

**HAVA NUMUNELERİNDE ESER ELEMENTLERİN VE $\text{Lu}_2\text{La}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12} : \text{Cr}^{3+}$,
 $\text{TeO}_2\text{LiCl} : \text{Tm}^{3+}$ KRİSTALLERİNDEKİ SAFSIZLIKLARIN
NÖTRON AKTİVASYON YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

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

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Birkan BELİN
(509950036012)**

112248

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Ocak 2001

Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Mayıs 2001

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin GÜVEN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Beril TUĞRUL (İTÜ)

Prof. Dr. Galip TEPEHAN (İTÜ)

Prof. Dr. Nizamettin ERDURAN (İÜ)

Prof. Dr. Metin SUBAŞI (YTÜ)

H. Güven
Beril Tuğrul
Galip Tepehan

Nizamettin Erduran

Metin Subaşı

TEMMUZ 2001

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarımın her aşamasında engin bilgilerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr.Hüseyin GÜVEN'e ve hayatım boyunca bana maddi, manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim. Tezin yazımı sırasında yardımcı olan Araş. Gör. Esat PEHLİVAN'a çok teşekkür ederim.

Temmuz 2001

Birkan BELİN



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. NÖTRON AKTİVASYON ANALİZİ	2
2.1. Giriş	2
2.2. Elementlerin Belirlenmesi ve Duyarlılıkları	2
2.3. Elementel Analiz	6
BÖLÜM 3. DENEY DÜZENEGİ	9
3.1. Numune Hazırlanması	9
3.2. Sayım Sistemi	9
3.3. Dedektör Veriminin Belirlenmesi	10
3.4. Reaktör Akısının Belirlenmesi	11
BÖLÜM 4. HAVA ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ	12
4.1. Ağır Metaller ve Biyolojik Etkileri	12
4.2. Hava Örneklerinin Spektrumlarının Değerlendirilmesi	13
4.3. Elementlerin ve Miktarlarının Belirlenmesi	14
BÖLÜM 5. KRİSTALLERDE SAFSIZLIKLARIN BELİRLENMESİ	16
5.1. $\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12} : \text{Cr}^{3+}$ Kristalindeki Safsızlıkların Belirlenmesi	16
5.2. $\text{TeO}_2\text{LiCl} : \text{Tm}^{3+}$ Kristalindeki Safsızlıkların Belirlenmesi	22
BÖLÜM 6. SONUÇ VE TARTIŞMALAR	25
EK A	27
EK B	39
EK C	42
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	50

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Farklı analitik metotların $\mu\text{g/g}$ cinsinden duyarlılıkları.	4
Tablo 2.2. NAA ile optimum ışınlama, soğutma ve sayma zamanları ile belirlenmiş elementlerin duyarlılıkları.	5
Tablo 3.1. Numunelerin ışınlandığı konumlardaki reaktör akıları.	11
Tablo 4.1. Çevreden alınan Pb, Cd, As, Hg elementlerinin metabolik etkileri.	12
Tablo 4.2. Hava numunelerinin miktarları, ışınlama süreleri ve ışınlandıkları yerler	13
Tablo 4.3. Hava numunelerinde belirlenen elementlerin konsantrasyonları	15
Tablo 5.1. $\text{La}_2\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12} : \text{Cr}^{3+}$ kristalinin elementel analizi için gerekli giriş verileri.	18
Tablo 5.2. $\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12} : \text{Cr}^{3+}$ kristali element konsantrasyon sonuçları.	22
Tablo 5.3. $\text{TeO}_2\text{LiCl} : \text{Tm}^{3+}$ kristalinde üretilen izotoplara ait veriler.	23
Tablo 5.4. $\text{TeO}_2\text{LiCl} : \text{Tm}^{3+}$ kristalinin elemental konsantrasyonu.	24
Tablo B.1. Hava numunelerinin elementel analizi için gerekli giriş verileri.	39
Tablo C.1. Bazı çok kısa yarıömürlü izotopların yarıömürleri ve ana gama çizgileri.	42
Tablo C.2. Bazı kısa yarıömürlü izotopların yarıömürleri ve ana gama çizgileri.	43
Tablo C.3. Uzun yarıömürlü izotopların yarıömür ve nicel analizindeki gama çizgileri.	44
Tablo C.4. Bazı çok uzun yarıömürlü izotopların yarıömür ve ana gama çizgileri.	45

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.	^{82}Br ve $^{82\text{m}}\text{Br}$ düzeylerinden 776.5 keV gama düzeyine katkının şematik olarak gösterilişi.	7
Şekil 3.1.	Deney düzeneğinin blok şeması.	9
Şekil 3.2.	HPGe gama ışını dedektörünün verim eğrisi.	11
Şekil 5.1.	$\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ kristalinin garnet yapısı.	16
Şekil 5.2.	^{51}Cr radyoizotopunun gama ışını enerji düzeyleri.	17
Şekil 5.3.	320 keV enerji bölgesindeki piklerin fiti.	17
Şekil 5.4.a.	$\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ kristalinin 5 dakika ışınlama 52.4 dakika soğutma zamanı sonucunda alınmış spektrumu	19
Şekil 5.4.b.	Aynı spektrumun yüksek enerjili bölümü.	20
Şekil 5.5.	$\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ kristalinin 30 dakika ışınlama 96480 dakika soğutma zamanı sonunda alınan gama spektrumu.	21
Şekil 5.6.	$\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ kristalinin XRF spektrumu	22
Şekil A.1.a.	Birinci hava numunesinin 30 dakika ışınlama 5904 dakika soğutma zamanı sonunda alınan spektrumu.	27
Şekil A.1.b.	Aynı spektrumun yüksek enerjili bölümü.	28
Şekil A.2.a.	Birinci hava numunesinin 30 dakika ışınlama 11682 dakika soğutma zamanı sonunda alınan spektrumu	29
Şekil A.2.b.	Aynı spektrumun orta enerjili bölümü.	30
Şekil A.2.c.	Aynı spektrumun yüksek enerjili bölümü.	31
Şekil A.3.a.	Üçüncü hava numunesinin 5 dakika ışınlama 11.3 dakika soğutma zamanı sonunda alınan spektrumu.	32
Şekil A.3.b.	Aynı spektrumun yüksek enerjili bölümü.	33
Şekil A.4.a.	Kampüs hava numunesinin 5 dakika ışınlama 21 dakika soğutma zamanı sonucunda alınan spektrumu.	34
Şekil A.4.b.	Aynı spektrumun orta enerjili bölümü.	35
Şekil A.4.c.	Aynı spektrumun yüksek enerjili bölümü.	36
Şekil A.5.a.	Kampüs hava numunesinin 5 dakika ışınlama 1183 dakika soğutma zamanı sonucunda alınan spektrumu.	37
Şekil A.5.b.	Aynı spektrumun yüksek enerjili bölümü.	38

SEMBOL LİSTESİ

A	: Atom ağırlığı
a	: Radyoizotopun doğadaki izotopik bolluğu
b	: Elementin numune içerisindeki ağırlıkça yüzdesi
ε	: Dedektörün mutlak verimi
I_γ	: Gama çizgilerinin mutlak geçiş şiddeti
$I_{m\beta}$	: İzomerik durumun β geçiş olasılığı
λ_g	: Radyoizotopun temel durum bozunma sabiti
λ_m	: Radyoizotopun izomerik durum bozunma sabiti
Σ	: Background çıkartılmış pik alanı
N_0	: Avogadro sayısı
m	: Numune miktarı
t_δ	: Ölçüm süresi
t_s	: Soğutma süresi
t_i	: İşinlama süresi
σ_{gth}	: Temel düzeyin termal nötron etki kesidi
σ_{geth}	: Temel düzeyin epitermal nötron etki kesidi
ϕ_{th}	: Reaktörün termal nötron akısı
ϕ_{eth}	: Reaktörün epitermal nötron akısı.
λ_m	: İzomerik durum bozunma sabiti

KISALTMA LİSTESİ

HPGe	: Yüksek Safılıkta Germanyum
$\text{La}_2\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$	: Krom iyonu katkılı Lutesyum Lantanyum Galyum Garnet
$\text{TeO}_2\text{LiCl}:\text{Tm}^{3+}$	: Tulyum iyonu katkılı Tellüryumdioksit Lityumklorür
NAA	: Nötron Aktivasyon Analizi
S100	: Sistem 100
AES	: Atomik Emisyon Spektroskopisi
MS	: Kütle Spektroskopisi
XRF	: X ışını floresans yöntemi
Chem	: Kimyasal Analiz
AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi
PIXE	: Parçacık Tesirli X ışını Emisyonu
Ppm	: Milyonda bir
ADC	: Analog Dijital Çevirici
PC	: Bilgisayar
KeV	: Kilo Elektron Volt
MCA	: Çok Kanallı Analizör
MeV	: Mega Elektron Volt
CdO	: Kadmiyum Oksit
PbO	: Kurşun Oksit
M_{1u}	: 30 dakika ışınlama için birinci numunenin miktarı
M_{3u}	: 30 dakika ışınlama için üçüncü numunenin miktarı
M_{mixu}	: 30 dakika ışınlama için karışık numunenin miktarı
M_{1k}	: 5 dakika ışınlama için birinci numunenin miktarı
M_{3k}	: 5 dakika ışınlama için üçüncü numunenin miktarı
M_{mixk}	: 5 dakika ışınlama için karışık numunenin miktarı
M_K	: 5 dakika ışınlama için Kampüs numunesinin miktarı
DE	: Elektron ve Pozitron için enerji harcanmış
SE	: Elektron için enerji harcanmış
b	: barn
Bg	: Background
$T_{1/2}$	: Yarılanma ömrü
E_γ	: Gama Enerjisi

**HAVA NUMUNELERİNDE ESER ELEMENTLERİN VE $\text{Lu}_2\text{La}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$,
 $\text{TeO}_2\text{LiCl}:\text{Tm}^{3+}$ KRİSTALLERİNDEKİ SAFSIZLIKLARIN
NÖTRON AKTİVASYON YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

ÖZET

Nötron Aktivasyon Analizi, eser elementlerin nicel analizinde kullanılan çok duyarlı bir tekniktir. Bu nedenle multielement analizinde ilk başvurulacak yöntemlerden biridir. Nötron aktivasyon analizinin en önemli avantajlarından biri matris yapısında H, C, O, N, P ve Si içeren örneklerde eser elementlerin belirlenmesidir. Dolayısıyla, bu yöntemle matris elementlerinden gama ışını gelmez ve dolayısıyla spektrumunda herhangi bir girişim olmaz.

Bu çalışmada incelenen numunelerin ışınlamaları, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü TRIGA MARK-II reaktöründe yapıldı. Kısa yarıömürlü izotoplar Tavşan sisteminde 5 dakika ve uzun yarıömürlü izotoplar reaktörün merkezinde 30 dakika ışınladı. Gama ışını spektrumları 1332 keV de enerji rezolüsyonu 1.8 keV olan yüksek saflıkta bir HPGe dedektörü ve Canberra S100 çok kanallı analizörü ile alındı. Alınan spektrumlar Sampo 90 programı ile analiz edildi.

Nötron aktivasyon analizinin çevre ve kristal teknolojisi üzerine olan uygulamaları oldukça yaygındır. Hava numunelerindeki elementlerin, özellikle Pb, Cd ve As incelenmesi halk sağlığı bakımından önem taşır. Kurşunlu benzin kullanan araçlarda havaya bol miktarda Pb ve Br atılır. Bu çalışmada, yoğun trafik akışı olan İstanbul ikinci boğaz köprüsünden alınan hava numuneleri nötron aktivasyon analizi ile incelendi ve 22 element belirlendi. Pb, Cd, ve Fe miktarları ise Atomik Absorpsiyon spektroskopisi (AAS) ile tayin edildi. Köprü civarı ve kırsal kesimden alınan örneklerin elementel yapısını karşılaştırmak için İTÜ Maslak kampüsünden numune alındı ve aynı yöntemle değerlendirildi. İki bölge arasında Fe, Br, As, Mg, Al, Ti, Cr, Cu, Sb, La, La, Sc ve Sm miktarlarında büyük farklılıklar görüldü. Köprü örneklerinde Br/Pb oranı için 0.58(16) ve Cl/Pb oranı için ise 2.6(6) bulundu.

Lazer özelliği gösteren kristallerde katkı iyonlarının miktarları optik ve termal özellikler bakımından oldukça önemlidir. $\text{La}_2\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ ve $\text{TeO}_2\text{LiCl}:\text{Tm}^{3+}$ kristal örnekleri nötron aktivasyon analizi ile incelendi. İlk kristalde matris yapısını oluşturan ana elementler ile birlikte Cr^{3+} katkı iyonu ile Zn ve Ir safsızlıklarının miktarları belirlendi ve XRF sonuçları ile karşılaştırıldı. Diğer kristalde ise yine ana elementlerle birlikte Tm^{3+} katkı iyonu ile Na safsızlığı tespit edildi.

**DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN AIR SAMPLES AND
IMPURITIES IN $\text{Lu}_2\text{La}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$, $\text{TeO}_2\text{LiCl}:\text{Tm}^{3+}$ CRYSTALS
BY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS**

SUMMARY

Neutron activation analysis (NAA) is a very sensitive analytical technique for performing quantitative analysis of trace elements. Therefore, it is a referee method in multielement determination. One of the important advantages of NAA is the sample matrices consisting of H, C, O, N, P and Si. Thus, there will not be any gamma radiation from the main compositions and it does not cause any interference.

Sample irradiations for this work were performed in TRIGA MARK II reactor at the Nuclear Energy Institute of Istanbul Technical University. Samples were irradiated 5 minutes in the rabbit system for short-lived radioisotopes, 30 minutes in core for long-lived radioisotopes. Gamma spectra were taken by HPGe detector with 1.8 keV energy resolution at 1332 keV and Canberra S100 multichannel analyzer system. Sampo 90 program was used in analysing.

The applications of NAA on environment and crystal industry are quite common. Elements in aerosols, especially Pb, Cd and As are very important for human fitness. Motors burning leaded gasoline contribute large amount of Pb and Br to the atmosphere. In this work, air samples collected at the second bosporus bridge of Istanbul which carries a heavy traffic load analyzed and 22 elements were determined by NAA. Pb, Cd and Fe concentrations were determined by Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). In order to define the differences in the concentrations of the elements in aerosols between bridge area and rural site, a sample collected from ITU campus was also irradiated and analyzed. Highly differences in the quantities of Fe, Br, As, Mg, Al, Ti, Cr, Cu, Sb, La, Sc and Sm were observed between the two sites. Based on the results of the samples from the bridge, 0.58(16) for Br/Pb and 2.3(6) for Cl/Pb ratio were calculated.

The quantities of the additive ions are very important for optical and thermal properties in laser crystals. $\text{La}_2\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ and $\text{TeO}_2\text{LiCl}:\text{Tm}^{3+}$ crystal samples were analyzed by NAA. The main elements, additive ion Cr^{3+} and impurity elements Zn and Ir were determined in first crystal and checked by XRF method. In other crystal, Te, Cl, Tm, as impurity Na, were determined.

1. GİRİŞ

Nötron Aktivasyon Analizi, bilimsel yada teknik alanda düşünülebilecek hemen hemen her çeşit örnek içerisindeki elementlerin birçoğunu ppm'den daha iyi bir duyarlılıkla nicel belirleyebilen analitik bir tekniktir. Bu özelliği, onu diğer metotlar çelişkiye düşürdüğü zaman ilk başvurulanan metot konumuna getirmiştir.

Nötron aktivasyon ile çevre kirliliği üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda yoğunudur ve kirliliğin insan sağlığına olumsuz etkisi sebebiyle sonuçlar önem taşımaktadır. Havanın kirliliği ise çevre ve dolayısıyla insan sağlığı için büyük öneme sahiptir.

Ülkemizde kurşunsuz benzin kullanımı henüz yaygın olmadığından Türkiye'de kurşun ve diğer katkı malzemelerinin havadaki konsantrasyonu kurşunsuz benzin kullanan ülkelere göre daha yüksektir. Bu gerçek gözönünde bulundurularak hava numunelerindeki elementlerin tespiti ve miktarlarının belirlenmesi ile egzoz gazlarının solunan havadaki metal oranına katkısını araştırmak üzere trafiğin yoğun olduğu Fatih Sultan Mehmet köprüsü üzerinden alınan numuneler spektroskopik olarak incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde çeşitli amaçlar için kullanılmak üzere üretilen kristallere katılan eser miktarlardaki elementler nötron aktivasyon metodu ile belirlenmiştir. Kristale katılan katkı maddeleriyle kristalin absorpsiyon, emisyon ve luminesans özellikleri değiştiğinden katkı elementlerinin ve yapıyı bozan safsızlıkların miktarını belirlemek önemlidir. Bu amaçla lazer özelliği gösteren $\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ ve $\text{TeO}_2\text{LiCl}:\text{Tm}^{3+}$ kristalleri ele alınmıştır.

Yöntemde başvurulanan reaksiyon (n,γ) reaksiyonudur. Reaksiyon sonucunda oluşan her bir radyoizotop ilişkili olduğu elemente ait gama radyasyonunu yayımlar. Bu gama ışınlarının bir HPGe dedektörü ve Canberra S100 sistemi yardımıyla alınan spektrumunun Sampo 90 programı ile analiz edilip değerlendirilmesi sonucu elementlerin numune içerisindeki yüzdeleri bulunmuştur.

2. NÖTRON AKTİVASYON ANALİZİ

2.1. Giriş

Nötron aktivasyon analizi, nötronlarla aktive edilen örnekte aynı anda birçok izotopu hem kalitatif hem de nicel olarak belirleyebilir. Aktivasyon sonucu oluşan izotoplar saniye mertebesinde yıllara kadar değişen yarıömürlere sahip olabilir ve herbiri farklı birçok gama ışını yayımlar. Bu gama ışınları yarıiletken dedektörlerle dedekte edilip çok kanallı analizör yardımıyla spektrumları alınır. Herbir izotop belli gama enerjileri yayımladığından spektrumdaki piklerin enerji kalibrasyonu sonucu hangi izotoptan geldiği ve miktarı ise pik alanından belirlenir.

