

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**PULSLU LAZER VE LED UYARMALI LÜMİNESANS  
OKUMA BAŞLIĞI TASARIMI VE TARİHLENDİRME  
ÇALIŞMALARINDA KULLANILMASI**

**Mustafa DOĞAN**

**FİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2014**

**Her hakkı saklıdır**



## ÖZET

Doktora Tezi

### PULSLU LAZER VE LED UYARMALI LÜMİNESANS OKUMA BAŞLIĞI TASARIMI VE TARİHLENDİRME ÇALIŞMALARINDA KULLANILMASI

Mustafa DOĞAN

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Niyazi MERİÇ

Lüminesans yöntemlerle tarihlendirme yapabilmek için günümüze kadar birçok tarihlendirme cihazı geliştirilmiştir. Bu tezin kapsamında ELSEC-9010 OSL tarihlendirme sistemi ile uyumlu çalışabilecek özgün bir lüminesans okuma başlığı tasarlanmıştır. Tarihlendirme laboratuvarımızda bulunan ELSEC-9010 OSL tarihlendirme sistemine yeni bir kuvars okuma başlığı yapılması kuvars örneklerle çalışma yapılabilmesine de olanak sağlamıştır.

Tasarlanan okuma başlığı vidalanabilen optik filtre yuvasına sahiptir. Okuma başlığında geniş bir spektrum aralığına (180nm-900nm) duyarlı olan ve kuantum verimi de benzerlerine göre oldukça yüksek olan bir fotoçoğaltıcı tüp (Hamamatsu-R9110) kullanılmıştır. Üç adet optik filtre cihaz içerisinde birlikte kullanılabilir, bu şekilde istenilen bant aralığı için, istenilen filtre kombinasyonları rahatça oluşturulabilmektedir. Bu esnekliğin yanında farklı dalgaboylu uyarma kaynakları ile de okuma başlığı rahatça çalışabilmektedir. Çalışmada yeni tasarlanan okuma başlığı ile iki farklı deney konfigürasyonu oluşturulmuştur.

Birinci konfigürasyonda polimineral ince taneciklerden 650 nm lazer uyarımı yapılarak eşdeğer doz tespiti yapılmıştır. Aynı toprak örneklerinden hazırlanan bir diğer disk grubu ile ELSEC-9010 IRSL(880nm) okuma başlığında sözkonusu deney tekrarlanmıştır. Her iki başlıktan elde edilen eşdeğer doz sonuçları karşılaştırılmış ve çıkan sonuçlar yorumlanmıştır.

İkinci konfigürasyonda kuvars mineralleri ile deney yapılmıştır. Aynı kuvars minerallerinden hazırlanan bir diğer disk grubu ile de RİSØ TL/OSL cihazının kuvars okuma başlığında deney tekrarlanmıştır. Her iki deneyden elde edilen eşdeğer doz sonuçları karşılaştırılmış ve yeni okuma başlığının sonuçlarının RİSØ TL/OSL cihazı ile uyumlu olduğu görülmüştür.

İlave olarak lüminesans okuma başlığı ile beraber çalışabilecek, LED'lerin pulslu olarak çalıştırılabilmesine imkân veren puls uyarma cihazı tasarlanmıştır. Puls uyarma cihazının çalışması osiloskop ekranın'dan puls sinyalleri kontrol edilerek doğrulanmıştır.

**Mayıs 2014, 88 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Lazer uyarma, fotoçoğaltıcı tüp, lüminesans

## ABSTRACT

Ph. D. Thesis

### PULSED LASER AND LED STIMULATED LUMINESCENCE READING HEAD DESIGN AND ITS APPLICATIONS IN DATING STUDIES

Mustafa DOĞAN

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Engineering Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Niyazi MERİÇ

Until now many dating devices were designed to perform experiments for luminescence dating procedures. In the scope of this thesis a new luminescence reading head was designed which works with ELSEC-9010 OSL dating system. Designing of new quartz reading head to our laboratory's ELSEC-9010 OSL dating system gave us opportunity of studying with quartz samples.

Designed reading head has got a screwable optical filter cover. Reading head has got a wide spectrum range (180nm-900nm) and considerably high quantum efficiency photomultiplier tube (Hamamatsu-R9110) comparing to similar reading heads. In this system three optical filters can be mount on top of each other in the same housing at the same time. With this we gain a flexibility constituted within desired band ranges. Furthermore reading head can be use with different wavelength stimulating sources. With the new reading head two different experimental configuration was constituted and with these configurations following experiments were performed.

By first configuration polymineral fine grain minerals were stimulated with 650nm laser source and equivalent dose values were obtained with this configuration. By subjecting another group of polymineral fine grain discs, same experiment was repeated with ELSEC-9010 IRSL (880nm) reading head. Equivalent doses of values were derived from two different reading heads which were compared, thus experiment results were commented.

By second configuration quartz minerals were used to experiment. With RISØ TL/OSL quartz reading head, so another part of same quartz minerals were experimented. Equivalent dose results were obtained from two reading head's. Consequently equivalent dose values of reading head's were found compatible with the RISØ TL/OSL quartz reading head.

In addition a led pulsing device was designed which can work with new luminescence reading head. The signals transmitted from the led pulsing device were controlled and confirmed from an oscilloscope display screen.

**May 2014, 88 pages**

**Key Words:** Laser stimulation, photomultiplier tube, luminescence

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeye katkıda bulunan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Niyazi MERİÇ (Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği ABD), çalışmalarım esnasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Sayın Prof. Dr. Ali Ulvi YILMAZER (Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği ABD), Sayın Prof. Dr. Haluk MUTLU (Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği ABD), Sayın Prof. Dr. Bora ALKAN (Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği ABD), Sayın Doç. Dr. M. Hicabi BÖLÜKDEMİR (Gazi Üniversitesi Fizik ABD) hocalarıma çalışmalarım sırasında önemli katkılarda bulunan ve beni devamlı yönlendiren, Sayın Prof. Dr. Güneş TANIR (Gazi Üniversitesi Fizik ABD), Sayın Prof. Dr. H. Gökhan İLK (Ankara Üniversitesi Elektronik Mühendisliği ABD) hocalarıma çalıştığım konularda tecrübeleri ile bana her zaman yardımcı olan Yard. Doç. Dr. Mehmet KOŞAL (Harran Üniversitesi Fizik ABD), Yard. Doç. Dr. Mehmet Altay ATLIHAN (Pamukkale Üniversitesi Fizik ABD), Dr.Ülkü Rabia YÜCE hocalarıma, maddi ve manevi olarak çalışmalarına destek olan Uzman mühendis Sayın Orhan ÖZTÜRK hocama, benden yardımlarını esirgemeyen Uzman mühendis Burak ÇUHADAROĞLU arkadaşım'a laboratuvarında her konuda bana yardımcı olan Uzman mühendis Eren ŞAHİNER arkadaşşıma, çalışmalarına her zaman destek olan Fatih KARA, Onur AKSU arkadaşlarıma, bütün Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü personeline ve bana her daim destek olan eşim Elif Ayşe DOĞAN'a ve son olarak da eğitim hayatım boyunca bana her zaman maddi ve manevi destek olarak bugünlere gelmemi sağlayan annem Filiz DOĞAN, babam Mahmut DOĞAN'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Bu tez çalışması OSL (Optically Stimulated Luminescence) Cihazının iyileştirilerek kuvars numunelerin Tarihlendirilmesinde Kullanılması (10B4343005-BAP 2010, A.Ü.) konulu proje tarafından desteklenmiştir.

Mustafa DOĞAN

Ankara, Mayıs 2014

## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK SAYFASI.....	I
ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	III
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	IV
SİMGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	X
1.GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	9
2.1 Lüminesansın Tanımı.....	9
2.1.1 Optik Lüminesans mekanizması.....	10
2.2 Termolüminesans (TL) ve Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL).....	10
2.3 Band Modeli.....	13
2.4 Lüminesansın Matematik Tanımlaması .....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1 Elsec-9010 OSL Tarihlendirme Sistemi.....	18
3.2 Sistemin Test ve Kontrolü.....	19
3.3 Önyükselteç Kartının Tasarlanması .....	20
3.4 Schmitt Trigger Devresinin Tasarımı ve Çalışması.....	22
3.5 Yüksek Voltaj Devresinin Tasarımı ve Çalışması.....	23
3.6 Puls Uyarma Cihazının Tasarımı.....	24
3.7 Lüminesans Okuma Başlığının Dış Kasasının Tasarımı.....	27
3.7.1 P2A parçası ve ayrıntıları.....	29
3.7.2 P2B parçası ve ayrıntıları.....	30
3.7.3 P2C parçası ve ayrıntıları.....	32
3.7.4 P2D parçası ve ayrıntıları.....	35
3.8 Baskı Devre Kartlarının Üretilmesi.....	36
3.9 Tasarlanan Lüminesans Okuma Başlığı ve Bileşenleri.....	37
3.10 Eşdeğer Doz (ED).....	39
3.11 Tek Tablet Yenileme (SAR) Yöntemi.....	40
3.12Çok Tablet İlave Doz (MAAD) Yöntemi .....	41
3.13 Yıllık Doz.....	44
3.14 Fotoçoğaltıcı Tüp (Elektron yükselticileri).....	48

3.14.1 Fotoçoğaltıcı tüp çeşitleri ve kullanım alanları.....	49
4. DENEYSEL İŞLEMLER.....	52
4.1 Örneklerin Kazı Bölgesinden Alınması ve Laboratuvarında Hazırlanması.....	52
4.2 Deney Yöntemlerinin Belirlenmesi ve Cihazın Kalibrasyonu.....	54
4.2.1 650nm lazer uyarımlı lüminesans okuma başlığı konfigürasyonu.....	54
4.2.2 Kuvars okuma başlığı konfigürasyonu.....	57
4.3 BKA-Side Polymineral İnce Tanecik Önısıtma Sıcaklığı ve Süresinin Tespiti...	60
4.4 KAT-Side Kuvars Kalın Tanecik Önısıtma Sıcaklığı ve Süresinin Tespiti.....	63
4.5 KAT-Side Kuvars Kalın Tanecik Ayrımı için HF Asitde Bekletme Süre Tespiti	66
4.6 Elsec IRSL ve 650nm Lazer Uyarım Eşdeğer Doz Sonuç Karşılaştırması .....	69
4.7 R9110 Kuvars Okuma Başlığı ve RİSØ TL/OSL Kuvars Eşdeğer Doz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	76
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	81
KAYNAKLAR.....	84
ÖZGEÇMİŞ.....	87

## SİMGELER DİZİNİ

$P(t)$	Birim zamanda tuzak bozunma olasılığı
$k$	Boltzman sabiti
MAAD	Çok Tablet İlave Doz
$\mu(t)$	Dolu tuzakların toplam konsantrasyonu
$n(\gamma_1, \dots, \gamma_m, t)$	Dolu tuzak konsantrasyonu
$\lambda$	Dalgaboyu
$f(\gamma, t)$	Dolu tuzakların tüm tuzaklara oranı
ED	Eşdeğer doz
$\nu$	Fonon-örgü titreşim frekansı
$\sigma(E_0)$	Fotoiyonizasyon kesiti
$s$	Frekans faktörü
$\Delta S$	Geçişlerle ilgili entropi değişimi
$\kappa$	Geçiş olasılık sabiti
F	Helmholtz enerji potansiyeli
IRSL	Kızılötesi Uyarmalı Lüminesans
ES	Işımasız geçiş için gerekli enerji
$N_i$	i'inci disk için normalizasyon sayımı
$F_i$	i'inci disk için normalizasyon faktörü
$S_i$	i'inci disk için normalize edilmemiş lüminesans sayımı
$\varepsilon$	Işık fotonlarının enerjisi
$c$	Işık hızı
$\Phi$	Işık şiddeti
PL	Lüminesanslı geçiş yapma olasılığı
PS	Lüminesanssız geçiş yapma olasılığı
I	Lüminesans şiddeti
LSL	Lazer Uyarmalı Lüminesans
N	Normalizasyon sayımlarının ortalaması
OSL	Optik Uyarmalı Lüminesans
$P(E_0)$	Optik uyarma için olasılık fonksiyonu
$\tau$	Ortalama ömür
$h$	Planck sabiti
TL	Termolüminesans
SAR	Tek Tablet Yenileme
E	Tuzak enerjisi
$P(F)$	Termal uyarma için olasılık fonksiyonu
$\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m$	Tuzak parametreleri
$N(\gamma)$	Toplam tuzak konsantrasyonunu
$\eta$	Verim
YD	Yıllık doz



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Side antik tiyatrosu iç kısımdan görünüş.....	6
Şekil 1.2	Side antik tiyatro binasının şeması .....	7
Şekil 1.3	Örnek alınan 2a-10 kesiti görülmektedir.1 ve 2 rakamları ile tanımlanan yerlerden karot ile toprak örnekleri alınmıştır.....	8
Şekil 2.1	Frenkel ve Schottky kusurlarının kristal içerisindeki görünümü.....	11
Şekil 2.2	Termoluminesans ışınım eğrisi, sıcaklık artışıyla TL yoğunluğunun değişimi....	12
Şekil 2.3	OSL okuma yöntemleri ve elde edilen luminesans sinyalleri.....	13
Şekil 2.4	Enerji band modeline göre luminesans oluşum mekanizması, LM (luminesans merkezi).....	14
Şekil 3.1	Elsec okuma başlığı için tasarlanan test kartı ve sisteme bağlı olan cihazlar.....	19
Şekil 3.2	Eviren yükselteç şeması.....	21
Şekil 3.3	Evirmeyen yükselteç şeması.....	22
Şekil 3.4	Tasarlanan ön yükselteç devresi.....	22
Şekil 3.5	Schmitt trigger devresinin temel bağlantı şekli.....	23
Şekil 3.6	Fotoçoğaltıcı tüp yüksek voltaj devresi ve +HV bağlantısı için temel bağlantı devresi .....	24
Şekil 3.7	Puls uyarma sisteminin PROTEUS programı ile çalışmasının simüle edilmesi..	26
Şekil 3.8	50 µS açık ve 250 µS kapalı olarak ayarlandığında ledler üzerindeki pulslu voltajın osiloskoptaki görüntüsü.....	26
Şekil 3.9	Pulslu modda çalışma anının simülasyon ekranı (solda) parametre ayarlama menüsünün ekranı (sağda).....	27
Şekil 3.10	Luminesans okuma başlığının dış kasa tasarımı (P2A mavi renk, P2B yeşil renk, P2C koyu sarı renk ve P2D koyu kahverengi renk).....	28
Şekil 3.11	P2A parçasının üst ve yandan görünüşü .....	29
Şekil 3.12	P2A parçasına ait üretim için gerekli olan ölçüm detayları ( Bütün sayısal değerler milimetre cinsindedir).....	30
Şekil 3.13	Bu parça P2B parçasının kalıp olarak görünüşü.....	31
Şekil 3.14	P2B parçasına ait üretim için gerekli olan ölçüm detayları (mesafeler mm cinsindedir).....	31
Şekil 3.15	Vidalanabilen filtre yuvası olan P2C parçasının kesiti gösterilmiştir. P2C parçasının vidalanarak takıldığı P2B parçası üsttedir.....	32
Şekil 3.16	P2C parçasının katı model olarak görüntüsü.....	33
Şekil 3.17	P2D parçasının üstten ve alttan katı parça olarak görünüşü.....	34
Şekil 3.18	P2D parçasına ait bazı teknik ölçüm detayları görülmektedir. Yan kesit olarak görünüşü şekilde görülmektedir.....	35
Şekil 3.19	Lazer yazıcıdan çıktı alınan baskı devre şeması solda ve tamamlanmış baskı devre kartı sağda görülmektedir.....	36
Şekil 3.20	Tasarlanan luminesans okuma başlığının yan soket kısmından görünüşü.....	37
Şekil 3.21	Kesit resmi görülen optik uyarımlı luminesans okuma başlığı ELSEC 9010 tarihlendirme sistemi ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır.....	38
Şekil 3.22	Numunenin gömü boyunca iyonize radyasyona maruz kalması ve eşdeğer dozun tespiti.....	39
Şekil 3.23	Doz ile luminesans şiddetinin değişimi.....	42
Şekil 3.24	İlave dozlarla luminesans şiddetinin değişimi.....	42
Şekil 3.25	Numunelerin gömü süresince maruz kaldıkları radyasyon tipleri.....	45
Şekil 3.26	Fotoçoğaltıcı tüpün kesiti .....	48

