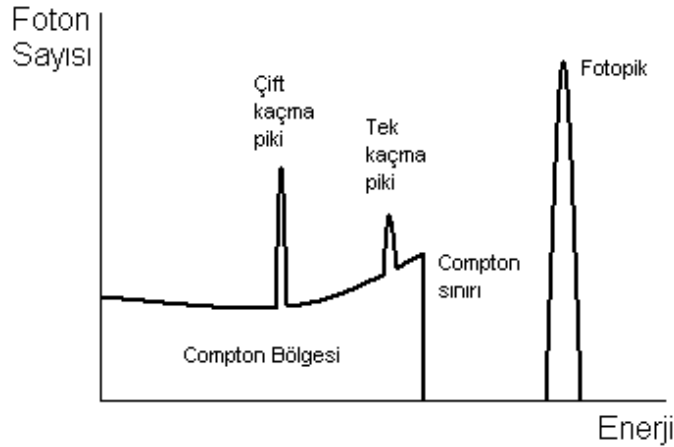


**Şekil 2.1** : Pb için fotoelektrik tesir kesiti. Kesikli sıçramalar, çeşitli elektron kabuklarının bağlanma enerjilerine karşılık gelir [1].

### 2.1.2 Compton saçılması

Compton saçılmasında ise foton, enerjisinin belli bir bölümünü serbest elektronlara ya da bağlanma enerjisi düşük olan elektronlara vererek, etkileşme noktasından belli bir  $\theta$  açısıyla saçılır. Bu saçılmayla ortaya çıkan enerji kaybı, elektronlara kinetik enerji olarak aktarılır. Saçılan gama ışınının enerjisi saçılmadan sonra daha azdır ve dedektör kristali ile tekrar etkileşebilir ya da etkileşme yapmadan yoluna devam eder. Yani gelen gama ışınının enerjisine bağlı olarak, Compton saçılmasına uğrayan gama ışını dedektör kristalinde bir ya da daha fazla Compton saçılması yapabilir. Enerji düştükçe fotoelektrik soğurulma olayının olma olasılığı arttığından, gama ışını enerjisinin sadece bir kısmını (Compton saçılması ile), ya da tamamını (Compton Saçılmasını takip eden fotoelektrik soğurulmayla) kristalde kaybedebilir.

Dedektör içinde bütün açılarda saçılma olacağı için saçılan elektronun enerji aralığı,  $\theta=0^\circ$  için  $E_\gamma$ 'dan foton enerjisi büyük olduğu zaman  $\theta=180^\circ$  için kabaca  $mc^2/2 \approx 0.25$  MeV arasında değişir. Bu elektronların hepsi normal olarak dedektörde soğurulur ve bunlar dedektörün enerji spektrumunun Compton bölgesine katkıda bulunurlar. Bu bölge 0'dan Compton kenarı (Compton Edge) olarak bilinen bir maksimuma kadar uzanır. Tam bir fotoelektrik soğurmaya karşılık gelen  $E=E_\gamma$ 'daki pike tam enerji piki veya fotopik denir. Compton sürekli bölgesi Şekil (2.2)'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2 :** Bir dedektörün tek enerjili  $\gamma$ -ışınları için vereceği tipik bir cevap (Fotopik) [13].

### 2.1.3 Çift oluşumu

Fotonların madde ile etkileşmesindeki bir diğer işlem de çift oluşumdur. Çift oluşumunda gelen yüksek enerjili gama ışını, elektron-pozitron çiftinin oluşumuna neden olur. Bu olayda enerjinin korunumu;

$$E_{\gamma} = T_{+} + mc^2 + T_{-} + mc^2 \quad (2.3)$$

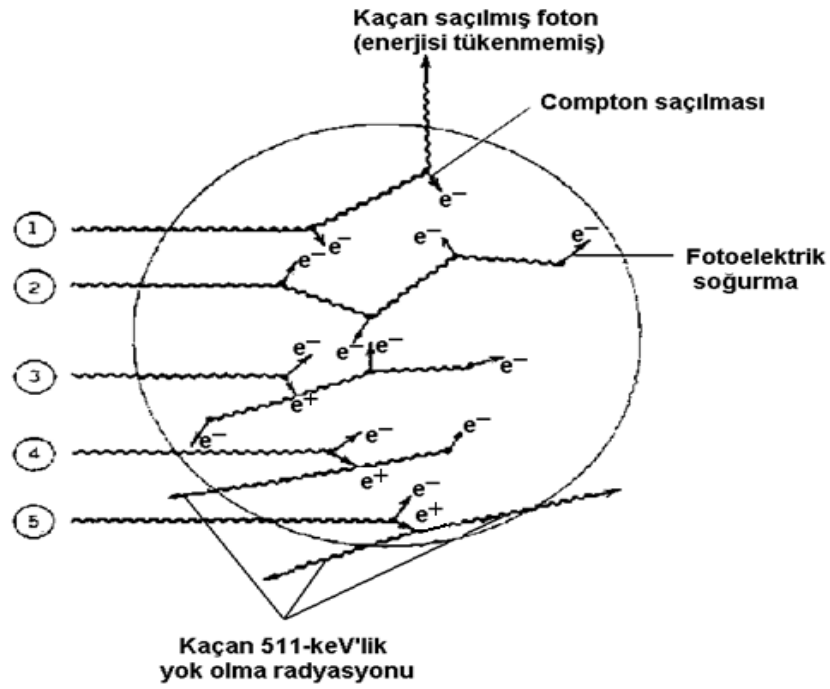
şeklinde dir. Burada  $T_{+}$  ve  $T_{-}$  pozitron ve elektronun kinetik enerjileridir. Bu korunum bize, çift oluşumu olayının gerçekleşebilmesi için gelen gama ışını enerjisinin minimum  $2mc^2$  veya 1,022 MeV olması gerektiğini söyler. Minimum gama enerjisi, elektronun ve pozitronun kinetik enerjisinin sıfır olarak kabul edilmesiyle sağlanmaktadır. Fotoelektrik soğurmada olduğu gibi burada da momentum korunumundan dolayı ağır bir atomun varlığı gereklidir.

Çift oluşumunda bir elektron ve bir pozitron (2.3) eşitliğindeki gibi  $E_{\gamma} - 2mc^2$ 'lik bir toplam kinetik enerji ile yaratılır ve bu enerjinin dedektördeki kaybı fotopiki meydana getirir. Ancak pozitron önce atom elektronunkine yakın bir enerji değerine kadar yavaşlar ve yokolma meydana gelir. Bu olayda pozitron ve atom elektronu yok olur ve bunların yerine  $mc^2$  veya 511 keV enerjili iki foton yaratılır. Bu iki foton hiçbir etkileşme yapmadan dedektörden dışarı çıkabilir veya Compton saçılma işlemleriyle kısmen veya tamamen soğurulabilir. Böylece, dedekte edilen foton enerjileri  $E_{\gamma} - 2mc^2$  'de (her iki foton kaçarsa),  $E_{\gamma} - mc^2$  'de (biri kaçır diğeri tamamen soğurulursa) ve  $E_{\gamma}$  'da (her ikisi de soğurulursa) olur. Tek ve çift kaçma pikleri Şekil (2.2) 'de görülmektedir.

Fotopik, Compton bölgesi ve kaçma piklerinin bağıl genlikleri dedektörün şekline ve boyutlarına bağlıdır. Bir Compton saçılma fotonunun merkezden yüzeye kadar hiç etkileşme yapmadan ilerleyebilme olasılığı çok düşük olduğundan, daha büyük bir dedektör, fotopike göre daha küçük bir Compton sürekli bölgesine sahiptir. Aynı şekilde, büyük bir dedektörde 511 keV'lik yok olma fotonlarının biri veya her ikisinin de yakalanma olasılığı daha büyüktür.

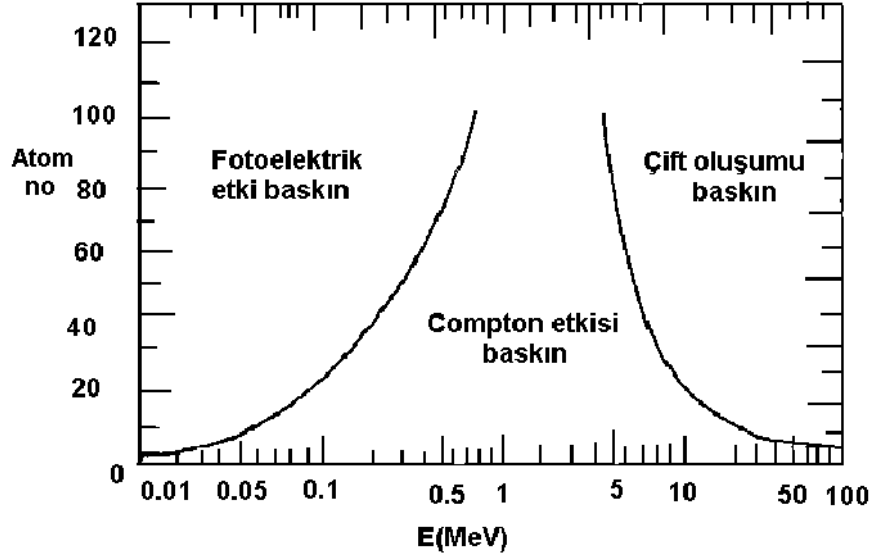
Şekil (2.3)'de gama ışınının dedektör içinde etkileşme olasılıkları şematik olarak verilmektedir. Bu şekilde foton, 1- birkaç kez Compton saçılması yapar ve enerjisinin tamamını kaybetmeden önce dedektörü terkeder, 2- pekçok Compton

saçılmasından sonra fotoelektrik soğurma yapar ve enerjisinin tamamını kaybeder, 3- çift oluşumunu, pozitron yokolması, Compton saçılması ve Fotoelektrik soğurma takip eder ve yine enerjinin tamamı aktarılır, 4-yokolma fotonlarından biri dedektörü terkeder ve  $\gamma$ -ışınlarından biri 511 keV 'lik enerjisinin tamamını kaybeder, 5-yok olma fotonlarının her ikisi de dedektörü terkederken 1022 keV'lik enerjiyi dedektör materyaline aktarır. 4 ve 5'deki işlemler sadece  $\gamma$ -ışını enerjisinin 1022 keV'den fazla olduğu durumlarda meydana gelir.



**Şekil 2.3 :**  $\gamma$ -ışınının dedektör içinde detektör malzemesi ile etkileşmesi sonucunda meydana gelen olaylar [13].

Şekil (2.4)'de atom numarası ve enerjiye bağlı olarak dedektör içine giren gama ışınlarının etkileşme olasılıkları ve bunların baskın olduğu bölgeler gösterilmiştir.



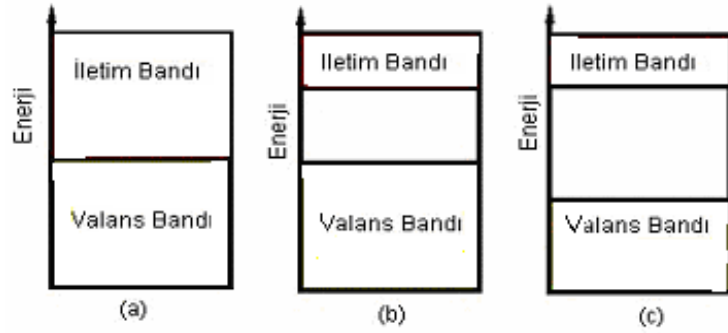
**Şekil 2.4 :**  $\gamma$ -ışınlarının enerjilerine göre etkileşme olasılıkları ve bu etkileşmelerin baskın olduğu bölgeler [13].

## 2.2 Yarı İletken Dedektörler

Radyoaktivitenin algılanması için kullanılan tüm yöntemlerin temelinde yüklü parçacıkların ya da elektromanyetik ışınların malzemeye etkileşmesi esası vardır. Yarı iletken dedektörler, gama ışınları ölçümünde kullanılan en yaygın dedektörlerdendir. Yarı iletken dedektörlerden de yüksek saflıklı germanyum dedektörler, yüksek enerji çözünürlüğü, yüksek verimi gibi özelliklerinden dolayı en çok tercih edilen dedektörlerdir.

Silisyum ya da germanyum gibi (iletken ya da yalıtkanda olduğu gibi) yarı iletken malzemeden oluşan bir kristalde, ayrık atomik enerji seviyeleri, enerji seviye bantları şeklinde genişler. Herhangi bir uyarılmanın olmadığı durumda, dış elektronlar valans bandında bulunur. Valans bandından bir yüksek seviye bant aralığı olarak isimlendirilen, belli bir enerji farkı kadar uzak olan, iletim bandıdır. Şekil (2.5)'de görüldüğü gibi iletken bir maddede iletim bandı ile valans bandı birbirine çok yakın iken, yarı iletken bantlar arasındaki enerji seviyesinin aralandığını, yalıtkan maddede ise bu aralığın daha çok arttığı görülmektedir. Bir elektronun iletim bandına geçmesi için gerekli olan eşik enerjisi, iletken maddelerde yok denecek kadar az iken, silisyum ve germanyum kristallerinde (yarı iletkenlerde) bu enerji farkı 1eV, yalıtkanlarda ise 10 eV civarındadır. Valans bandından iletim bandına bir elektronun geçmesi en az bant aralığı kadar bir enerji kazanılmasını sağlar. Elektronun

uyarılarak iletim bandına geçmesi ile, valans bandında oluşan boşluk, elektrona göre ters yönde hareket eder. Elektronların ve boşlukların hareket mekanizmaları farklı olduğundan, kristalde hareket eden bu iki yükün hızları da birbirinden farklıdır. Voltaj darbesi oluşturmak üzere elektronların ve boşlukların yükleri toplanır. Böylece elde edilen darbe şeklinde söz konusu bu hız farklılıkları görülür. Her dedektör için iyi bir yük toplanması ve iyi bir pik şekli sağlayacak uygun bir dedektör çalıştırma voltajı önerilir. Bizim kullandığımız dedektör için bu değer 3 kV'dir.



**Şekil 2.5 :** İletken, yarı iletken ve yalıtkan maddelerde enerji-bant aralığı.

Ge(Li) dedektörlerinde, p-tipi germanyum kristalinin bir yüzeyine lityum difüze edilerek ince bir n-tabakası oluşturulur. Emdirilmiş olan lityumun yardımı ile ve kristale ters akım (reverse bias) uygulanarak yapay saf bir bölge oluşturulur (intrinsic region). Bu bölge duyarlı iç bölge adını alır ve dışarıdan gelen iyonlayıcı radyasyon bu bölgede elektron boşluk çifti oluşturur. Yükler elektrik alan yardımı ile elektrotlarda toplanır. Bu tip dedektörlere lityum katkılı (drifted) germanyum (Ge (Li)) dedektörler denir. Lityum iyonlarının hareketi oda sıcaklığında artacağından ve germanyumun içine difuze edeceğinden dedektör bozulur. Bu nedenle taşınma sırasında bile sıvı azot sıcaklığında ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) saklanmaları gerekmektedir.