Herbir izotopun farklı yarıömrü ve bunlardan yayımlanan oldukça fazla gama ışını olduğundan analizi tamamlamak uzun zaman alır.

Bu metot eser elementleri oldukça iyi duyarlılıkta belirleyebildiğinden dolayı jeoloji, çevre, arkeoloji, biyokimya, yarıiletken teknolojisi, toprak analizleri v.s. gibi alanlarda kullanılmaktadır.

2.2. Elementlerin Belirlenmesi ve Duyarlılıkları

NAA'nde ise en önemli adım aktive edici ve uyarıcı radyasyonlardır ve bunlar atomun çekirdeği ile ilişkili olduğundan kimyasal bağlardan bağımsızdır[1].

Nötron aktivasyon metodunda numunedeki elementleri belli bir hassasiyetle belirleyebilmek farklı yarıömürde izotopların birarada oluşmasından dolayı uzun zaman alır.

Nötronlarla reaktörde ışınlama sonunda numunede oluşan izotopları yarıömürlerine göre çok kısa, kısa, uzun ve çok uzun olarak dört grupta toplayabiliriz. Bu gruplara ait bazı radyoizotopların özellikleri Ek C'de verilmektedir.

Nötron aktivasyon analizinin diğer eser element analiz metotlarına göre daha duyarlı olmasının sebeplerinden biri de genellikle numunenin matris yapısında bulunan H, O, C, N, P ve Si gibi elementlerin nötron absorpsiyonu ile uyarılmamasıdır. Yöntemin duyarlılığı, nötron akısı, ışınlama ve bozunma zamanları gibi ışınlama parametrelerine, ölçme zamanı, dedektör verimi ve geometrisi gibi ölçüm koşullarına bağlıdır. Aşağıdaki çizelgede elementel analiz için kullanılan Atomik Emisyon Spektroskopisi (AES), Kütle Spektroskopisi (MS), Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS), Kimyasal Analiz (Chem), X-Ray Floresans (XRF) metotlarının duyarlılıkları karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi en hassas yöntem Kütle Spektroskopisi (MS)'dir. Diğer taraftan bir çok element için NAA ve AAS de benzer duyarlılığa sahiptir.



Tablo 2.1. Farklı analitik metotların µg/g cinsinden duyarlılıkları [2].

Element	NAA	AES	MS	AAS	Chem	XRF
Al	0.001	0.5	0.002	0.8	0.0005	17
As	0.0002	10	0.0006	0.8	0.01	-
Ba	0.005	0.1	0.002	0.2	0.1	0.4
Be	-	0.05	0.00008	0.02	0.008	1
Bi	0.05	0.2	0.002	0.22	0.6	2
Cd	0.009	2	0.007	0.01	0.003	2.5
Co	0.0009	0.1	0.0005	0.07	0.003	0.2
Cr	0.2	1	0.0005	0.06	0.007	0.7
Cu	0.0002	0.1	0.002	0.04	0.002	0.4
F	0.2	100	0.0002	-	0.05	1
Fe	10	1	0.0005	0.06	0.2	0.3
Hg	0.002	2	0.007	2.2	0.005	-
I	0.001	-	0.001	-	0.01	0.2
Li	-	0.1	0.00006	0.02	0.003	1
Mn	0.000005	0.1	0.0004	0.02	0.005	0.2
Mo	0.01	1	0.003	0.33	0.01	1.5
Ni	0.004	0.2	0.002	0.07	0.004	0.2
Pb	-	0.02	0.003	0.1	0.006	2
Sb	0.0009	2	0.002	0.3	0.004	-
Se	0.02	100	0.002	0.5	0.2	-
Si	0.009	0.5	0.002	2	0.1	-
Sn	0.02	0.5	0.004	1	0.06	-
Te	0.01	50	0.02	0.26	0.4	-
Tl	0.5	2	0.004	0.03	0.02	-
V	0.0001	0.5	0.0004	0.9	0.01	0.15
Zn	0.02	5	0.002	0.009	0.1	0.2

Aşağıdaki tabloda nötron aktivasyonu ile belirlenebilecek elementlerin duyarlılıkları verilmektedir [3].

Tablo 2.2. NAA ile optimum ışınlama, soğuma ve sayma zamanları ile belirlenmiş elementlerin duyarlılıkları.

Element	Duyarlılık ($\mu\text{g/g}$)	Element	Duyarlılık ($\mu\text{g/g}$)	Element	Duyarlılık ($\mu\text{g/g}$)
Ag	0.0001	Hf	0.007	Sb	0.0009
Ar	0.0001	Hg	0.002	Sc	0.002
Al	0.001	Ho	0.00004	Se	0.02
As	0.0002	I	0.001	Si	0.009
Au	0.0002	In	0.000005	Sm	0.00009
Ba	0.005	Ir	0.00002	Sn	0.02
Bi	0.05	K	0.002	Sr	0.0009
Br	0.0001	Kr	0.002	Ta	0.009
Ca	0.5	La	0.0004	Tb	0.2
Cd	0.009	Lu	0.000009	Th	0.03
Ce	0.02	Mg	0.05	Ti	0.7
Cl	0.002	Mn	0.000005	Te	0.01
Co	0.0009	Mo	0.01	Tl	0.5
Cr	0.2	Na	0.0004	Tm	0.002
Cs	0.0004	Nd	0.02	U	0.0004
Cu	0.0002	Ne	0.4	V	0.0001
Dy	0.00000008	Ni	0.004	Xe	0.01
Eu	0.0000009	Os	0.004	W	0.0002
F	0.2	Pr	0.0001	Y	0.0002
Fe	10	Rb	0.04	Yb	0.0004
Ga	0.0004	Re	0.00004	Zn	0.02
Ge	0.00005	Ru	0.002	Zr	0.2

B, Be, C, Li, N, O, P ve S gibi elementler nötron kapma etki kesitlerinin küçüklüğünden ya da oluşan izotopta gama geçişi olmamasından dolayı NAA yöntemi ile tespit edilemezler.

2.3. Elementel Analiz

NAA, gama ışınlarının ışınlama sırasında yada ışınlama sonrasında ölçümlemelerine bağlı olarak prensipte iki kategoride toplanır.

1. Numunenin ışınlama sırasındaki gama dedeksiyonu
2. Numunenin soğutma sonundaki gama dedeksiyonu

Bu çalışmada yapılan NAA deneyleri ikinci grup dedeksiyon sistemini kullanmaktadır.

Hızlandırıcılar ve radyoizotopik nötron yayımlayıcıları ile de (n, γ) reaksiyonu oluşturulabilir fakat elementlerin çoğu yüksek duyarlılık vermesi açısından nükleer reaktörlerde yüksek termal nötron akısı ile ışınlanır. Reaktördeki nötron enerji dağılımı, termal, epitermal ve hızlı olmak üzere üçe ayrılır. Termal nötronlar düşük enerjili nötronlardır ve enerjileri 0.5 eV'un altındadır. Bu tip nötronların oda sıcaklığındaki Maxwell-Boltzman dağılım enerjileri 0.025eV olarak tanımlanır ve bu aralıkta olası hızı 2200 m/sn dir [4]. Epitermal nötronların enerjileri ise 0.5eV'dan 0.5 MeV'e kadar değişir. Hızlı nötronların enerjileri ise 0.5 MeV'den fazladır. Nötronlar çekirdeklerle Coulomb etkileşmesi yapmazlar ve termal nötronlar ağır çekirdeklerle kolayca soğurulurlar. B, Cd, Sm, Eu, Gd ve Dy gibi elementler nötronları çok iyi soğururlar [5].

Termal nötron (n,γ) reaksiyonu etki kesiti; hızlı nötronlar, foton ve diğer yüklü parçacıkların etkileşmelerindeki etki kesitlerine göre (γ,p), (γ,n), (p,n) (α,xn) oldukça büyüktür [6].

Nötron aktivasyonu (n,γ) reaksiyonu sonucu üretilen bir radyoizotopun ışınlanan numune içindeki bolluğu (b) için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır.

$$b = \frac{f A \lambda_g \Sigma}{\epsilon a m N_0 I_\gamma C_g (1 - e^{-\lambda_g t_1}) e^{-\lambda_g t_2} (1 - e^{-\lambda_g t_3})} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte;

m : Numune miktarı

ε : Toplam dedektör verimi

A: İlgili elementin Atom numarası

λ_g : Radyoizotopun temel durum bozunma sabiti

λ_m : Radyoizotopun izomerik durum bozunma sabiti

Σ : Background çıkartılmış pik alanı

a : İlgili radyoizotopun doğadaki izotopik bolluğu

b : İlgili elementin numune içerisindeki ağırlıca yüzdesi

N_0 : Avagadro sayısı

I_γ : Gama çizgilerinin mutlak geçiş şiddeti

t_g : Ölçüm süresi

t_s : Soğutma süresi

t_i : Işınlama süresi

$C_g = \sigma_{gth} \phi_{th} + \sigma_{geth} \phi_{eth}$ olmak üzere ;

σ_{gth} : İlgili izotopun temel düzeyinin termal nötron etki kesidi

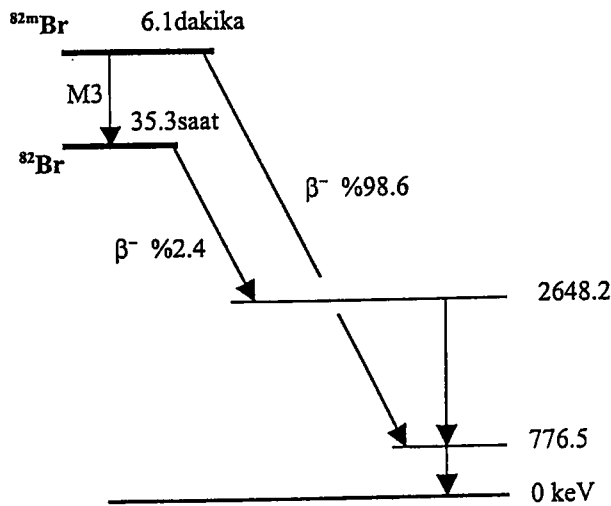
σ_{geth} : İlgili izotopun temel düzeyinin epitermal nötron etki kesidi

ϕ_{th} : Reaktörün termal nötron akısı

ϕ_{eth} : Reaktörün epitermal nötron akısıdır.

Yarıömür, izotopik bolluk, etki kesiti, mutlak gama geçişi değerleri ref. [7]'den sağlanmıştır.

Eşitlik (2.1)'de f faktörü, ilgili gama geçişine aynı izotopun izomerik durumundan da katkı geldiği takdirde eklenecek faktördür [8]. Bu durum şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. 776.5 keV enerji düzeyine ^{82}Br ve ^{82m}Br 'un katkıları.

$$f = \frac{(1 + I_{m\beta})(\lambda_g - \lambda_m)\lambda_m}{\lambda_g^2 \frac{C_m(1 - e^{-\lambda_m t_i})(1 - e^{-\lambda_m t_o})}{C_g(1 - e^{-\lambda_g t_i})(1 - e^{-\lambda_g t_o})} e^{(\lambda_g - \lambda_m)t_s} + \lambda_m(\lambda_g - \lambda_m)(1 + I_{m\beta}) - \frac{C_m}{C_g} \lambda_m^2} \quad (2.2)$$

Burada,

$I_{m\beta}$: İzomerik durumun β geçiş olasılığı

$$C_m = \sigma_{mth} \phi_{th} + \sigma_{meth} \phi_{eth}$$

σ_{mth} : İlgili izotopun izomerik durumunun termal nötron etki kesiti

σ_{meth} : İlgili izotopun izomerik durumunun epitermal nötron etki kesiti

Eşitlik (2.1)'in sağ tarafında verilen sabitlerin ve ölçüm değerlerinin yerine konması sonucu ilgili radyoizotopun numune içindeki yüzdesi belirlenmiş olur.

3. DENEY DÜZENEGİ

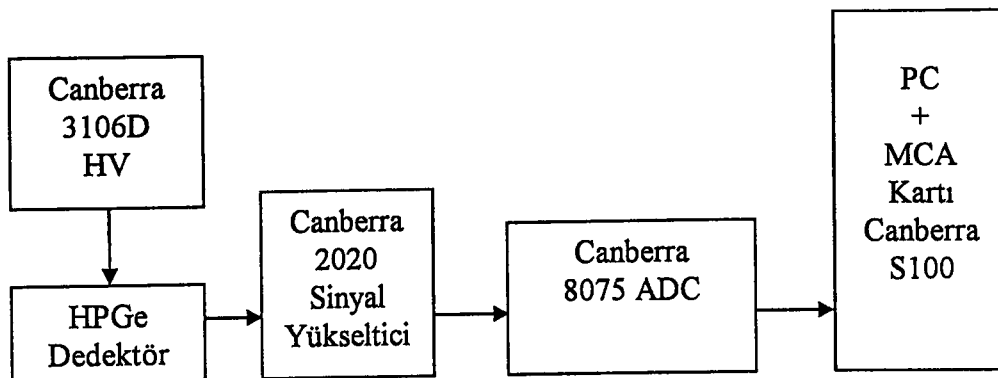
3.1. Numune Hazırlanması

Hava numuneleri trafiğin yoğun olduğu ikinci boğaz köprüsü ödeme gişeleri bitişiğinde General Motor Marks Inc. büyük hacimli numune toplayıcısıyla zeminden 1 m yükseğe yerleştirilmiş olarak alınmıştır. Örneklemeye için ise 500 cm²'lik filtre kullanılmıştır. Filtreler üzerinden dökülecek kadar yeterince kalın toz tabakasından alınan numune miktarları, polietilen tüp içerisinde merkezi ışınlama sisteminde ve kısa yarıömürlü izotopların üretimi için numunenin reaktöre hızlı gidiş gelişini sağlayan tavşan sisteminde ışınlanmıştır.

Kristal numuneleri ise katı halde yine polietilen tüp içerisinde reaktörün merkez ışınlama sisteminde ve tavşan sisteminde ışınlanmıştır.

3.2. Sayım Sistemi

Gama ışınlarının spektrum alımlarında 1332.5 keV deki enerji rezolüsyonu 1.8 keV olan Canberra firmasının yüksek saflıklı germanyum dedektörü kullanılmıştır. Sayım sistemi ise Canberra 8075 model 100 MHz lik Analog digital çevirici, yüksek voltaj modülü, sinyal yükselticisi ve PC kontrollü Canberra S100 çok kanallı analizörden oluşmaktadır.



Şekil 3.1. Deney düzeneğinin blok şeması.

Dedektörden gelen sinyal yükseltildikten ve ADC ile dijital hale dönüştürüldükten sonra çok kanallı analizör kartına (MCA) gönderilir. Canberra S100 sistemi ile 4K, 8K yada 16K kanal olarak alınabilen spektrumların pikleri SAMPO 90 gama analizör programı ile fit edilerek pik enerjileri ve alanları belirlenir. SAMPO 90 ile analiz için dedektör verim dosyası ve her bir spektrum için enerji ve pik şekli kalibrasyon dosyaları oluşturmak gerekir [9,10]. Fit edilen pik alanları (Σ) eşitlik 2.1 yerine konularak numunedeki element yüzdeleri belirlenir.

3.3. Dedektör Veriminin Belirlenmesi

Kullanılan dedektörün verim eğrisi ^{241}Am , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{152}Eu ve ^{24}Na standart kaynakları kullanılarak dedektör yüzeyine 6 cm mesafeden dedektör önüne bakır levha (0.51mm) konularak belirlenmiştir. Verim fonksiyonu olarak

$$\varepsilon = \exp \left[A_1 + \left(A_2 + A_3 e^{-A_4 E_\gamma} \right) e^{A_5 E_\gamma} \ln E_\gamma \right] \quad (3.1)$$

eşitliği kullanılmıştır [11]. Denel verilerin beş parametrelili bu fonksiyona en küçük kareler yöntemi ile fiti sonucu, parametreler için,

$$A_1 = -5.7842 \quad (35)$$

$$A_2 = 0.9147 \quad (33)$$

$$A_3 = -2.9088 \quad (296)$$

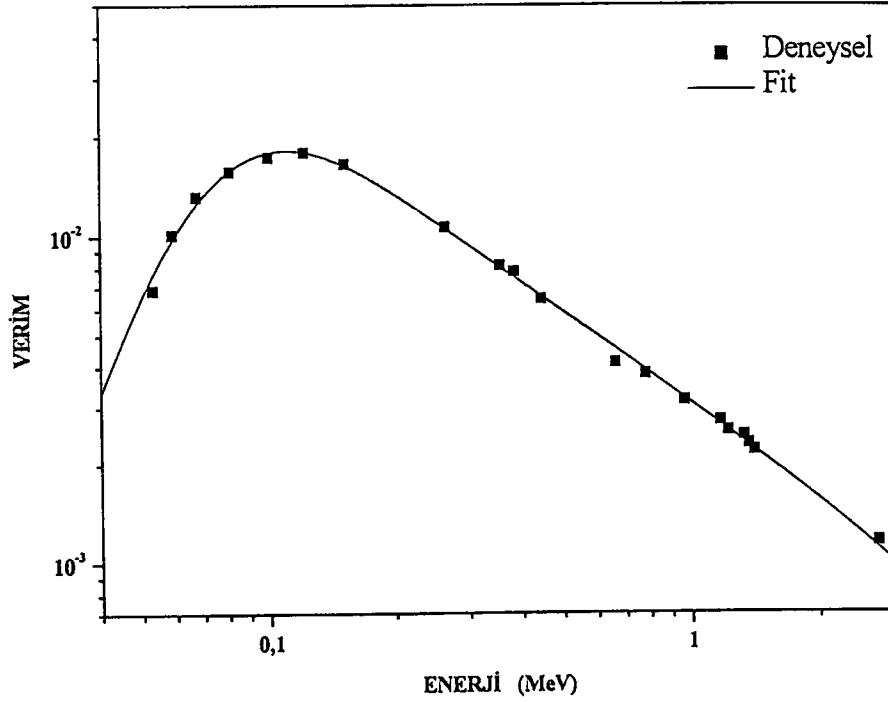
$$A_4 = -29.512 \quad (2275)$$

$$A_5 = 0.039 \quad (89)$$

olarak bulunmuştur.