Şekil 3.27 Foto çoğaltıcı tüp çeşitleri .....	50
Şekil 3.28 Fotoçoğaltıcı tüpün yüksek voltaj bağlantısı.....	51
Şekil 4.1 Örnek alınan kazı bölgesinin resmi solda kazı bölgesinin kesiti ise sağda.....	53
Şekil 4.2 650 nm lazer uyarımlı lüminesans okuma başlığında optik sistem bileşenleri ve aralarındaki mesafe değerleri A-B=10,6 mm, A-C = 18mm, C-D =18mm, D-E=6mm, E-F=10,7mm olarak sabitlenmiştir.....	54
Şekil 4.3 Lazer (650Δ10nm) uyarımlı lüminesans okuma başlığının yüksek voltaj kalibrasyonu yapılarak bu grafik elde edilmiştir. Yüksek voltaj platosu 650 volt değerinde ortaya çıkmıştır.....	55
Şekil 4.4 650nm lazer uyarma başlığı konfigürasyonu ve IRSL konfigürasyonu.....	56
Şekil 4.5 Kuvars okuma başlığında sistem bileşenleri ve aralarındaki mesafe Değerleri.....	58
Şekil 4.6 Osram (450-530nm) mavi ledler ve Schott UG11 filtresi kullanılarak oluşturulan kuvars okuma başlığının yüksek voltaj kalibrasyonu .....	59
Şekil 4.7 Kuvars okuma başlığı konfigürasyonu ve Schott UG11 filtresinin band geçirme aralığı ,altta kuvars minerali için raporlanan lüminesans dalgaboyu aralıkları.....	60
Şekil 4.8 (a) Önısıtma sıcaklığına bağlı lüminesans sayımı (b) önısıtma zamanına bağlı lüminesans sayımı.....	62
Şekil 4.9 Kuvars önısıtma deneyine ait aşamalar ayrıntılı bir şekilde özetlenmiştir	64
Şekil 4.10 Kuvars tanecikler için önısıtma sıcaklığı ile lüminesans şiddetinin değişimi.....	65
Şekil 4.11 Kuvars tanecikler için önısıtma zaman deneyinin grafiği.....	66
Şekil 4.12 HF asitte feldspat mineralinin zamana bağlı lüminesans sinyali.....	68
Şekil 4.13 HF asitte kuvars mineralinin zamana bağlı lüminesans sinyali.....	68
Şekil 4.14 IRSL sinyalinin HF asitte 40,45 ve 60 dakika bekletilme sonrasındaki görünümü.....	69
Şekil 4.15 BKA-Side numunesi polymineral ince tanecik 6 adet diskin 650nm lazer uyarımlı lüminesans (LSL) bozunum eğrileri 2, 6, 15 Gy dozlar için zamana bağlı bozunumu.....	72
Şekil 4.16 SAR yöntemi ile eşdeğer doz tespiti için BKA-Side numunesi kullanılarak hazırlanan 6 adet polymineral ince tanecik diskin 650nm lazer uyarımı ile verilen dozlara karşılık gelen OSL şiddetlerinin gösterildiği doz cevap doğruları.....	73
Şekil 4.17 BKA-Side numunesi polimineral ince tanecik 6 adet diskin infrared uyarımlı lüminesans bozunum eğrileri 2,4,6,8 Gy dozlar için zamana bağlı bozunumu	74
Şekil 4.18 SAR yöntemi ile eşdeğer doz tespiti için BKA-Side numunesi kullanılarak 6 adet polymineral ince tanecik diskin infrared uyarımı ile verilen dozlara karşılık gelen OSL şiddetlerinin gösterildiği doz cevap doğruları.....	75
Şekil 4.19 KAT-Side örneklerinden hazırlanan kuvars disklerin RISØ ve yeni kuvars okuma başlıkları kullanılarak elde edilmiş ortalama eşdeğer doz sonuçları ve grafiksel olarak gösterimi.....	77
Şekil 4.20 KAT-Side örneklerinden hazırlanan kuvars diskin yeni tasarlanan mavi uyarımlı okuma başlığı kullanılarak elde edilmiş bozunum eğrisi.....	78
Şekil 4.21 KAT-Side numunesi 4 adet kuvars diskin mavi uyarımlı başlık ile tek disk tablet yenileme yöntemi (SAR) kullanılarak çizilmiş doz cevap doğruları.....	79
Şekil 4.22 KAT-Side numunesi 4 adet kuvars diskin RISO mavi uyarma başlığı kullanılarak tek disk tablet yenileme yöntemi (SAR) kullanılarak çizilmiş doz cevap doğruları.....	80

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Uranyum-238, Toryum-232, Potasyum-40 için radyoaktif bozunum şemaları .....	46
Çizelge 4.1 650 nm Lazer uyarma başlığı ve ELSEC IRSL okuma başlıklarının Ortalama eşdeğer doz sonuçları.....	71

## 1.GİRİŞ

Optik uyarmalı lüminesans (Optically Stimulated Luminescence-OSL) iyonize radyasyona maruz kalmış içerisinde safsızlıklar bulunduran mineral ve kristallerin dalgaboyu ve şiddeti sabit olan bir uyarıcı ışık kaynağına maruz bırakıldığında, görünür bölge içerisinde yayınladıkları lüminesans ışınımıdır.

Günümüzde optik uyarmalı lüminesans (OSL) çevresel radyasyon dozunun tespitinde, arkeolojik ve jeolojik örneklerin tarihlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu zamana kadar yapılan çalışmalar genel olarak incelenirse üzerinde en fazla çalışma yapılan ve geriye doğru doz bulma (retrospektif) amaçlı olarak kullanılan iki ana mineralin feldpspar ve kuvars mineralleri olduğu görülür. Bu minerallerin doğal yapısında bulunan elektron tuzakları zamanla yine toprağın içerdiği radyoaktif çekirdeklerden yayınlanan iyonize radyasyon etkisi ile zamanla dolmaktadır. Tuzaklanan elektronlar yüzbinlerce yıl bozunmadan bu elektron tuzaklarında saklanabilmektedir. Bu tuzaklar ısı veya bir ışık kaynağı ile uyarılmaları durumunda serbest kalmaktadır. Toprak örnekleri herhangi bir ışık kaynağını görmeden laboratuvara getirildiğinde, örnek hazırlanma aşamalarından sonra kontrollü bir şekilde ışık kaynağı ile uyarılacak olursa tuzaklarda biriken elektronların bir kısmı lüminesans ışınımı vererek boşalacaktır (Bøtter- Jensen vd. 2003). Lüminesans okuma başlığı içerisinde bulunan fotoçoğaltıcı tüpler (PMT) yardımı ile yayınlanan lüminesans fotonları sayılabilmektedir. Yayınlanan lüminesans fotonlarının sayısı örneğin soğurduğu doz ile orantılıdır. Malzemenin bu özelliğinden faydalanılarak minerallerin en son ısı veya ışık gördüğü zaman yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Dolayısı ile soğurulan doz miktarı örneğin yaşı ile ilgili bilgiyi içerisinde saklamaktadır. Optik uyarmalı lüminesans olayı, eşdeğer dozun tesbiti ve tarihlendirme en genel hali ile bu şekilde özetlenebilir.

Optik uyarmalı lüminesans tekniğinde mineraller laboratuvarında belirlenen dalgaboyu aralığında ışık kaynağı ile sürekli uyarılarak lüminesans sinyalleri elde edilir. Minerallerden elde edilen lüminesans sayımları zamanın fonksiyonu olarak bilgisayarın veritabanında kayıt altına alınır. Mineralden alınan lüminesans sayımları, örneğin en son güneş ışığına maruz kaldığı tarihten günümüze kadar geçen sürenin de bir ölçüsüdür. Aynı örnekler gün ışığında sıfırlandıktan sonra laboratuvarında bulunan

kalibre edilmiş radyasyon kaynakları ile tekrar dozlanarak tekrar lüminesans ölçümleri alınır. Matematiksel olarak doğal lüminesans sayımının laboratuvarında dozlanmış olan örneğin lüminesans sayımına oranından örneğin soğurduğu doz miktarı tespit edilebilmektedir. Bu deney sonucunda örneğin toplam almış olduğu radyasyon dozu hakkında sayısal bir sonuç elde edilmiş olur. Bu sonuç örneğin bir sene içerisinde topraktan alacağı doz olan, yıllık doza oranlandığında bize örneğin yaklaşık gömü yaşını verecektir. Örneğin en son ışık gördüğü tarihten günümüze kadar geçen süre bu şekilde belli bir hata payı içerisinde tespit edilebilmektedir (Aitken 1998). Yıllık dozun hesaplanabilmesi için de toprak içerisinde bulunan K-40, U-238, Th-232 gibi iyonize radyasyon kaynağı olan eser miktardaki radyoaktif çekirdeklerin miktarı tespit edilmelidir. Gama spektrometresi, düşük seviyeli alfa sayım cihazı veya XRF gibi cihazlar kullanılarak bu elementlerin topraktaki çok düşük miktarları tespit edilebilmektedir.

İlk optik uyarmalı lüminesans ölçümleri kuvars ve feldspat mineralleri üzerinde argon iyon lazeri kullanılarak yapılmıştır (Huntley vd. 1985). Daha sonraki yıllarda optik filtreli halojen lambalar, ışık yayan diyotlar (LED) gibi daha ucuz uyarma sistemlerinin çıkması ile birlikte farklı deney sistemlerinin de uygulamaları ortaya çıkmıştır. Hütt vd.(1988) feldspat minerallerinden 880 nm (IR) kızılötesi uyarma ile lüminesans sinyallerinin elde edilebildiğini göstermiştir. Feldspat minerallerinin 514nm ve 632 nm ışıkla uyarılarak lüminesans spektrumları elde edilmiş ve sözkonusu çalışmalarda yayınlanmıştır (Huntley vd. 1989). Feldspat mineralleri uyarıldığında lüminesans ışınımının yayıldığı dalgaboyu aralıkları 280, 330, 410, 560, ve 700nm olarak rapor edilmiştir (Krbetschek vd. 1996). Günümüzde rutin olarak feldspat mineralleri IR 880nm dalgaboyu civarında bir ışık ile uyarılmaktadır. Schott BG39 filtresi ile gelen lüminesans ışınımı, uyarma ışık kaynağının dalgaboyundan filtrelenerek sadece lüminesans ışınımınının fotoçoğaltıcı tüpe ulaşması sağlanmaktadır. BG39 filtresi kullanıldığında feldspat mineralinin yayınlanan olası lüminesans dalgaboylarından 700nm dışında kalan lüminesans dalgaboylarının tamamı geçirilerek fotoçoğaltıcı tüpe ulaştırılmaktadır. Bu yüzden feldspat minerallerinin eşdeğer doz tespitinde infrared uyarma kaynakları ile birlikte BG39 filtresinin kullanımı yaygındır.

Kuvars minerali de feldspat minerali gibi optik uyarmalı lüminesans da yaygın olarak kullanılan bir diğer mineraldir. Bu mineralin en basit moleküler yapısı  $\text{SiO}_2$  şeklindedir.

Doğal minerallerin kusur yapıları karmaşıktır. Silikat mineralin  $\text{SiO}_4$  tetrahedral yapısının içerisinde örgü kusurları daha yaygın olarak bulunur. Kuvars minerali tarihlendirmede kullanılması ve lüminesans dozimetri amaçlı kullanımı yaygın olduğundan lüminesans özellikleri en iyi bilinen bir diğer mineraldir. Kuvars için iki temel kusur tanımlanabilir. Dış kaynaklı kusurlar örgü içerisinde bulunan safsızlıklardan kaynaklanmaktadır. Farklı bir atomun örgü içerisinde yer alması buna örnek olarak verilebilir. İç kaynaklı kusurlar ise yapısal eksikliklerden kaynaklanmaktadır. Mesela örgü içerisindeki kayıp oksijen atomu veya silisyum atomu iç örgü kaynaklı kusur olarak gösterilebilir. Yüzde 40 iyonik ve yüzde 60 kovalent bağdan oluşan doğal Si-O bağı  $\text{SiO}_2$  yapısı içerisinde katı bir yapı oluşmasını sağlar. Söz konusu safsızlıklar ve yapı kusurları karmaşık bir yapı oluşturmaktadır. Bu kusurlar malzemenin optik uyarmalı lüminesans mekanizmasının oluşmasında önemli bir rol oynarlar (Bøtter- Jensen vd. 2003).

Kuvars minerallerinin lüminesans bandları incelenecek olursa hangi kusurun hangi lüminesansı oluşturduğunu tespit etmek çok zordur. Bunun sebebi doğal olarak geniş bir band aralığında lüminesans yayınlamasının olmasıdır. Bir kuvars diğer bir kuvars ile karşılaştırılarak incelendiğinde ise lüminesans yayınımlarında çok az uyumsuzluk gözlenmektedir. İki farklı kuvars mineralinin emisyonları değişik derecelerde ve şiddetlerde çakışabilmektedir. Bu yüzden hiç kimse iki farklı çalışmadaki kuvars birbiri ile tam uyum içindedir diye bir açıklama getiremez. Literatürde kuvars mineralinin gözlenen emisyon aralıkları verilmiştir (Krbetschek vd. 1997). Kuvars için radyasyon dozimetrisi amaçlı olarak gözlenen lüminesans band aralıkları görünür bölgede UV-A kısmından 360 - 420nm arası, 460 - 480nm (mavi) ve 610 - 630nm (turuncu) band aralıklarıdır. Herhangi bir kuvars örneğinde bu lüminesans bölgeleri birleşik olarak da görülebilir.

Birçok çalışmada uyarma kaynağı olarak filtreli halojen lambalar (Bøtter-Jensen ve Duller 1992) ve mavi ışık veren diyotlar (LED) (Bøtter-Jensen vd. 1999 a,b) kullanılmıştır. Günümüzde mavi led ışığı ile uyarma yaygın olarak kuvars örneklerin uyarılmasında kullanılmaktadır. Lüminesans emisyon bandlarını geçiren filtre olarak schott UG-11 filtresi mavi uyarma kaynağı ile birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bozunum süreleri dakikalar, saatler veya günler ile ifade edilebilecek şekilde kısa olan kararsız tuzaklardan gelebilecek gölge olarak tanımlanan lüminesans sinyallerinin izole edilebilmesi için önısıtma işlemi bir yöntem olarak tanımlanmıştır. Yapılan çalışmalar feldspat örnekleri için 200°C ve 250°C seviyesinde yapılan önısıtmanın OSL sinyalini kararlı bir duruma ulaştırdığını göstermiştir (Tanır vd. 2004, Atlıhan ve Meriç 2008). Sediment örnekleri için yüzeysel tuzaklardan gelen katkılar bu önısıtma sonucunda izole edilmiştir. Bu önısıtma sonucunda zaman ölçeğinde sadece birkaç bin sene mertebesinde ömrü bulunan tuzaklardan lüminesansa katkı gelmesi sağlanmıştır (Duller ve Bøtter-Jensen 1993). Kuvars örnekleri için önısıtma sıcaklığı olarak SAR protokolü çerçevesinde 160°C–300°C arasında 10 saniye süre ile önısıtma değerlerinin kullanılmasının uygun olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada 260°C’de 10 saniye önısıtma süresi kuvars örnekleri için de uygulanmıştır (Murray ve Wintle 2000). Feldspat minerallerinde ortak davranış olarak fading (anormal sönüm) olayı sıklıkla görülmektedir. Bu olay bazı elektron tuzaklarının kararsızlığını da yansıtmaktadır (Wintle 1973). Çoğu feldspat türünün fading gösterdiği de raporlanmıştır (Spoonner 1994). Tarihlendirme çalışmalarında anormal sönüm olayı literatürde raporlanan ve daha düşük yaşların sebeplerinden birisi olarak da gösterilir. Anormal sönüm olayının sebebinin ortak olarak kabul edilen açıklaması kuantum mekaniksel tünelleme olayıdır (Visocekas 1985, Aitken 1985). Anormal sönümün sayısal değerinin hesaplanabileceği ve feldspat mineralleri kullanılarak yapılan tarihlendirme çalışmalarında yaşları düzeltmede kullanılabileceği de gösterilmiştir (Auclair vd. 2003).