Diğer dedektörlerde n-tipi malzeme bölgesinden giren radyasyon, yüksek saflıkta germanyum dedektörlerinde (High Purity Germanium Detector) yüzeyin her bölgesinden de algılanabilir. Saf germanyum (HPGe) dedektör penceresi düşük enerjili  $\gamma$  ve X-ışınlarının girebilmesi için, çok ince olmalıdır. Al pencerele dedektörlerle ancak 40 keV'e kadar inen enerjilerde  $\gamma$ -spektroskopisi yapılabilir. Be pencerele dedektörlerle, Be'un alçak enerji seviyelerindeki düşük yutma (absorption)

katsayısından dolayı 5 keV'e kadar inen düşük enerjilerde  $\gamma$ -spektroskopisi yapılabilir.

Yarı iletken bir detektörün kalitesi, ayırma gücü (rezolüsyonu) ve verimine göre değerlendirilir. Rezolüsyon, pikin yarı yüksekliğinde (FWHM) ve 1/10 yüksekliğindeki genişliğiyle ölçülür. FWHM değeri  $2,35K\sqrt{N}$ 'ye eşittir.  $K\sqrt{N}$  pikin standart sapmasını yani hata payını göstermektedir. K bir orantı sabiti, N ise dedektörde puls oluşumunu sağlayan yük taşıyıcılarının sayısıdır. FWHM değeri ne kadar düşük olursa dedektörün hassaslığı o kadar artacak ve kaynaktan gelen birbirine yakın enerjili iki gama ışınını ayırt edebilecektir. İşte bu özelliğe dedektörün enerji çözünürlüğü denir ve (2.4) eşitliğindeki gibi gösterilir [1].

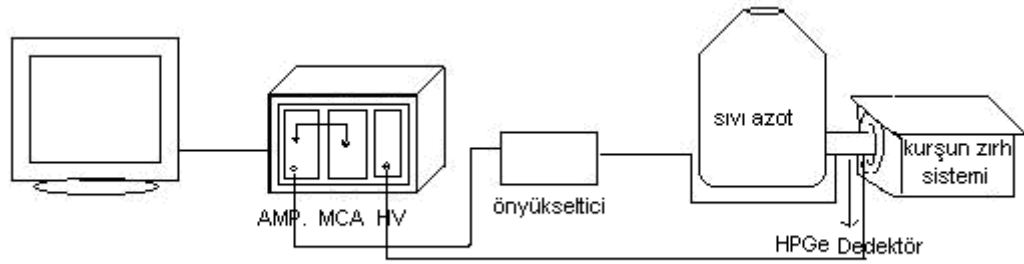
$$R = \text{FWHM} / H_0 \quad (2.4)$$

R dedektörün enerji çözünürlüğünü,  $H_0$  ise pikin ortalama enerjisini gösterir. Fizik bölümünde kullanılan yüksek saflıklı germanyum dedektörün enerji çözünürlüğü  $^{60}\text{Co}$  standart kaynağına ait 1332 keV değerindeki pik için 1.8 keV 'dir.

Germanyum detektörler için diğer bir kriter de, doğal ortam radyasyonu (background) içindeki bir pikin ne derece algılanabileceğinin ölçütü olan Pik / Compton oranıdır.

### 3. SAYIM SİSTEMİ

Nükleer radyasyonları ölçmek için kullanılan tüm sistemlerin temelde çalışma prensipleri benzerdir. Dedektördeki elektronik devre ile gelen fotonun enerji kaybından dolayı elde edilen elektriksel sinyallerin genliği mV' lar mertebesinde. Bu sinyaller öncelikle bir kuvvetlendiriciden geçirilerek (Spektroskopik Amplifier) güçlendirilirler. Bir bilgisayar kontrollü analog dijital çevirici (ADC) içeren çok portlu çok kanallı analizör (MCA) ile bilgisayar ortamına aktarılarak elde edilen spektrumlar, Genie2000 programı ile değerlendirilir. Şekil (3.1)' de sayım sisteminin blok diagramı görülmektedir.



Şekil 3.1 : Sayım sistemi

#### 3.1 Yüksek Saflıklı Germanyum (HPGe) Dedektör

Yüksek saflıkta germanyum kristallerinden yapılan yarı iletken dedektörler gama ışını ölçümü için en çok kullanılan dedektörler haline gelmiştir. Ayrıca Li katkısının kalkması ile bu dedektörleri sürekli soğutma gereği de ortadan kalkmış, sadece kullanıldıkları süre boyunca soğutulmaları yeterli olmuştur.

Reaktörde kısa süreli ışınlanan numunelerin ilk spektrumları Enerji Enstitüsünde bulunan % 40 yüksek saflıklı germanyum dedektörü kullanılarak alınmıştır. Sonraki sayımlar ise bölümümüz nükleer fizik laboratuvarında bulunan % 20 verimli 0.5 mm kalınlıkta berilyum pencereye sahip, 1332.5 keV'de enerji çözünürlüğü 1.8 keV olan geniş enerji aralıklı, yüksek saflıklı Canberra GX2018 ile alınmıştır.

### **3.2 Spektroskopi Yükseltici**

Yükseltici (amplifier) önyükselticiden çıkan darbenin yüksekliğini 10 Volta kadar yükseltir. Yükselticinin kazancı (gain) ile çıkış sinyalinin genliği arasında lineer bir ilişki vardır. Spektroskopi yükselticisinin kullanım amacı, ilgilenilen enerji bölgesindeki sinyalleri güçlendirip ADC'nin kabul ettiği 0 ile 10 Volt arasındaki bölgeye taşımaktır. Yükselticinin lineer olması radyasyon enerjisi ile puls yüksekliğinin orantılı olmasını sağlar.

### **3.3 Çok Kanallı Analizör (MCA)**

ADC'den çıkan dijital sinyaller çok kanallı analizör tarafından (MCA) alınırlar. Çok kanallı analizörün ana işlevi, dedektörden çıkan darbeleri, yüksekliklerine göre, her darbe için bir sayım olmak üzere, hafızaya kaydedip (kanal), belirli bir süre içinde her bir enerji değerine karşı gelen toplam sayım miktarını oluşturmaktır (spektrum). Yatay eksen kanal sayısını (enerji) gösterir. Spektrumdaki piklerin merkezi kaynaktan yayınlanan radyasyonların enerjilerini ve yükseklikleri, daha doğrusu alanları kaynağın relatif aktivitesini verir.

### **3.4 Kurşun Zırhlama**

Dedektör kurşun zırh içine yerleştirilerek dış radyasyondan (doğal uranyum, toryum ve bozunum ürünleri, radyoaktif potasyum) korunmuş olur. Kurşunun kendisi ya da diğer yapı malzemeleri düşük miktarda uranyum ve radyoaktif kurşun içerir. Kullandığımız germanyum dedektör silindir şeklindeki kurşun zırh içine yerleştirilmiştir. Bu kurşun zırhın iç duvarları kurşun atomlarından gelecek X ışınlarını önlemek amacıyla 2 mm kalınlığında pirinç levha ile kaplanmıştır. Ayrıca silindirik kurşun zırhın etrafı, 5 cm kalınlığındaki düşük fon ışınlamına sahip kurşun bloklar ile örülerek fon ışıması en alt düzeye indirilmeye çalışılmıştır.

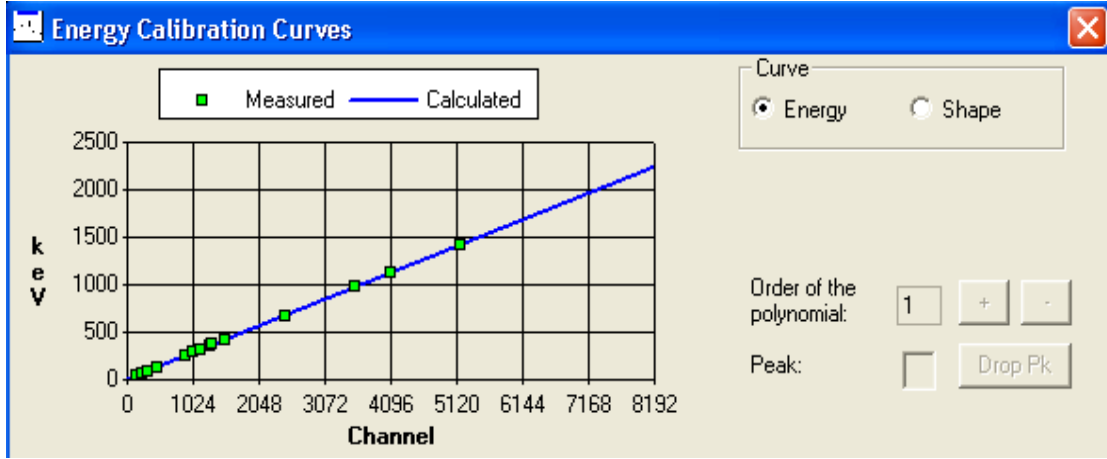
#### 4. KALİBRASYONLAR

Nötron aktivasyon analizi yöntemi kullanılarak numunelerin nötronlarla bombardıman edilmesi sonucu oluşan izotoplardan yayımlanan gama ışınlarının spektrumlarının doğru olarak değerlendirilebilmesi için enerji kalibrasyonu ve dedektörün verim kalibrasyonu mutlaka yapılmalıdır. Sistemin enerji ve verim kalibrasyonu belirli standart kaynaklar kullanılarak yapılmıştır.

##### 4.1 Enerji Kalibrasyonu

Enerji kalibrasyonu için standart kaynaklar dedektörün önüne belli bir mesafede yerleştirilir ve bir süre sayım alınır. Ortaya çıkan spektrumda fotopiklerin merkezlerine karşı gelen kanal numaraları belirlenir. Kanal numaralarına karşı gelen enerji değerleri lineer veya ikinci dereceden bir polinoma fit edilerek enerji kalibrasyonu yapılır. Şekil (4.1)'de Genie2000 analiz programında oluşturulan enerji kalibrasyon eğrisi gösterilmiştir. Enerji kalibrasyonları yapılırken  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  ve  $^{133}\text{Ba}$  standart kaynakları kullanılmıştır. Bu kaynakların kullanılmasının nedeni, kaynağın fotopik enerjilerinin kesin olarak bilindiği izole piklerinin spektrumlarında bulunmasıdır.

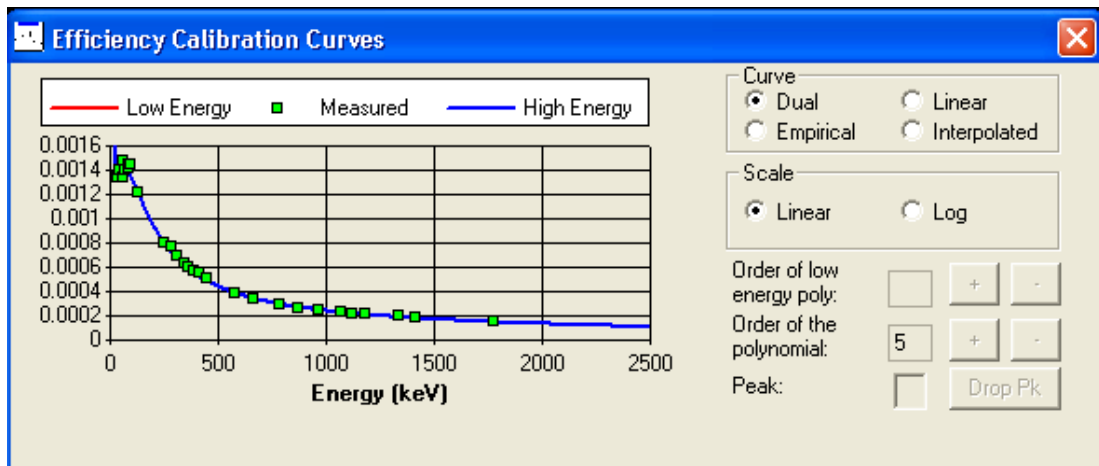
Numunelerin spektrumlarının analizleri yapılırken, bu standart kaynaklarla belirlenmiş enerji kalibrasyonu kullanılır. Zaman içindeki voltaj değişimleri dedektör verimini kaydırabileceğinden enerji kalibrasyonu aralıklarla tekrar edilmelidir.



Şekil 4.1 : Genie2000 analiz programında oluşturulmuş enerji kalibrasyonu.

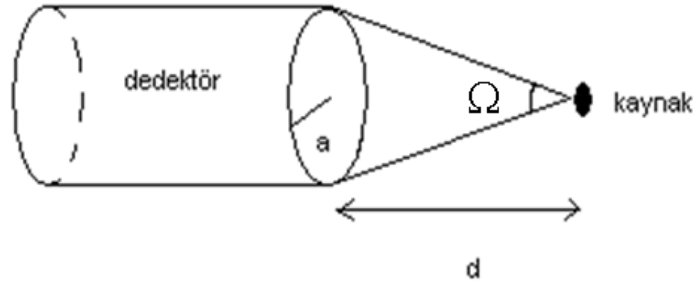
#### 4.2 Dedektörün Verim Kalibrasyonu

Dedektör penceresine çarpan fotonun fotopik içinde yeralma olasılığı dedektörün verimini belirler. Enerjinin fonksiyonu olarak elde edilen verim kalibrasyonu, kaynağın gerçek aktivitesinin belirlenmesi için gereklidir. Dedektör verimi mutlak (absolute) ve iç (intrinsic) verim olmak üzere iki kısma ayrılır. Mutlak verim, kaynaktan yayımlanan gama ışınlarının ölçülebilme olasılığını verir. İç verim ise, dedektöre çarpan fotonların ölçülebilme olasılığını verir. Mutlak verim dedektörün alanına ve kaynaktan uzaklığına bağlıdır. Şekil (4.2)'de kaynak dedektör penceresi mesafesi 5 cm için mutlak verim gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Kaynak- dedektör penceresi mesafesi 5 cm iken mutlak verim.

Dairesel bir dedektör için katı açı şekil (4.2)'deki gibi  $\Omega = \pi a^2 d$  'dir. Gerçek verim ise alandan bağımsız dedektör materyaline, radyasyon enerjisine ve dedektör penceresinin kalınlığına bağlıdır.



**Şekil 4.3 :** Dairesel bir dedektör için katı açı  $\Omega$ .

Verim hesabı yapılırken **(4.1)** formülü kullanılmıştır.

$$\Sigma = \frac{GPS}{I_{\gamma}A} \quad (4.1)$$

Burada GPS (gamma per second) saniyede dedekte edilen gama ışını sayısını Bq olarak,  $I_{\gamma}$  ilgili pike karşılık gelen gama ışınının yayımlanma olasılığını (yüzde olarak),  $a$  ise kullanılan standart kaynağın sayım esnasındaki aktivitesini Bq olarak ifade eder.