Fit işlemi, Sigma Plot programı ile yapılmıştır.

Alınan spektrumların enerji kalibrasyonları yine aynı standart kaynaklarla dedektör yüzeyine 6 cm uzaklıktan alınan spektrumlar ile yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen fit fonksiyonu ile denel verim değerleri şekil 3.2 de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi uyum gayet iyidir.



Şekil 3.2. Kullanılan dedektörün 6 cm deki mutlak verim eğrisi. Dedektörün önüne 0.51 mm kalınlığında Cu absorblayıcı konulmuştur.

3.4. Reaktör Akısının Belirlenmesi

Kullanılan İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü Triga Mark II reaktörünün merkez ve tavşan sistemindeki akıları iki kaynak yöntemi ile belirlenmiştir. Yüksek saflıkta Cu ve Au elementleri ışınlanarak eşitlik 2.1. yardımıyla termal ve epitermal akılar hesaplanır.

Tablo 3.1. Numunelerin ışınladığı konumlardaki reaktör akıları [8].

Konum	Termal Akı (ϕ_{th}) (n/cm ² s)	Epitermal Akı (ϕ_{eth}) (n/cm ² s)
Merkez	5.6×10^{12}	2.8×10^{11}
Tavşan Sistemi	2.6×10^{12}	0.65×10^{11}

Elde edilen bu akı değerleri, daha sonra elementlerin yüzdelерinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

4. HAVA ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ

Hava numuneleri birçok araştırma laboratuvarında (Proton induced X - ray emission) PIXE [12-16], X-ray Fluorescence (XRF) [17-20], AAS(Atomic Absorption Spectroscopy)[21-23] ve Instrumental Neutron Activation Analysis(INAA), [24-27], teknikleri ile incelenmiş ve 30'dan fazla element ppm ve daha iyi duyarlılıkta belirlenebilmektedir.

Hava numunesindeki elementlerin konsantrasyonlarına birçok faktör etki etmektedir. Endüstrileşmenin yanı sıra meteorolojik koşullar, volkan püskürtmeleri, orman yangınları önemli ölçüde etkilidir [28].

Bu konudaki çalışmalarda havadaki Pb ve Br'un motorlu taşıtların emisyonundan kaynaklandığı bilinmektedir [29]. Bu bölümde hava numunelerindeki birçok elementle birlikte Br/Pb ve Cl/Pb oranları belirlenmiştir.

4.1. Ağır Metaller ve Biyolojik Etkileri

Aşırı kalabalık olmanın ve endüstrileşmenin atmosfere getirdiği kirlilikle As, Pb, Cd, Hg gibi ağır metaller insan vücudunda önemli hastalıklara sebep olmaktadır. Mazot yanmasından dolayı AsO, As₂O₃, CdO, PbO zehirli oksitleri havaya karışır [30].

Tablo 4.1. Çevreden alınan Pb, Cd, As ve Hg elementlerinin gastrointestinal metabolik etkileri [30].

	Pb	Cd	As	Hg
Gastrointestinal				
Absorplama (%)	~10	~5	> 80	~95
Biriktiği	Kemik, böbrek,	Böbrek,	Saç, deri ve	Beyin, karaciğer,
Organlar	karaciğer	karaciğer	tırnak	böbrek
Biyolojik				
Yarıömür	~20 yıl	~10 yıl	10-30 saat	~70 yıl

Tablo 4.1’den de anlaşılabacağı üzere havadaki ağır metallerin insan sağlığına olumsuz etkileri büyüktür. Bu elementlerin yanısıra Ni, Cu, Co, Br, Zn ve Fe gibi elementler de insan sağlığı açısından önemlidirler.

4.2. Hava Örneklerinin Spektrumlarının Alınması

Hava numunelerinden alınan miktarlar ışınladıkları yerler ve süreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.2. İncelenen hava numunelerinin miktarları ,ışınlanma süreleri ve ışınladıkları yerler.

Merkezi Işınlama (30 dakika)		Tavşan Sistemi (5 dakika)	
Numune	Miktar (mg)	Numune	Miktar (mg)
M_{1u}	65.3	M_{1k}	11.3
M_{3u}	86	M_{3k}	12.3
M_{mixu}	34	M_{mixk}	7
		M_K	4.1

Birinci numunenin 30 dakika ışınlama 5904 dakika soğutma sonucu bölüm 3’deki sistemle alınan gama spektrumunda gözlenen izotoplar Şekil A.1.a ve A.1.b’de gösterilmiştir.

Spektrumda ^{82}Br ’ye ait gama çizgileri oldukça belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Birinci numune içerisindeki ppm mertebesinde konsantrasyona sahip elementlerin uzun yarıömürlü radyoizotoplarını daha iyi görebilmek için 11682 dakika soğutularak alınmış spektrum ise Şekil A.2.a, A.2.b ve A.2.c’de görülmektedir. Numunenin soğuma zamanı uzun olduğundan yarıömürleri büyük olan ve önceki spektrumda açık olarak görülemiyen ^{131}Ba , ^{59}Fe , ^{198}Au , ^{60}Co , ^{47}Sc , ^{153}Sm , ^{46}Sc gibi radyoizotoplar rahatlıkla görülmektedir.

Kısa yarıömürlü izotopları belirlemek amacıyla alınan üçüncü numunenin(M_{3k}) 5 dakika ışınlama ve 7.58 dakika soğuma zamanı sonunda alınan spektrumunda görülen en kısa yarıömürlü radyoizotop 2.24 dakikalık ^{28}Al ’dir. Diğer kısa yarıömürlü izotoplar, Şekil A.3.a ve Şekil A.3.b’de görülmektedir.

Motorlu taşların egsozlarından havaya yayılan eser elementleri tahmin etmek için kampuste bir hava numunesi alındı. Bu numunenin 5 dakika ışınlanarak alınan spektrumlarında Uranyum elementinin fazlalığı görülmektedir. Şekil A.4.a'da ^{239}U izotopuna ait olan 74.9 keV enerjili pik oldukça büyüktür. Diğer kısa yarıömürlü izotoplar da Şekil A.4.a, Şekil A.4.b, ve A.4.c'de görülmektedir. Numunedeki uzun yarıömürlü izotoplar, soğutulduktan sonra alınan spektrumlarda Şekil A.5.a ve Şekil A.5.b'da gösterilmiştir.

^{239}U izotopunun yarıömrü 23.5 dakika olduğu için 1183 dakika soğutulduktan sonra Şekil A.5.a'da 74.5 keV 'de pik görülmemektedir. Bu spektrumda, ^{239}U , β^- salarak ^{239}Np 'a dönüştüğünden ve bu izotopun yarıömrü 2.34 gün olduğundan Şekil A.5.a'da birçok gama piki görülmektedir. Uzun yarıömürlü diğer izotoplar da yine bu spektrumda açıkça görülmektedir.

4.3 . Elementlerin ve Miktarlarının Belirlenmesi

Hava numuneleri içindeki elementler, ışınlanan örneklerin gama spektrumlarında görülen piklerin enerji ve yarıömürleri gözönüne alınarak belirlendi. Spektrumlar üzerinde piklere ait izotoplar verilmiştir. Sampo 90 ile analiz edilen piklerin alanları ve Ek B'de verilen giriş değerleri ile eşitlik 2.1 yardımıyla Tablo 4.3'teki hava numunelerinde var olan elementlerin konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. Burada % mertebesinde 8 element, ppm mertebesinde ise 14 elementin NAA ile belirlendiği görülmektedir.

Tablo 4.3. Hava Numunelerinde belirlenen elementlerin konsantrasyonları.

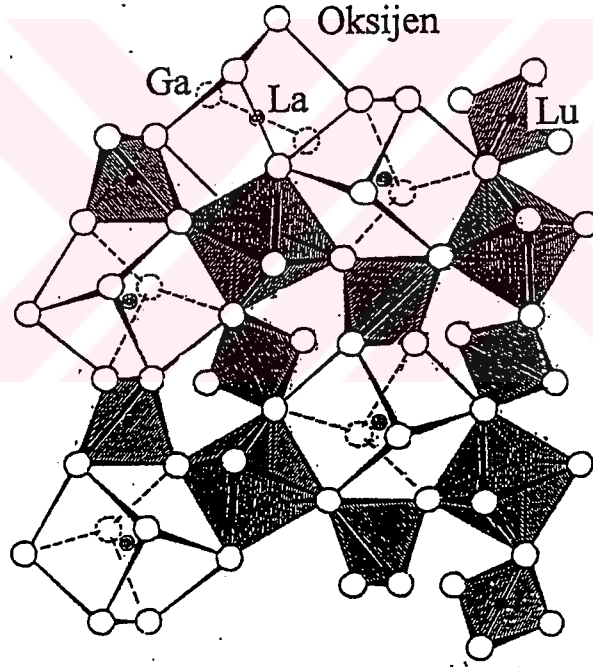
Element	1.Örnek	3.Örnek	Karışık	Ortalama	Kampus	Birim
Al	3.70	4.55	5.61	4.62 (78)	2.30	%
Fe	3.64	5.54	4.48	4.55 (77)		
Fe*	4.1					
Mg	2.93	3.33	4.47	3.57 (65)	1.87	
Na	1.14	1.81	1.86	1.60 (33)	1.03	
K	1.07	1.48	1.39	1.31 (17)	1.03	
Cl	0.30	0.56	0.33	0.39 (11)	0.38	
Ti	0.31	0.37	0.49	0.39 (7)	0.24	
Ba	0.19	0.17	0.16	0.17 (3)	0.37	
Pb*	0.13					
Ca	850	970	960	930 (200)	870	µg/g
Cu	760	460	480	570 (140)	50	
Br	750	600	240	530 (210)	190	
Zn	730	1200	840	920 (200)	1300	
Mn	650	910	810	790 (110)	800	
Cr		210	170	190 (40)		
V	100	93	140	113 (20)	113	
Cd*	75					
U	5	11	9	18 (12)		
As	65	50	53	56 (8)	35	
Sb	23	18	14	18 (4)		
La	22	33	27	27 (4)	16	
Sm	18	9	9	12 (4)		
Sc	10	10	10	10 (2)		
Dy	4	4	5	4 (1)	5	

* : AAS ile belirlenen değerler.

5. KRİSTALLERDE SAFSIZLIKLARIN BULUNMASI

5.1. $\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12} : \text{Cr}^{3+}$ Kristalinin Safsızlıklarının Belirlenmesi

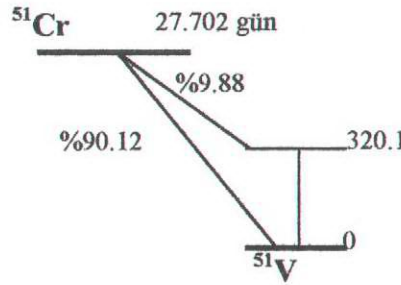
$\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$ kristali, Şekil 5.1'deki gibi garnet yapısında olup, büyütülürken lazer geçişini sağlayacak Cr^{3+} iyonu katılmıştır. Garnet yapısı olan kristallerde iyi termal ve optik özellikler arzu edilir. Krom miktarının değişimi optik ve termal özelliklerinin değişimine neden olur. Bu sebeple, krom konsantrasyonunun belirlenmesi kristallerin özelliklerinin tanınması bakımından önem taşımaktadır. Bu çalışmada tüm safsızlıkların bulunması amaçlanmıştır.



Şekil 5.1. $\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12} : \text{Cr}^{3+}$ kristalinin garnet yapısı[31].

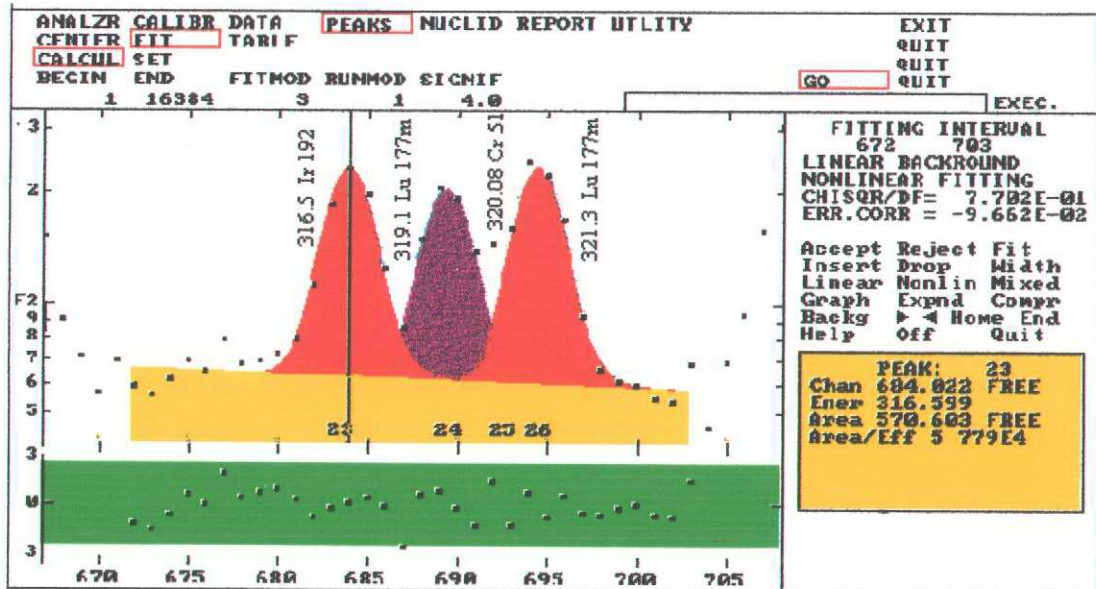
Kısa (5 dakika) ışınlama için $\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12} : \text{Cr}$ kristalinden 6.8 mg alınarak reaktörün tavşan sisteminde ve uzun ışınlama (30 dakika) için ise 41mg numune merkezde ışınlanmıştır.

Krom elementinin kararlı izotopu ^{50}Cr dir. $^{50}\text{Cr}(n,\gamma)^{51}\text{Cr}$ reaksiyonu ile üretilen ^{51}Cr 'in tek gama çizgisi 320.08 keV enerjidedir (Şekil 5.2). Bu izotopun yarıömrü 27.7 gün olup kristal içerisindeki miktarı, 280 ppm olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.2. ^{51}Cr radyoizotopunun bozunma şeması [32].

Beş dakika ışınlama sonunda elde edilen spektrumlarla kromu belirlemek zaman almıştır. ^{51}Cr in 320.1keV daki gama çizgisi, yarıömrü 6.71 gün olan $^{177\text{m}}\text{Lu}$ izotopunun metastabil durumunun bozunmasından kaynaklanan 319.1 ve 321.3 çizgileri ile girişim yaptığından ve Lu'un ana element olarak kristal içerisindeki yüzdesinin büyük olmasından yani aktivite fazlalığından dolayı ^{51}Cr piki ancak uzun süre soğutularak alınan spektrumdan belirlenmiştir. Şekil 5.3'te bu enerji bölgesi görülmektedir. Uzun ışınlama sonucunda ^{51}Cr peakinin görülemeyişinin nedeni $^{177\text{m}}\text{Lu}$ den gelen gama ışınlarının oluşturduğu piklerin çok daha büyük olduğundan ^{51}Cr izotopu gözlenememiştir. Spektrumda 316.5 keV'ta en şiddetli piki görülen ^{192}Ir kristal içerisinde safsızlık olarak belirlenmiştir.