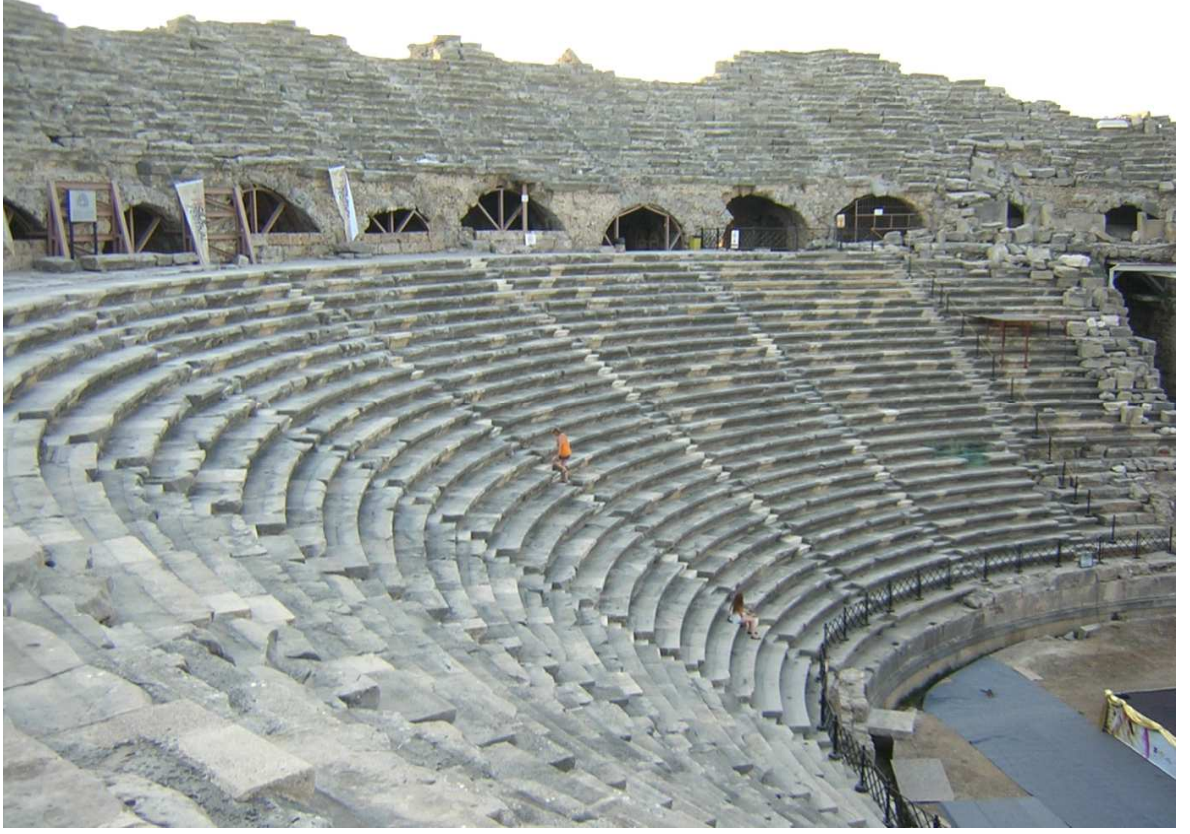
Tezin kapsamında ELSEC 9010 optik uyarmalı lüminesans cihazı ile birlikte çalışabilecek bir okuma başlığı tasarlanmıştır. Eski okuma başlığı eşdeğer dozun feldspat mineralleri için tespit edilmesine imkân vermektedir. Yeni okuma başlığı ile öncelikli olarak kuvars mineralleri için eşdeğer dozun tespit edilebilmesi amaçlanmıştır. Yeni okuma başlığında filtrelerin kolayca değiştirilebilmesi imkanı ile birlikte ışık uyarma kaynağının yani uyarma dalgaboyu aralığının da değiştirilebiliyor olması farklı minerallerin veya laboratuvarında üretilebilecek dozimetrik özellikteki yeni malzemelerin araştırılmasını da kolaylaştıracaktır. Başlığın eski yüksek voltaj soketi, foton sayma kartına giden veri kablosunun soketi gibi ara bağlantı parçaları eski sistemle yeni kuvars okuma başlığının uyum içinde çalışabilmesi için soketlerin aynı olanlarından temin edilerek yeni başlığa da montajı yapılmıştır. Bu şekilde eski başlık istenilirse yeni başlık dışında istenildiğinde de kullanılabilecektir.

Yeni tasarlanan sistemin elektronik önyükselteç kartının sinyal yükseltme performansı sinyal jeneratöründen verilen en düşük gerilimdeki (20mV- 30mV) kare dalga sinyal ile foton sayma kartından alınan ilgili sayım sonuçları bilgisayardan izlenerek kontrol edilmiştir. 10.000 Hz frekansa sahip kare dalga sinyalinin foton sayma kartında yaklaşık olarak saniyede 10.000 sayım değerine karşılık bir sayısal veri oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu sayımlar 100 Hz frekansından 4 MHz frekans değerine kadar tekrarlanarak önyükselteç kartının çalışma performansı izlenmiştir. Foton sayma kartının sayımlarında özellikle yüksek frekanslarda maksimum onbinde 6 değerine kadar sayım sonuçlarında standart sapmalar oluşmuştur. Bu alınan sonuç başlık için tasarlanan elektronik önyükselteç kartının sorunsuz olarak çalıştığını da göstermektedir. Bu deneyden sonra okuma başlığı ile oluşturulan iki farklı konfigürasyon için ayrı ayrı yüksek voltaj kalibrasyonu yapılmıştır.

Okuma başlığı ile iki farklı deneysel konfigürasyon oluşturulmuştur. Kuvars örneklerin eşdeğer dozlarının tespiti için literatürde sıkça kullanılan bir kombinasyon olan Schott UG-11 optik filtresi ile mavi dalgaboyunda uyarmayı sağlayacak led kartı kullanılmıştır. İkinci konfigürasyonda ise 650 nm dalgaboyunda lazer uyarma yapılabilmesi için iki adet Schott BG3 optik filtresi kullanılarak polymineral feldspat minerallerinden eşdeğer doz tespiti yapılmıştır. Bu ikinci sistemle bulunan sonucun karşılaştırmasının yapılabilmesi için ELSEC 9010 sisteminin feldspat okuma başlığı ile de eşdeğer doz tespit deneyi tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elsec okuma başlığı 88Δ80 nm dalgaboyunda uyarma yapmaktadır. Optik filtre olarak da ELSEC 9010 okuma başlığında BG39 filtresi kullanılmaktadır (Anonymous 1993). Test okumaları yapılarak yapılarak başlığın sağlıklı bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

Toprak örneklerinin alındığı Side Antik Tiyatrosu kentin yer aldığı yarımada daraldığı kesimde ve şehrin merkezinde yer almaktadır. Tiyatro'nun Hellenistik bir öncü yapısı olduğu halen kanıtlanabilmiş değildir. Roma Devrinde yapı plan açısından Hellenistik gelenekte yarım daireden taşan biçimde yapılmış olmasına karşın; inşaa tekniği açısından Roma mimarisi geleneğinde yapılmıştır. Caveanın (oturma sıraları) diazomaya (basamakların ortasındaki yol) kadar olan kısmı bir yamaca yaslanmış, üst kısım ise tonozlar üzerinde eğimli olarak şekillendirilmiş düzlem oturtulmuştur (Şekil 1.1).

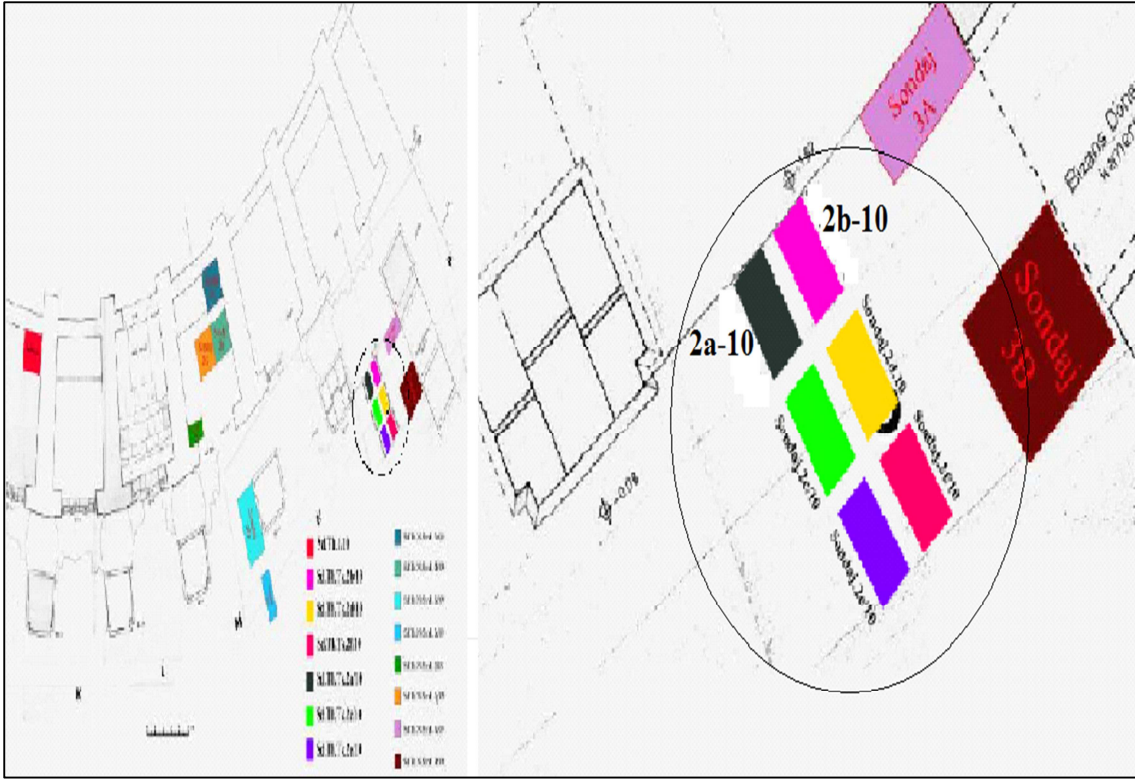




Şekil 1.1 Side antik tiyatrosu iç kısımdan görünüş

M.S. 2. yüzyılda yapıldığı düşünülen tiyatro'da M.S. 3. yüzyılda orkestranın etrafı yüksek bir duvarla çevrilerek arena şekline dönüştürülmüş olduğu düşünülmektedir. M.S 5. yüzyılda tiyatro içerisine şapeller yapılarak erken Hristiyanlık döneminde de kutsal bir mekan olarak kullanıldığı bilinmektedir. Tiyatro kutsal alan olma özelliğini kullandığı son döneme kadar sürdürmüştür.

Örnekler Side Antik Tiyatrosu kazı başkanları Hüseyin Sabri ALANYALI ve Feriştah ALANYALI'nın izinleri ile gece karanlığında karotlar ile alınmıştır. Örneklerin alınacağı noktaların tespiti gündüz yapılmıştır. Toprağın bazı kısımlarında seramik örneklerinin onlarcası kaya parçaları ile karışık olarak toprağın içerisinde bulunmaktadır. Bu kısımlarda yıllık doz hesabı sağlıklı olarak hesaplanamamaktadır. Bu yüzden örnek alınacak yerlerde bulunan toprağın homojen bir yapıda olmasına özen gösterilmiştir. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi antik tiyatro binasının arka kısmında açılan 2a-10 ve 2b-10 isimli sondaj çukurlarından örnekler alınmıştır.



Şekil 1.2 Side antik tiyatro binasının şeması

(Örnek alınan sondaj kesitleri yan yana gösterilmiştir. Kodları 2a-10 ve 2b-10 olarak verilmiştir)

Şekil 1.3’de sondajın kesiti görülmektedir. 2a-10 sondaj çukurundan alınan numune-1 büyük kaya altı (BKA-side) şeklinde tezde tanımlanmıştır. 2b-10 isimli sondaj çukurundan alınan numune 2 ise künk altı (KAT-side) olarak tez içerisinde tanımlanmıştır. Birinci 2a-10 noktasından karot ile yan yana birbirine yakın iki noktadan örnek alınmıştır. İki kere alınmasının nedeni tarihlendirme aşamasında örnek hazırlanırken asitler ile yapılan işlemler sonucunda en son aşamada kalan toprak miktarının oldukça azalmasıdır. Bu şekilde her iki örneğin birlikte değerlendirilmesi sağlanmıştır. BKA-Side isimli örnekten polimineral feldspat olan kısmından iki ayrı grup olarak diskler hazırlanmıştır. Birinci grup ELSEC-9010 cihazının eski IRSL feldspat okuma başlığı ile değerlendirilmiştir. İkinci grup örnekler ise 650nm lazer uyarımı yapılarak değerlendirilmiştir ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. KAT-Side isimli toprak numunesinden yine iki grup halinde örnekler hazırlanmıştır. Birinci grup diskler yeni tasarlanan mavi uyarımlı kuvars okuma başlığı ile değerlendirilmiştir.



Şekil 1.3 Örnek alınan 2a-10 kesiti görülmektedir.1 ve 2 rakamları ile tanımlanan yerlerden karotlar ile toprak örnekleri alınmıştır

İkinci grup kuvars örneklerde RİSØ TL/OSL mavi uyarımlı kuvars başlığı ile değerlendirilmiştir. Her iki sonuç karşılaştırılarak yeni tasarlanan kuvars okuma başlığının çalışması da test edilmiştir.

Bu çalışmanın I. bölümünde lüminesansın günümüzde kullanım şekli ve uygulamaların tarihsel gelişimi verilerek bir sonraki II. bölümde lüminesans mekanizması hakkında genel teorik bilgiler verilmiştir. III. Bölümde ELSEC-9010 cihazının test edilmesi ve cihazdan ön bilgilerin elde edilmesi, tasarlanan lüminesans okuma başlığına ait elektronik kartların tasarımı, puls uyarma cihazının tasarımı, lüminesans okuma başlığının dış alüminyum kasasının tasarımından bahsedilmiştir. IV. bölümde tasarlanan lüminesans okuma başlığı ile yapılan deneyler anlatılmıştır. V.bölümde yeni lüminesans okuma başlığı kullanılarak elde edilen deney sonuçları tartışılmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde lüminesans mekanizması ve lüminesans ölçüm metotları genel olarak tanımlanacaktır.

### 2.1 Lüminesansın Tanımı

Atom veya moleküller taban enerji durumundan daha yukarıdaki bir enerji durumuna geçerse uyarılmış olurlar. Atom veya molekül bu durumda kararsız haldedir. Kararsız haldeki sistem taban durumuna dönerken sistemden çok zayıf bir ışık yayılımı gözlenir. Bu yayılım spektrumun görünür bölge içerisindeki band aralığından gözlenir. Yayınlanan ışık lüminesans (parıldama, ışıldama) olarak da isimlendirilir. Uyarma enerjisi akkor flamalı lambalarda olduğu gibi ısısal da olabilir, floresan lambalarda olduğu gibi ısısal olmayan bir uyarma şekli ile de olabilir (Bøtter-Jensen 2000).

İyonize radyasyona maruz kalan materyaller radyasyonun enerjisinin bir kısmını soğururlar ve bu soğurulan enerjinin bir kısmını yeniden ışık olarak yayınlarlar. Lüminesans oluşma şekline göre farklı isimlerle anılmaktadır.

- Fotolüminesans :Fotonlarla uyarma sonucu materyalden yayınlanan lüminesansdır.
- Radyolüminesans :Nükleer radyasyonlar, alfa, beta, gama veya x ışınları ile uyarma sonucu radyolüminesans oluşmaktadır.
- Katodalüminesans : Elektron demetinin uyarması sonucu oluşan lüminesansdır.
- Kemolüminesans :Kimyasal işlemler sonucu oluşan lüminesansdır.
- Tribolüminesans :Sürtünme sonucu oluşan lüminesansdır.
- Biolüminesans :Biyokimyasal işlemler sonucu oluşmaktadır.
- Sonolüminesans :Ses dalgaları ile uyarılma sonucu oluşan lüminesansdır.

Lüminesans uyarılma gerçekleşikten  $\tau_c$  kadar bir zaman sonra oluşmaktadır. Bu zaman parametresinin büyüklüğü, lüminesansın iki alt isimle anılması sonucunu doğurmaktadır.  $\tau_c < 10^{-8}$  floresans,  $\tau_c > 10^{-8}$  fosforesans olarak isimlendirilmektedir (Serway 1996). Floresans olayı doğal bir şekilde oluşmaktadır. Floresans eşzamanlı

oluşan bir olaydır. Radyasyon verildiğinde oluşan floresans olayı radyasyon kesildiğinde hemen durmaktadır. Fosforesans olayı ise daha uzun süre lüminesans ışınımı veren bir mekanizmadır (McKeever 1983).

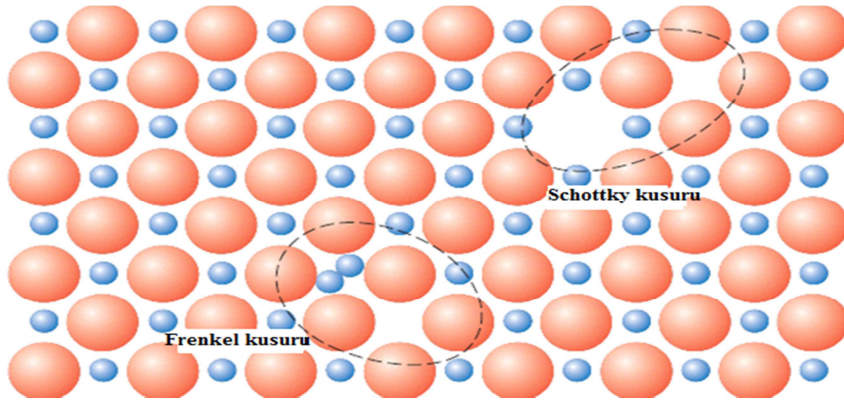
### **2.1.1 Optik lüminesans mekanizması**

Lüminesans olayının oluşmasında örgü kusurlarının çok büyük bir etkisi vardır. İki tip kusur lüminesans olayının oluşmasında etkilidir. Schottky ve Frenkel kusurları kristal bütününde değil yalnızca belirli noktalarda görülür. Bu nedenle noktasal kusurlar olarak da bilinirler. Shottky kusurunda ideal kristallerde bulunması gereken yerde tanecik yoktur bir boşluk vardır. Eğer madde bir iyonik kristal dizisi şeklinde ise, bazı konumlarda iyon yoktur. Kristalin herhangi bir bölgesinde bir iyonun bulunmaması elektrik yük dengesini bozacaktır. Dengenin sağlanması için başka bir bölgede karşıt yüklü bir iyon da yer değiştirecektir. Bir noktada bir iyonun bulunmaması, çevredeki iyonların konumlarının bozulmasına neden olur. Merkezdeki çekici güç kaybolduğundan bu iyonlar birbirlerinden uzaklaşırlar ve boşluğu büyütürler. Noktanın boş bırakılması (atom veya iyon boşluğu, Schottky kusuru), örgü noktaları arasında bir yer işgal eden atom (Frenkel kusuru) olarak tanımlanır. Örgü içinde yabancı atom bulunması, bir örgü noktasında bulunması gereken elektrondan daha fazla elektron bulunması da frenkel kusuruna örnek olarak verilebilir (Şekil 2.1).