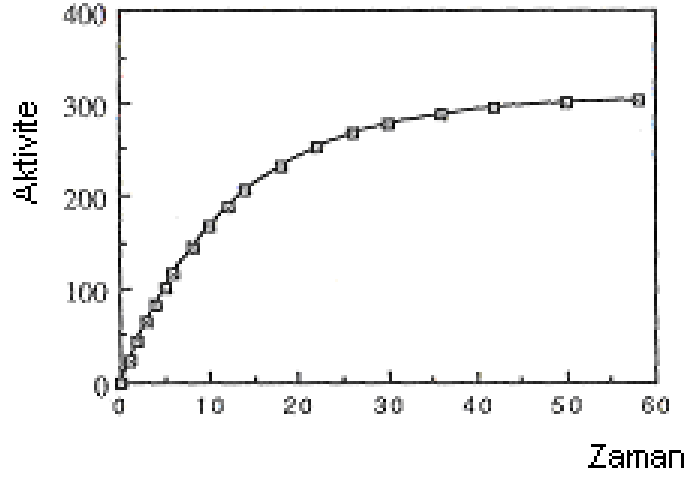
## 5. NÖTRON AKTİVASYON ANALİZİ

Nötron Aktivasyon Analizi (NAA) bir elementer analiz yöntemidir. Bu yöntemde örnek, nötronlar ile bombardıman edilir ve örneği oluşturan elementlerin izotoplarının nötronlarla etkileşmesi sonucu ortaya çıkan radyasyon ölçülerek örneğin nitelik ve nicelik analizi yapılır. Nitelik analizi, oluşan radyoizotopların verdiği radyasyonların cinsi, yani  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  enerjileri ve yarı ömürlerinden yararlanılarak yapılır. Nicelik analizi ise, oluşan radyoizotopun radyoaktivitesi ölçülerek örnekteki miktarının belirlenmesidir.

Nötron aktivasyon analizi yönteminin teorisi şöyledir; analizi yapılacak malzemeye belirli bir süre uniform ve kararlı bir nötron akısı uygulanırsa, malzemenin içerdği elementlerin kararlı izotoplarının bazıları bir nötron yutarak yeni ve genellikle uyarılmış bir izotop oluştururlar. Bu durumdaki çekirdekler;

- 1)  $10^{-12}$  saniye civarında çeşitli enerjilerde karakteristik gama fotonları yayımlayarak kararlı duruma geçerler. Ancak bu gama ışınları çok kısa ömürlü oldukları için ölçülemez.
- 2) Kararlı izotop oluşabilir. Bu durumda gama radyasyonu ve ölçme söz konusu değildir.
- 3) Oluşan izotop, algılanabilir bir yarı ömürle  $\alpha$  veya  $\beta$  bozunumunun arkasından yeni bir elemente dönüşürken kararlı duruma geçmek için  $\gamma$  ışını yayımlar. Bu ışınlar karakteristik enerji değerine sahip olup, o izotopun kimliğini belirler. Bu gama ışınlarının enerjileri saptanarak, onları oluşturan elementlerin varlığı nitelik olarak belirlenebilir. Ya da şiddetleri ölçülerek nicelikleri belirlenebilir.

Işınlanan örneklerde bir izotop bir yandan oluşurken diğer yandan da bozunur. Oluşma hızı bozunum hızına eşit olunca doyumluk aktivitesine ulaşılır. Işınlama başladıktan yaklaşık 10 yarı ömür sonra doyumluk aktivitesine ulaşıldığı ve ışınlama bittikten yaklaşık 10 yarı ömür sonra da aktivitenin sıfırlandığı kabul edilir.

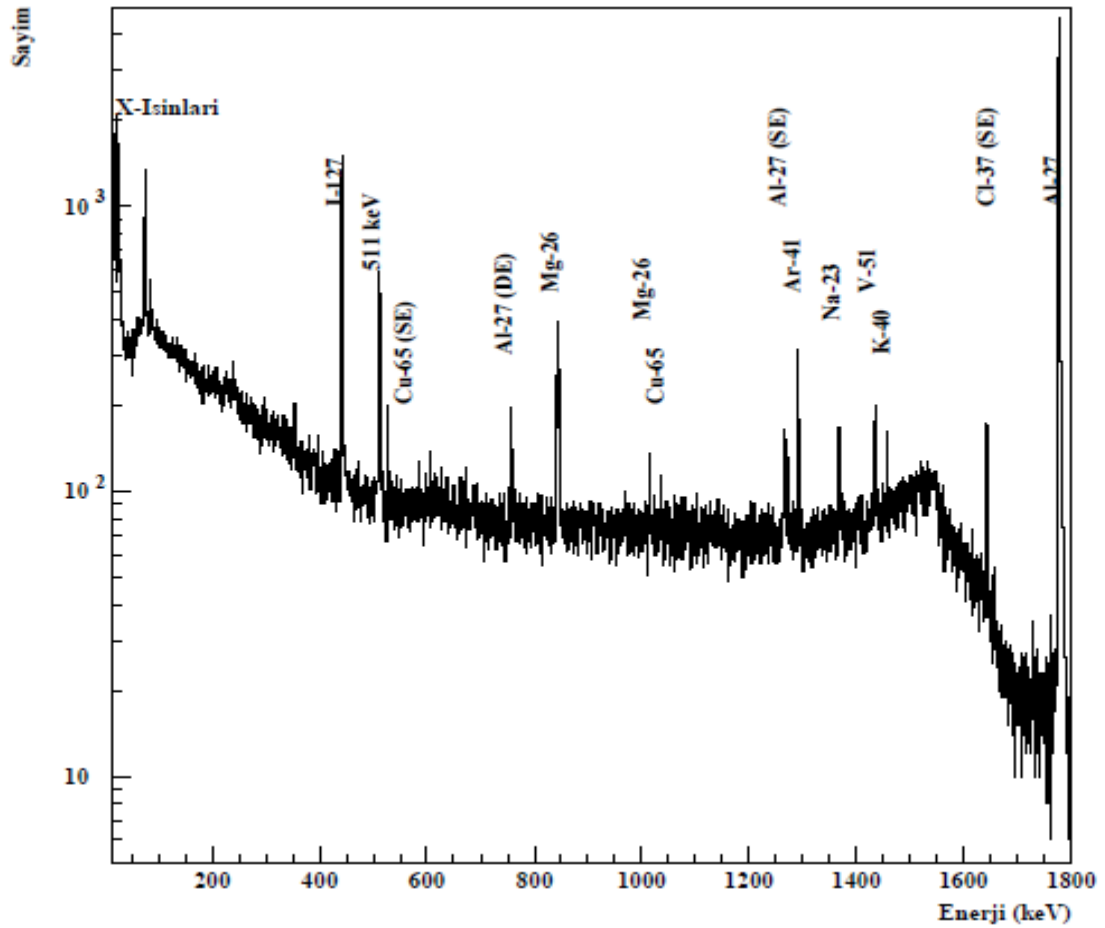


**Şekil 5.1 :** Işınlanmış örnek aktivitesinin zamana göre değişimi.

### 5.1 Numune Toplama ve Hazırlama

Bu tez çalışması için kullanılan saç numunelerinin yarısı Malatya iline bağlı Hekimhan ilçesinde yaşayan insanlardan, diğer yarısı ise İstanbul'da yaşayan insanlardan alınmıştır. Dolayısıyla saç içerisinde bulunan element miktarlarının bölgesel farklılıklara, yaş ve cinsiyete bağlı dağılımlarına bakılmıştır. Öncelikle miktarları 0.05-2 gr arasında değişen saç örnekleri, 20 ile 80 yaşları arasındaki insanların boyun bölgesinden çelik makasla alınmıştır. Daha sonra saçlar İTÜ Enerji Enstitüsündeki reaktöre bağlı örnek hazırlama laboratuvarında 1-2 mm uzunluğundaki parçalara kesilmiş ve kesilen bu saçlar IAEA (Uluslararası Atom Enerji Ajansı) standartlarına göre beş aşamada sırasıyla alkol-su-su-su-alkol çözeltilerinde onar dakika bekletilerek temizleme işlemleri tamamlanmıştır. Burada kullanılan su distile sudur. En son alkol çözeltilisinden alınan numuneler sıcaklığı 60 °C olan fırında 12 saat boyunca bekletilerek kurutulduktan sonra hassas terazi ile tartılmıştır. Kısa ışınlamalar için tavşan sisteminde kullanılacak numuneler önceden miktarları belirlenmiş olan parafin yapraklar arasına konularak sıcak hava yardımıyla etrafi kapatılmış ve tekrar tartılarak parafin dahil, ışınlanacak numune miktarları kaydedilmiştir. Örnekler, kısa bozunma sürelerine sahip elementlerin belirlenebilmesi için tavşan sisteminde ışınlanmış olup, uzun bozunma sürelerine sahip elementlerin belirlenebilmesi için de ayrıca merkezde ışınlanmıştır. Merkezde ışınlanan numuneler ise polietilen kaplar içerisine konulmuştur. Örneklerin tavşan sistemindeki ışınlama süreleri beş dakika, merkezdeki ışınlama süreleri ise 1-1,5 saat arasındadır. Toplam 40 adet saç numunesi beşerli gruplar halinde sekiz seferde

ışınlanmıştır. Tavşan sistemindeki ışınlamalardan hemen sonra (1-2 dakika içerisinde), reaktöre bağlı laboratuvarında bulunan dedektör kullanılarak örneklerin beşer dakikalık spektrumları alınmış, böylelikle yarı ömrü kısa olan radyoizotoplar da belirlenmiştir. Daha sonra Fizik Bölümünde bulunan dedektör kullanılarak bu örneklerin farklı soğuma zamanlarında daha uzun sayımları alınmıştır. Yapılan bu değerlendirmeler karşılaştırmalar için de kullanılmıştır. Merkezde ışınlanan numunelerin spektrumları, numunelerin ve aliminyum dış ışınlama kabının yüksek aktivitesinden dolayı ışınlamadan bir gün sonra Enerji enstitüsünden teslim alınarak, sayımları Fizik bölümünde bulunan dedektör ile yapılmıştır. Şekil (5.2)'de bir numuneye ait spektrum görülmektedir.



**Şekil 5.2 :** Tavşan sisteminde 5 dakika ışınlama sonrasında 5 dakika sayımı alınan bir numuneye ait gama enerji spektrumu. Soğuma süresi 2 dakikadır.

NAA yöntemi kullanılarak elde edilen spektrumların analizi yapıldıktan sonra, elde edilen fotopik alanlarından kütle miktarlarını belirlemek için aşağıda verilen (5.1) eşitliği kullanılmıştır. NAA ile oluşturulması mümkün olan periyodik tablodaki tüm

çekirdekler için bir veri tabanı oluşturulmuştur **(EK A.2)**. Hesaplamalarda ihtiyaç duyulan tüm bilgileri içeren bir fortran kodu kullanılmıştır **(EK A.1)**.

$$m = \frac{A N \lambda}{(\phi_{th} \sigma_{th} + \phi_{ep} \sigma_{ep}) a b I_{\gamma} \Sigma N_0 (1 - e^{-\lambda t_i})(e^{-\lambda t_c})(1 - e^{-\lambda t_m})} \quad (5.1)$$

$$\Sigma = \frac{GPS}{I_{\gamma} A}$$

Formülde,

$N$  = net pik alanı,

$A$  = elementin atom numarası,

$\Sigma$  = elementin enerjisine bağlı mutlak dedektör verimi,

$\lambda$  = radyoizotopun bozunma sabiti,

$\phi_{th}$  = ışınlama pozisyonundaki termal nötron akısı,

$\phi_{ep}$  = ışınlama pozisyonundaki epitermal nötron akısı,

$f$  = değişik bozunma modları için düzeltme çarpanı,

$a$  = ilgili elementin ısınlanan malzeme içerisindeki ağırlıkça yüzdesi,

$b$  = radyoizotopun izotopuk bolluğu,

$I_{\gamma}$  = gama ışınının mutlak geçiş şiddeti,

$N_0$  = avogadro sayısı ( $6.02 \times 10^{23}$ ),

$t_i$  = ışınlama süresi,

$t_c$  = soğuma süresi,

$t_m$  = sayma süresi,

$\sigma_{th}$  = hedef çekirdeğin termal etki kesiti,

$\sigma_{ep}$  = hedef çekirdeğin epitermal etki kesiti,

Reaktör için 250 kW güçte önceden belirlenmiş olan aşağıdaki akı değerleri kullanılmıştır [17].

Merkez kanal akıları;  $5.6 \times 10^{12}$  (termal),  $2.8 \times 10^{11}$  (epitermal) nötron/(cm<sup>2</sup>.sn).

Tavşan sistemi akıları;  $3.3 \times 10^{12}$  (termal),  $9.0 \times 10^{10}$  (epitermal) nötron/(cm<sup>2</sup>.sn).

Elementlerin kütle hesabındaki belirsizliğin çoğu dedektör veriminin ( $\Sigma$ ) hatasından kaynaklanmaktadır ve değeri yaklaşık % 15'tir.

$F = (\phi_{th} \sigma_{th} + \phi_{ep} \sigma_{ep})$  parametresinden gelen hata ise aşağıdaki (5.2) eşitliğinden hesaplanmıştır.

$$\frac{\Delta F}{F} = \left[ \sigma_{ep}^2 \phi_{ep}^2 \left[ \left( \frac{\Delta \sigma_{ep}}{\sigma_{ep}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta \phi_{ep}}{\phi_{ep}} \right)^2 \right] + \sigma_{th}^2 \phi_{th}^2 \left[ \left( \frac{\Delta \phi_{th}}{\phi_{th}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta \sigma_{th}}{\sigma_{th}} \right)^2 \right] \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.2)$$

Termal ve epitermal etki kesiti hataları en büyük olan element için bile % 8.1 olup mutlak verimin hatasından oldukça küçüktür. Diğer parametrelerden gelen belirsizlikler ise bunların yanında ihmal edilecek kadar küçük olup her element için verilecek olan % 20'lik hata oldukça güvenli olacaktır.

Aşağıdaki çizelgelerde (5.1, 5.2, 5.3, 5.4) ışınlanan 40 adet numunenin spektrumlarının Genie2000 programı ile analizi sonucunda elde edilen fotopik alanlarından (5.1) eşitliği kullanılarak elde edilen elementel konsantrasyonlar verilmektedir (K=kadın, E=erkek).