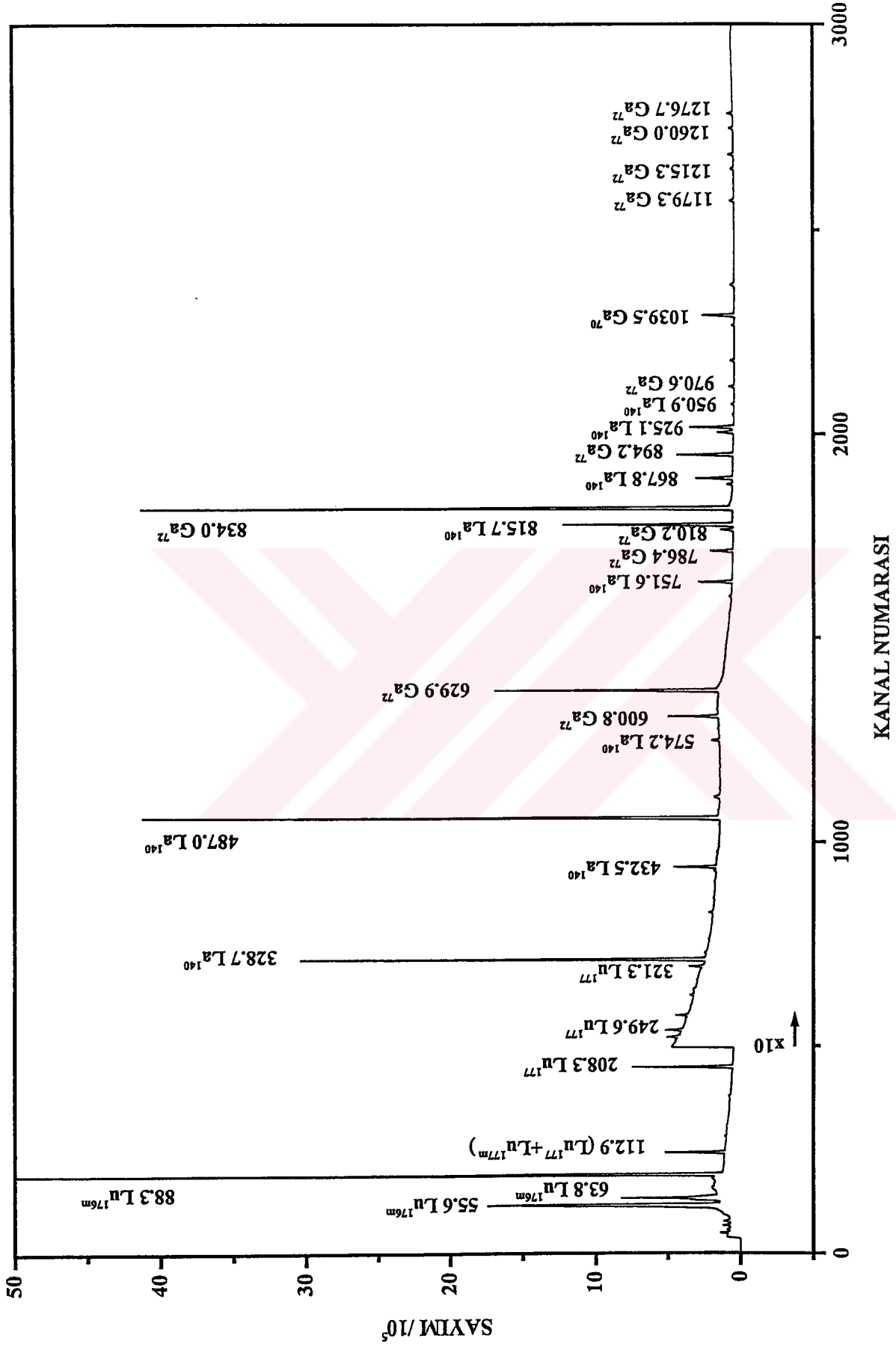
Şekil 5.3. 320 keV enerji bölgesindeki piklerin fiti.

Tablo 5.1’de verilen data dosyası ve pik alanları ile bu kristal için aşağıdaki element konsantrasyonları elde edilmiştir. Kristaldeki ana elementlerden gelen pikler Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’te yer almaktadır.

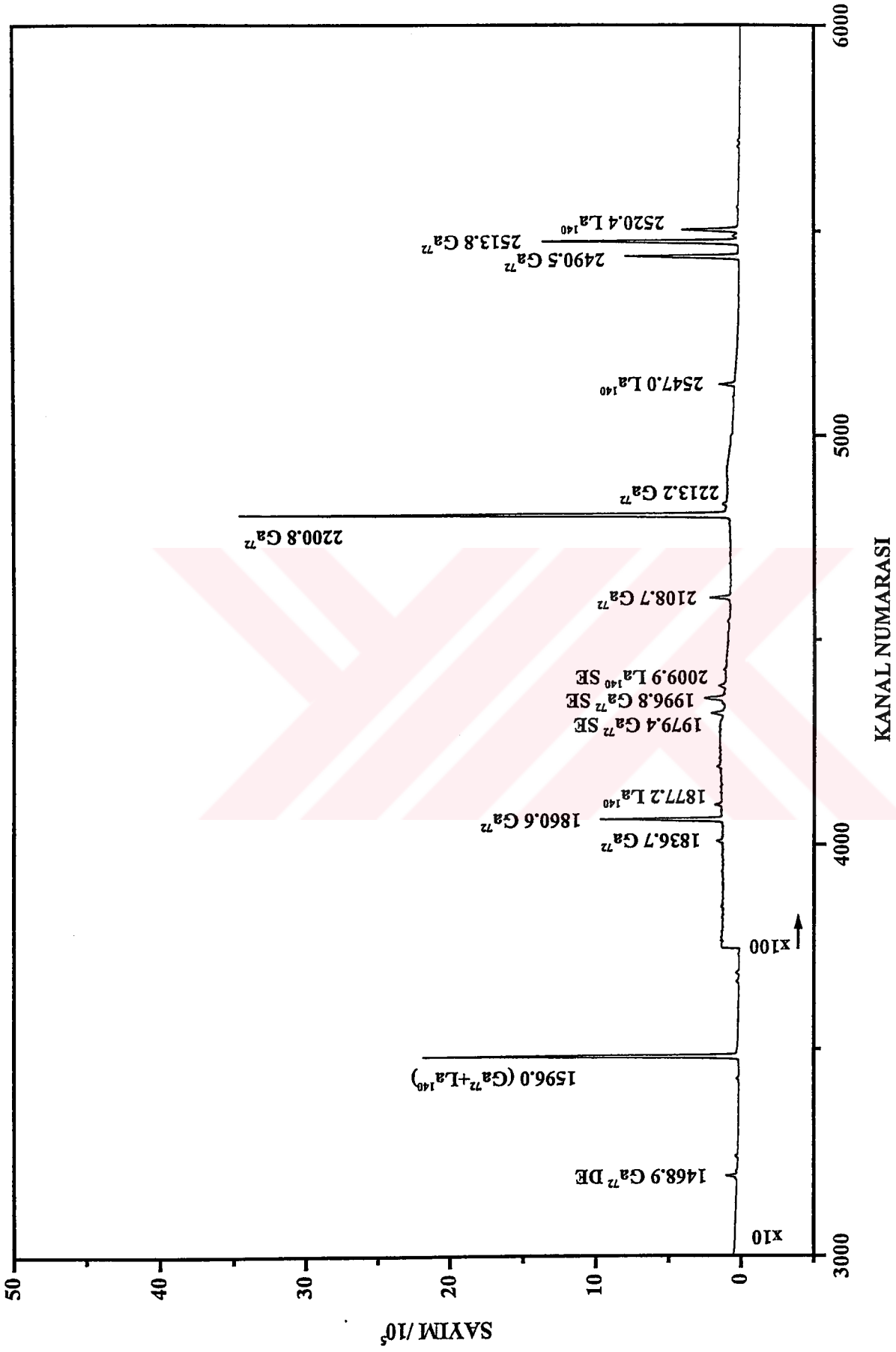
Tablo 5.1. $\text{La}_2\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ kristalinin NAA analizi için gerekli giriş verileri.

İzotop	E_γ (keV)	σ_{th} (b)	σ_{epth} (b)	$T_{1/2}$ (dakika)	A	A (%)	I_γ (%)
Ga^{72}	629.9	2.8	4.7	852	71	0.4	0.248
Ga^{72}	786.4	2.8	4.7	852	71	0.4	0.032
Ga^{72}	810.2	2.8	4.7	852	71	0.4	0.0201
Ga^{72}	834.0	2.8	4.7	852	71	0.4	0.9563
Ga^{72}	894.2	2.8	4.7	852	71	0.4	0.0988
Ga^{72}	970.6	2.8	4.7	852	71	0.4	0.01104
Ga^{72}	1050.6	2.8	4.7	852	71	0.4	0.0691
Ga^{72}	1260.0	2.8	4.7	852	71	0.4	0.0113
Ga^{72}	1468.9	2.8	4.7	852	71	0.4	0.0355
Ga^{72}	1596.6	2.8	4.7	852	71	0.4	0.0424
Ga^{72}	1860.6	2.8	4.7	852	71	0.4	0.0525
Ga^{72}	2200.8	2.8	4.7	852	71	0.4	0.259
Ga^{72}	2513.8	2.8	4.7	852	71	0.4	0.1278
La^{140}	328.7	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.203
La^{140}	432.5	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.029
La^{140}	487.0	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.455
La^{140}	751.6	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.0433
La^{140}	815.7	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.2328
La^{140}	867.8	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.055
La^{140}	919.5	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.0266
La^{140}	925.1	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.069
La^{140}	1596.2	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.954
La^{140}	2347.8	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.0085
La^{140}	2520.4	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.0346
Lu^{176m}	88.3	6.9	610	223.2	175	0.974	0.1
I^{192}	308.4	309	3500	106315.2	191	0.373	0.3
I^{192}	316.5	309	3500	106315.2	191	0.373	0.8281
I^{192}	468.0	309	3500	106315.2	191	0.373	0.4783
Zn^{65}	1115.3	0.76	1.45	351734.4	64	0.486	0.5075
Cr^{51}	320.1	15.9	7.8	39890.88	50	0.04345	0.0983

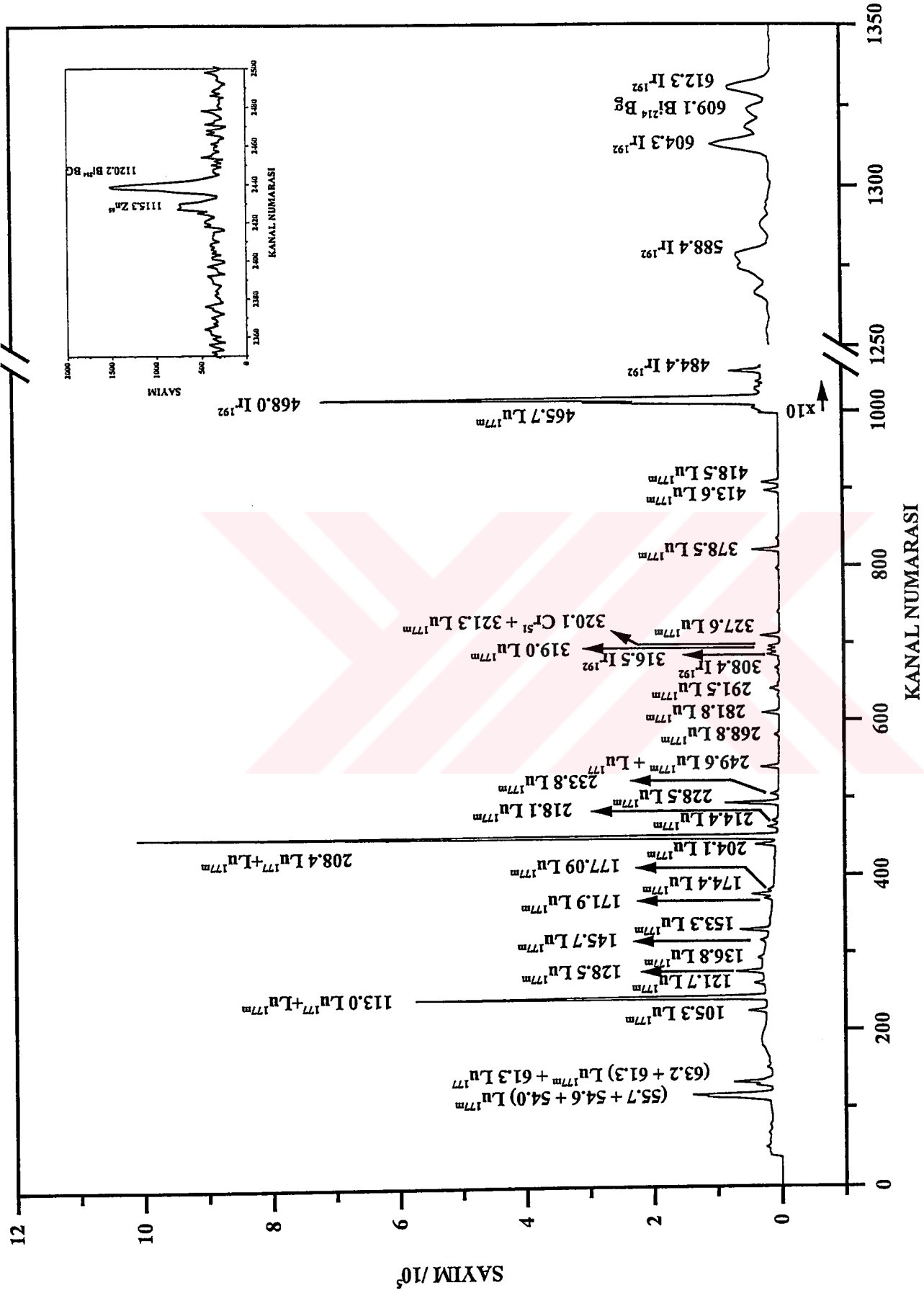
Safsızlıkları belirlemek için soğuma zamanı değiştirilerek alınan spektrumlardan ^{192}Ir , ^{65}Zn ve ^{51}Cr belirlenmiştir. Bu izotoplardan gelen gama pikleri (şekil 5.5) de verilmiştir. Kristaldeki Lu miktarı yarıömrü 6.7 dakika olan ^{168m}Lu izotopundan yararlanılarak bulunmuştur [33].



Şekil 5.4a. $\text{La}_2\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$ kristalinin 5 dakika ışınlama 52.4 dakika soğutma zamanı sonunda alınan spektrumu.

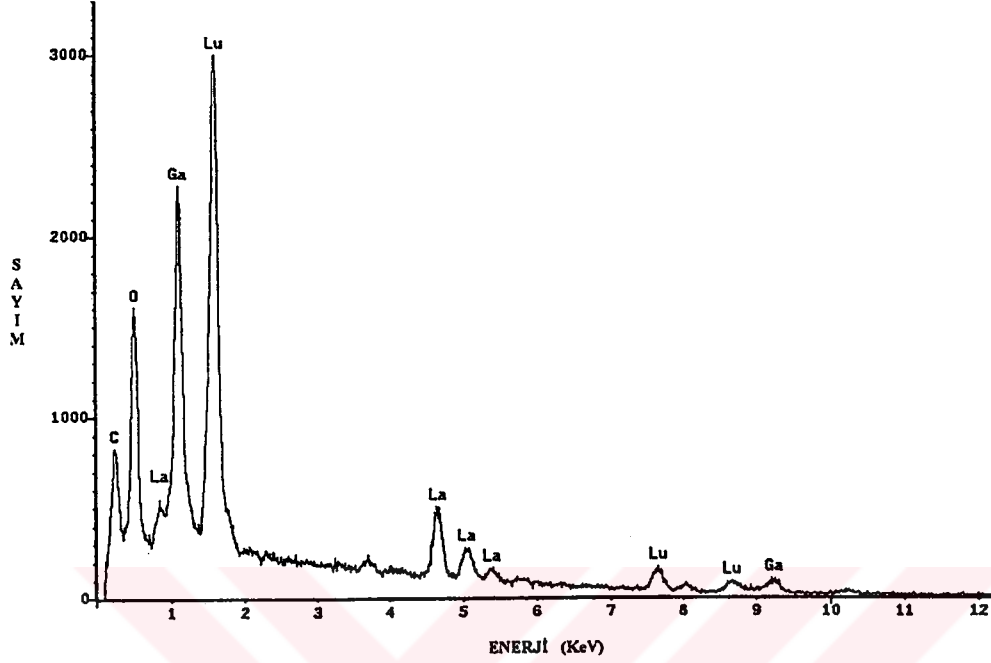


Şekil 5.4b. Aynı spektrumun yüksek enerjili bölümü.



Şekil 5.5. La_{0.9}Lu_{0.1}GaO₃ kristalinin 30 dakika ışınlama 96480 dakika soğutma zamanı sonunda alınan gama spektrumu.

Kristal içerisinde var olan ve NAA ile tespit edilemeyen Oksijen miktarını belirlemek ve NAA bulgularını kontrol etmek için kristalin XRF spektrumu da alınmış (Şekil 5.6) ve sonuçlar aşağıdaki çizelgede karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.6. $\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ kristalinin XRF Spektrumu.

Kristalin XRF spektrumunda La, Lu ve Ga elementleri net bir şekilde görülmekte olup belirlenen yüzdeleri çizelgede verilmiştir.

Tablo.5.2. $\text{La}_3\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$ kristali element konsantrasyon sonuçları.

Element	NAA (%)	XRF (%)
Ga	19.5 (12)	17.6
Lu	34.1 (21)	37.4
La	28.2 (12)	27.9
O	-	16.2
	($\mu\text{g/g}$)	
Cr	280	-
Ir	20 (4)	-
Zn	100 (15)	-

Çizelgedeki verilerden kristalin %98'i Ga, Lu, La ve O elementlerinden oluşmaktadır. Diğer taraftan NAA ve XRF verilerinin uyumları gayet iyidir. Gerek Krom ve gerekse safsızlıklar sadece ppm mertebesinde.

5.2. $\text{TeO}_2\text{LiCl}:\text{Tm}_2\text{O}_3$ Kristalindeki Safsızlıkların Belirlenmesi

$\text{TeO}_2\text{LiCl}:\text{Tm}_2\text{O}_3$ kristali tellürid cam yapısında olup optik ve termal özellikleri açısından katıhal fiziginde önem taşımaktadır. Silika ve boraks camlara göre lazer

özellikleri açısından avantajlıdır. Fiziksel özellikleri, örneğin düşük erime sıcaklığı, yüksek dielektrik sabiti ve iyi infared geçirgenliği özelliklerine sahiptir.

İTÜ Fizik bölümünde üretilen $\text{TeO}_2\text{LiCl}:\text{Tm}^{3+}$ kristalinde [34] katkı maddesi olarak kullanılan Tm elementi $^{169}\text{Tm}(n,\gamma)^{170}\text{Tm}$ reaksiyonundan yola çıkılarak belirlenmiştir. ^{170}Tm radyoizotopunun gama pikleri Şekil 5.8’de açık olarak görülmektedir. Kristaldeki ana elementler Te ve Cl da kısa ışınlama sonucunda alınan spektrumlarda, Şekil 5.7.a ve Şekil 5.7.b’de birçok şiddetli gama pikleri ile görülmüş ve miktarları da bu spektrumlardan belirlenmiştir.

$\text{TeO}_2\text{LiCl}:\text{Tm}^{3+}$ kristalinden 4.6 mg 4 dakikalık kısa ve 53mg uzun ışınlama için alınan numuneler, reaktörün tavşan sisteminde ve merkezinde ışınlanmıştır.