Ardından gerek insan kaynaklı gerekse doğada bulunan arka plan iyonize radyasyon kaynakları vasıtası ile örgü içerisindeki sözkonusu tuzak ve kusurlarda lüminesans sinyali zamanla birikmektedir (Bøtter-Jensen 2000).

### **2.2 Termolüminesans (TL) ve Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL)**

Mineralden elde edilen lüminesans ışık ile uyarma sonucu elde edildi ise Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL), ısı ile uyarma sonucu ortaya çıktığında ise Termolüminesans (TL) isimleri ile adlandırılır (Aitken 1985, Bøtter-Jensen 1997).

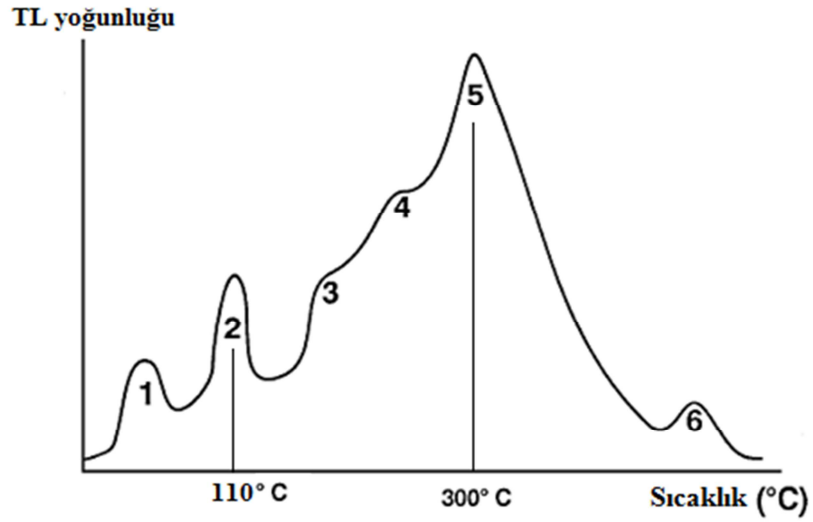


Şekil 2.1 Frenkel ve schottky kusurlarının kristal içerisindeki görünümü (Anonymous 2014'den değiştirilerek alınmıştır)

Termolüminesans çalışmalarında ısı belli bir sıcaklığa kadar lineer olarak artırılır ve ardından sabit olarak aynı sıcaklık korunur. Numune içerisindeki daha sığ olan OSL tuzakları ve daha derinde olan TL tuzakları bozunarak lüminesans sinyali oluştururlar. Optik uyarmalı lüminesansa ait bozunum eğrisinden farklı olarak termolüminesans sonucunda “ısı eğrisi” olarak da adlandırılan pikler ortaya çıkar. Tipik bir ısı eğrisi şekil 2.2’de gösterilmiştir.

Belli sıcaklık noktalarında pikler ortaya çıkacaktır. Bu pikler ilgili sıcaklıkta bulunan tuzak yoğunluklarının da bir diğer göstergesidir. Daha derin tuzaklar daha yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkacaktır. Sığ olan tuzaklar düşük sıcaklıklarda görülecektir. Her bir tuzağın bozunma yarı ömrü vardır. Sığ tuzaklarda bu süreler günler hatta saatler mertebesinde olabileceği gibi daha derin tuzaklarda yarılanma süreleri binlerce seneyi bulabilmektedir. Şekil 2.2’de görülen 1. ve 2. pikler ışınlamadan hemen sonra TL eğrisine bakılarak kontrol edilecek olursa görülebilecektir. Fakat yarı ömürleri kısa olduğundan dolayı birkaç gün veya bir hafta içinde pikler azalarak tamamen yok olacaklardır.

Dozimetre ve tarihleme çalışmalarında daha derin tuzaklardan gelen lüminesans sayımları dikkate alınır. Deneylerde sığ tuzaklarda bulunan ve kısa bozunum ömrü olan sinyallerin, sonuçlarda sapmalara sebep olmaması için materyallerin önısıtma sıcaklığı ve süreleri belirlenir. Bu önısıtma sıcaklığı ve süresi uygulanan örneklerde, sığ tuzaklar ortadan kaldırılır, böylece değerlendirmeye sadece derin tuzaklardan gelen lüminesans sinyalleri dahil edilmiş olur.

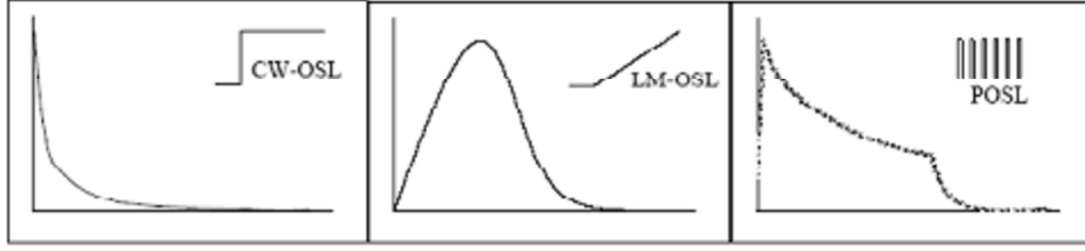


Şekil 2.2 Termoluminesans ışıma eğrisi: sıcaklık artışıyla TL yoğunluğunun değişimi (Atlihan 2008'den değiştirilerek alınmıştır)

OSL çalışmalarında lüminesans oluşturmak için sıcaklık yerine farklı dalgalı boylarında ve farklı şiddetlerde ışık kaynakları kullanılmaktadır. Yayınlanan lüminesans sinyali uyarıcı ışık kaynağının dalgalı boyundan ayrılarak değerlendirilmeye alınır. Bu ayırma işlemi için belirli band aralıklarındaki dalgalı boylarını geçiren optik filtreler kullanılır. Optik filtreler ile geçirilen çok zayıf lüminesans ışığı ilgili spektral aralığa duyarlı fotoçoğaltıcı tüpler kullanılarak hassas bir şekilde ölçülebilir. Optik filtreler kullanılmadığında uyarıcı ışık ile lüminesans sinyali karıştırılacaktır.

Uyarıcı ışık kaynağının şiddeti çok yüksek olduğundan fototüpe direk veya dolaylı olarak gelmemesi gerekir. Aksi takdirde fotoçoğaltıcı tüp zarar görebilir. İnsan gözünün direk güneş ışığına baktıktan sonra etrafı seçemediği gibi fototüpe de bu durumlarda geçici süre olarak tepkisiz kalacaktır. Fotoçoğaltıcı tüpe oda veya gün ışığı geldiği durumda, fototüpe eğer voltaj uygulanmış ise ve farkına varılmadan fotoçoğaltıcı tüp uzun süre bu durumda tutulacak olursa fototüpün tamamen bozulması da kaçınılmaz olacaktır.

Ortaya çıkan lüminesans ışığı uyarıcı ışık kaynağının ismi ile ilişkili olarak isimlendirilir. Uyarıcı amacıyla; kızıl ötesi ışık kaynağı kullanılıyorsa OSL yerine IRSL ( Infrared stimulated luminescence ), mavi ışık kullanılırsa BLSL ( Blue light stimulated luminescence ), yeşil ışık kullanılırsa GLSL ( Green light stimulated luminescence ) terimleri kullanılmaktadır (Bøtter-Jensen vd. 2003).



Şekil 2.3 OSL okuma yöntemleri ve elde edilen lüminesans sinyalleri (Thomsen 2004)

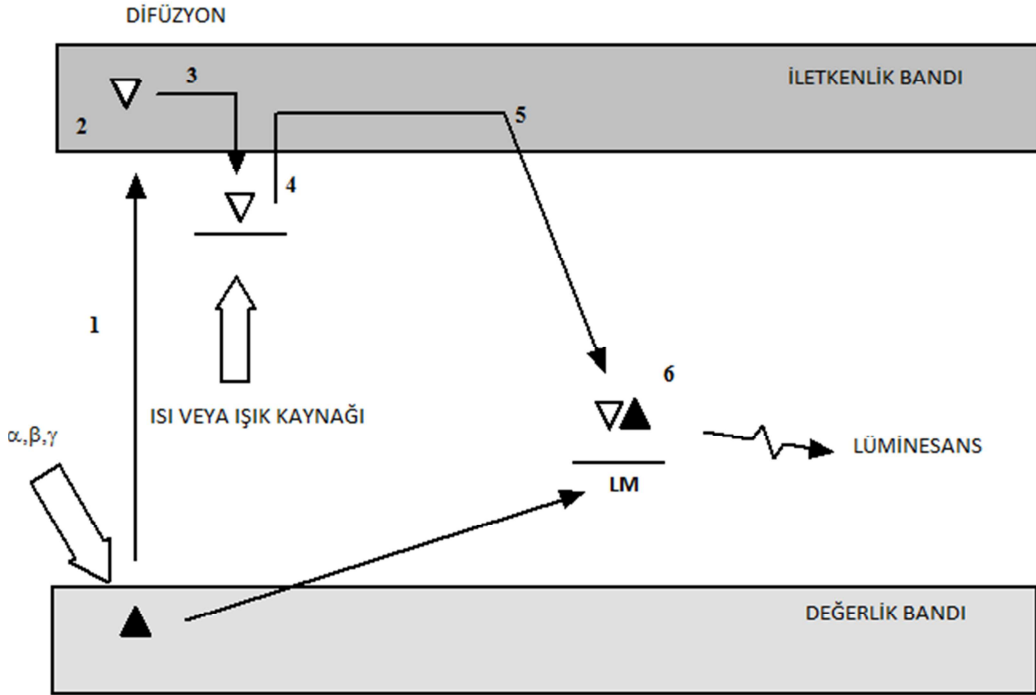
Uyarma ışığının lüminesans materyale sabit ışık şiddeti ile uyarılarak yapılması, sürekli dalgalı OSL (CW-OSL) yöntemi olarak tanımlanır. Çoğu OSL uygulamalarında ölçümler sürekli dalgalı OSL yöntemi (CW-OSL) kullanılarak yapılmaktadır. Uyarma ile eşzamanlı olarak lüminesans ışınımı hassas bir fotoçoğaltıcı tüp yardımı ile kaydedilir. Diğer yöntemler ise uyarma ışık şiddeti, OSL sinyali ölçülürken ışık şiddetinin lineer olarak arttırıldığı Lineer Modülasyon OSL (LM-OSL) yöntemi ve uyarma ışık kaynağının pulslu olarak uyarma yaptığı OSL sinyalinin sadece pulslar arasında gözlemlendiği Pulslu OSL (POSL) yöntemidir (Şekil 2.3). Uyarma kaynağı olarak lazer kullanıldığında ve OSL sinyali kaydedildiğinde ise yöntem Lazer Uyarımlı Lüminesans (LSL) olarak adlandırılır.

### 2.3 Band modeli

Band yapısı katının elektrik, manyetik ve optik özelliklerini tanımlamak için kullanılır. Fakat atomlar arasındaki mesafe kısalıdıkça dış elektron yörüngeleri üst üste gelmeye başlar ve artık atomlar birbirlerinden bağımsız olarak davranış göstermezler. Uygun bir mesafede, yörüngelerin üst üste gelmesi daha büyük oranda olur ve bütün dış yörüngeler bir enerji bandı oluşturarak birleşirler. Bu band yeteri kadar çok sayıda elektrona sahip olacaktır. Kristallerde elektronlar bu iletim bandında bulunurlar. Değerlik ve iletim bandı katının en yüksek iki enerji bandıdır. Farklı katılarda değerlik bandı hemen hemen tam veya yarıya kadar elektronlarla dolu olabilirken iletkenlik bandı asla çok az doluluktan öteye geçemez. Elektronların bulunmadığı bölge olan valans bandı ile iletim bandı arasında kalan bölge yasak band bölgesi olarak adlandırılır. Valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki enerji aralığının büyüklüğü bir kristalin iletken, yalıtkan veya yarıiletken olma karakterini de belirler (Wilson ve Hawkes 2000).



Şekil 2.3’de lüminesans oluşma mekanizması özetlenmiştir. Birinci aşamada (1) kristal iyonize radyasyona maruz kaldığında değerlik bandında bulunan elektronlar iletim bandına geçerler, ikinci aşamada (2) elektronlar difüzyon yolu ile ilerler, üçüncü aşama (3) olarak iletim bandına geçen elektronlar difüzyon yolu değerlik bandına geçerken farklı derinlikteki tuzaklarda tutulurlar, tuzak derinliğine bağlı olarak yıllarca bu tuzaklarda saklanabilirler. Bu tuzaklarda saklanan elektronlar serbest kalabilmesi için dışarıdan ısı veya ışık kaynağı ile uyarılması gerekmektedir.



Şekil 2.4 Enerji band modeline göre lüminesans oluşum mekanizması, LM (lüminesans merkezi)

Laboratuvarında kontrollü olarak ısı veya ışık kaynağı ile uyarılan elektronlar önce iletim bandına (4) sonra da difüzyon (5) ile şekil 2.4’de “LM” ile belirtilen lüminesans merkezlerine geçiş yaparlar. Lüminesans merkezlerinde bulunan deşiklerle (6) birleşirler. Bu birleşme sonucunda dalgaboyu görünür bölge içerisinde bulunan çok zayıf bir ışık yani lüminesans ortaya çıkar. Bu düşük seviyedeki ışık fotonlarını saymak için fotoçoğaltıcı tüpler kullanılır. Tuzaklardaki elektronları uyarmak için ışık kaynağı kullanılırsa optik uyarımlı lüminesans yani OSL, ısı kullanılırsa termolüminesans kısaca TL olarak adlandırılır. Eğer yeniden birleşme olayı lüminesans merkezlerinde

oluşmaz ise ışık salınımı gerçekleşmez ve fazla enerji kristale ısı olarak dağılır (Aitken 1998, Thomsen 2004).

Toprağın altından çıkan malzemenin bir yılda çevresinden ve kendi içindeki radyoaktif izotoplardan soğurduğu iyonize radyasyon dozunun yani yıllık dozun değişmez olduğu varsayılır. Kontrollü bir şekilde uyarılması yapılarak elde edilen toplam lüminesan değeri, bilinen bir doz kaynağı ile dozlanarak elde edilen toplam lüminesans değeri ile ölçeklendirilerek toprakda biriken eşdeğer doz değeri elde edilir. Eşdeğer dozun yıllık doza oranı ile de örneğin yaklaşık bir tarihlendirmesi yapılır.

## 2.4 Lüminesansın Matematik Tanımlaması

Lüminesans ışınımı sistemde bulunan dolu tuzakların toplam konsantrasyonu olan  $\mu(t)$  ile tanımlanabilir. Burada herbir tanımlı parametre “ $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ ” farklı tuzak yapılarını göstermektedir.

$$\mu(t) = \int \int \dots \int n(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m, t) d\gamma_1 d\gamma_2 \dots d\gamma_m \quad (2.1)$$

Kristal yapı dozlama veya ışıkla uyarılmaya maruz kaldığında tuzaklardaki elektron konsantrasyonu da zamanla da değişecektir.  $n(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m, t)$  şeklinde zaman ifadesi de fonksiyon içerisinde tanımlanmalıdır (Bøtter-Jensen vd. 2003). Bu ifadeyi  $n(\gamma, t) = N(\gamma)f(\gamma, t)$  olarak yazabiliriz. Burada  $N(\gamma)$  toplam tuzak konsantrasyonunu,  $f(\gamma, t)$  dolu tuzakların tüm tuzaklara oranını gösterir. Denklem 2.2 ifadesindeki lüminesans şiddeti ( $I$ ) dolu tuzaklardaki elektronların zaman içinde değişimi ile orantılıdır (Bøtter-Jensen vd. 2003).

$$I(t) = \left| \frac{d\mu(t)}{dt} \right| \quad (2.2)$$

Lüminesans şiddetini hesaplamak için  $\left| d\mu(t)/dt \right|$  ve  $n(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m, t)$  arasındaki ilişki incelenmelidir. Denklem 2.3 incelenecek olursa birim zamanda tuzak bozunma olasılığı  $P(t)$  ve toplam tuzak konsantrasyonu  $\mu(t)$  lüminesans şiddeti ile doğru orantılıdır. Bozunma olasılığı ve tuzak konsantrasyonu da arttıkça çıkan lüminesans da şiddetlenecektir.

$$I(t) = \frac{d\mu(t)}{dt} = -\mu(t)P(t) \quad (2.3)$$

Olasılık fonksiyonunun şekli uyarmanın türüne göre değişiklik göstermektedir. Uyarma için olasılık fonksiyonu denklem 2.4 ile tanımlanmaktadır.

$$p(F) = \nu\kappa \exp\left(-\frac{F}{kT}\right) \quad (2.4)$$

Denklemde  $\nu$  fonon-örgü titreşim frekansı,  $\kappa$  geçiş olasılık sabiti,  $F$  Helmholtz enerji potansiyeli (engeli) ve  $k$  Boltzman sabiti,  $T$  sıcaklıktır.