**Çizelge 5.1 :** Hekimhan yöresinden alınan ilk 10 numuneye ait NAA yöntemi ile belirlenen element miktarları (μgr/gr).E=Erkek, K=Kadın

| Element           | 1-K(65). | 2-K(44) | 3-K(75) | 4-K(46) | 5-K(39) | 6-K(35) | 7-K(38) | 8-K(59) | 9-K(48) | 10-K(50) |
|-------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| <sup>27</sup> Al  | 977.49   | 541.21  | 612.62  | 386.02  | 186.09  | 195.75  | 147.91  | 163.49  | 139.38  | 141.65   |
| <sup>25</sup> As  | 0.27     | 0.11    | 0.45    | 0.14    | -       | 0.04    | -       | -       | -       | -        |
| <sup>197</sup> Au | 0.02     | 0.07    | 0.37    | 0.015   | 0.11    | 0.37    | 2.54    | 0.04    | 0.12    | 0.93     |
| <sup>81</sup> Br  | 2.68     | 2.85    | 8.01    | 1.54    | -       | 0.57    | 19.19   | 0.93    | 0.26    | 0.33     |
| <sup>37</sup> Cl  | 1198.11  | 963.95  | 3450.82 | 631.04  | 289.78  | 374.76  | 258.55  | 234.25  | 203.72  | 244.94   |
| <sup>59</sup> Co  | -        | -       | 0.27    | -       | 0.11    | -       | -       | -       | -       | -        |
| <sup>50</sup> Cr  | 10.53    | 71.83   | -       | 4.97    | -       | -       | -       | -       | -       | -        |
| <sup>65</sup> Cu  | 20.53    | 8.32    | 17.29   | 17.78   | 11.67   | 9.51    | 5.79    | -       | 20.29   | 12.31    |
| <sup>115</sup> In | 1.21     | 1.51    | 1.32    | 1.87    | 1.09    | 0.11    | 0.41    | 0.13    | 0.26    | 0.19     |
| <sup>41</sup> K   | 112.66   | 47.35   | 180.38  | 1862.89 | 14.65   | 43.01   | 1137.73 | 2.95    | 25.24   | -        |
| <sup>139</sup> La | 0.008    | 0.016   | 0.014   | -       | 0.016   | 0.036   | 0.01    | -       | 0.0049  | -        |
| <sup>26</sup> Mg  | 1185.418 | 502.95  | 340.51  | 545.17  | 519.58  | 526.51  | 316.41  | 867.25  | 708.96  | 467.59   |
| <sup>55</sup> Mn  | 5.54     | 4.05    | 8.53    | 3.36    | 2.85    | 3.18    | 1.88    | 1.61    | 1.31    | 1.67     |
| <sup>98</sup> Mo  | 90.42    | -       | -       | -       | 0.38    | 0.31    | -       | -       | -       | -        |
| <sup>23</sup> Na  | 284.08   | 275.04  | 327.52  | 582.33  | 70.11   | 71.96   | 79.22   | 145.19  | 68.79   | 91.83    |
| <sup>121</sup> Sb | 0.71     | 0.49    | 3.65    | 1.33    | 0.05    | 0.15    | 0.05    | 0.06    | -       | 33.81    |
| <sup>181</sup> Ta | 0.06     | 0.27    | 0.09    | 0.78    | -       | -       | -       | -       | -       | -        |
| <sup>186</sup> W  | 1.24     | 1.01    | 2.98    | -       | 0.24    | 0.43    | -       | -       | 0.06    | 5.55     |
| <sup>51</sup> V   | 1.02     | 0.52    | 1.41    | 0.32    | 0.21    | 0.57    | 0.15    | 0.23    | 0.13    | 0.19     |
| <sup>64</sup> Zn  | 97.53    | 134.71  | 115.64  | 245.52  | 286.18  | 215.84  | 396.41  | 416.11  | 578.06  | 440.88   |
| <sup>96</sup> Zr  | 3468.78  | -       | 275.72  | -       | -       | 279.14  | -       | -       | -       | -        |

**Çizelge 5.2 :** Hekimhan yöresinden alınan diğer 10 numuneye ait NAA yöntemi ile belirlenen element miktarları (µgr/gr). E=Erkek, K=Kadın

| Element           | 11-K(43). | 12-K(32) | 13-K(58) | 14-K(33) | 15-K(33) | 16-K(35) | 17-K(62) | 18-K(30) | 19-K(65) | 20-K(70) |
|-------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <sup>27</sup> Al  | 501.47    | 198.51   | 146.55   | 168.65   | 198.21   | 245.23   | 201.61   | 389.02   | 337.15   | 1153.09  |
| <sup>25</sup> As  | -         | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 0.0068   | -        | -        |
| <sup>197</sup> Au | 0.06      | 4.11     | 0.12     | 0.006    | 0.018    | -        | 0.011    | 0.011    | 0.00014  | 0.05     |
| <sup>81</sup> Br  | 0.47      | 1.71     | 0.52     | 0.98     | 1.46     | 3.66     | 0.68     | 0.89     | 0.006    | 1.19     |
| <sup>37</sup> Cl  | 276.31    | 1008.77  | 230.87   | 265.76   | 504.99   | 1596.09  | 526.39   | 738.96   | 452.11   | 1680.47  |
| <sup>59</sup> Co  | 1.73      | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <sup>50</sup> Cr  | -         | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <sup>65</sup> Cu  | 12.67     | 8.63     | 8.11     | 10.58    | 14.12    | -        | 12.12    | 12.51    | 12.37    | 127.27   |
| <sup>115</sup> In | 0.31      | 0.37     | 0.31     | 0.25     | 0.24     | 0.39     | 0.24     | 0.62     | 0.59     | 3.85     |
| <sup>41</sup> K   | -         | 57.99    | 14.91    | 304.26   | -        | 1286.67  | -        | -        | -        | -        |
| <sup>139</sup> La | -         | -        | 0.0049   | 0.059    | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <sup>26</sup> Mg  | 587.91    | 176.83   | 488.04   | 301.24   | 183.77   | 276.54   | 300.04   | 351.59   | 685.74   | 7866.68  |
| <sup>55</sup> Mn  | 4.16      | 1.67     | 1.52     | 1.63     | 2.42     | 2.93     | 2.11     | 3.61     | 3.34     | 12.01    |
| <sup>98</sup> Mo  | -         | -        | 0.99     | 1.08     | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <sup>23</sup> Na  | 128.49    | 69.64    | 81.38    | 68.17    | 76.85    | 555.87   | 140.61   | 241.61   | 350.53   | 816.89   |
| <sup>121</sup> Sb | -         | 1.91     | 1.75     | 0.11     | 0.03     | -        | 27.19    | 10.81    | 10.11    | -        |
| <sup>181</sup> Ta | -         | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <sup>186</sup> W  | -         | 0.04     | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <sup>51</sup> V   | 0.54      | 0.29     | 0.19     | 0.37     | 0.34     | 0.19     | 0.31     | 0.31     | 0.46     | 1.18     |
| <sup>64</sup> Zn  | 245.37    | 120.29   | 291.58   | 369.52   | 349.64   | 190.92   | -        | -        | -        | 112.43   |
| <sup>96</sup> Zr  | -         | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |

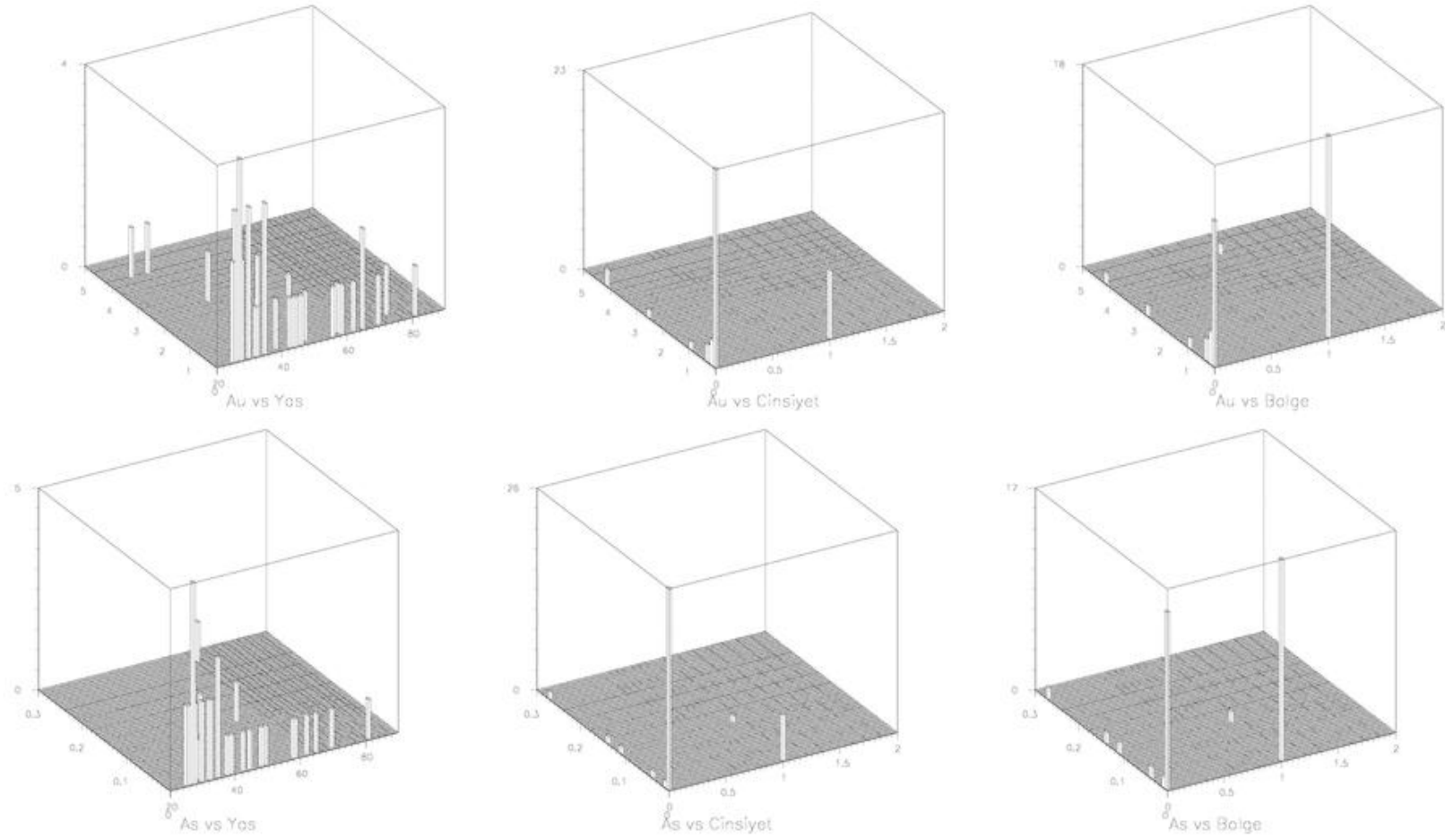
**Çizelge 5.3 :** İstanbul bölgesinden alınan ilk 10 numuneye ait NAA yöntemi ile belirlenen element miktarları (µgr/gr). E=Erkek, K=Kadın

| Element           | 21-E(26). | 22-E(26) | 23-K(27) | 24-E(26) | 25-K(32) | 26-K(28) | 27-E(27) | 28-K(27) | 29-E(30) | 30-E(56) |
|-------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <sup>27</sup> Al  | 330.98    | 200.89   | 289.11   | 271.09   | 74.57    | 627.26   | 160.24   | 778.61   | 270.46   | 437.33   |
| <sup>25</sup> As  | 0.39      | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 0.12     |
| <sup>197</sup> Au | 0.02      | 0.06     | 4.11     | -        | 0.03     | 0.004    | 0.005    | 0.03     | -        | -        |
| <sup>81</sup> Br  | 3.73      | 7.08     | 3.51     | 5.49     | 13.12    | 4.49     | 5.31     | 10.46    | 2.76     | 7.39     |
| <sup>37</sup> Cl  | 1614.9    | 436.38   | 463.85   | 556.91   | 365.52   | 987.33   | 276.51   | 1219.1   | 1196.3   | 1298.7   |
| <sup>59</sup> Co  | -         | -        | -        | -        | -        | -        | 3.71     | -        | -        | -        |
| <sup>50</sup> Cr  | -         | 4.41     | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <sup>65</sup> Cu  | 17.01     | 12.93    | 28.64    | 15.85    | 9.99     | -        | -        | 13.26    | -        | -        |
| <sup>115</sup> In | 0.47      | 0.47     | 0.42     | 0.51     | 0.49     | 1.04     | 0.21     | 0.97     | 1.29     | 0.35     |
| <sup>41</sup> K   | -         | -        | -        | -        | 39.23    | -        | 5.28     | 226.48   | 95.21    | -        |
| <sup>139</sup> La | -         | -        | -        | -        | -        | 0.022    | -        | -        | -        | -        |
| <sup>26</sup> Mg  | 132.38    | 149.71   | 190.58   | 258.14   | 108.02   | -        | 129.65   | 225.86   | 150.74   | 191.81   |
| <sup>55</sup> Mn  | 1.26      | 2.25     | 2.13     | 1.51     | 0.87     | 3.08     | 0.85     | 2.85     | 1.53     | 2.48     |
| <sup>98</sup> Mo  | -         | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <sup>23</sup> Na  | 234.42    | 114.16   | 167.63   | 140.68   | 56.94    | 259.24   | 70.79    | 374.24   | 149.13   | 202.48   |
| <sup>121</sup> Sb | 1.21      | 1.78     | 2.94     | -        | 0.95     | 0.09     | 0.05     | 8.98     | -        | 1.93     |
| <sup>181</sup> Ta | -         | -        | -        | -        | -        | 1.26     | -        | -        | -        | -        |
| <sup>186</sup> W  | -         | 0.19     | 0.15     | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 0.69     |
| <sup>51</sup> V   | -         | 0.21     | 0.18     | 0.12     | 0.09     | 0.45     | -        | -        | -        | 0.06     |
| <sup>64</sup> Zn  | 236.74    | 260.73   | 230.39   | 289.21   | 303.66   | 462.68   | 404.81   | -        | -        | -        |
| <sup>96</sup> Zr  | -         | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |

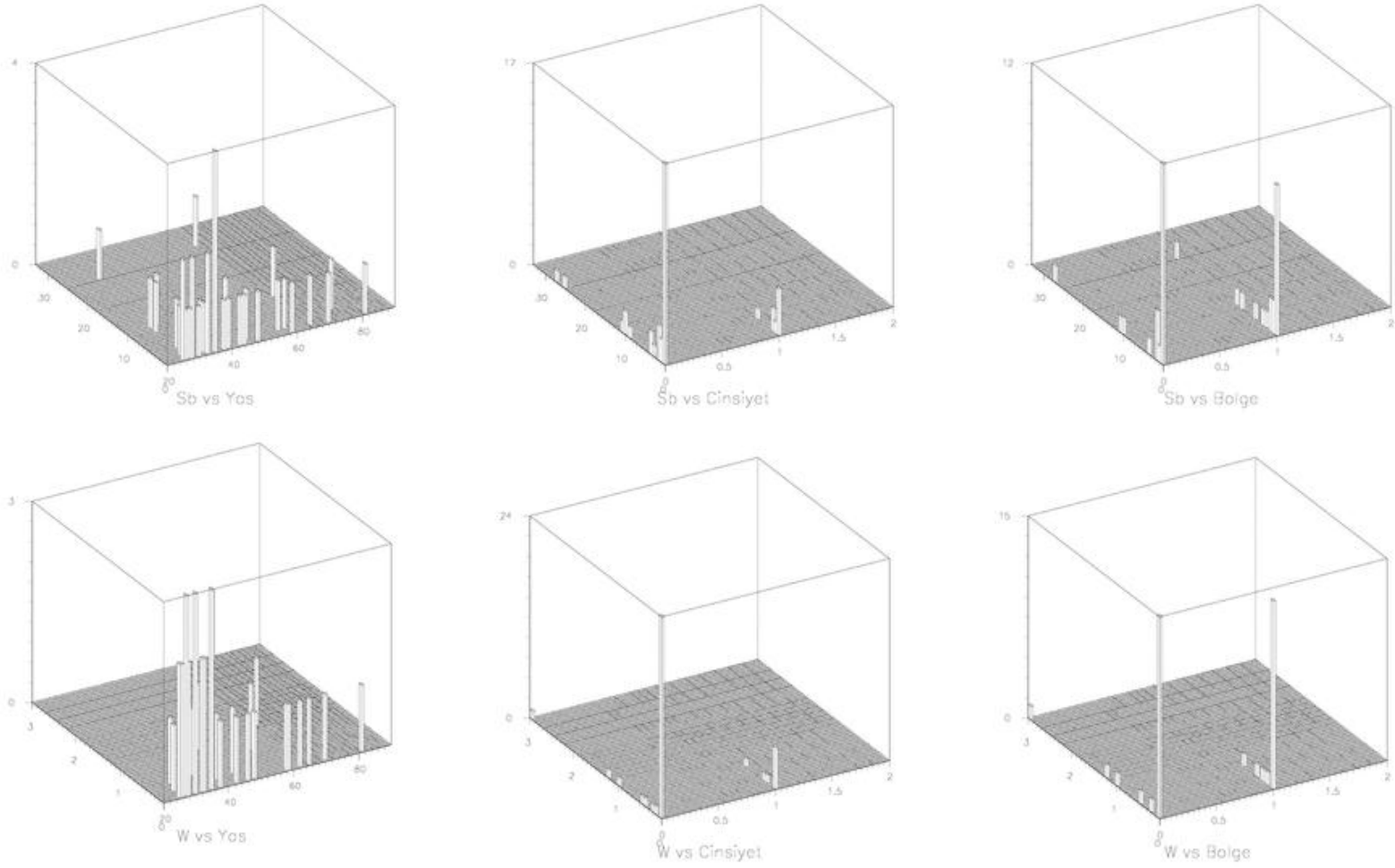
**Çizelge 5.4 :** İstanbul bölgesinden alınan diğer 10 numuneye ait NAA yöntemi ile belirlenen element miktarları (µgr/gr). E=Erkek, K=Kadın

| Element           | 31-K(27). | 32-K(25) | 33-K(25) | 34-K(27) | 35-K(70) | 36-K(35) | 37-E(45) | 38-K(30) | 39-K(35) | 40-K(28) |
|-------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <sup>27</sup> Al  | 361.53    | 261.51   | 674.98   | 653.57   | 131.05   | 510.49   | 1142.34  | 470.71   | 418.61   | 141.65   |
| <sup>25</sup> As  | -         | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <sup>197</sup> Au | -         | 0.006    | -        | 0.06     | -        | 0.016    | 0.01     | 0.01     | 0.07     | 0.0006   |
| <sup>81</sup> Br  | 5.65      | 5.14     | 6.07     | 10.61    | 0.86     | 4.78     | 4.39     | 2.55     | 2.99     | 1.37     |
| <sup>37</sup> Cl  | 456.45    | 415.92   | 709.55   | 998.84   | 296.63   | 674.84   | 2316.34  | 864.58   | 502.66   | -        |
| <sup>59</sup> Co  | -         | -        | -        | -        | -        | 1.15     | -        | -        | -        | -        |
| <sup>50</sup> Cr  | -         | -        | -        | 152.83   | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <sup>65</sup> Cu  | 21.08     | 4.23     | 24.16    | -        | 13.16    | 34.24    | 238.62   | 10.11    | -        | -        |
| <sup>115</sup> In | 0.16      | 0.57     | 0.87     | 1.31     | 0.54     | 0.55     | 2.04     | 0.55     | 0.53     | -        |
| <sup>41</sup> K   | 40.59     | -        | 11.31    | -        | -        | -        | -        | 152.85   | 71.83    | -        |
| <sup>139</sup> La | -         | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <sup>26</sup> Mg  | 298.28    | 245.77   | 552.55   | 397.53   | -        | 267.79   | 883.74   | 275.842  | 378.73   | -        |
| <sup>55</sup> Mn  | 2.32      | 2.04     | 4.69     | 4.08     | -        | 1.84     | 12.78    | 3.22     | 2.63     | -        |
| <sup>98</sup> Mo  | -         | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 16.46    | -        |
| <sup>23</sup> Na  | 152.87    | 113.29   | 215.15   | 237.04   | 59.65    | 224.79   | 529.62   | 232.37   | 196.33   | 79.79    |
| <sup>121</sup> Sb | 3.51      | 0.11     | -        | 10.27    | -        | -        | 5.85     | 25.65    | 0.18     | -        |
| <sup>181</sup> Ta | -         | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        | -        |
| <sup>186</sup> W  | -         | -        | -        | 0.41     | -        | -        | 0.27     | -        | -        | -        |
| <sup>51</sup> V   | -         | -        | 0.69     | -        | 0.07     | -        | 1.48     | 0.35     | -        | -        |
| <sup>64</sup> Zn  | 319.31    | 1042.91  | 921.41   | 173.79   | 236.78   | 276.61   | 177.62   | 242.01   | 236.91   | 193.58   |
| <sup>96</sup> Zr  | -         | -        | -        | -        | -        | -        | -        | 730.34   | -        | -        |

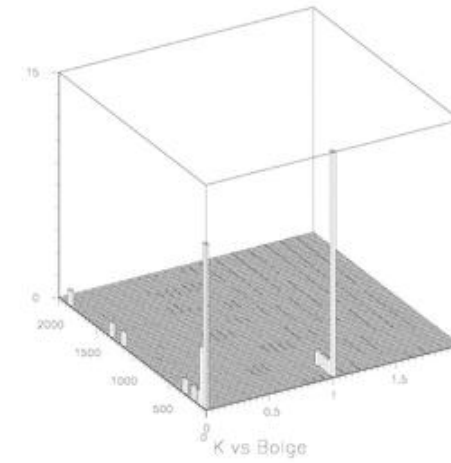
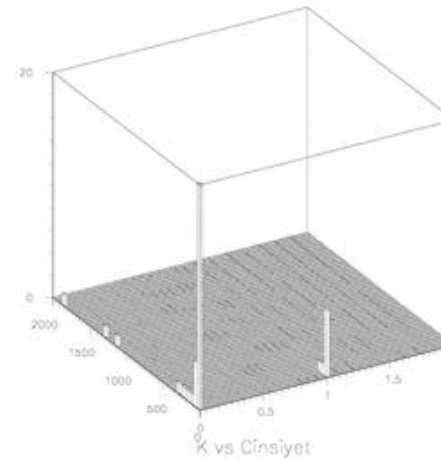
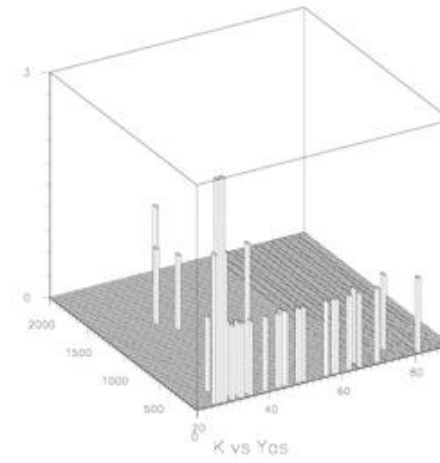
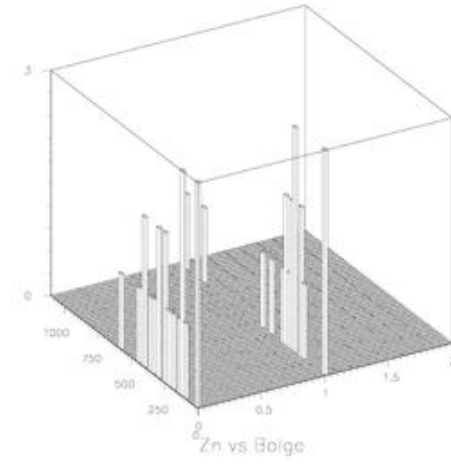
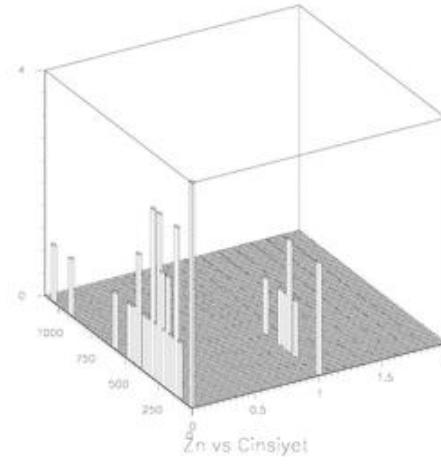
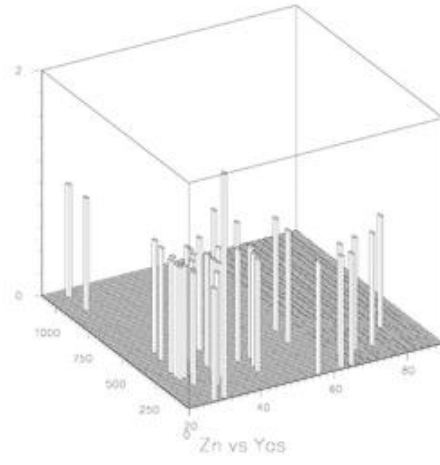
NAA yöntemi kullanılarak saç numuneleri içerisinde bulunan Mg, Mn, Cu, In, Na, V, Cl, Al, Br, Au, As, Sb, W, Zn, K, La, Ta, , Cr, Zr, Mo ve Co elementlerinin konsantrasyonları aşağıdaki grafiklerde yaşa, cinsiyete ve bölgelere göre dağılımları verilmiştir.



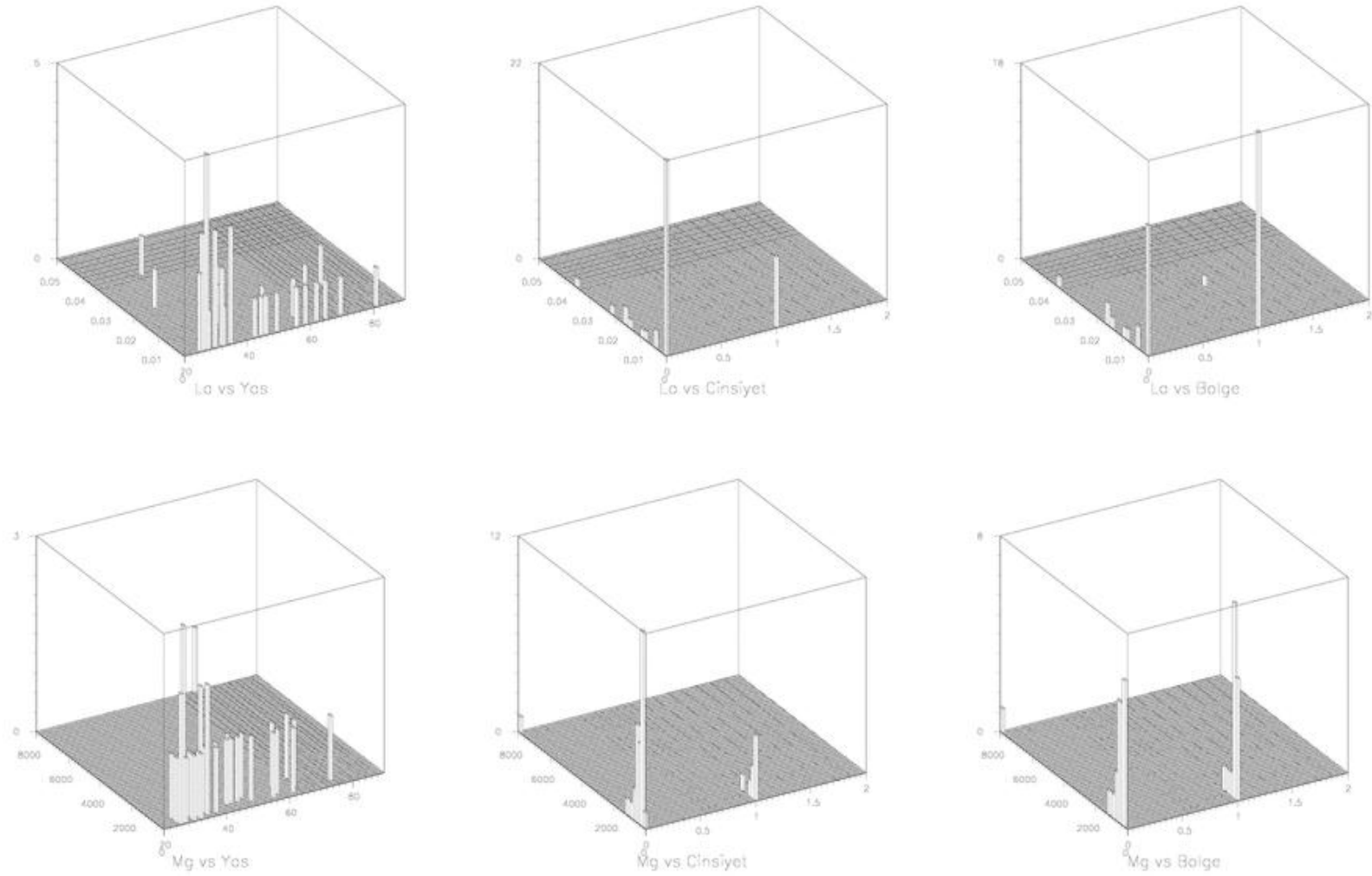
**Şekil 5.3 :** Au ve As elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).