Tablo 5.3. $\text{TeO}_2\text{LiCl}:\text{Tm}^{3+}$ kristalinde nötron aktivasyonu ile üretilen izotoplara ait veriler.

İzotop	E_γ (keV)	σ_{th} (b)	σ_{epth} (b)	$T_{1/2}$ (dk)	A	a (%)	I γ (%)
^{24}Na	1368.5	0.53	0.311	897.54	23	1	1
^{24}Na	2754.1	0.53	0.311	897.54	23	1	0.99862
^{38}Cl	1642.4	0.433	0.3	37.24	37	0.2423	0.319
^{38}Cl	2167.4	0.433	0.3	37.24	37	0.2423	0.424
^{131}Te	149.6	0.27	0.46	25	130	0.338	0.688
^{131}Te	452.2	0.27	0.46	25	130	0.338	0.182
^{131}Te	492.6	0.27	0.46	25	130	0.338	0.0483
^{131}Te	601.9	0.27	0.46	25	130	0.338	0.0419
^{131}Te	605.4	0.27	0.46	25	130	0.338	0.00117
^{131}Te	654.2	0.27	0.46	25	130	0.338	0.01527
^{131}Te	695.9	0.27	0.46	25	130	0.338	0.00179
^{131}Te	934.4	0.27	0.46	25	130	0.338	0.00874
^{131}Te	948.4	0.27	0.46	25	130	0.338	0.0226
^{131}Te	1007.9	0.27	0.46	25	130	0.338	0.00798
^{131}Te	1098.2	0.27	0.46	25	130	0.338	0.00172
^{131}Te	1146.7	0.27	0.46	25	130	0.338	0.0495
^{131}Te	1294.3	0.27	0.46	25	130	0.338	0.00482
^{170}Tm	51.35	105	1120	185184	169	1	0.0127
^{170}Tm	52.38	105	1120	185184	169	1	0.0224
^{170}Tm	59.4	105	1120	185184	169	1	0.0093
^{170}Tm	84.25	105	1120	185184	169	1	0.0326

Benzer şekilde ilgili tablolardan Tablo 5.4’te verilen element konsantrasyonu değerleri elde edilmiştir.

Kristaldeki Li ve O atomları (n, γ) reaksiyonu vermemesinden dolayı Te yüzdesinden yola çıkılarak Li ve O yüzdeleri hesaplanmıştır. 700-750 °C de 30 dakika hava ortamında elektrikle ısıtılan fırında Cl iyonunun havaya karıştığı ve madde kaybı sonucu, nötron aktivasyon yüzdesinin teorik değerden daha az olduğu anlaşılmaktadır. Buna göre Cl kaybı yaklaşık %50'dir.

Tablo 5.4. TeO₂LiCl : Tm³⁺ kristalinin elemental konsantrasyonu.

Element	Teorik (%)	Konsantrasyon (hata) (%)
Te	62.98	59.06(413)
Cl	16.50	8.48(33)
Tm	1.65	1.39(3)
Li	3.12	3.18(22)
O	15.73	15.0(22)
Na	-	0.10(1)

* Te üzerinden hesaplanmıştır.

Tablo 5.4'ten görüldüğü gibi nötron aktivasyon sonuçları, kimyasal sonuçlarla uyum içerisindedir.

6. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Hava numunelerinin elementel yapısı hakkındaki bu çalışma, atmosferdeki Pb ve Br miktarına motor emisyonunun katkısının oldukça fazla olduğunu göstermektedir. Ancak gelişmiş ülkeler, bu elementlerin insan sağlığına zararlı olmasından dolayı 70'li yıllardan itibaren kurşunlu benzin kullanımının azaltılması ve son yıllarda da tamamen yasaklanması yoluna gitmişlerdir. Bu gerçek gözönünde bulundurularak hava numunelerindeki elementlerin detaylı yapısının anlaşılması için çalışmalar yoğunlaştırılmıştır.

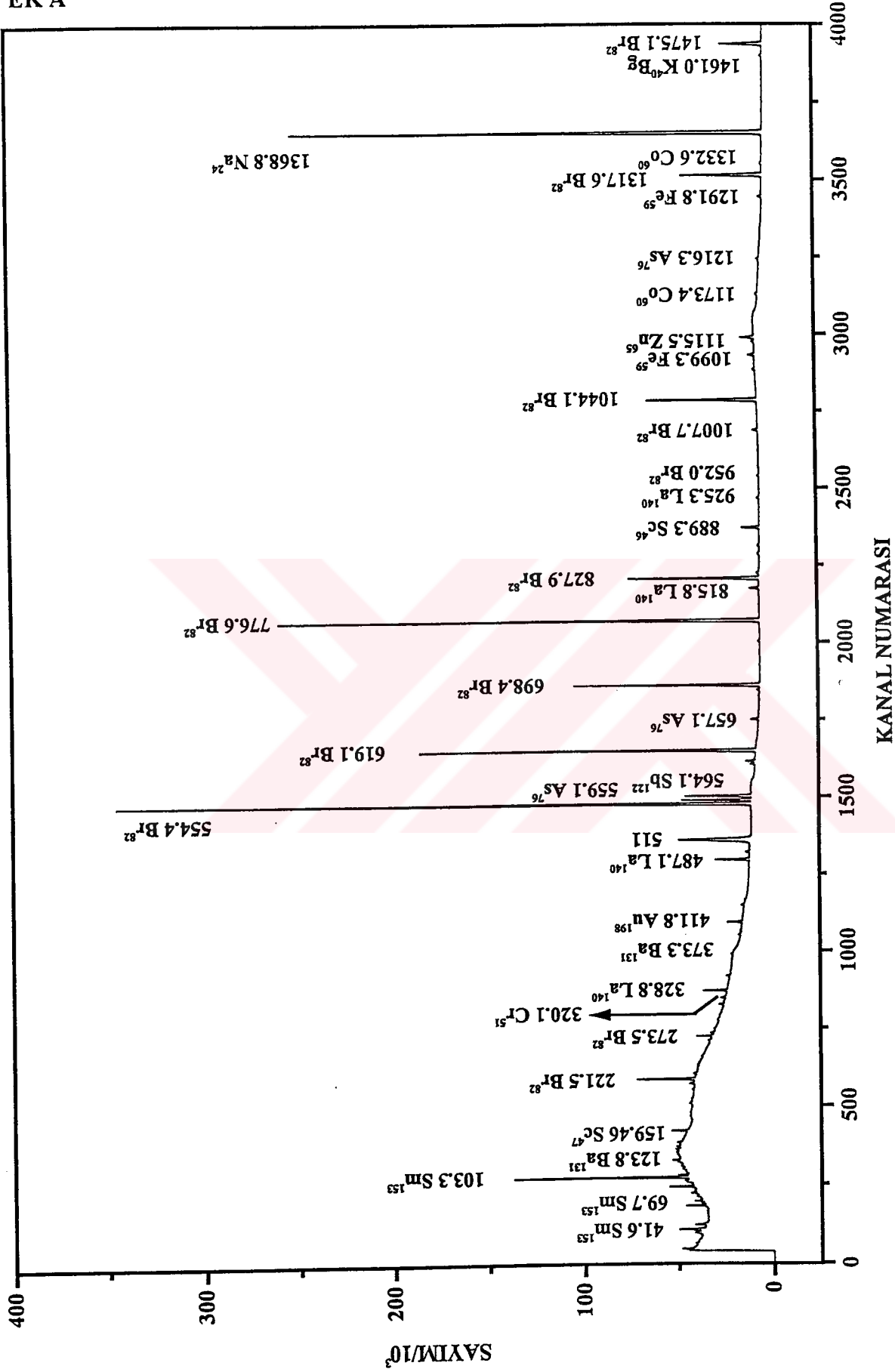
Hangi elementlerin motor emisyonundan kaynaklandığını anlamak için İ.T.Ü kampüsünden alınan numunenin analizleri ile köprü üzerinden alınanlar karşılaştırıldığında Br, Al, Ti, Mg, Na, Ca, As, La elementlerinin köprü civarında daha fazla olduğu Al, Fe, Mg ve Ti gibi metallerin ise otomotiv parçalarından havaya karıştığı anlaşılmaktadır. Dy ve Sc değerlerinde herhangi bir sapma görülmemektedir.

Br/Pb oranı çok yoğun trafiğin olduğu tünellerden alınan numunelerde 0.30 ile 0.50 arasında değişmektedir[20]. Bu çalışmada bulunan değer 0.58 (16). Cl/Pb oranı ise literatürde [13,20] hava durumuna bağlı olarak 0.2 ile 13 arasında değişmektedir. Bu çalışmada oran 2.3 (6) olarak bulunmuştur.

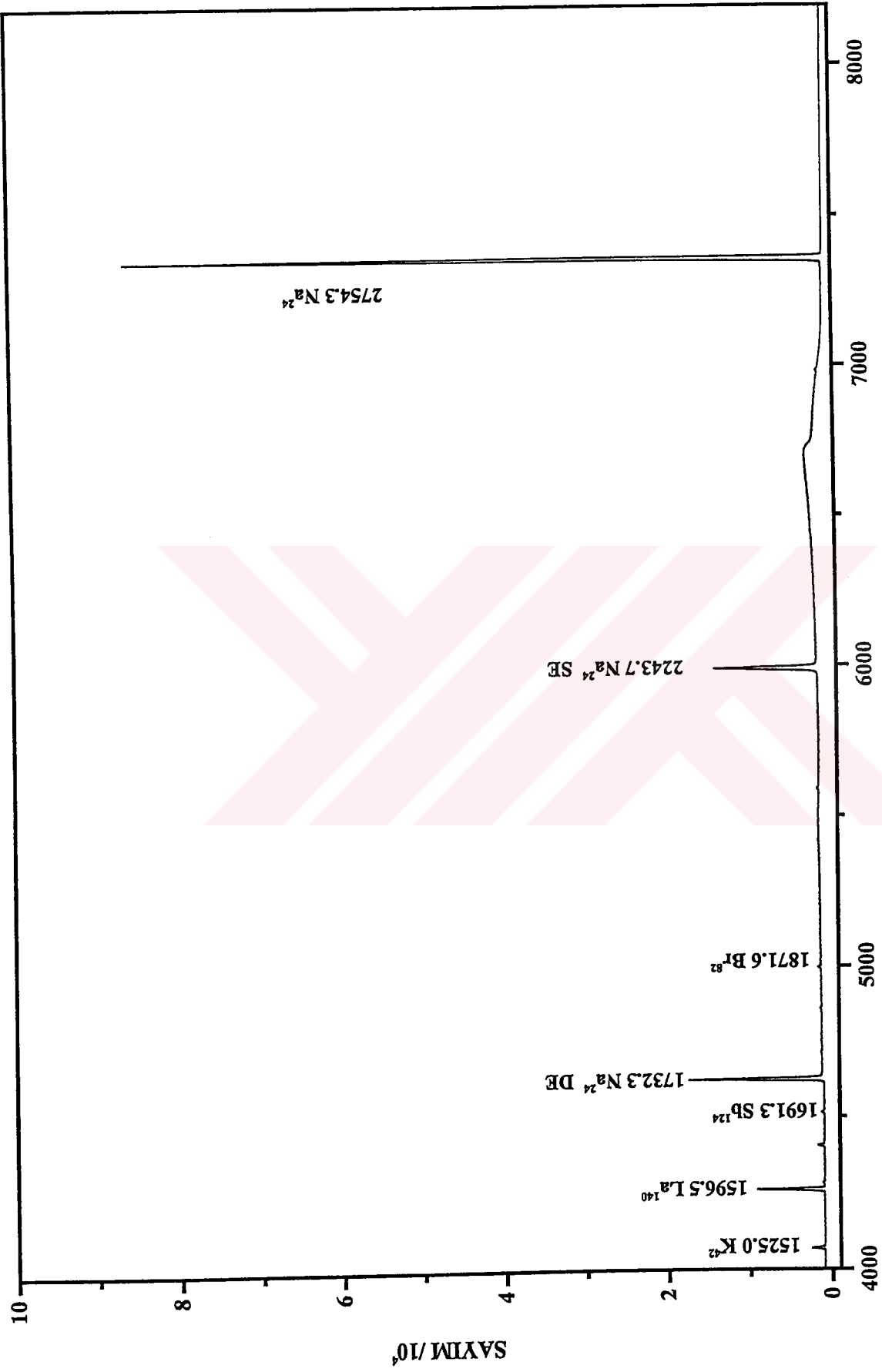
NAA yöntemi yarıiletken teknolojisinde safsızlıkları belirlemek için de kullanılmaktadır [35]. LLGG kristali içindeki safsızlıkların tümü daha önce XRF ve nötron saçılması ile denenmesine rağmen Cr ve Ir gibi safsızlık elementleri belirlenememiştir [36,37]. Laser özelliği gösteren kristal içerisindeki Cr^{+3} iyonunun miktarı ^{51}Cr 'in 320.08 deki çizgisi $^{177\text{m}}\text{Lu}$ in 319.1 ve 321.5 keV daki gama çizgileri ile çakışmasına rağmen NAA ile belirlenmiştir. Ayrıca Ir miktarı da ppm mertebesinde bulunmuştur.

$\text{TeO}_2\text{LiCl}:\text{Tm}^{3+}$ kristalinin termal ve optik özellikleri incelenmiştir [34]. Bu özellikler element konsantrasyonları ile doğrudan bağlantılıdır. Kristal içindeki katkı elementi Tm ve ana elementlerden Te ve Cl belirlenmiştir. Cl miktarındaki azalma kristal büyütülürken uygulanan sıcaklıktan kaynaklanmış olabilir. Li ve O miktarı ise Te yüzdesinden yola çıkılarak bulunmuştur.