Tuzak bozunumu için, Helmholtz enerji potansiyeli aşılabilmelidir. Helmholtz enerji potansiyeli denklem 2.5'de örgüdeki entropi değişimine göre tanımlanmıştır. Burada  $\Delta S$  geçişlerle ilgili entropi değişimini,  $E$  iç enerji bariyerini (tuzak derinliği) temsil eder.

$$F = E - \Delta S.T \quad (2.5)$$

Denklem 2.4 ve 2.5 kullanılarak  $P(F)$  için 2.6 denklemi elde edilebilir.

$$p(F) = \nu\kappa \exp\left(\frac{\Delta S}{k}\right) \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.6)$$

Bu denklemde ikinci üstel terime kadar olan kısım frekans faktörüne eşittir. Tuzaklanan bir elektron kristaldeki ısısal titreşimlerle çıkartılabilir. Dolayısıyla denklem 2.6'dan da görülebileceği gibi sıcaklık yükseldikçe örgüsel titreşimler güçlenir ve olasılık fonksiyonunun değeri de artar. Optik uyarmalı lüminesans için olasılık fonksiyonu denklem 2.7'de gösterilen eşitlik ile tanımlanır.

$$p(E_0) = \Phi\sigma(E_0) \quad (2.7)$$

Burada  $E_0$  tuzaktan elektron çıkarmak için ışığın sahip olması gereken eşik enerji değeri,  $\Phi$  ışık şiddeti ve  $\sigma(E_0)$  fotoiyonizasyon tesir kesitidir.

Fotoiyonizasyon tesir kesiti, uyarma fotonlarının enerjisi  $E_0$ 'ı aştığında etkili olmaya başlar.  $E_0$  ilgili tuzakda bulunan elektronu sadece uygun dalgaboylu ışık fotonları ile yani yeterli uyarma enerjisine sahip olan ışık kaynağı ile uyarabiliriz. Dolayısıyla uyarma amaçlı kullanılan ışığın şiddeti, enerjisi diğer bir ifade ile dalgaboyu lüminesans olasılık fonksiyonu ile doğrudan orantılıdır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Elsec-9010 OSL Tarihlendirme Sistemi

I ) Bilgisayar Kontrol Sistemi: Bu sistemin bilgisayarı 80386 işlemcili, 40 MB hard diskli bir IBM-PC ve bir monitörden oluşmaktadır.

II ) Arayüz Kısmı: Bu kısım yüksek ve düşük gerilim kaynakları, LED'ler için kontrol devresi, LED akımı, şiddeti ve örnek sıcaklığı için göstergeleri içerir.

III) Örnek Tepsisi ve Tepsi Taşıyıcı (sürücü): Tepside, üzerine toz halde numune yerleştirilen 10 mm çaplı, 0,5 mm kalınlıklı alüminyum diskleri alabilecek oyukları bulunur. Örnek tepsisi, 64 disk (numune) alma kapasitesine sahiptir. Tepsi, tepsi taşıyıcısının üzerine yerleştirilir. Taşıyıcı bilgisayar kontrolünde X-Y düzleminde hareket ettirilerek ölçümü yapılacak diski fotoçoğaltıcı tüpün altına taşır (Anonymous, 1993).

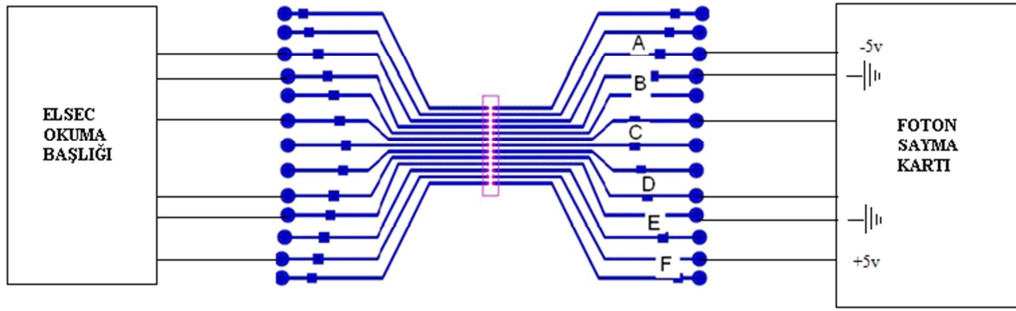
IV) Örnek Uyarıcı (Aydınlatıcı): Tuzaklanmış elektronları tuzaklardan çıkarmak için infrared (kızılötesi) LED'ler kullanılmaktadır. 24 tane TEMT 484 IR LED alüminyum kalıp içine yerleştirilmiş ve bir noktaya odaklanmışlardır. Bu LED'ler 880Δ80 nm dalgaboylu ışık yayınlamaktadır.

V) Fotoçoğaltıcı (PM) Tüp: Fotoçoğaltıcı tüp örnekten gelen ışık fotonlarını elektrik pulsuna çevirerek sisteme iletir. Fotokatotta az sayıda yayınlanan elektronlar dinot denen bir dizi elektrotla çoğaltılır ve odaklanırlar. Bir yüksek voltaj kaynağı tarafından beslenen fotoçoğaltıcı tüp'de dinot'lar arasında yüksek voltaj 80V-150V arasında voltaj gelecek şekilde paylaşılır. Dinotlarda oluşan elektronlar diğer dinot'lara ve anota giderken sürekli katlanarak çoğalırlar. Böylece çok az sayıda oluşan fotoelektronlar çoğaltılarak sayılabilecek milivolt seviyesinde bir sinyal oluşturulur. Lineerlik ve kararlılık fotoçoğaltıcı (PM) tüpler için iki önemli özelliktir. Lineerlik, son çıkış puls genliği ile sintilasyon olaylarının sayısı veya radyasyon tarafından dedektörde depo edilen enerji ile doğru orantılı olması demektir. Her dinot'daki artış, voltaj farkına bağlı olduğu için yüksek voltajdaki herhangi bir değişme çıkış pulslarındaki değişimlere neden olacaktır; bu yüzden yüksek voltaj kaynağının kararlı olması gereklidir. Her

fotoçoğaltıcı tüp üreticisi tarafından belirlenen dalgaboyu aralığında ölçüm yapılabilir. Sistemde, Thorn EMI 9235 QA PM tüp kullanılmıştır.

VI) Optik Filtre: Uyarma amaçlı kullanılan ışığın lüminesansla karışarak fotoçoğaltıcı tüp tarafından sayılmasını engellemek için tüp önünde optik bir filtre bulunur. Kızılötesi ışığın fotoçoğaltıcı tüpe ulaşmasını engellemek için Elsec sisteminde 2mm kalınlığında Schott BG 39 filtresi kullanılmıştır.

### 3.2 Sistemin Test ve Kontrolü



Şekil 3.1 Elsec okuma başlığı için tasarlanan test kartı ve sisteme bağlı olan cihazlar

Elsec 9110 sisteminin okuma başlığına bağlı olan kabloların işlevlerinin tanımlanması ve sistemin çalışma voltajının anlaşılabilmesi için şekil 3.1'de görülen test ve kontrol kartının tasarımı yapılmıştır. Bu kart üzerinde ölçümler yapılarak ön yükselteç kartının çalışması için gerekli olan besleme voltajı, veri sinyali gibi önemli parametrelerin tespiti sağlanmıştır. Lüminesans olaylarının sayısı olarak da tanımlanabilecek ilgili foton sayma bilgilerinin iletiği kablo hattı ve çalışması da incelenerek sistem çalışması hakkında da bir ön bilgi edinilmiştir. Elde edilen bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

- A,F hatları sırası ile -5 volt ve +5 volt gerilim taşıyan kablolardır.
- B,E hatları topraklama hatlarıdır.
- C,D hatları foton sayma bilgisinin iletiği sinyal hattıdır.

Bu bilgiler ışığında yeni tasarlanacak olan ön yükselteç kartının da simetrik +5 volt ve -5 volt gerilim ile çalışması gerektiği sonucuna varılmıştır. Okuma başlığı sinyal hattı sökülerek kare dalga ve sinus dalgası şeklinde test sinyalleri sinyal jeneratörü

kullanılarak 50 milivolt ve 1 volt arasında bulunan gerilim değerleri için küçük adımlarla artırılarak test sinyalleri farklı frekans değerlerinde foton sayma kartına gönderilmiştir. Bilgisayardaki ELSEC-9010 yazılımından alınan foton sayım cevapları aşağıda özetlenmiştir. Bu dalga sinüs şeklinde olduğunda özellikle 100mV altında düşük frekanslarda foton sayımlarında sapmalar olmaktadır. Örnek verilecek olursa sinüs dalga formu için foton sayma kartı 1kHz frekansta 1000 sayım vermiştir. 100kHz değerinde 100 000 sayım vermiştir. 70mV değerinde ise foton sayma kartı 1kHz için 1000 yerine 1200 sayım vermiştir. 50mV değeri içinse 3840 sayım vermiştir. Sistem özellikle okuma başlığından gelen kare dalga şeklindeki sinyalleri sayacak şekilde tasarlanmıştır. Foton sayma kartı kare dalga şeklindeki sinyal ile mükemmel bir sayım cevabı vermektedir.

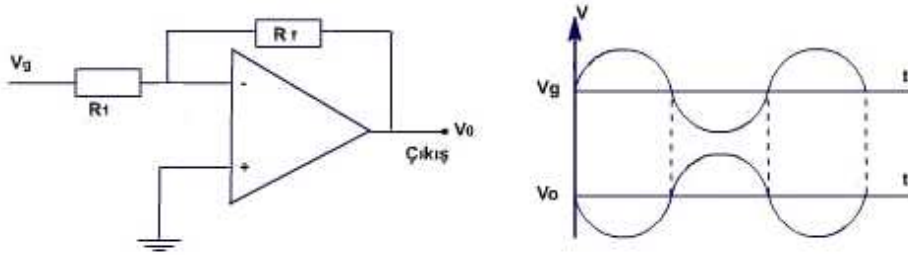
Bu bilgiler ışığında ön yükselteç kartından yükseltilerek şekillendirilecek olan sinyalin en az 100milivolt ile 1 volt arasında kare dalga olması gerektiği belirlenmiştir. Sinyali gürültüsüz bir biçimde yükselten bir ön yükselteç kartı yapılarak foton sayma kartı ile problemsiz bir şekilde çalışması sağlanabilmiştir. Okuma başlığından alınan ve yükseltilecek yüksek frekanslı sinyaller yaklaşık birkaç metre uzunluğundaki kablo ile foton sayma kartına iletilirken özellikle yüksek frekans değerlerindeki foton sayım bilgileri kablo hattı üzerinde sönüme uğrayarak azalma gösterebilecektir. Bu yüzden en az birkaç yüz milivolt ile bir volt aralığında kare dalgaların üretilerek foton sayma kartına gönderilmesi sistemin verimli çalışabilmesi için mutlaka gereklidir.

### **3.3 Önyükselteç Kartının Tasarlanması**

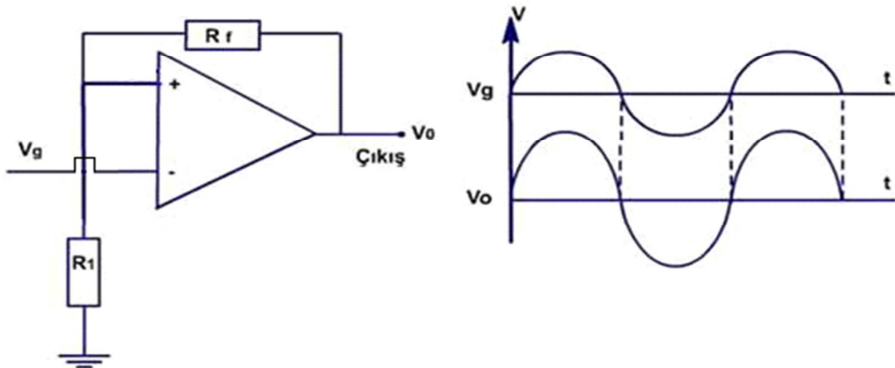
Fotoçoğaltıcı tüplerin düşük lüminesans ışığında foton sayma modunda verdiği gerilim değerleri 1mV ile 20mV değerleri arasındadır. Bu büyüklükteki gerilimin gürültüsüz bir şekilde yükseltilmesi düşük seviyedeki lüminesansın algılablmesini ve sistemin mükemmel bir şekilde çalışmasını sağlayacaktır. Bu amaçla entegrenin kendi içerisinde elektriksel olarak düşük gürültü değerine sahip olan yani ofset voltajları 10 mikrovolt ile 40 mikrovolt arasında olan AD 797 entegresi seçilmiştir (Şekil 3.2). Osiloskop ile önyükselteç katı kontrol edilerek en düşük verilebilecek test sinyali olan 20mV değeri verilerek entegrenin çıkışındaki sinyal görsel olarak kontrol edilmiştir. Çıkış sinyalinin üzerinde parazit ve gürültü olmadığı görülmüştür. Daha önce denemesi yapılan birçok opamp sinyal yükseltme entegresi özellikle (20mV-30mV) arası küçük sinyal

aralığında gürültüsüz bir şekilde yükseltme yapamamıştır. Ayrıca diğer entegreler sinyalin doğal şeklini de bozmuştur.

Sistemin elektriksel gürültü değerleri incelendiğinde ofset voltajları entegre girişinde sinyal olmadığı anda 20 kat opamp yükseltme yapacak şekilde tasarlandığından  $20 \times 10 = 200$  mikrovolt değeri ile  $20 \times 40 = 800$  mikrovolt değerleri arasında bir çıkış verecektir. Sonuç olarak sinyal yükseltici entegrenin kendi elektriksel çıkış gürültüsünün 0,2 mV ve 0,8mV arasında olacağı görülmektedir. Bu gürültü değerleri bizim yükseltme yapacağımız 1mV ve 20mV gerilim aralığında altında bir değerdir. Bu amaçla seçilen opamp sinyal yükseltme entegresinin amacına oldukça uygun olduğu da görülmektedir. Sinyal yükseltmesi yapan opamp entegresi iki temel bağlantı şekli ile sinyali yükseltebilmektedir. Noninverting (evirmeyen) yükselteç sinyalin faz açısını değiştirmeden sinyalde yükseltme yapmaktadır (Şekil 3.2). Inverting (eviren) yükselteç sinyalin faz açısının 180 derece çevirerek yükseltme yapmaktadır (Şekil 3.3).



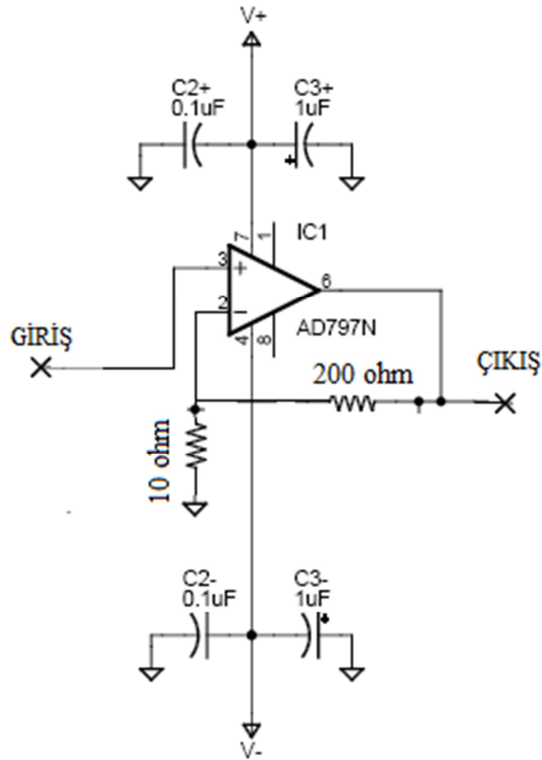
Şekil 3.2 Eviren yükselteç şeması (Anonymous 2014'den değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 3.3 Evirmeyen yükselteç şeması (Anonymous 2014'den değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 3.4'e bakıldığında R7 ve R2 kısımlarına bağlanacak olan dirençlerin birbirlerine oranı artı bir faktörü kadar opamp katı yükseltme yapabilmektedir. Yükseltme oranı bu iki direnç vasıtası ile tespit edilebilmektedir. Bu yükseltmenin maksimum oranı ve yükseltme yaparken kazançda kayıp olmadan yükseltme yapabileceği maksimum frekans aralığını, opamp entegresinin karakteristik özellikleri belirler. Milivoltlar seviyesindeki çok küçük sinyallerin yükseltilmesi gerektiğinde özellikle opamp entegresinin besleme hatlarına şekil 3.4'de görüldüğü gibi seramik kutuplu kapasitörler bağlanmaktadır. Kapasitörlerin besleme hattından gelebilecek olan gürültüyü süzebilmesi için opamp entegresine yakın bir şekilde elektronik kartın üzerinde montajları yapılmıştır.