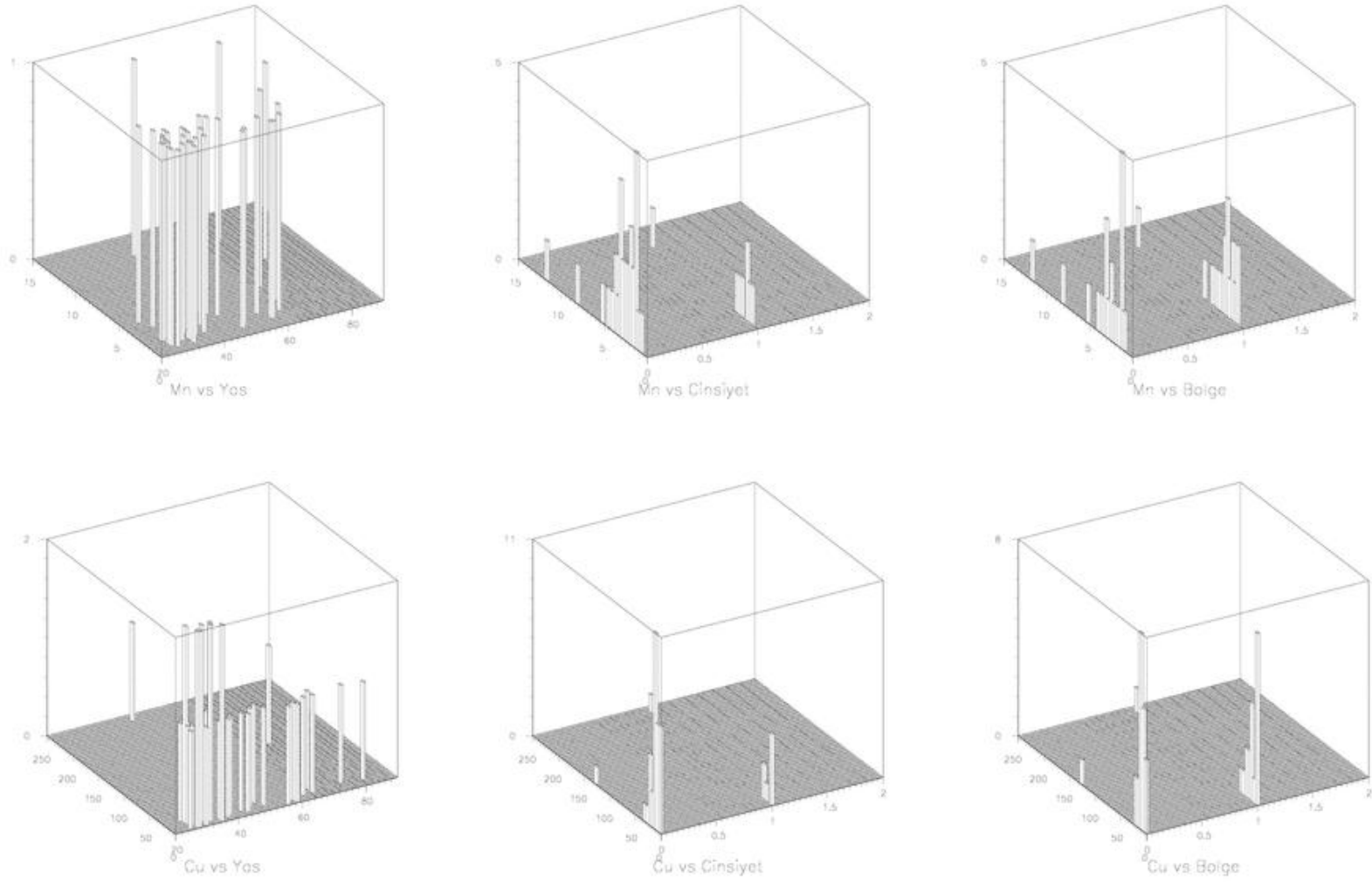
**Şekil 5.4 :** Sb ve W elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ )



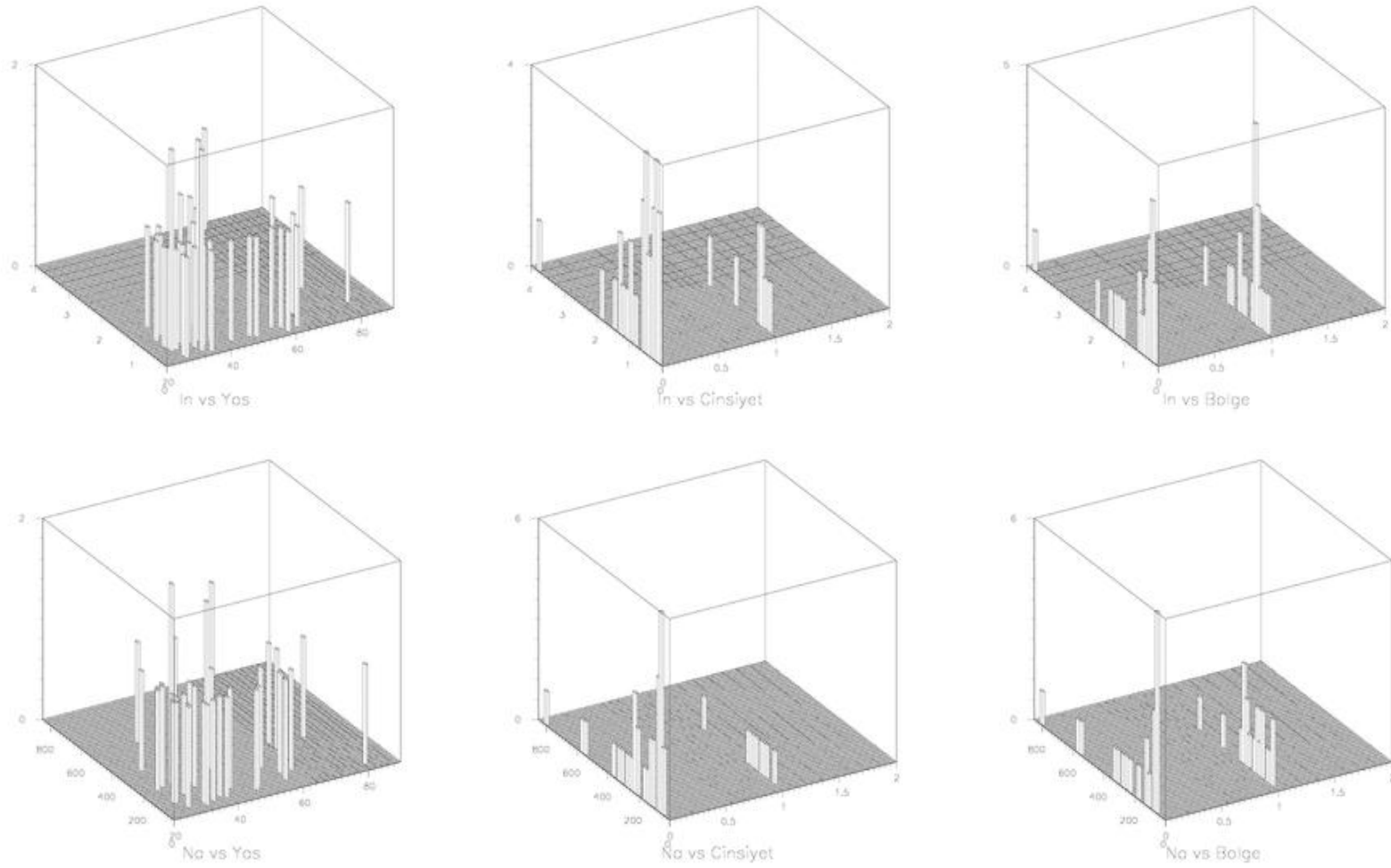
**Şekil 5.5 :** Zn ve K elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).



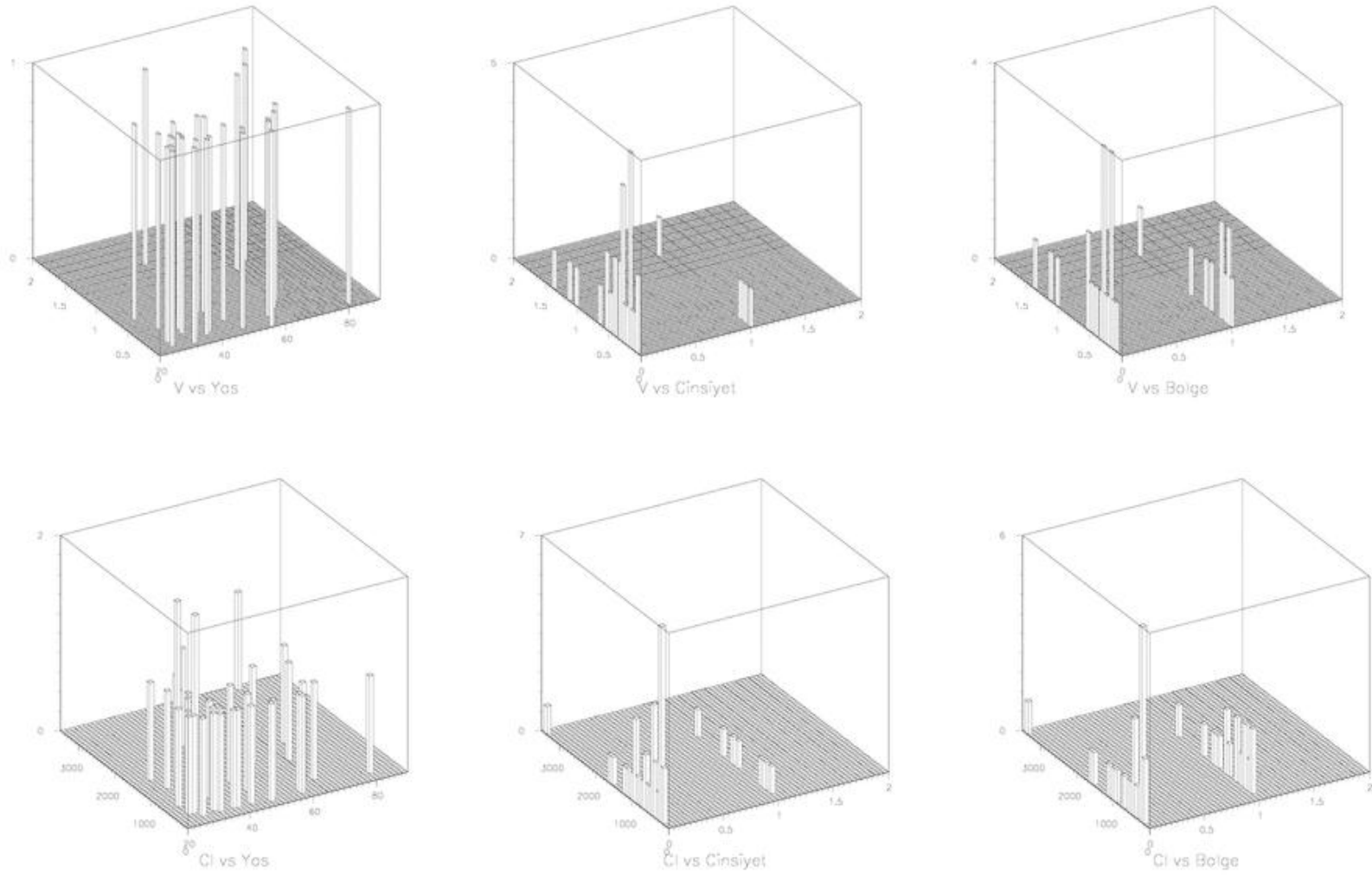
**Şekil 5.6 :** La ve Mg elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{g}/\text{gr}$ ).



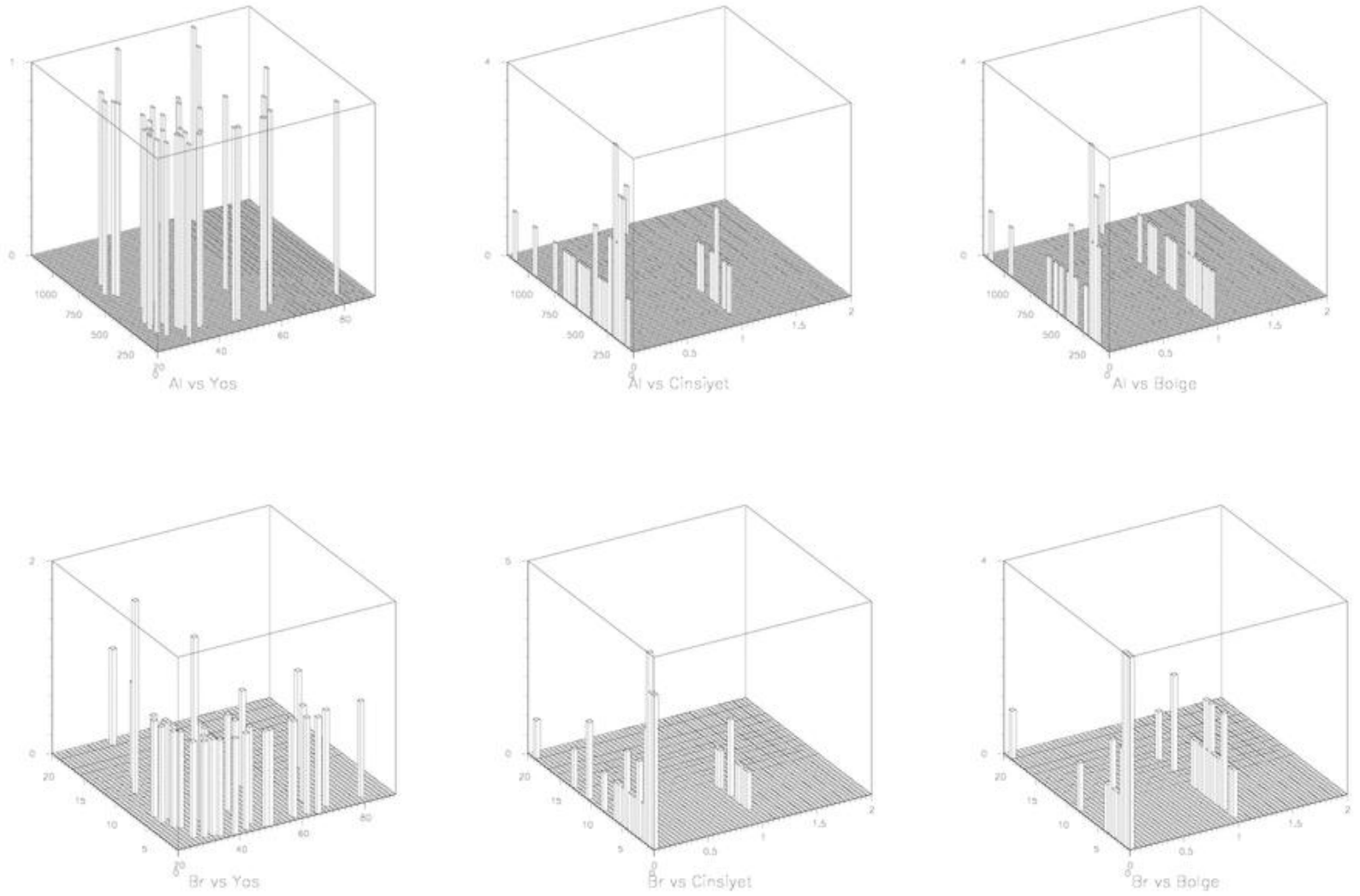
**Şekil 5.7 :** Mn ve Cu elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{g}/\text{gr}$ ).