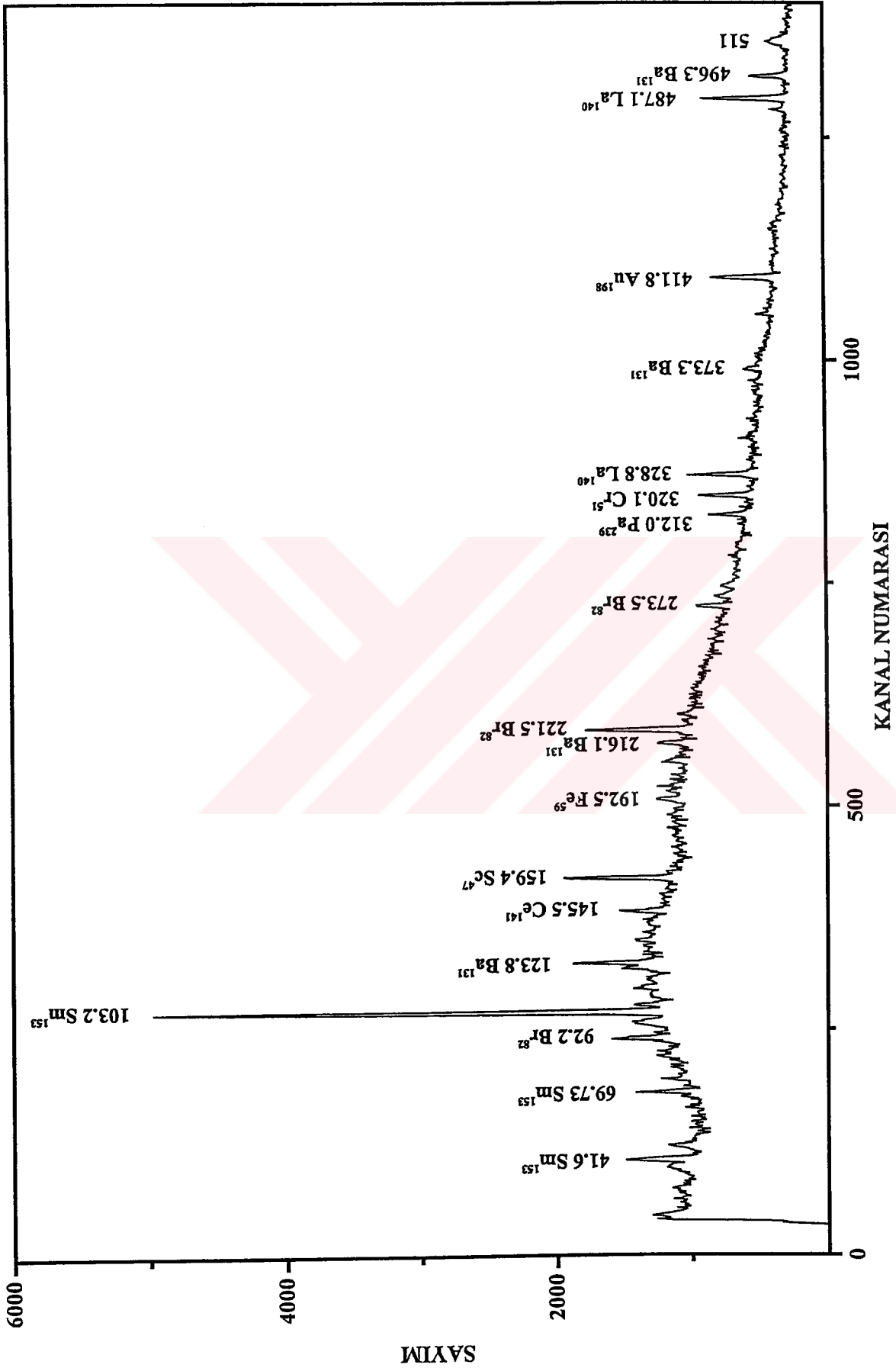




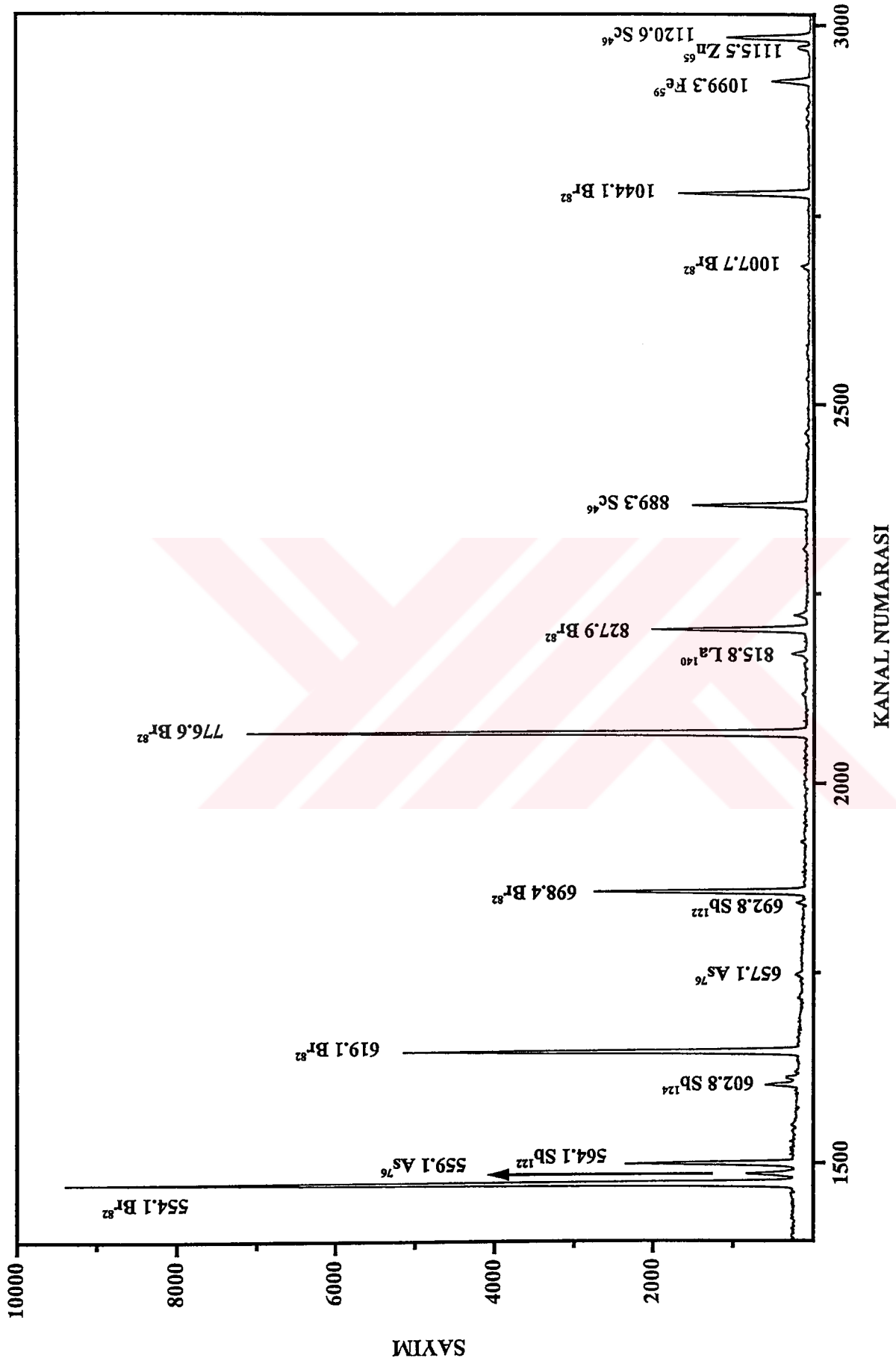
Şekil A.1a. Birinci hava numunesinin 30 dakika ışınlama 5904 dakika soğutma zamanı sonunda alınan spektrumu. (Enerjiler keV cinsindendir)



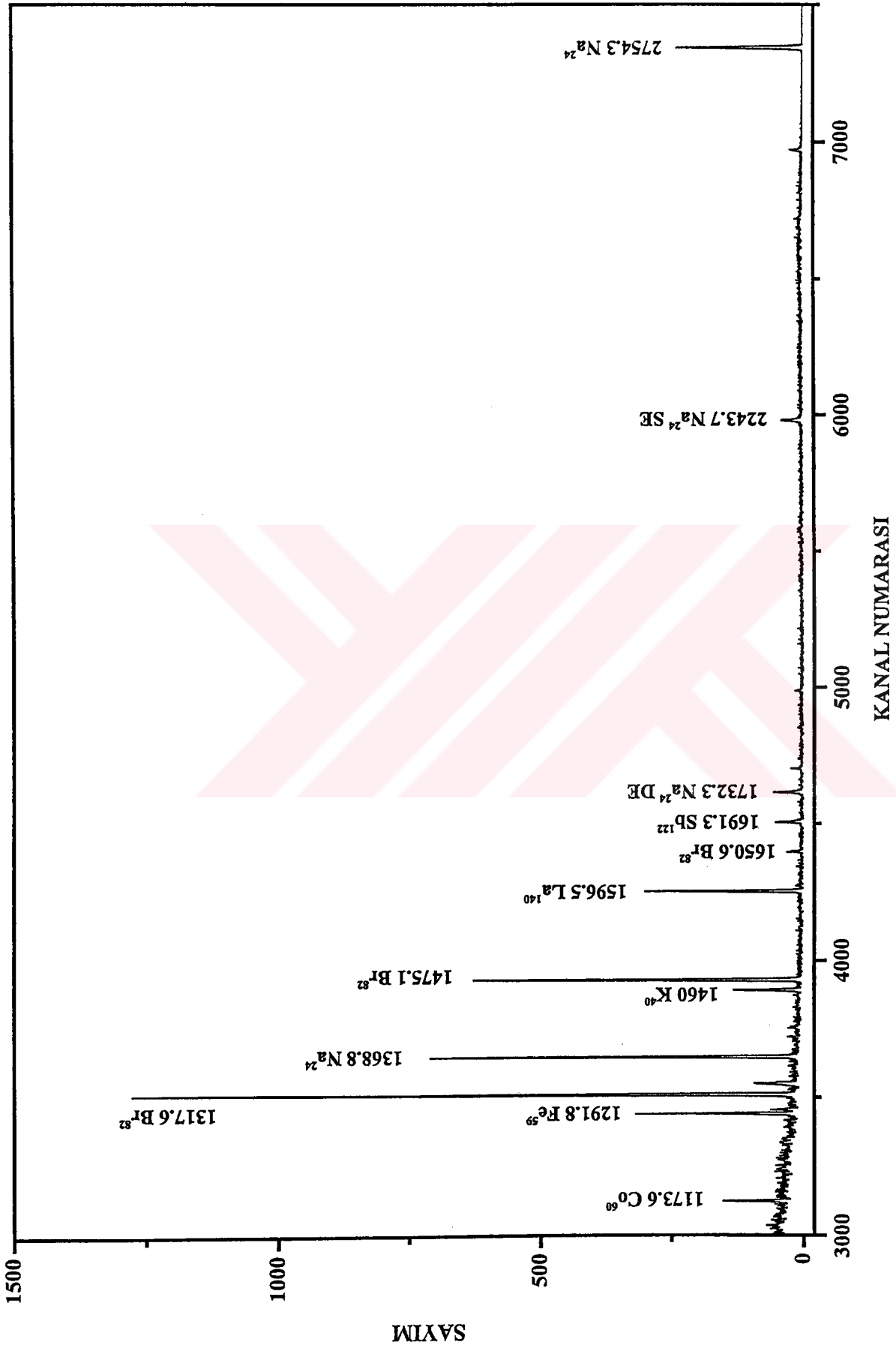
Şekil A.1b. Aynı spektrumun yüksek enerjili kısmı.



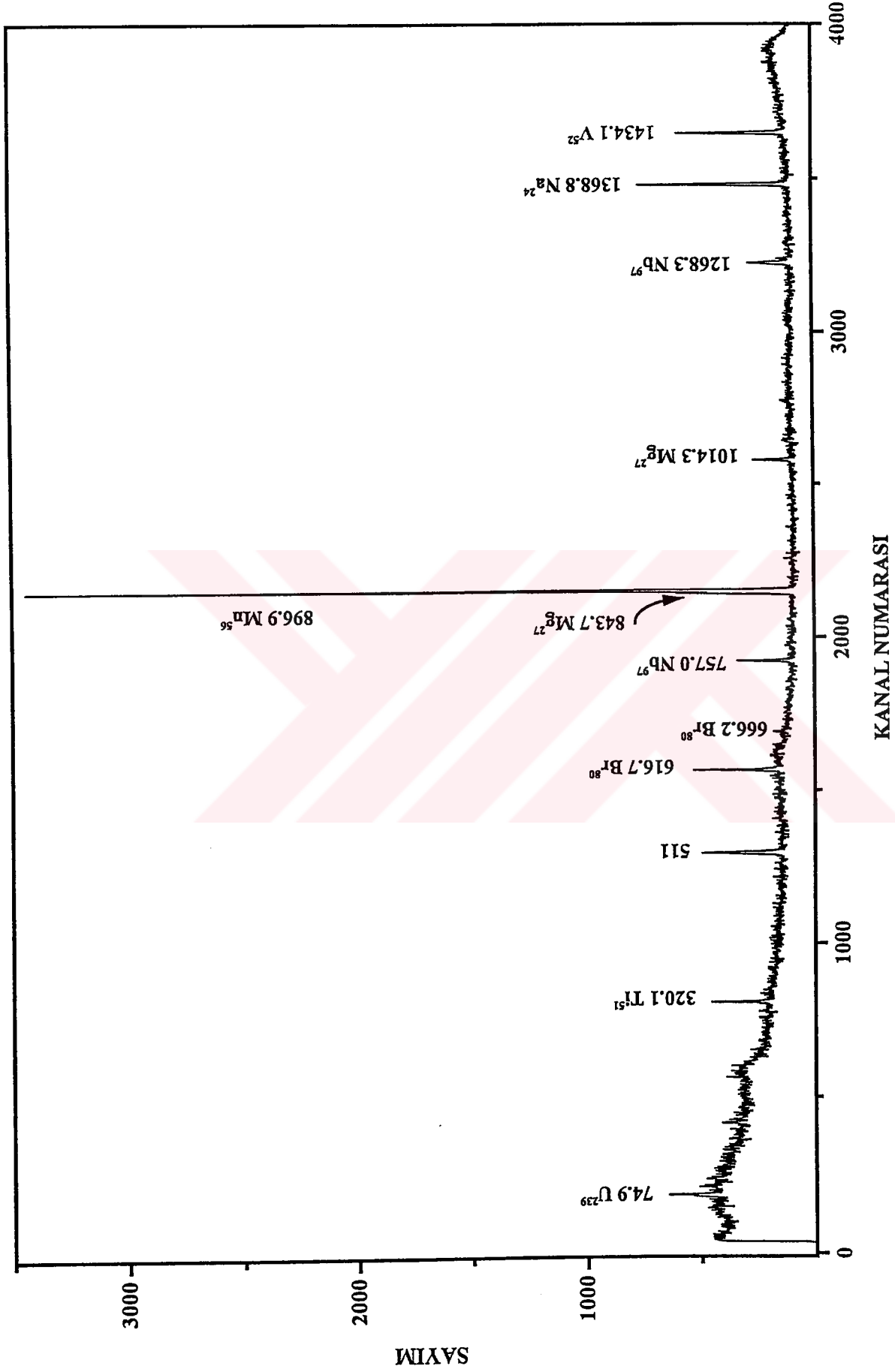
Şekil A.2a. Birinci hava numunesinin 30 dakika ışınlama 11682 dakika soğutma zamanı sonunda alınan spektrumu.



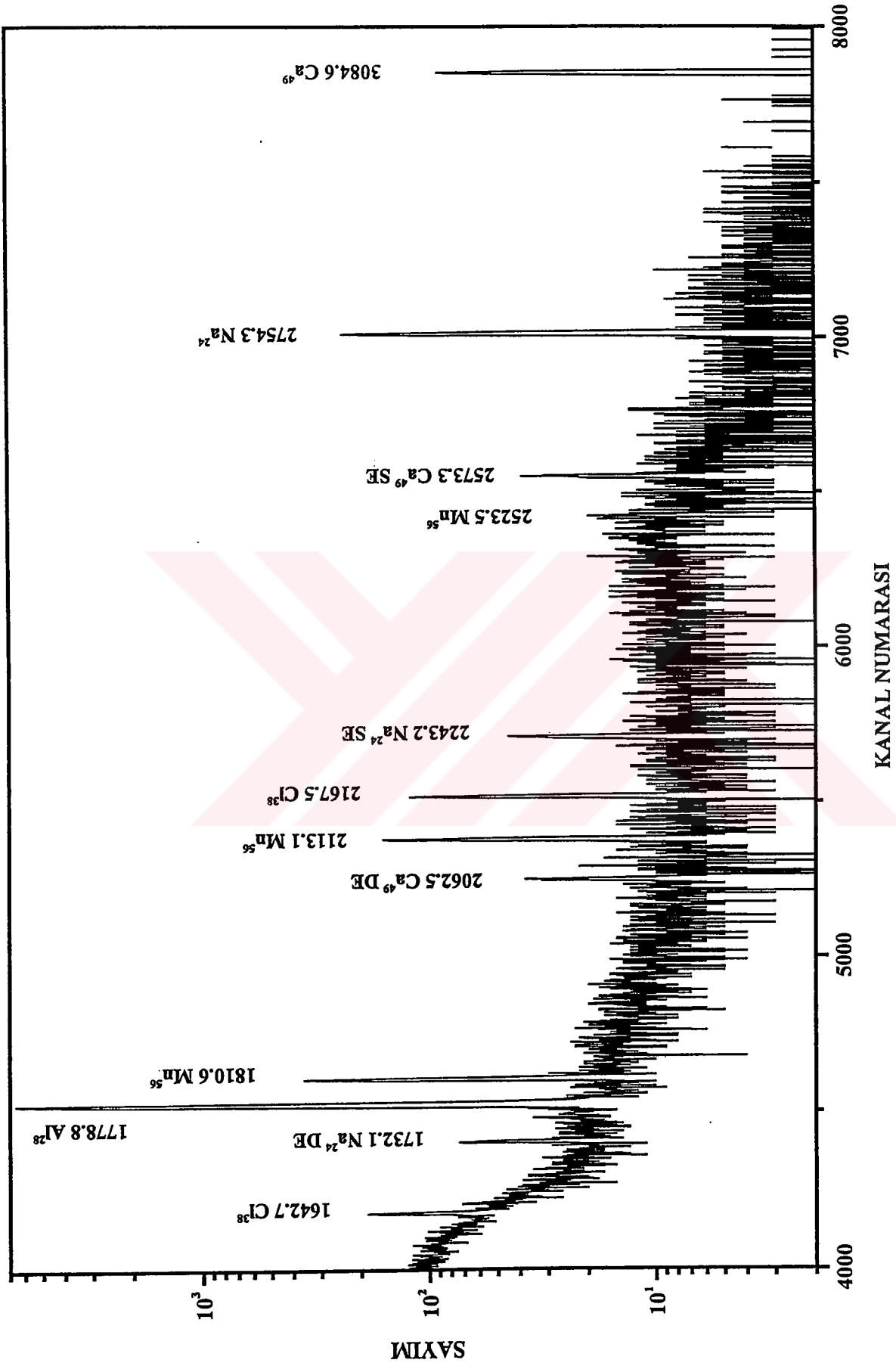
Şekil A.2b. Aynı spektrumun orta enerji bölümü.



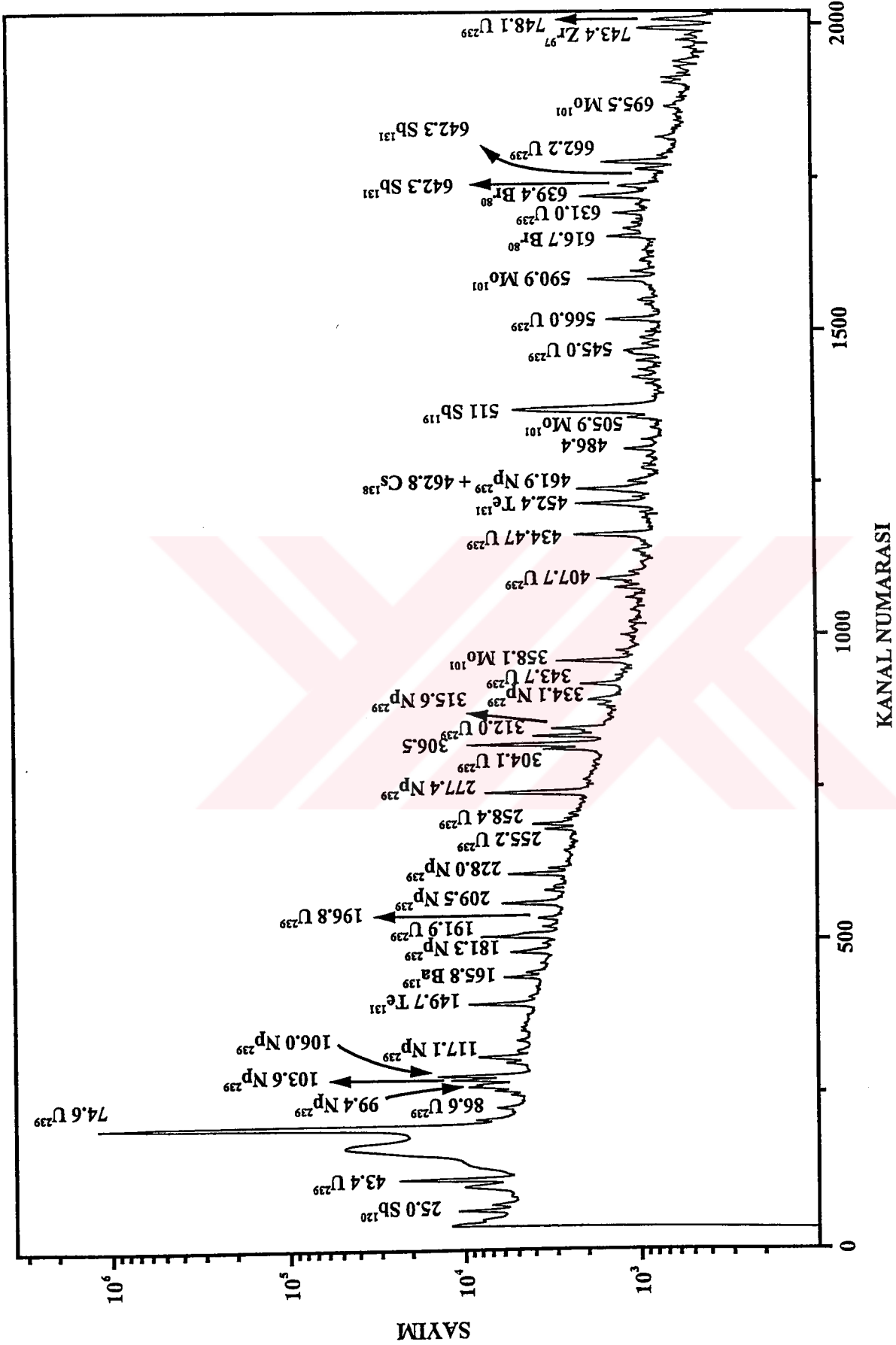
Şekil A.2c. Aynı spektrumun yüksek enerjili kısmı.