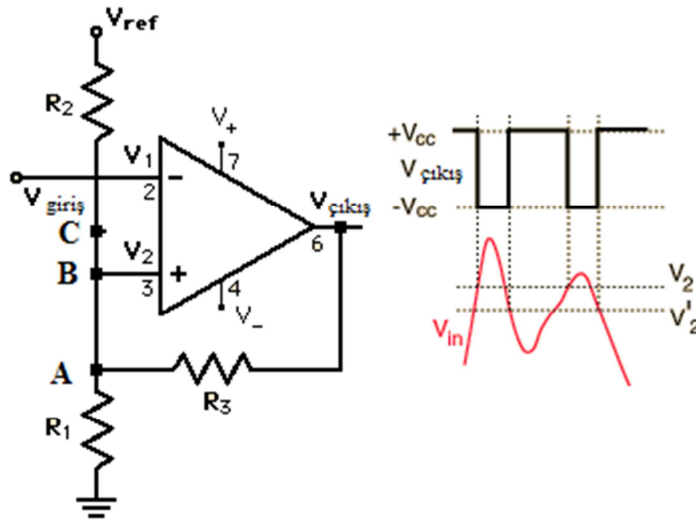


Şekil 3.4 Tasarlanan ön yükselteç devresi

### 3.4 Schmitt Trigger Devresinin Tasarımı ve Çalışması

Schmitt trigger devresinde “Vref” referans voltajı olup bu değer entegre beslemesi için kullanılan +5 volt değerine eşittir. Entegrenin V1 ile işaretlenen noktasındaki voltaj V<sub>2</sub> ile işaretlenen noktadaki voltaj ile karşılaştırılır. Eğer V<sub>1</sub> değeri V<sub>2</sub> değerinden fazla ise

$V_{\text{çıkış}}$  entegre çıkışında yüksek olan bir çıkış gözlenir. Şekil 3.5'e bakıldığında  $R_3$  ile bir geri besleme yapılmıştır. Bu negatif geri besleme sayesinde çok ufak gürültü dalgalanmalarında çıkışın etkilenmesi engellenir ve daha kararlı bir sinyal çıkışının da oluşması sağlanır. A, B ve C noktalarına yerleştirilecek birçok türlü potansiyometre bize hangi eşik sinyal değerinden sonra çıkış verileceğini ayarlamamızı sağlamaktadır. Potansiyometre devredeki A,B,C noktalarına bağlandığında BC arasındaki, AB arasındaki ve  $BV_2$  arasındaki bağlantılar da olmayacaktır. Potansiyometrenin orta ucu  $V_2$ 'ye bağlanmak üzere diğer uçları A ve C noktalarına bağlı olacaktır. Lüminesans okuma başlığının önyükselteç katından sonra bu şekilde bir schmitt trigger devresi oluşturularak gelen ve yükseltile pulsların foton sayma kartına gitmeden önce kare dalga dizisi şeklinde puls şekillendirmesi yapılmıştır.

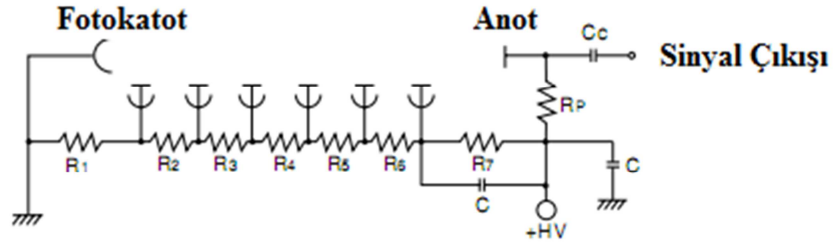


Şekil 3.5 Schmitt trigger devresinin temel bağlantı şekli (Anonymous 2013'den değiştirilerek alınmıştır)

### 3.5 Yüksek Voltaj Devresinin Tasarımı ve Çalışması

Temel olarak fotoçoğaltıcı tüpe iki şekilde voltaj verilebilmektedir. Yüksek voltaj kaynağı +HV(high voltage) çıkışlı ise +HV ucu anoda ve toprak hattında fotokatoda bağlanmalıdır. Diğer bağlantı şeklinde; eğer yüksek voltaj kaynağı -HV tipinde ise -HV ucu fotokatoda ve toprak ucu da anoda bağlanmalıdır. Her iki durumda da fotoçoğaltıcı tüp çalışacaktır. Yalnız burada anoda bağlanan uç kesinlikle katot'a bağlanan uca göre daha pozitif olmalıdır. Şekil 3.6'da ELSEC-9010 cihazının IRSLS başlığının içerdiği ve

yeni başlığında bu bağlantı şekline göre tasarlandığı şemanın şekli gösterilmiştir. Yüksek voltaj devresinin tasarımı fotoçoğaltıcı tüpün çalışma voltajı ve yüksek voltaj kaynağının gerilimi de göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Yeni başlıkta fotoçoğaltıcı tüpün (Hamamatsu – R9110) maksimum çalışma voltajı 1250 volt olduğu için ve yüksek voltaj kaynağının maksimum voltaj çıkışı da 1400 volt olduğundan dolayı ek bir önlem alınmıştır. +HV kısmına bağlamadan önce voltaj birkaç adet direnç üzerinde paylaştırılarak 1250 volt ve üzerinde olan tüpe zarar verebilecek yüksek voltajın bu dirençler üzerinde kalması da sağlanmıştır. Bu şekilde maksimum besleme sınırı yanlışlıkla geçilecek olursa fotoçoğaltıcı tüpün zarar görme ihtimali de ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 3.6 Fotoçoğaltıcı tüp yüksek voltaj devresi ve +HV bağlantısı için temel bağlantı devresi (Anonymous 2003'den değiştirilerek alınmıştır)

Bu devre üzerinde önemli olan bir diğer nokta da yüksek voltaj hattı ile önyükselteç kısmı arasında Cc ile işaretli bir seramik kuplaj kapasitörünün bulunmasıdır. Bu kapasitör fototüpe verilen yüksek voltajın sinyal hattına geçmesini engellemek dışında önemli bir diğer işlevi de puls şeklinde oluşan AC foton sayım bilgisi olan sinyali önyükselteç katına geçirmesidir. Bu kapasitörün bir tarafında milivolt seviyesinde çalışan önyükselteç katı bulunmaktadır diğer tarafında ise 1000 volt civarında bir yüksek voltaj gerilimi bulunmaktadır.

### 3.6 Puls Uyarma Cihazının Tasarımı

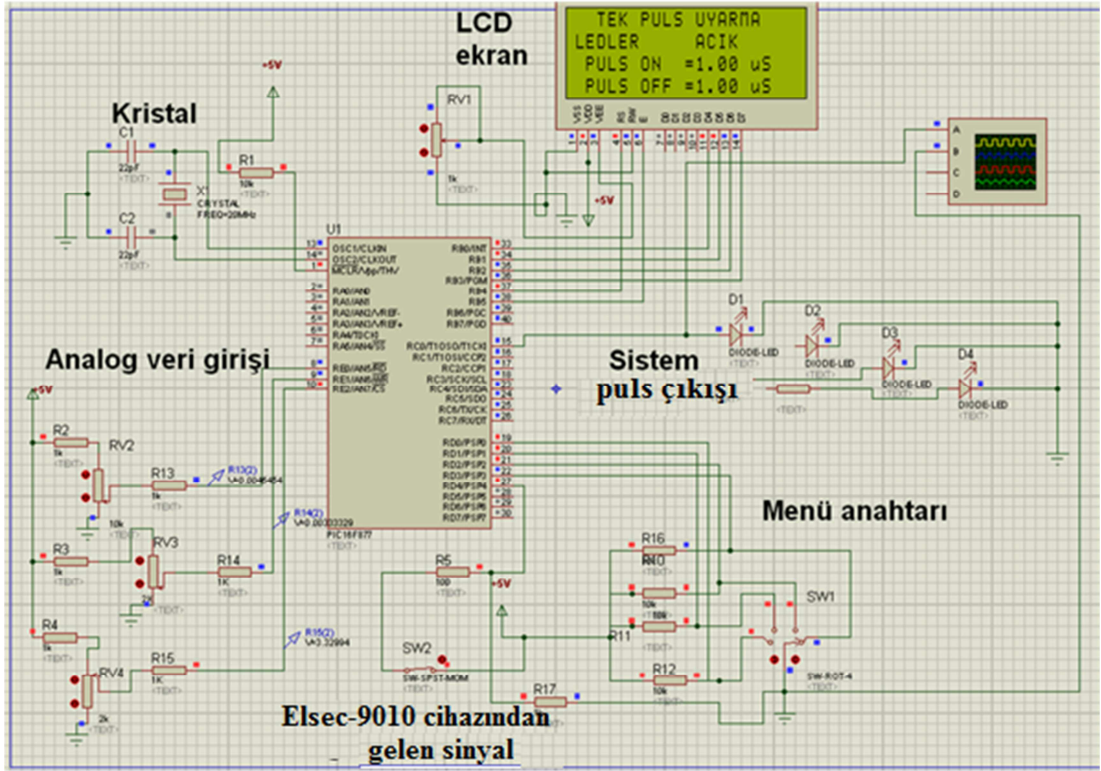
Puls uyarma sisteminin bütün aşamaları kontrol edilerek yazılımı hazırlanmıştır. Sistemin elektronik kartı hazırlanmadan önce vakit kaybı olmaması ve hataları en aza indirebilmek için bilgisayarda elektronik devrenin simülasyonu PROTEUS programı ile yapılmıştır (Şekil 3.7). Simülasyon programında çalıştırılan şemanın elektronik kart

devresi yapılmıştır. Puls uyarma sistemi PIC 16F877 mikroişlemcisinin kontrolünde çalışan bir cihazdır. Mikroişlemcinin saat frekansını üretmesi için 20 MHz frekansa sahip bir kristal kullanılmıştır. Herbir komutun çalışma süresi 20MHz saat frekansının dörtte birine karşılık geldiğinden her bir komut için 4MHz'lik bir çalışma frekansı mevcuttur. Bu her bir puls için 0,25 mikrosaniye çalışma süresi olduğu anlamına gelmektedir. Mikroişlemcinin çıkışı için sadece aç ve kapat sinyali ardı ardına verilecek olursa teorik olarak en küçük 0,5 mikrosaniye genliğe sahip bir puls oluşacaktır. Uygulamada gerek yazılımdan gerek devre elemanlarından kaynaklanacak gecikmeler sözkonusu olacak ve en küçük oluşan puls süresi daha fazla olacaktır. Bu puls süresini kısıtlayan bir diğer etken de ledlerin üretim özellikleridir. Ledlerin çalışabileceği en küçük puls süresi de aşılamayacaktır.

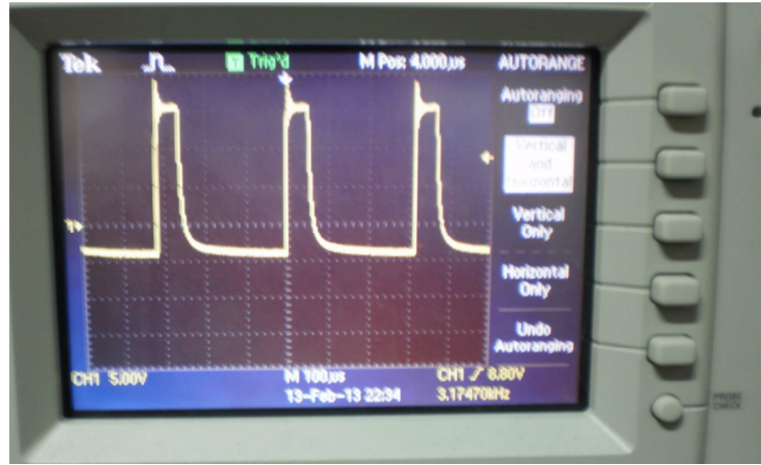
Pulslu uyarma sisteminin yazılım kodu C dilinde yazılarak mikroişlemciye yüklenmiştir. LCD ekrandan puls parametrelerinin ayarlanabildiği bir menü'de bu cihazın menüsü olarak eklenmiştir. Menüler sırası ile aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır.

- Parametre ayarlama menüsü
- Pulslu uyarma menüsü
- Lineer modüle uyarma menüsü

Bu menülerden sadece parametre ayarlama menüsü ve puls uyarma menüsü şu anda çalışmaktadır. Bu menülere geçişler bir anahtar vasıtası ile yapılmaktadır. Parametrelerin ayarlanabilmesi için 10 turlu potansiyometreler kullanılmıştır. Ayarlanan değerler ekrandan aynı anda görülebilmektedir. Ayrıca potansiyometrelere ayarlanan değerlerin izlenebilmesi için ayar kadranı da konulmuştur. Puls uyarma sisteminin mavi ledler ile yapılan test çıkışı osiloskop ekranından izlenerek çalışma durumu doğrulanmıştır. Şekil 3.8'e bakıldığında mavi ledler 50 mikrosaniye puls açık ve 250 mikrosaniye puls kapalı şeklinde ayar yapılarak çalıştırılmıştır. Puls açılıp kapandığında 50 mikrosaniye olan süre osiloskop görüntüsüne dikkat edilecek olursa aniden sıfıra düşmemektedir. Bu ledlerin yapısından da kaynaklandığından dolayı sadece led üreticilerinin teknik üretim dökümanları incelenerek daha kısa puls sürelerinin uygulanabileceği ürünler temin edilebilecektir.



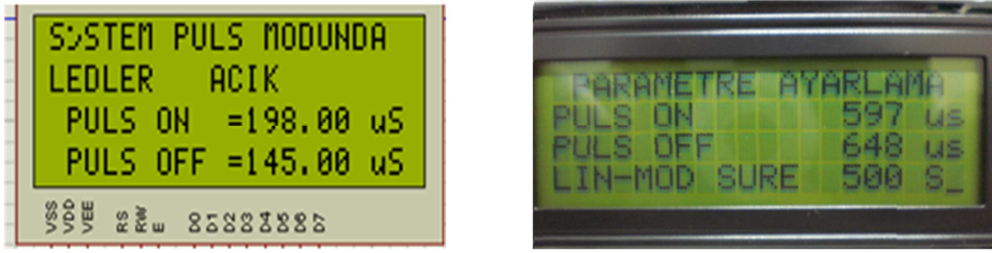
Şekil 3.7 Puls uyarma sisteminin *PROTEUS* programı ile çalışmasının simüle edilmesi



Şekil 3.8 50  $\mu$ S açık ve 250  $\mu$ S kapalı olarak ayarlandığında ledler üzerindeki pulslu voltajın osiloskoptaki görüntüsü

Cihaz 50 mikrosaniye ve üzerindeki puls sürelerinde pulsun kapalı kalma süresi uzun tutulduğu sürece rahatça kullanılabilir. Fakat daha kısa puls sürelerinde çalışabilmesi için kapasitif olarak puls süresini uzatmayacak özel olarak üretilmiş led uyarma kaynakları seçilmelidir.

Ayrıca bu süreler ayarlandıktan sonra osiloskop ekranından kısa süreler için puls uzamalarının olup olmadığı da kontrol edilmelidir. Şekil 3.9'da ayarlanan puls süreleri simülasyon modunda ve cihazın çalışma modunda ekrandan izlenebilmektedir. Bu değerler yaklaşık olarak bir değer vermektedir. Aslında mikroişlemcinin içerisinde ayarlanan gerçek zamanlamalar bu değerlerde olduğu gibidir. Fakat yazılım, devre elemanları optocoupler, güç transistörü ve ledlerin iç tasarımı gibi etkenler puls sürelerinin minimum ayarlanabileceği süreyi büyük ölçüde değiştirebilmektedir. Ayarlanan puls süreleri uzun tutulacak olursa sürelerin artması ile sürelerin doğru zamanlamasını etkileyen negatif etkilerin payı da azalacaktır.