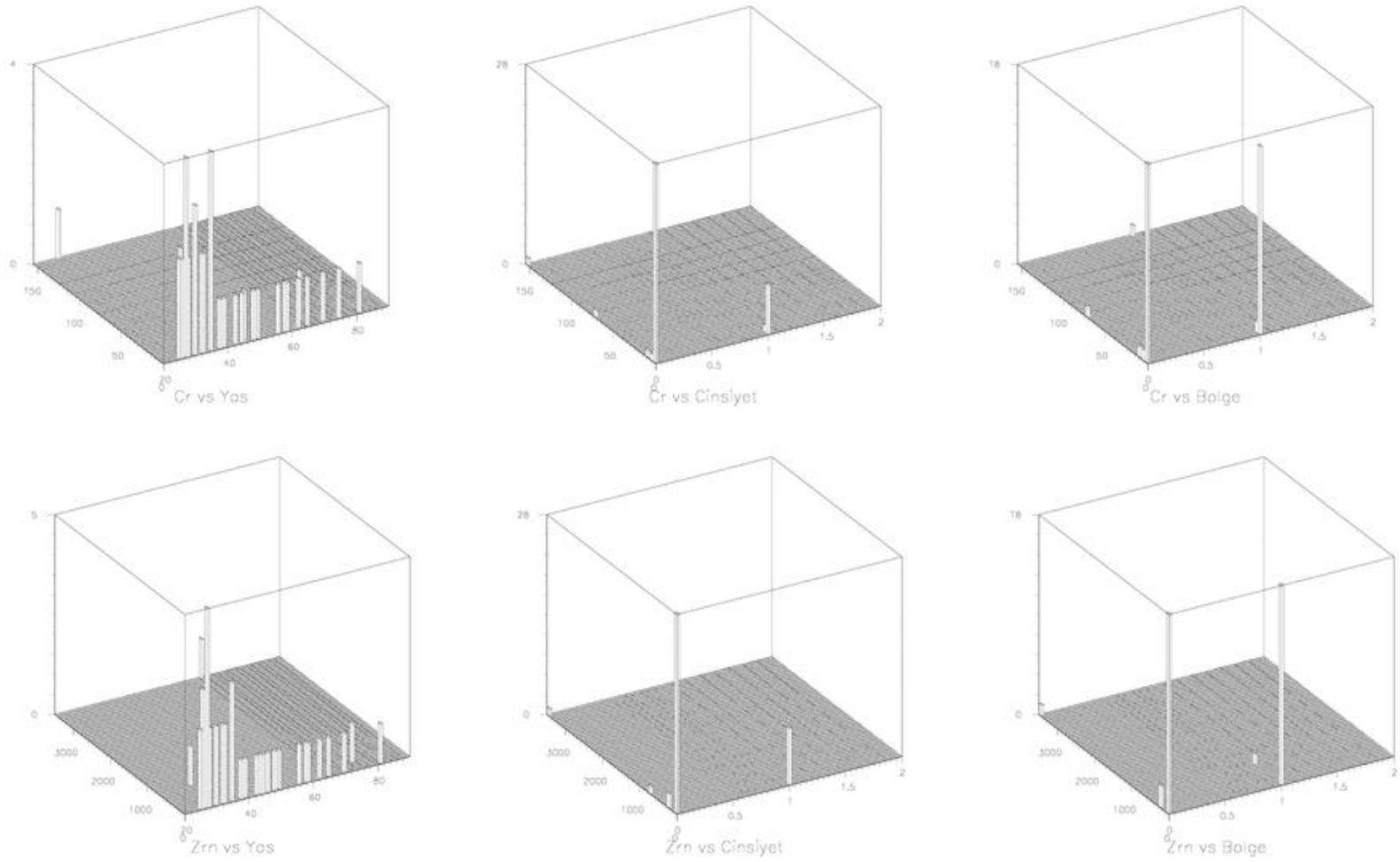
**Şekil 5.8 :** In ve Na elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{gr/gr}$ ).



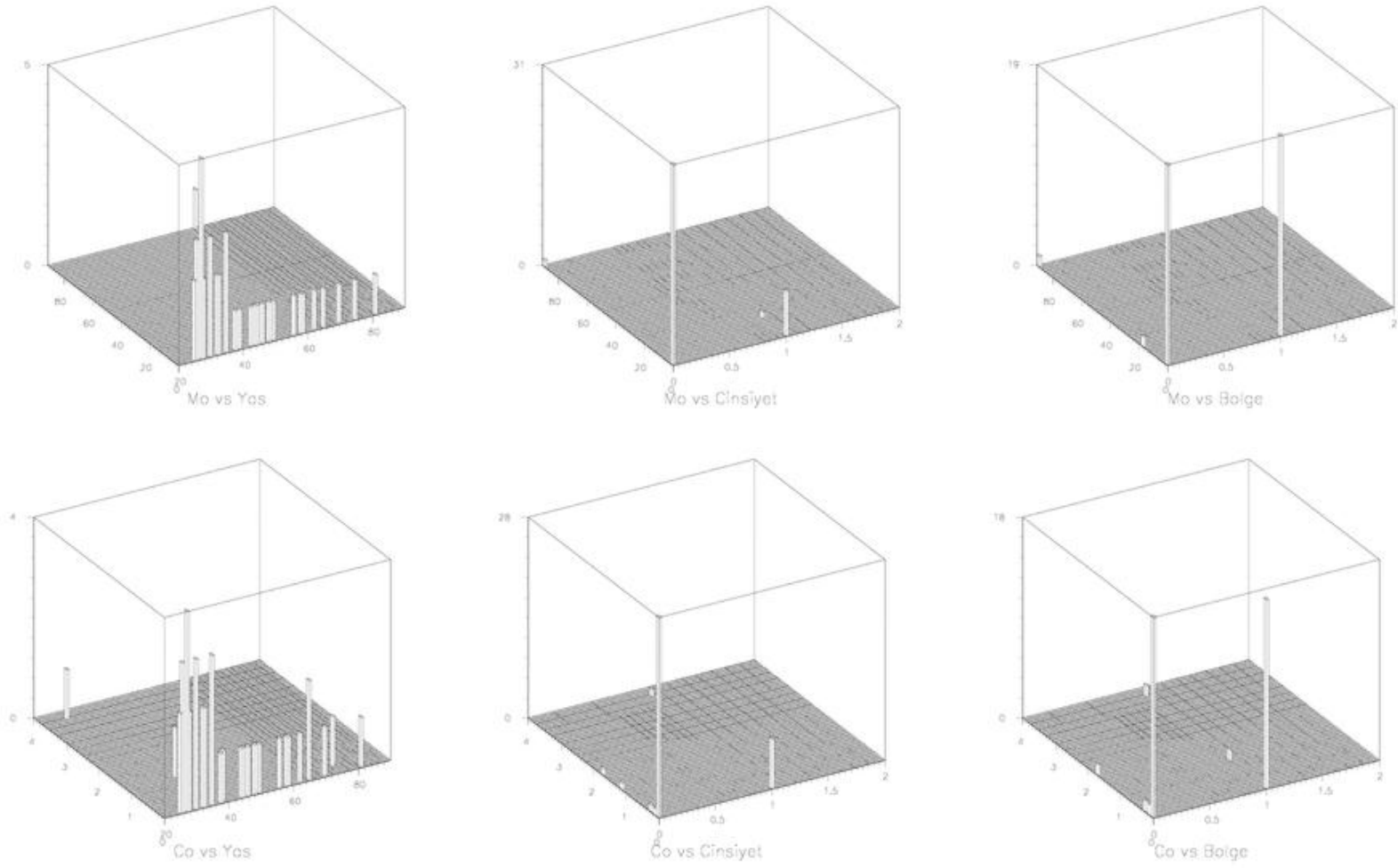
**Şekil 5.9 :** V ve Cl elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{g}/\text{gr}$ ).



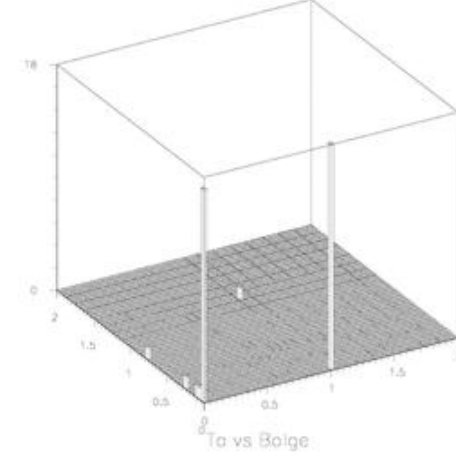
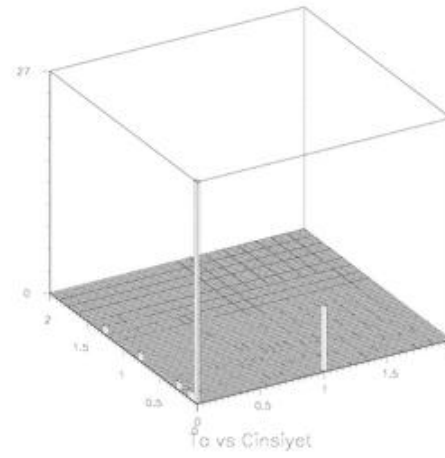
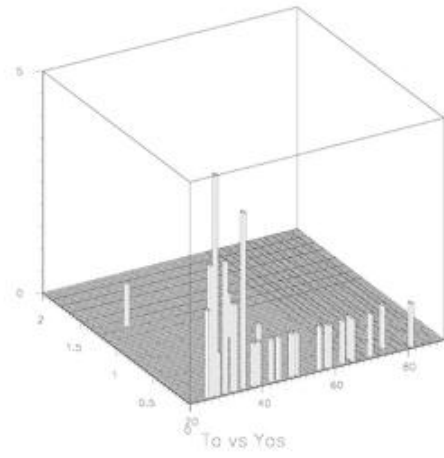
Şekil 5.10 : Al ve Br elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{g}/\text{gr}$ ).



Şekil 5.11 : Cr ve Zr elementlerine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları (µgr/gr).



**Şekil 5.12 :** Mo ve Co elementlerine ait yaşa ,cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımları ( $\mu\text{g}/\text{gr}$ ).



**Şekil 5.13 :** Ta elementine ait yaşa, cinsiyete ve bölgeye bağlı konsantrasyon dağılımı ( $\mu\text{gr/gr}$ ).



## 6. SONUÇ ve TARTIŞMA

İnsan saçındaki elementel yapının NAA metodu ile 21 element için kalitatif ve kantitatif olarak tayin edilebileceği çalışmada gösterilmiştir. Bununla birlikte gerçek bir istatistiki çalışma çok daha fazla numunenin NAA ile analiz edilmesi ile mümkün olabilir. Alınan 40 numuneden sadece 7 tanesinin erkeklerden alınmış olması erkek ile kadın arasındaki dağılım farklılıkları hakkında yorum yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte toplanan numunelerdeki yaş dağılımı neredeyse homojendir. Belirlenen konsantrasyonlar relatif olarak üç grupta değerlendirilebilir. Düşük konsantrasyonlu elementler; Au, As, W, La, Co, In, V, Ta ve Ca, orta konsantrasyonlu elementler; Sb, Mn, Mo, Br ve Cr, yüksek konsantrasyonlu elementler; Zn, K, Mg, Na, Cl, Al ve Zr.

Tam anlamı ile istatistiki olmasa da gözlemlere dayalı yorumlara gelince: Altın konsantrasyonu gençlerde daha yüksek ve genel olarak kadınlarda daha fazla görülmektedir. Taşrada yaşayan bir kadında gözlenen W konsantrasyonu kaydadeğer olarak ortalamadan yüksektir. Saçın doğal yapısında bulunan Zn bol miktarda numunelerde gözlenmektedir. Zn miktarı genelde kentte daha yüksek görülmektedir. Potasyum elementinin konsantrasyonu da genelde taşrada kenttekenden daha yüksek gözlenmektedir. Klor yine taşradaki bir bayanda yüksek olarak gözlenmektedir. Cr kentte bir bayanda ortalamanın çok üzerinde görülmektedir.