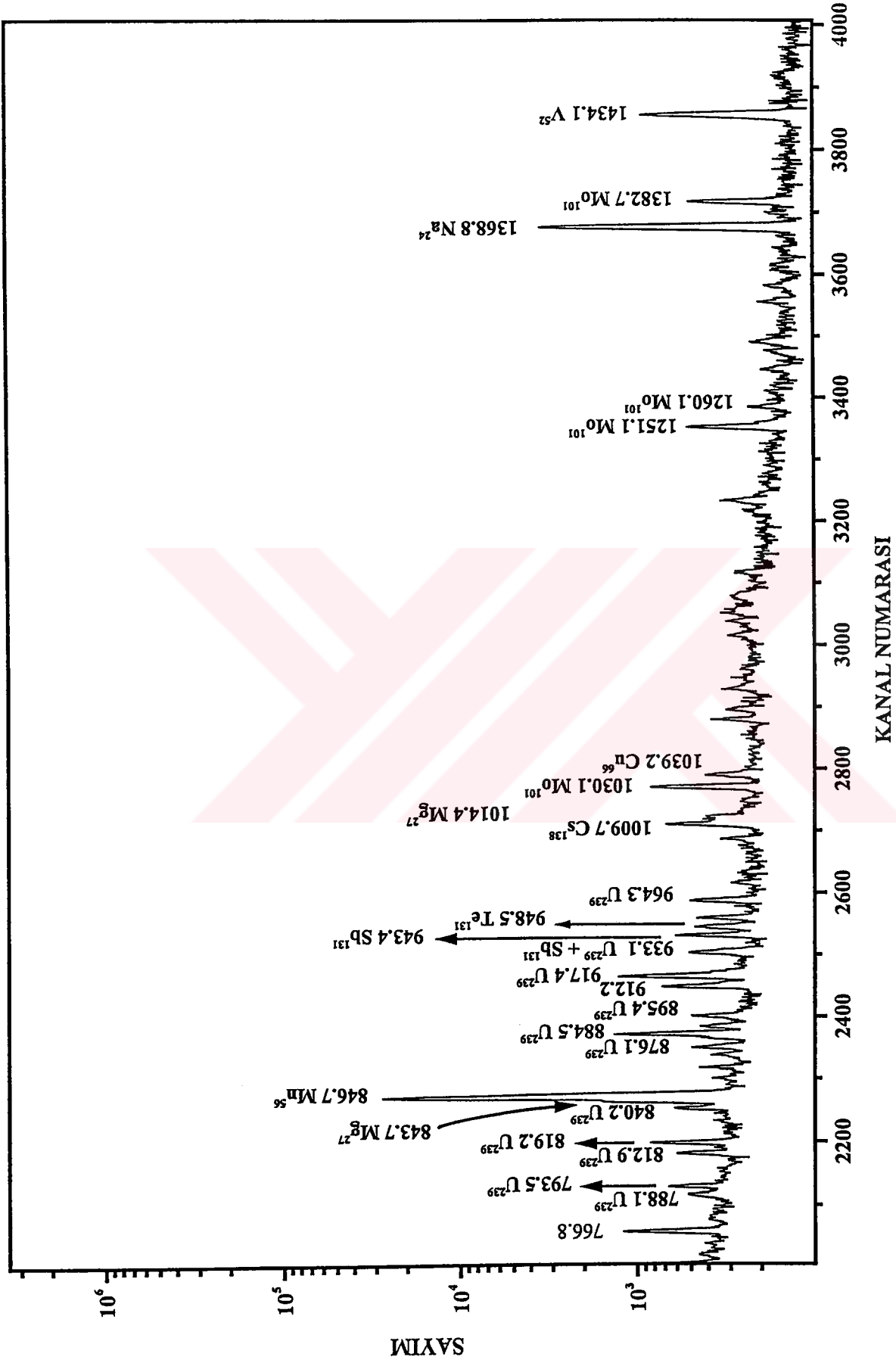
Şekil A.3a. Üçüncü hava numunesinin 5 dakika ışınlama 11.3 dakika soğutma zamanı sonunda alınan spektrumu.



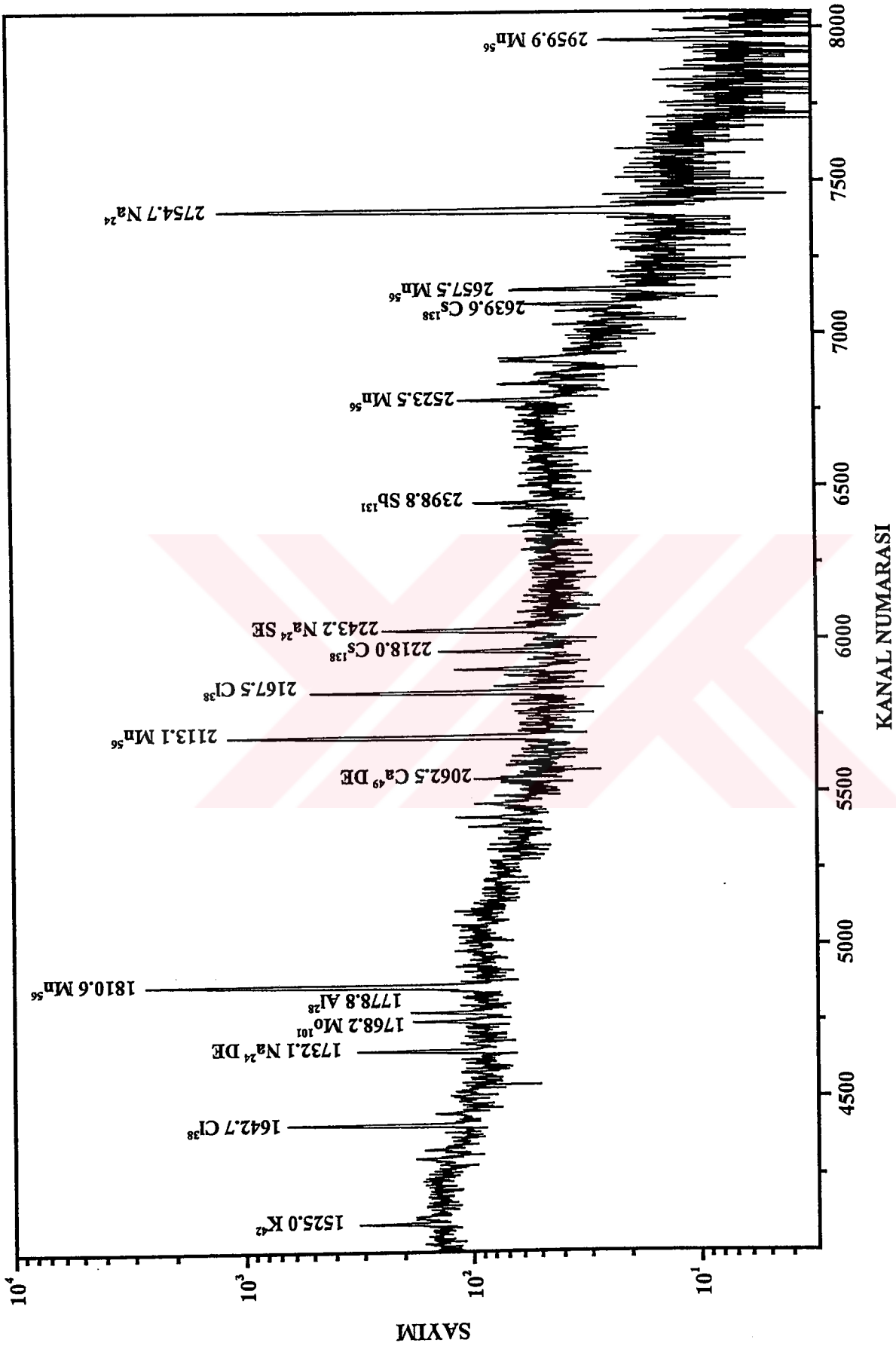
Şekil A.3b. Aynı spektrumun yüksek enerjili bölümlü.



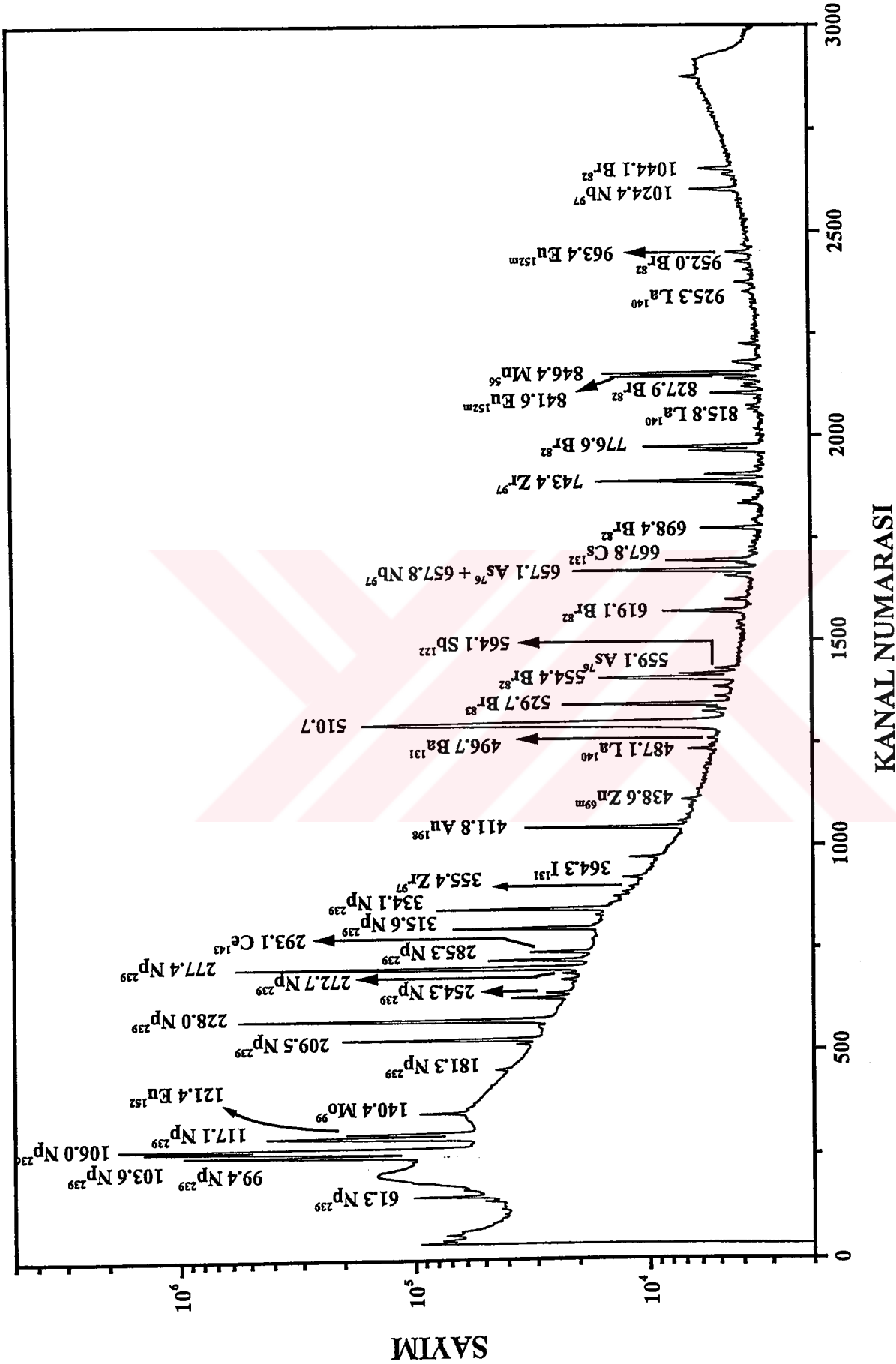
Şekil A.4a. Kampüs hava numunesinin 5 dakika ışınlama 21 dakika soğutma zamanı sonunda alınan spektrumu.



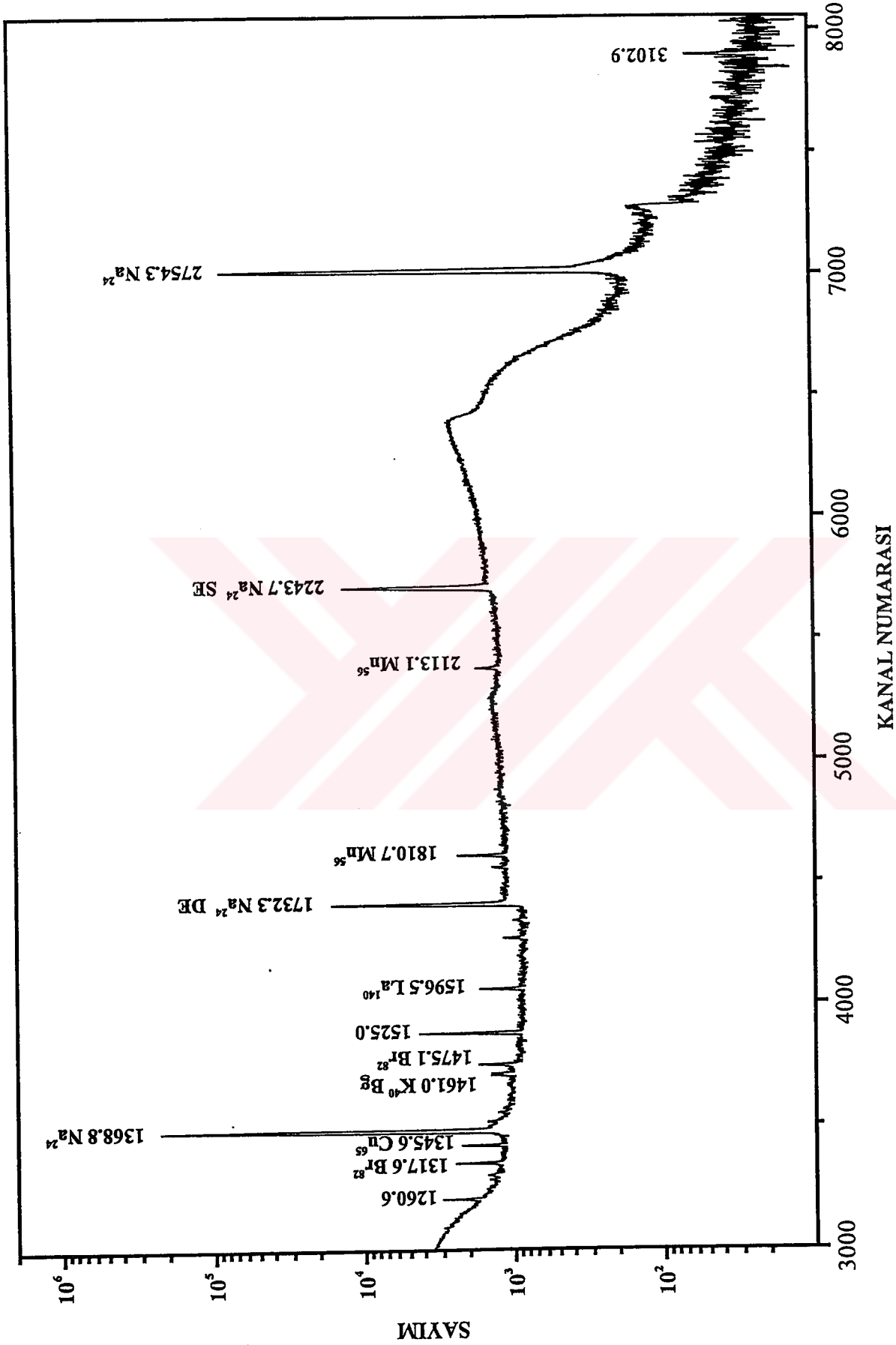
Şekil A.4b. Aynı spektrumun orta enerjili bölümü.



Şekil A.4c. Aynı spektrumun yüksek enerjili bölümlü.



Sekil A.5a. Kampus hava numunesinin 5 dakika ışınlama 1183 dakika soğutma zamanı sonunda alınan spektrumu.



Şekil A.5b. Aynı spektrumun yüksek enerjili bölümü.

EK B

Tablo B.1. Hava numunelerinin elementel analizi için gerekli giriş verileri.