Şekil 3.9 Pulsu modda çalışma anının simülasyon ekranı (solda) parametre ayarlama menüsünün ekranı (sağda)

### 3.7 Lüminesans Okuma Başlığının Dış Kasasının Tasarımı

*SOLIDWORKS* çizim programı kullanılarak cihazın dış kasasının teknik çizimleri yapılmıştır. Şekil 3.10'da bütün parçaların kesiti bir bütün olarak görülmektedir. Tasarlanan lüminesans okuma başlığının alüminyum muhafaza kutusu 4 ana parçadan oluşmaktadır. Parçalar P2A, P2B, P2C ve P2D olarak kodlanmıştır.

**P2A** - Soketlerin bağlantısı için olan üst kapak bu parça şekil 3.10'da mavi renkle gösterilmiştir.

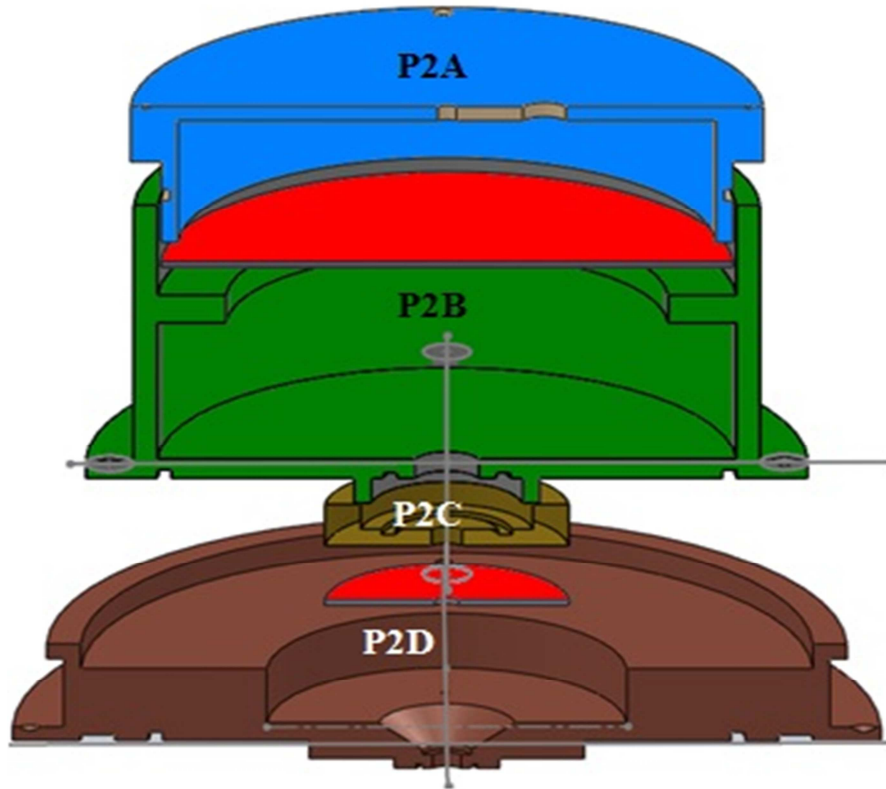
**P2B** - Fotoçoğaltıcı tüp ve elektronik devreleri içerisinde ışık geçirmez ortamda tutan orta gövde P2B parçası şekil 3.10'da yeşil renk ile gösterilmiştir.

**P2C** - Orta gövdeye alttan bağlı olan ve optik filtrelerin içerisinde bulunduğu vidalı kapak P2C parçası şekil 3.10'da koyu sarı renk ile gösterilmiştir.

**P2D** - Orta gövdenin üzerine montajının yapılacağı; led kartının da soketi ile beraber üzerinde bulunduğu alt gövde P2D şekil 3.10'da koyu kahverengi renk ile gösterilmiştir.

Kırmızı renkte olan parçalar 2mm kalınlığında levhalardır. Büyük olan levha fotoçoğaltıcı tüpe soketlerin takılacağı kısımdan muhtemel gelebilecek bir ışığı kesmek için önlem amaçlı olarak konulmuştur. Küçük kırmızı renkle gösterilen levha ise ortasından şeffaf ışık kılavuzunun geçtiği parçadır ve filtre kapağına ışık kılavuzunu sabitlemek için kullanılmaktadır. Küçük levha ile filtre tabanı arasında ışık kılavuzu etrafında bulunan bir adet o-ring'de vidalar ile montaj yapıldığında ışık kılavuzunun sıkıca ortada sabitlenmesini sağlamaktadır.

Cihazın bütün parçaları siyah ereksan boya ile boyanmıştır. Parçaların siyah olması ışığa hassas olan fotoçoğaltıcı tüpe gelebilecek muhtemel ışık sızmalarının siyah boya tarafından kolayca soğurulmasını sağlar.

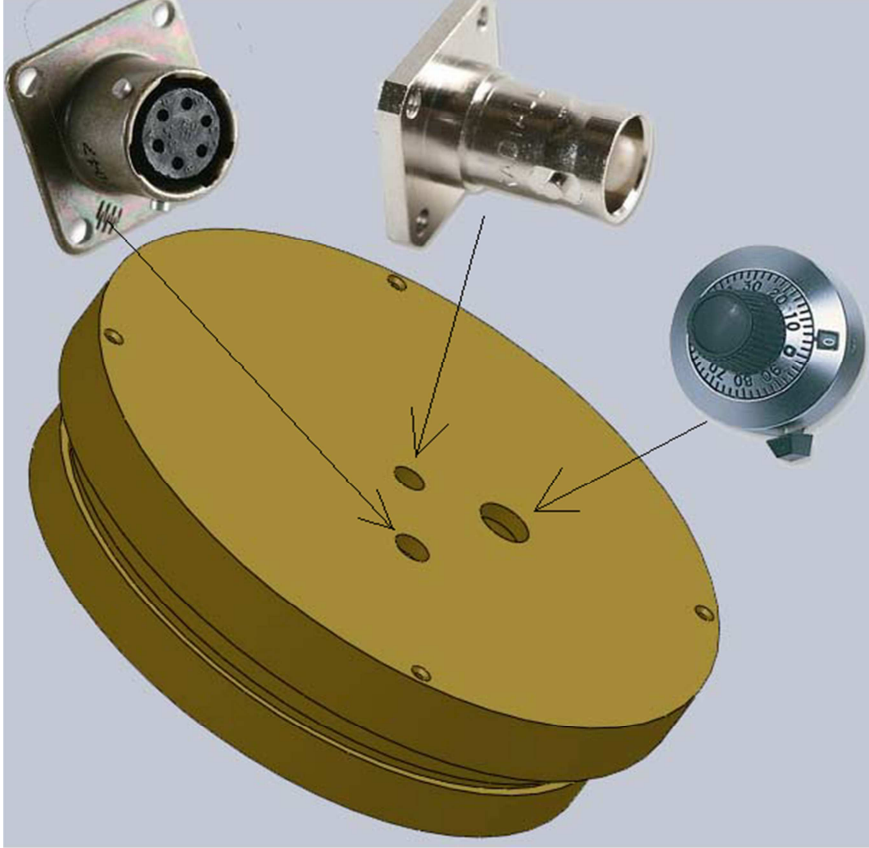


Şekil 3.10 Lüminesans okuma başlığının dış kasa tasarımı ( P2A mavi renk, P2B yeşil renk, P2C koyu sarı renk ve P2D koyu kahverengi renk)

### 3.7.1 P2A parçası ve ayrıntıları

Bu parça üzerine üç adet 9mm, 10mm ve 14,5mm çapında delikler açılmıştır. Şekil 3.11’de görülen üç adet parçanın da montajı yapılmıştır. Ortada yer alan deliğe yüksek voltaj soketinin montajı yapılmıştır. Büyük olan sağdaki deliğin olduğu yere çok turlu (TH, threshold) eşik ayar potansiyometresi ve ayar kadranı takılmıştır. Solda yer alan 9 mm çapındaki deliğe de 6 girişe sahip dişi askeri soketin montajı yapılmıştır.

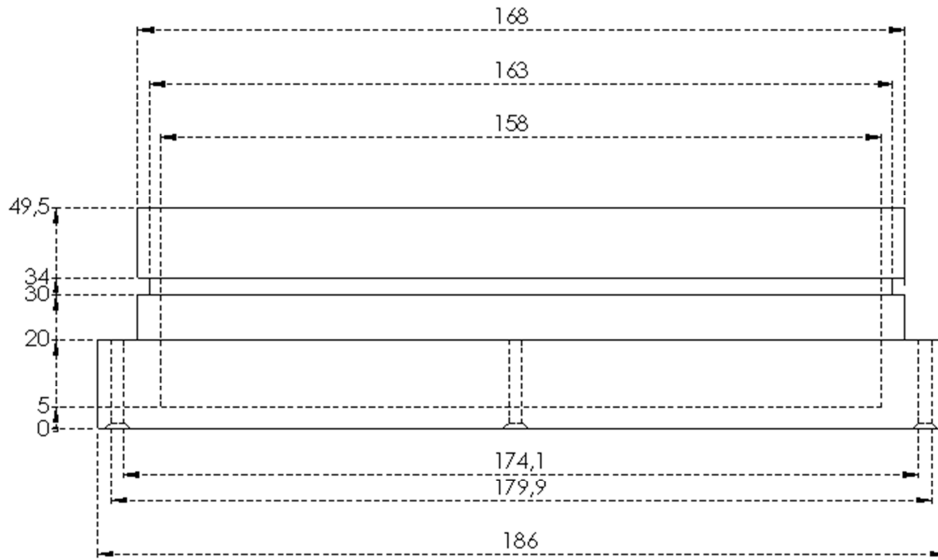
P2A parçasına şekil 3.12’de yandan bakıldığında şerit halinde 30-34 mm arasında bir oluk görülmektedir. Bu oluğa o-ring diye tanımlanan plastik halkalardan takılmıştır. O-ring parçası ışığın kutu içerisine sızmasını engellemek için takılmıştır.



Şekil 3.11 P2A parçasının üst ve yandan görünüşü

(Soldan dişi askeri soket, ortada yüksek voltaj soketi, sağda turlu eşik ayar potansiyometresi ve ayar kadranı)



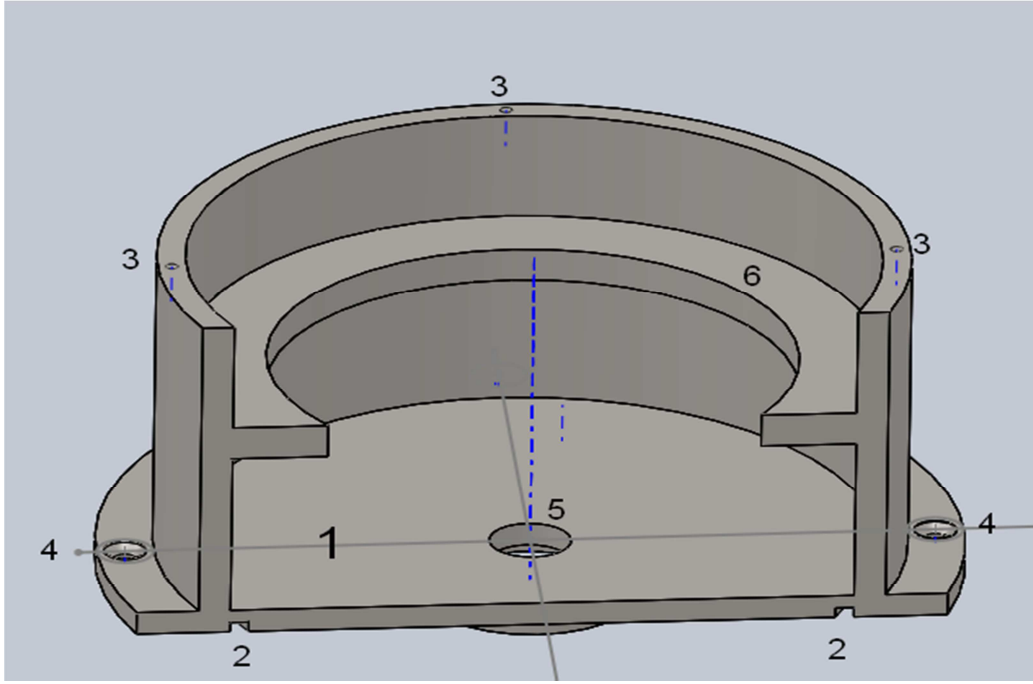


Şekil 3.12 P2A parçasına ait üretim için gerekli olan ölçüm detayları (Bütün sayısal değerler milimetre cinsindedir)

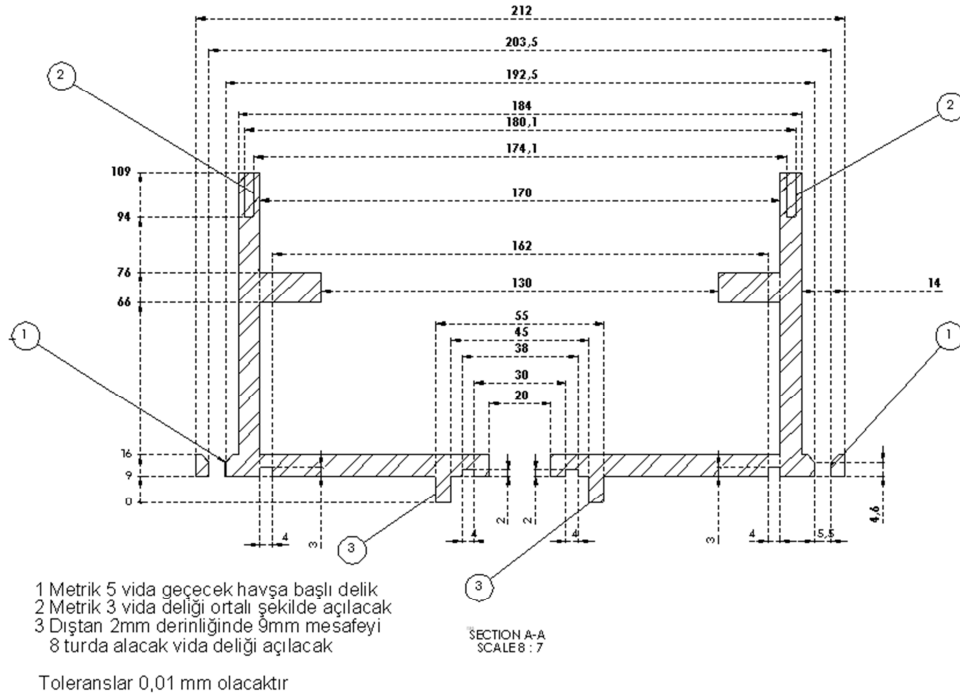
### 3.7.2 P2B parçası ve ayrıntıları

Şekil 3.13’de birden altıya kadar rakamlarla işaretlenen ilgili noktalar aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. P2B parçasının içerisinde 1 ile işaretlenmiş olan noktaya fotoçoğaltıcı tüp yerleştirilmiştir. Yatay yan tip (side-on) tipdeki fotoçoğaltıcı tüpün ışığa hassas olan penceresi ortalı bir şekilde 5 noktasından aşağıya doğru bakacak şekilde konumu ayarlanmıştır. 2 ile belirtilen yazılı olan noktalarda bulunan oluğa yine ışığın aralardan sızmasını engellemek için plastik o-ring’lerden takılmıştır. 3 rakamı ile gösterilen noktalara metrik 3 vida delikleri açılmıştır ve en üst P2A parçasının üstten vida ile sıkı bir şekilde P2B üzerine kapatılmasını sağlamaktadır.

6 rakamı ile yazılan kısma şekil 3.10’da görülen kırmızı renk ile belirtilen büyük alüminyum levha konulmuştur. 6 nolu ara parça P2A parçası P2B üzerine montajlandığında P2A üzerindeki soketlerin kenarlarından muhtemel olabilecek ışık sızmalarını engellemeye yönelik ek bir önlemdir. 4 noktası ile gösterilen yerlere de metrik beş havşa başlı vida delikleri açılmıştır bu kısımlardan geçen metrik beş vidalar orta gövdenin yani P2B parçasının P2D üzerine sıkıca oturmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.13 Bu parça P2B parçasının kalıp olarak görünüşü



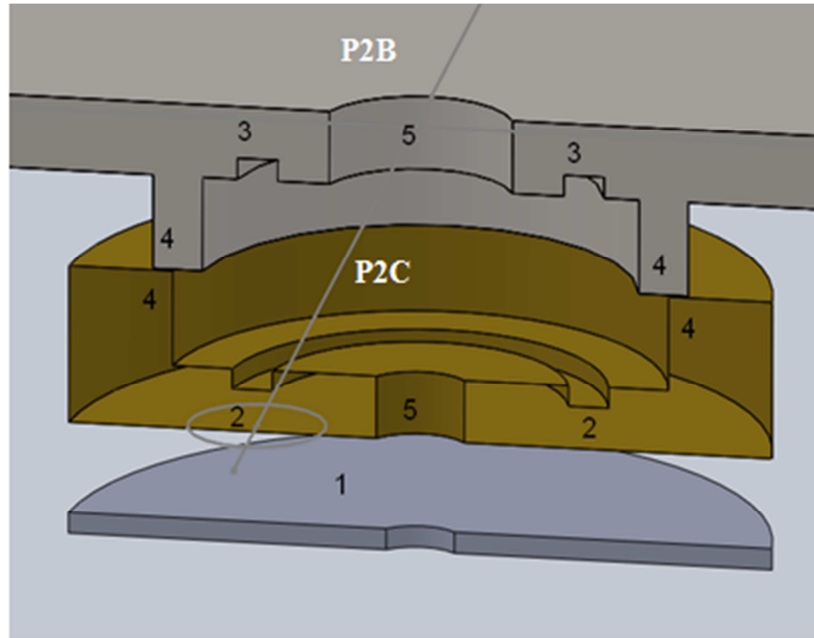
Şekil 3.14 P2B parçasına ait üretim için gerekli olan ölçüm detayları (mesafeler mm cinsindedir)

Şekil 3.14'de 3 ile işaretlenen kısma dışarıdan vida kanalı açılmıştır. Bu şekilde filtrelerin olduğu alt kapak P2C vidalanarak kolay bir şekilde P2B'ye takılabilmektedir. Toplam 9 mm derinliğe sahip olan filtre yuvasına en az 1 adet en fazla 3 adet filtre

takılabilmektedir. Filtrelerin az olduğu durumlarda 2-3 mm kalınlığında olan filtreler ile aynı çapa sahip şeffaf pleksiglass diskler malzemeler boşluğu tamamlamak üzere gerektiğinde kullanılmaktadır.