Konsantrasyonu belirlenen elementlerin, örneğin yüksek bulunan elementlerin neden bu kişilerde yüksek bulunduklarının yorumunu yapabilmek için, numunelerin toplandığı bölge insanların beslenme alışkanlıkları, yaşam koşulları, maddi durumları vb sosyo-ekonomik değerler ile bağlantılı ciddi bir çalışma yapılması gerekmektedir. Örneğin çinko miktarının saç dökülmesi ile ilgili olduğu söylenmektedir. Nitekim çinko miktarı ve kellik arasında bir korelasyon çalışması erkeklerden toplanan kayda değer sayıda numunenin çinko için analizi ile elde edilebilir. Bu çalışma kendi başına tıp dünyası açısından orijinal olabilir. İnsan saçının elementer konsantrasyonunun saç kökünden olan uzaklıkla da

değişebileceği düşünöldüğünde, uzunlukla bu elementer konsantrasyon arasındaki ilişkinin çıkarılması ilerisi için ilginç bir çalışma olabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Knoll, F.G.**, Radiation Detection and Measurement, Cilt no. 1, basım evi Quebeco.
- [2] **Abugassa, I., Sarmani, S.B., Samat, S.B.**, 1998: Multielement Analysis of Human Hair and Kidney Stones by Instrumental Neutron Activation Analysis with the  $k_0$ -Standardization Method ,*Applied Radiation and Isotopes*, 50 (1999) 989-994.
- [3] **ATSDR Hair Analysis Workshop**, June 2001 Atlanta,  
[http://www.atsdr.cdc.gov/hac/hair\\_analysis](http://www.atsdr.cdc.gov/hac/hair_analysis) , alındığı tarih 15.07.2009
- [4] **Zhang, H., Chai, Z., Sun, H.**, 2007: Human Hair as a Potential Biomonitor for Assessing Persistent Organic Pollutants, *Environment International*, 33 (2007) 685-693.
- [5] **Rainska, E., Biziuk, M., Sarbu, C., Szczepaniak, K., Frontasyeva M. V., Culicov, O., Bode, P. And Astel, A.**, 2005 : Assessment of Phosphatic Fertilizer Production Impact on Occupational Staff Based on NAA of Hair, Nails, and Inhalable Particles, *Journal of Environmental Science And Health*,40:2137-2152.
- [6] **Nowak, B.**, 1997 : Contents and Relationship of Elements in Human hair for a Non-Industrialised Population in Poland, *The Science of the Total Environment*, 209 (1998) 59-68.
- [7] **Chojnacka, K., Gorecka, H., Gorecki, H.**, 2005: The Effect of Age, Sex, Smoking Habit and Hair Color on the Composition of Hair. Environmental, *Toxicology and Pharmacology*, doi:10.1016/j.etap.
- [8] **Canberra Inc.**, Germanium Detectors User's Manual, Canberra Industries, Inc. USA.
- [9] **Emirhan, E. M.**, 2009. Zonguldak Yöresi Kömür Madenlerinde Doğal Radyoaktivitenin Kalitatif ve Kantitatif Analizi.
- [10] **Pazirandeh, A., Brati, H., Marageh, M.**, 1997: Determination of Arsenic in Hair Using Neutron Activation, *Appl.Radiat. Isot.*, Vol.49,No7, pp. 753-759.
- [11] **Giordani, L., Rizzio, E., Brandone, A.**, Neutron Activation analysis in Forensic Investigation: Trace Elements Characterization of Cigarettes, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 263.No.3(2005) 739-744
- [12] **Daniel, C., Piraccini M.**, et al., The Hair and Nail in Forensic Science, *The American Academy of Dermatology*, doi:10.1016
- [13] **Krane S. K.**, Nükleer Fizik, Cilt no. 1, basım evi: Palme Yayıncılık

- [14] **Özben, S. C.**, 1998. Nötron Aktivasyon analizi Yöntemi ile İnce Filmlerin Kalınlık Tayini, Doktora Tezi, İstanbul Türkiye
- [15] **Schramm, K. W.,München, H. Z.**, 2008: Hair Biomonitoring of Organic Pollutants, *Chemosphere*. ,72 (2008) 1103-1111
- [16] **O’Connell, T. C., and Hedges, R.E.M.**, 2001 : Isotopic Comporision of Hair Nail and Bone: Modern Analysis, *Journal of Archaeological Science*, (2001) 28, 1247-1255.
- [17] **Wennig, R.**, 1999: Potential Problems with the Interpretation of Hair Analysis Results,*Forensic Science International*, 107 (2000) 5-12.
- [18] **Barrera, B., Moreda-Pineiro, A.**, Determination of Aluminium and Manganese in Human Scalp Hair by electrothermal atomic absorption Spectrometry using slurry sampling, Vol..45 (1998) 1147-1154

## **EKLER**

**EK A.1 :** Hesaplamalarda ihtiyaç duyulan tüm bilgileri içeren fortran kodu.

**EK A.2 :** NAA ile oluşturulması mümkün olan periyodik tablodaki tüm çekirdekler için oluşturulan veri tabanı.

## EK A.1

```
Dimension egam(200,200),agam(200,200),en(200,200),enx(200)
Dimension abun(200),hl(200),iq(200),sth(200),sep(200)
Dimension area(200),earea(200),aa(200),apeak(200),eff(200)
Dimension gps(200),eeff(200)
Character*80 ajunk
character*8 ename(200),elem(200)
character*20 fname
real agram

open(9,file='alti.lst')

Do ijk=1,5 ! dossya sayısı
c   write(*,*)ijk

      Read(9,'(A20,I3)')fname,ialpha

Do i=1,200
  Do j=1,200
    en(i,j)=0.
  Enddo
Enddo

Open(1,file='energies.txt')

Do i=1,72
  Read(1,*)ename(i)
  Read(1,*)isay

  Do j=1,isay
    Read(1,*)en(i,j),agam(i,j),egam(i,j)
    agam(i,j)=agam(i,j)/100.
  Enddo

c   Write(*,*)i,' ',ename(i),' ',isay

      Read(1,'(A1)')ajunk
Enddo
Close(1)

Open(2,file='elements.txt')
Do k=1,72
Read(2,*)elem(k)
Enddo
Close(2)

Open(3,file='nuclei.txt')
Read(3,'(A8)')ajunk
```

```

Do k=1,72
Read(3,*)abun(k),hl(k),iq(k),sth(k),aj,sep(k),aj

```

```

abun(k)=abun(k)/100.

```

```

if(iq(k).eq.1) hl(k)=hl(k)*365.25*24.*3600.  !year
if(iq(k).eq.2) hl(k)=hl(k)*24.*3600.      !day
if(iq(k).eq.3) hl(k)=hl(k)*3600.  !hour
if(iq(k).eq.4) hl(k)=hl(k)*60.  !min
if(iq(k).eq.5) hl(k)=hl(k)*1.  !sec

```

```

Enddo
Close(3)

```

```

Open(1,file=fname)
Read(1,*)t_cnt
Read(1,*)t_coo
Read(1,*)t_irr
Read(1,*)agram
Read(1,*)ibak
  Do i=1,ibak
c   write(*,*)i
  Read(1,*)aj, enx(i),apeak(i),aj,eff(i),eeff(i)
  area(i)=apeak(i)/(t_cnt*eff(i))
  Enddo
Close(1)

```

```

Open(1,file='aa.txt')
  Do i=1,72
Read(1,*)aa(i)
  Enddo
Close(1)

```

```

c  Write(*,*)'*****'
c  Write(*,*)'*****',fname,'*****'
c  Write(*,*)'*****'

```

```

ic=0
Do i=1,ibak

```

```

  Do j=1,72
    Do k=1,72

```

```

      if (en(j,k).ne.0) then
        af=abs(enx(i)-en(j,k))
        if (af.le.0.80) Then
          alambda=0.693/hl(j)
          am=(aa(j)-1.)*area(i)*t_cnt*alambda

```

```

am=am/(abun(j)*6.02E23*agam(j,k))
am=am/(1.-exp(-alambda*t_irr))
am=am/exp(-alambda*t_coo)
am=am/(1.-exp(-alambda*t_cnt))
am=am*1.E24/(3.31E12*sth(j)+9.0E10*sep(j))
am=am*1000000*1000/agram

      if (am.le.100000) then
        write(*,'(2F8.2,A10,F10.0,F20.10,2I10)')
1    enx(i),en(j,k),elem(j),aa(j),am,ialpha,ijk
      Endif

c      write(*,'(A10,2F20.10)')elem(j),abun(j),alambda

      Endif
      Endif
      Enddo
      Enddo
    Enddo

  ENDDO
  CLOSE(9)

Stop
End

```

## EK A.2

| Elements | ABUN   |         | q | SIG_TH |    | SIG_EP |    |
|----------|--------|---------|---|--------|----|--------|----|
| 24Na     | 100    | 14.959  | 3 | 0.53   | 5  | 0.311  | 10 |
| 27Mg     | 11.01  | 9.458   | 4 | 0.0382 | 8  | 0.026  | 20 |
| 28Al     | 100    | 2.2414  | 4 | 0.231  | 3  | 0.17   | 7  |
| 38Cl     | 24.23  | 37.24   | 4 | 0.433  | 6  | 0.3    | 4  |
| 42K      | 6.7302 | 12.36   | 3 | 1.46   | 3  | 1.42   | 6  |
| 46Sc     | 100    | 83.79   | 2 | 27.2   | 20 | 12     | 5  |
| 51Cr     | 4.345  | 27.7025 | 2 | 15.9   | 20 | 7.8    | 4  |
| 51Ti     | 5.4    | 5.76    | 4 | 0.179  | 3  | 0.118  | 11 |
| 52V      | 99.75  | 3.743   | 4 | 4.9    | 10 | 2.7    | 10 |
| 55Cr     | 2.365  | 3.497   | 4 | 0.36   | 4  | 0.18   | 4  |
| 56Mn     | 100    | 2.5785  | 3 | 13.3   | 20 | 14     | 3  |
| 59Fe     | 0.282  | 44.503  | 2 | 1.28   | 5  | 1.7    | 10 |
| 60Co     | 100    | 5.2714  | 1 | 37.18  | 6  | 74     | 20 |
| 64Cu     | 69.17  | 12.7    | 3 | 4.5    | 20 | 4.97   | 8  |
| 65Ni     | 0.926  | 2.5172  | 3 | 1.8    | 4  | 1.16   | 18 |
| 65Zn     | 48.63  | 244.26  | 2 | 0.76   | 20 | 1.45   | 6  |
| 66Cu     | 30.83  | 5.12    | 4 | 2.17   | 3  | 2.19   | 7  |
| 70Ga     | 60.108 | 21.14   | 4 | 1.68   | 7  | 15.6   | 15 |
| 72Ga     | 39.892 | 14.1    | 3 | 4.71   | 23 | 31.2   | 19 |
| 75Ge     | 35.94  | 82.78   | 4 | 0.51   | 8  | 1      | 20 |
| 76As     | 100    | 1.0778  | 2 | 4.5    | 10 | 61     | 4  |
| 80Br     | 50.69  | 17.68   | 4 | 11     | 7  | 127    | 14 |
| 81Se     | 49.61  | 18.45   | 4 | 0.61   | 5  | 2      | 6  |
| 82Br     | 49.31  | 35.3    | 3 | 2.7    | 20 | 50     | 5  |
| 86Rb     | 72.165 | 18.631  | 2 | 0.48   | 10 | 5.4    | 5  |
| 95Zr     | 17.38  | 64.02   | 2 | 0.0499 | 24 | 0.23   | 10 |
| 97Zr     | 2.8    | 16.91   | 3 | 0.0229 | 10 | 5.3    | 3  |
| 99Mo     | 24.13  | 65.94   | 3 | 0.13   | 6  | 6.9    | 3  |
| 103Ru    | 31.55  | 39.26   | 2 | 1.21   | 7  | 4.2    | 10 |
| 104Rh    | 100    | 42.3    | 5 | 145    | 20 | 1100   | 5  |
| 105Ru    | 18.62  | 4.44    | 3 | 0.32   | 6  | 4.3    | 10 |
| 109Pd    | 26.46  | 13.7012 | 3 | 8.5    | 5  | 244    | 4  |
| 110Ag    | 48.161 | 24.46   | 5 | 86.3   | 0  | 1328   | 5  |
| 110Agm1  | 48.161 | 249.79  | 2 | 4.7    | 20 | 72     | 4  |
| 116In    | 95.7   | 14.1    | 5 | 40     | 20 | 650    | 3  |
| 116Inm1  | 95.7   | 54.29   | 4 | 162.3  | 7  | 2650   | 10 |
| 117Cd    | 7.49   | 2.49    | 3 | 0.05   | 8  | 1.2    | 0  |
| 117Cd m1 | 7.49   | 3.36    | 3 | 0.025  | 10 | 1.2    | 0  |
| 122Sb    | 57.21  | 2.7238  | 2 | 5.9    | 20 | 200    | 20 |
| 124Sb    | 42.64  | 60.2    | 2 | 4.2    | 10 | 125    | 20 |
| 125Sn    | 5.79   | 9.64    | 2 | 0.134  | 5  | 8      | 20 |

|       |         |         |   |       |    |      |    |
|-------|---------|---------|---|-------|----|------|----|
| 127Te | 18.84   | 9.35    | 3 | 1.04  | 15 | 8    | 6  |
| 129Te | 31.74   | 69.6    | 4 | 0.215 | 8  | 1.66 | 6  |
| 131Te | 33.8    | 30      | 2 | 0.27  | 6  | 0.46 | 5  |
| 134Cs | 100     | 2.0648  | 1 | 29    | 15 | 440  | 3  |
| 133Ba | 0.101   | 10.51   | 1 | 7     | 8  | 2.8  | 0  |
| 139Ba | 71.698  | 83.06   | 4 | 0.36  | 4  | 0.32 | 4  |
| 140La | 99.9098 | 1.6781  | 2 | 8.93  | 4  | 11.8 | 8  |
| 141Ce | 88.48   | 32.501  | 2 | 0.57  | 4  | 0.47 | 5  |
| 142Pr | 100     | 19.12   | 3 | 11.5  | 3  | 17.4 | 20 |
| 147Nd | 17.19   | 10.98   | 2 | 1.4   | 10 | 3.2  | 5  |
| 149Nd | 5.76    | 1.728   | 3 | 2.5   | 20 | 14   | 10 |
| 152Eu | 47.81   | 13.537  | 1 | 9200  | 10 | 3300 | 3  |
| 153Sm | 26.7    | 46.284  | 3 | 209   | 6  | 3000 | 10 |
| 154Eu | 52.2    | 8.593   | 1 | 312   | 7  | 1420 | 10 |
| 155Sm | 22.75   | 22.3    | 4 | 8.4   | 5  | 32   | 6  |
| 159Gd | 24.84   | 18.479  | 3 | 2.2   | 20 | 73   | 7  |
| 160Tb | 100     | 72.3    | 2 | 23.4  | 4  | 418  | 20 |
| 165Dy | 28.18   | 2.334   | 3 | 2650  | 10 | 340  | 20 |
| 166Ho | 100     | 26.83   | 3 | 64.7  | 12 | 670  | 20 |
| 171Er | 14.91   | 7.516   | 3 | 5.8   | 3  | 45   | 3  |
| 175Yb | 31.83   | 4.185   | 2 | 69    | 5  | 27   | 3  |
| 177Lu | 2.59    | 6.734   | 2 | 2090  | 7  | 1095 | 5  |
| 181Hf | 35.08   | 42.39   | 2 | 13.04 | 7  | 35   | 10 |
| 182Ta | 99.988  | 114.43  | 2 | 20.5  | 5  | 660  | 23 |
| 186Re | 37.4    | 3.7183  | 2 | 112   | 20 | 1720 | 5  |
| 187W  | 28.6    | 23.72   | 3 | 64    | 10 | 2800 | 6  |
| 191Os | 26.36   | 15.4    | 2 | 13.1  | 3  | 30   | 10 |
| 193Os | 40.93   | 30.11   | 3 | 2     | 10 | 4.6  | 20 |
| 197Pt | 25.242  | 19.8915 | 3 | 0.72  | 4  | 5.1  | 3  |
| 199Pt | 7.2     | 30.8    | 4 | 3.66  | 19 | 54   | 4  |
| 198Au | 100     | 2.69517 | 2 | 98.65 | 9  | 1550 | 3  |

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad** : Emine GÜNAY

**Doğum Yeri ve Tarihi** : Hekimhan 1982

**Adres** : Eskişehir Mah. Eşref Efendi Sok. No:143/5 Kurtuluş/Şişli  
İstanbul

**Lisans Üniversite** : Abant İzzet Baysal Üniversitesi