İzotop	Enerji E _γ (keV)	σ _{th} (b)	σ _{epth} (b)	T _{1/2} (dakika)	A	a (%)	I _γ (%)
²⁴ Na	1368.5	0.53	0.311	897.54	23	1	1
	2754.1	0.53	0.311	897.54	23	1	0.99862
²⁷ Mg	170.8	0.038	0.026	9.458	26	0.1101	0.008
	843.7	0.038	0.026	9.458	26	0.1101	0.718
	1015.04	0.038	0.026	9.458	26	0.1101	0.28
²⁸ Al	1778.9	0.231	0.17	2.2414	27	1	1
³⁸ Cl	1642.4	0.433	0.3	37.24	37	0.2423	0.319
	2167.4	0.433	0.3	37.24	37	0.2423	0.424
⁴² K	1524.7	1.46	1.42	741.6	41	0.0673	0.1808
⁴⁶ Sc	889.4	27.2	12	120657.6	45	1	0.99984
	1120.5	27.2	12	120657.6	45	1	0.99987
⁴⁹ Ca	3084.4	1.09	0.89	8.72	48	0.00187	0.921
⁵¹ Ti	320	0.179	0.118	5.76	50	0.0518	0.929
⁵¹ Cr	320.1	15.9	7.8	39890.88	50	0.04345	0.0983
⁵² V	1434.05	4.88	4.88	3.75	51	0.9975	1
⁵⁶ Mn	846.75	13.3	14	154.71	55	1	0.989
	1810.6	13.3	14	154.71	55	1	0.272
	2113	13.3	14	154.71	55	1	0.143
	2522.7	13.3	14	154.71	55	1	0.0099
	2657.6	13.3	14	154.71	55	1	0.00653
⁵⁹ Fe	192.4	1.28	1.7	64084.32	58	0.00282	0.0308
	1099.2	1.28	1.7	64084.32	58	0.00282	0.565
	1291.6	1.28	1.7	64084.32	58	0.00282	0.432
⁶⁴ Cu	1345.77	4.5	4.97	762	63	0.6917	0.473

İzotop	Enerji E_γ (keV)	σ_{th} (b)	σ_{epth} (b)	$T_{1/2}$ (dakika)	A	a (%)	I_γ (%)
⁶⁵ Zn	1115.7	0.76	1.45	351734.4	64	0.486	0.5075
⁶⁶ Cu	1039.11	2.17	2.19	5.088	65	0.3083	0.074
^{69m} Zn	438.63	0.072	0.9	825.6	68	0.188	0.9477
⁷⁶ As	559.1	4.5	61	1552.032	75	1	0.45
	657.1	4.5	61	1552.032	75	1	0.06
	1213.07	4.5	61	1552.032	75	1	0.0144
	1216.08	4.5	61	1552.032	75	1	0.0342
⁸⁰ Br	616.8	11	127	17.68	79	0.5069	0.0067
	665.2	11	127	17.68	79	0.5069	0.00108
⁸² Br	554.2	2.7	50	2118	81	0.4931	0.708
	776.2	2.7	50	2118	81	0.4931	0.835
	619	2.7	50	2118	81	0.4931	0.434
	698.2	2.7	50	2118	81	0.4931	0.285
	1044.2	2.7	50	2118	81	0.4931	0.272
	1317.3	2.7	50	2118	81	0.4931	0.265
	827.7	2.7	50	2118	81	0.4931	0.24
¹²² Sb	564	5.9	200	3922.27	121	0.5721	0.7065
	692.8	5.9	200	3922.27	121	0.5721	0.03744
¹²⁴ Sb	602.5	1.7763	55.51	86688	123	0.4279	0.9787
	1690.6	1.7763	55.51	86688	123	0.4279	0.49033
¹³¹ Ba	496.31	8.8	200	16560	130	0.00106	0.468
	123.8	8.8	200	16560	130	0.00106	0.29
	216.1	8.8	200	16560	130	0.00106	0.1966
¹³⁹ Ba	165	0.36	0.32	83.1	138	0.717	0.24
¹⁴⁰ La	1596	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.954
	487	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.455
	815.8	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.2328
	328.7	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.203
	925.1	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.069

İzotop	Enerji E_γ (keV)	σ_{th} (b)	σ_{epth} (b)	$T_{1/2}$ (dakika)	A	a (%)	I_γ (%)
^{153}Sm	867.8	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.055
	751.6	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.0433
	432.4	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.029
	919.8	8.93	11.8	2416.464	139	0.9991	0.0266
	40.8	206	2970	66628.8	152	0.267	0.12
	41.61	206	2970	66628.8	152	0.267	0.21
	47.08	206	2970	66628.8	152	0.267	0.085
	69.73	206	2970	66628.8	152	0.267	0.0485
	75.08	206	2970	66628.8	152	0.267	0.0035
	84.76	206	2970	66628.8	152	0.267	0.00203
	103.4	206	2970	66628.8	152	0.267	0.314
^{165}Dy	94.7	2650	340	140.04	164	0.282	0.036
	47.2	2650	340	140.04	164	0.282	0.047
^{198}Au	411.8	98.65	1550	3881.045	197	1	0.9551
^{239}U	74.6	2.68	277	23.5	238	1	0.48

EK C

Tablo C.1. Bazı çok kısa yarıömürlü izotopların yarıömürleri ve ana gama çizgileri [3].

Element	İzotop	$T_{1/2}$ (dakika)	E_γ (keV)
Aluminyum	Al ²⁸	2.31	1178.8
Brom	Br ⁸²	17.60	617.0
Klor	Cl ³⁸	37.30	1642.4
Bakır	Cu ⁶⁵	5.10	1039.2
İyot	I ¹²⁸	24.99	442.9
Magnezyum	Mg ²⁷	9.46	1014.4
Niobyum	Nb ^{94m}	6.29	871.1
Palladyum	Pd ^{109m}	4.69	188.9
Titanyum	Ti ⁵¹	5.79	320.0
Tellür	Te ¹³¹	25.0	149.7
Vanadyum	V ⁵²	3.75	1434.2

Tablo C.2. Bazı kısa yarıömürlü izotopların yarıömürleri ve ana gama çizgileri [3].

Element	İzotop	$T_{1/2}$ (saat)	E_γ (keV)
Arsenik	As ⁷⁶	26.4	559.10
Disprosyum	Dy ¹⁶⁵	2.23	94.70
Erbium	Er ¹⁷¹	7.52	308.29
Galyum	Ga ⁷²	14.10	833.95
Germanyum	Ge ⁷⁵	1.38	264.80
Mangan	Mn ⁵⁶	2.58	1811.2
Nikel	Ni ⁶⁵	2.52	1481.8
Potasyum	K ⁴²	12.36	1524.7
Praseodyum	Pr ¹⁴²	19.13	1575.9
Sodyum	Na ²⁴	15.03	1368.55
Volfram	W ¹⁸⁷	23.90	685.74

Tablo C.3. Uzun yarıömürlü izotopların yarıömür ve nicel analizindeki gama çizgileri [3].

Element	İzotop	$T_{1/2}$ (gün)	E_γ (keV)
Baryum	^{131}Ba	11.8	496.28
Brom	^{82}Br	1.47	776.50
Kadmiyum	^{115}Cd	2.22	336.30
Altın	^{198}Au	2.70	411.80
Lantan	^{140}La	1.68	1596.20
Lütesyum	^{177}Lu	6.71	208.36
Molibden	^{99m}Tc	2.76	140.51
Neodimiyum	^{147}Nd	11.06	91.10
Platin	^{191}Pt	2.80	538.87
Renyum	^{186}Re	3.78	137.16
Samariyum	^{153}Sm	1.95	103.18
Uranyum	^{239}Np	2.36	277.60
Yitterbiyum	^{175}Yb	4.19	396.32

Tablo C.4. Bazı çok uzun yarıömürlü izotopların yarıömür ve ana gama çizgileri [3].

Element	İzotop	T _{1/2} (gün)	E _γ (keV)
Antimon	¹²⁴ Sb	60.2	1691.04
Ser	¹⁴¹ Ce	32.38	145.45
Sezyum	¹³⁴ Cs	2.06 yıl	795.76
Krom	⁵¹ Cr	27.70	320.01
Kobalt	⁶⁰ Co	5.27	1332.51
Europiyum	¹⁵² Eu	12.70yıl	1408.08
Gadalonyum	¹⁵³ Gd	241.6	103.20
Hafniyum	¹⁸¹ Hf	42.50	482.16
İndiyum	^{114m} In	49.50	189.90
İridiyum	¹⁹¹ Ir	74.02	316.49
Demir	⁵⁹ Fe	45.10	1099.22
Civa	²⁰³ Hg	46.59	279.17
Nikel	⁶⁵ Ni	70.78	810.75
Osmiyum	¹⁹³ Os	15.40	129.40
Rübidyum	⁸⁶ Rb	18.6	1076.63
Rütenyum	¹⁰³ Ru	39.35	497.07
Skandiyum	⁴⁶ Sc	83.85	889.26
Selenyum	⁷⁵ Se	120.40	136.00
Gümüş	^{110m} Ag	249.90	657.75
Stronsiyum	⁸⁵ Sr	64.73	513.99
Tantalum	¹⁸² Ta	115.00	1221.28
Terbium	¹⁶⁰ Tb	72.10	879.37
Thorium	²³³ Pa	27.40	311.90
Thulium	¹⁷⁰ Tm	128.60	84.26
Kalay	¹¹³ Sn	115.10	391.71
Çinko	⁶⁵ Zn	243.80	1115.52
Zirkonyum	⁹⁵ Zr	64.60	756.72

KAYNAKLAR

- [1] M. De Bruin, M. Blaauw, 1992. Sources of Error in Analytical Gamma-ray Spectroscopy, *Analyst*, 117, 431-434.
- [2] B. Markert, 1994. Environmental Sampling For Trace Analysis, USA.
- [3] V. Guinn, J. Hoste, 1978. Activation analysis dedection limits, IEAA-SM-227, 102.
- [4] W.D. Ehmann, D.E. Vance, 1991. Radiochemistry and Nuclear Methods of Analysis, USA.
- [5] K.L. Lieser, 1997. Nuclear and Radiochemistry Fundamentals and Applications, USA.
- [6] K. Debertin, R.G. Helmer, 1998. Gamma and X-Ray Spectrometry with Semiconductor Dedectors, USA.
- [7] Nuclear Data Sheets (NDS), 2000. National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, USA.
- [8] C. Özben, 1998. Nötron aktivasyon analizi yöntemi ile ince filmlerin kalınlık tayini, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Camberra Inc., 1994. Sampo 90 Manual, Camberra Industries Inc.
- [10] J.T. Routti, S.G. Prussin, 1969. Photopeak Method for the Computer Analysis of Gamma-ray Spectra from Semiconductor Dedectors, *Nuclear Instrumentation and Methods*, 72,125-142.
- [11] A.F. Sanchez-Reyes, M.I. Febrian, J. Bora, J. Tejoda, 1987. Absulate Efficiency Calibration Function for The Energy Range 63-3054 keV for a Coaxial Ge(Li) Dedector, *Nuclear Instrumentation and Methods*, B28, 123-127.
- [12] F. Aldape, J.M. Flore, R.V. Diaz, D.Crumpton, 1993. Temporal Variations in Elemental Concantrations of Atmospheric Aerosols in Mexico City, *Nuclear Instrumentation and Methods B*, 75,304-307.
- [13] I.B. Kiss, E.Kotay, G.Y. Szabo, 1993. Apportionment of Atmospheric Aerosols Collected Over Hungary to Sources by Target Transformation Factor Analysis, *Nuclear Instrumentation and Methods B*, 75,287-291.

- [14] G.M.B. Marcazzan, P.Bonelli, E.D. Bella, A.Funagalli, R. Ricci, U. Pellegrini, 1993. Study of Regional and Long Range Transport in an Alpine Station by PIXE analysis of Aerosol Particles, *Nuclear Instrumentation and Methods B*, 75, 312-316.
- [15] F. Andrade, C. Orsini, W. Maenhaut, 1993. Receptor Modeling for Inhalable Atmospheric Particles in Sao Paulo, Brazil, *Nuclear Instrumentation and Methods B*, 75, 308-311.
- [16] T. Katoh, S.Amemiya, Y.Tsurita, T.Masuda, E.Koltay, I. Borbely-Kiss, 1993. PIXE Analysis of Atmospheric Aerosols Collected Over Hungary and Japan, *Nuclear Instrumentation and Methods B*, 75, 296-299.
- [17] S. Tomic, V.Valkonic, M. Budnar, V. Starc, Z.Smit, 1987. Comparison of XRF and PIXE on Aerosol Samples, *Nuclear Instrumentation and Methods B*, 25, 609-612.
- [18] T. Jach, C.J. Powell, 1984. X-Ray Photoemission Spectroscopy of Environmental Particles, *Environmental Science & Technology*, 18, 58-61.
- [19] K.A. Katrinak, J.R. Anderson, P.R. Buseck, 1995. Individual Particle Types in the aerosol of phoenix, Arizona, *Environmental Science & Technology*, 29, 2, 321-329.
- [20] T. Jach, C.J. Powell, 1984. X-Ray Photoemission Spectroscopy of Environmental Particles, *Environmental Science & Technology*, 18, 58-61.
- [21] S.J. Elsenrich, N.A.Metzer, N.R. Urban, J.A. Rubbins, 1986. Respons of Atmospheric Lead to Decreased Use of Lead in Gasoline, *Environmental Science & Technology*, 20, 171-174.
- [22] J.M.Ondov, W.H.Zoller, G.E. Gordon, 1982. Trace Element Emissions on Aerosols from Motor Vehicles, *Environmental Science & Technology*, 16, 318-328.
- [23] N.I. Word, R.R.Brooks, E.Roberts, C.R. Boswell, 1977. Heavy-Metal Pollution from Automotivemissions and its Effect on Roadside Soils and Pasture Species in New Zeland, *Environmental Science & Technology*, 30, 917-922.
- [24] E.A.Crecelius, E.A.Lepel. J.C. Laul, L.A. Rancitelli, R.L.Mckeever, 1980. Background Air Particulate Chemistry Near Colstrip, Montana, *Environmental Science & Technology*, 14, 422-428.
- [25] K.A. Rahn, 1999. A Graphical Technique for Determining Major Components in a Mixed Aerosol, I. Descriptive Aspects, *Atmospheric Environment*, 33, 1441-1455.

- [26] P.K. Hopke, R.E. Lamb, D.F.S. Natusch, 1980. Multielemental Characterization of Urban Roadway Dust, *Environmental Science & Technology*, 14, 164-172.
- [27] E. Bombelka, F.W. Richter, H.Ries, U. Watjen, 1984. Large Scale Intercomparison of Aerosol Trace Element Analysis by Different Analytical Methods, *Nuclear Instrumentation and Methods B*, 3, 296-300.
- [28] Y.K. Lai, S.M. Tang, 1993. A Survey of Air Quality in Singapore, *Nuclear Instrumentation and Methods B*, 75, 300-303.
- [29] G.M.B. Marcazzan, C.Cavicchioli, F.Lucarelli, P.Redaeli, A. Ventura, M.Marchionni, 1993. Complementary Use of High Time Resolution Particulate Sampling and PIXE Analysis in the Study of a Severe Pollution Episode, *Nuclear Instrumentation and Methods B*, 75, 230-233.
- [30] T.C. Hutchinson, K.M. Meema, 1987. Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment, USA.
- [31] G. Yıldırım, 1997. $\text{La}_2\text{Lu}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}:\text{Nd}^{3+}$ Lazer kristalinde sıcaklığın Cr^{3+} den Nd^{3+} 'e enerji transferinin etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] R. Firestone, V. Shirley, C. Baglin, F. Chu, J. Zipkin, 1996. Table of isotopes, USA.
- [33] G.Ardisson, V.Barci, P. Dali, B. Weiss, D. Trubert, M. Hussonnois, 1999, Online Radiochemical Separation of the $^{168\text{m}}\text{Lu}$ Isomer ($T_{1/2} = 6.7$ min) and Study of its Gamma – ray Spectrum, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 241, 2, 307-312.
- [34] G. Özen, B. Demirata, M.L. Öveçoğlu, A. Genç, *Spectrochimica Acta Part A*, yayım aşamasında.
- [35] K.S. Park, N.B. Kim, H.J. Woo, D.K. Kim, J.K. Kim, H.W. Choi, 1991. Determination of Impurities in Semiconductor Grade Silicon by Instrumental Neutron Activation Analysis, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 151, 2, 373-378.
- [36] J.B.Parise, R.L.Harlow, R.D.Shannon, G.H.Kwei, T.H. Allik, J.T. Armstrong, 1992. Crystal Structure and Electron Microprobe Analyses of a Lanthanum Lutetium Gallium Garnet, *J. Applied Physics*, 6, 72, 2152-2155.

- [37] T.H. Allik, S.A. Stewart, D.K. Sardar, G.J. Quarles, R.C. Powell, C.A. Morrison, G.A. Turner, M.R. Kokta, W.W. Hovis, A.A. Pinto, 1988. Preparation, Structure and Spectroscopic properties of $\text{Nd}^{3+} : \{\text{La}_{1-x}\text{Lu}_x\}[\text{Lu}_{1-y}\text{Ga}_y]\text{Ga}_3\text{O}_{12}$ crystals, *Physical Review B*, 37, 16, 9129-9139.



ÖZGEÇMİŞ

1971’de Diyarbakır’da doğdu. İlk, Orta ve Teknik Lise Elektronik bölümünü İstanbul’da bitirdikten sonra 1988 yılında İTÜ Fizik Mühendisliği bölümüne kayıt oldu. 1992 yılında mezun olup bir yıl İngilizce hazırlık programından sonra 1994 yılı başında araştırma görevlisi oldu.Yüksek lisans ve doktora çalışmaları sırasında birçok diploma programı ve konferansa katıldı. Şu anda araştırma görevlisi olarak aynı bölümde çalışmalarına devam etmektedir.