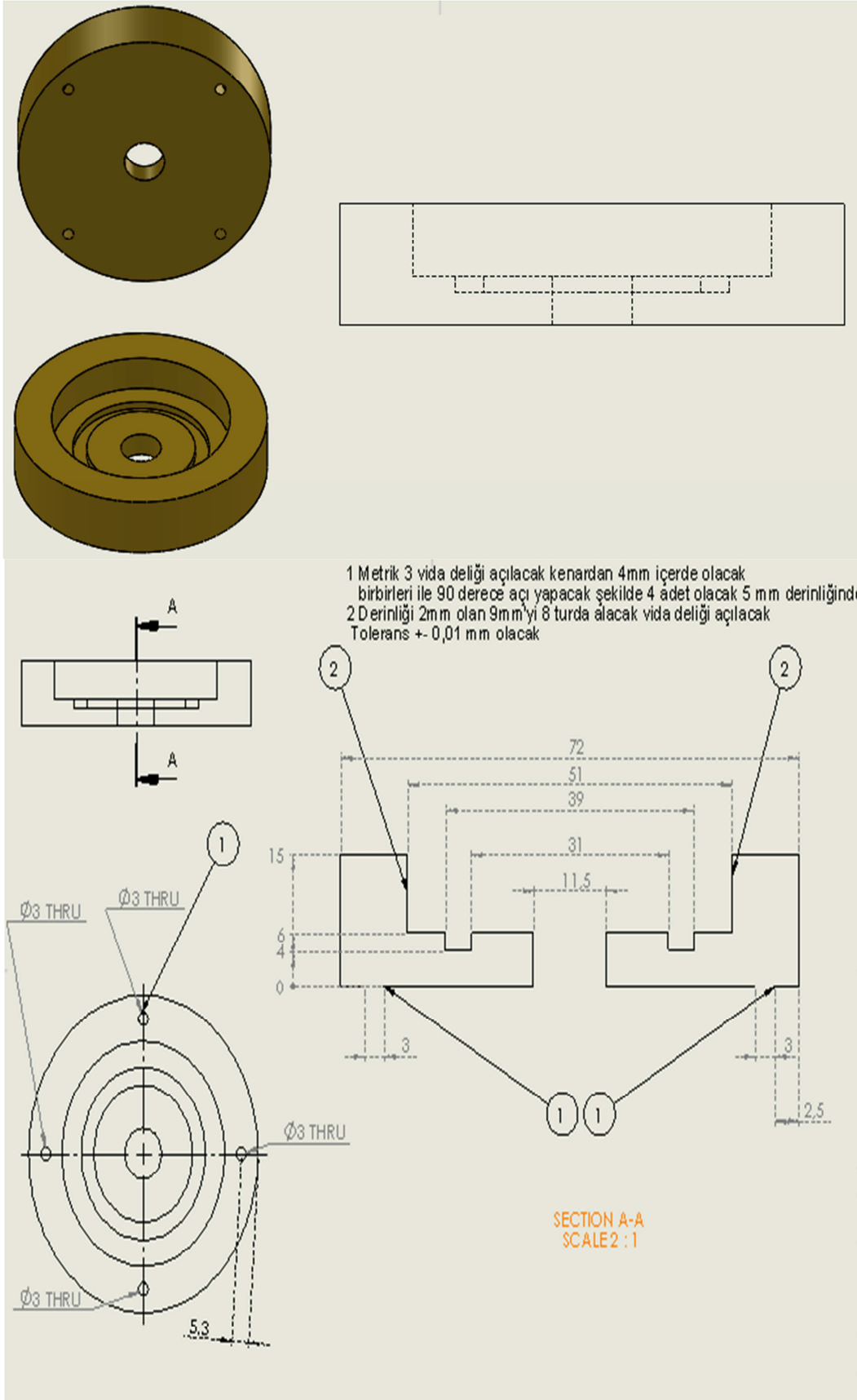
### 3.7.3 P2C parçası ve ayrıntıları

Şekil 3.15 incelendiğinde filtrelerin yerleşeceği kısım 4 rakamı ile gösterilen duvarların arasında kalan kısımdır. 2 ve 3 rakamları ile gösterilen noktalara ışığın sızmaması ve optik filtrelerin kırılmadan sıkıştırılabilmeleri için plastik o-ring lastiklerden takılmıştır. 5 rakamı ile gösterilen noktalara pleksiglass'dan imal edilmiş ışık kılavuzları kullanılmıştır.

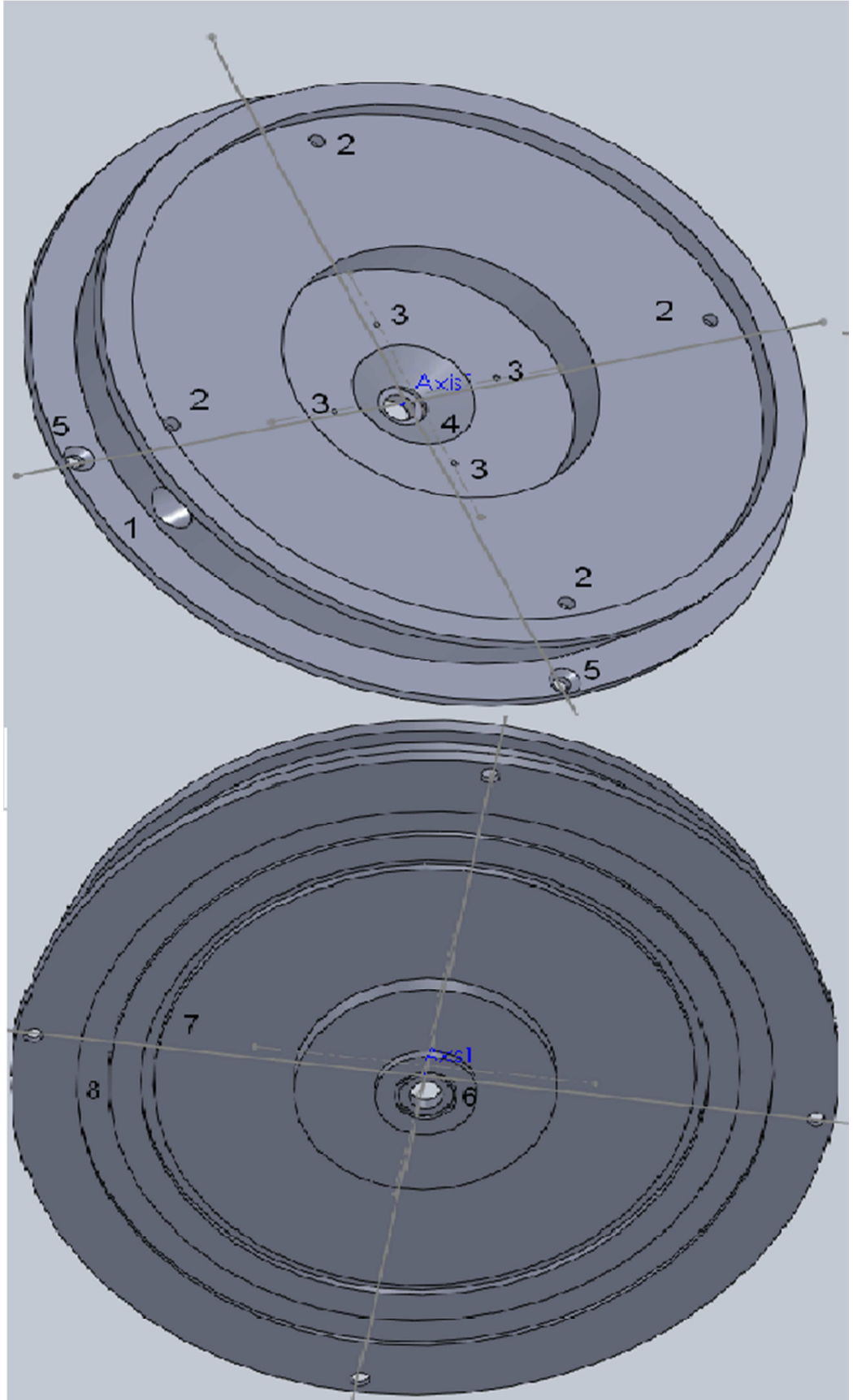


Şekil 3.15 Vidalanabilen filtre yuvası olan P2C parçasının kesiti gösterilmiştir.  
P2C parçasının vidalanarak takıldığı P2B parçası üsttedir

4 rakamının olduğu konumda karşılıklı olarak vida dişleri açılmıştır. Bu şekilde fotoçoğaltıcı tüp yerinden oynatılmadan 1 veya 3 adet filtre alt kapağı çevrilerek rahatça takılabilmektedir. 1 numaralı parça ile sarı parça arasında kalacak şekilde bir tane o-ring lastik aradan geçen ışık kılavuzunun üstüne takılmıştır (Şekil 3.16). Bu o-ring sayesinde ışık kılavuzu sabitlemiştir. İstenildiğinde 1 nolu parçayı sabitleyen vidalar gevşetilerek ışık kılavuzunun konumunda rahatça değişiklik de yapılabilmektedir.



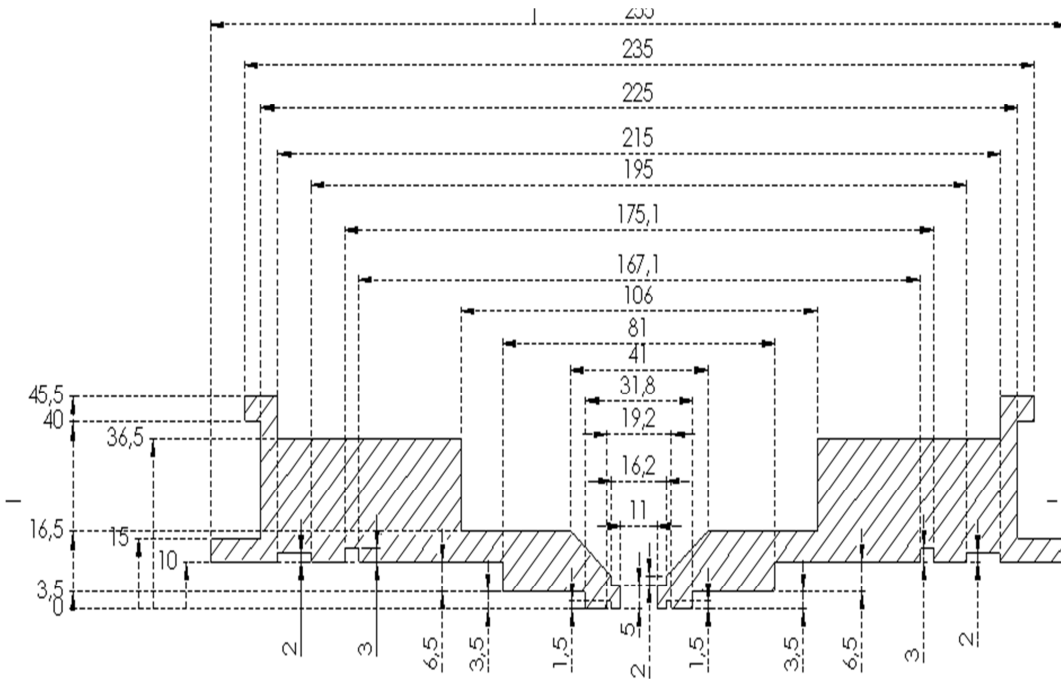
Şekil 3.16 P2C parçasının katı model olarak görüntüsü



Şekil 3.17 P2D parçasının üstten ve alttan katı parça olarak görünüşü

### 3.7.4 P2D parçası ve ayrıntıları

Şekil 3.17 incelenecek olursa 2 ile numaralandırılmış noktalarına P2B parçası metrik 5 vidalar ile sabitlenmektedir. 3 ile numaralandırılmış noktalara lazer ve led kartı vidalanarak montajı yapılmaktadır. 4 numaralı kısım ışığın 1 cm çapındaki diske düzgün bir şekilde odaklanması için eğimli bir şekilde tasarlanmıştır. 1 numaralı delik kısmına yandan soketli bir giriş ile led kartının voltaj bağlantısı yapılmıştır. Şekil 3.17'ye dikkatle bakılacak olursa 2, 3 ve 5 numaralı delikler 1 numaralı deliğin hizasından bir miktar kaydırılmıştır. Bu düzenlemenin sebebi üstten açılacak bir montaj vida deliğinin yanda olan led soket kablosunun yolunu delip patlatarak dışarıdan içeriye üstten herhangi bir ışığın girmemesi içindir. Ayrıca P2D parçasının alttan görünümü incelendiğinde lüminesans okuma başlığının oturacağı düzlem kasa üzerine gelen P2D'nin altına 7 ve 8 ile belirtilen kanallara 2 adet o-ring takılabilmesi için de oluk açılmıştır.

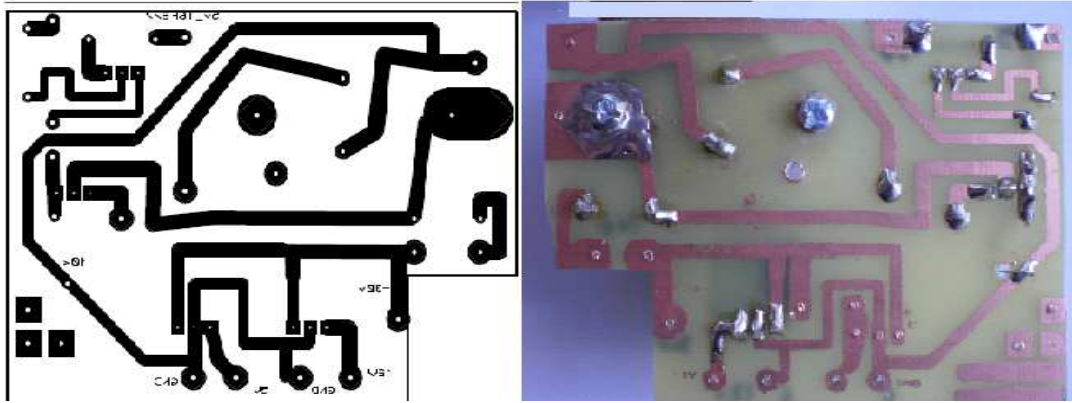


Şekil 3.18 P2D parçasına ait bazı teknik ölçüm detayları görülmektedir. Yan kesit olarak görünüşü şekilde görülmektedir

Bu olukların bir adeti kullanılmıştır ve vidalamaya dahi gerek duyulmadan oda ortamından gelen ışığın aradan geçmesini engelleyebilmektedir. Şekil 3.18'de P2D parçasının teknik çizim ayrıntıları da görülmektedir.

### 3.8 Baskı Devre Kartlarının Üretilmesi

Yapımı tamamlanan elektronik kartlar Uv led kartı, IR led kartı, lazer uyarma kartı, mavi led kartı, okuma başlığı test kartı, mikroişlemci kontrollü puls uyarma devresi kartı, önyükselteç devresinin kartları tamamlanmış ve testleri yapılmıştır. Bütün elektronik kartların yapımında aşağıdaki ortak işlemler tekrarlanmıştır. Baskı devre kartının hazırlanışı genel olarak iki aşamada gerçekleşmektedir. Bakır yüzey önce %10'luk hidroklorik asit ile korozyon olarak ve kir olarak yüzeye yapışan pisliklerden temizlenmektedir. Bu işlemden sonra ince zımpara ile yüzey homojen bir görüntü alacak şekilde hafifçe zımparalanmaktadır. Lazer yazıcıdan ince parlak kağıda baskısı alınan baskı devre şeması bakır pertinaks levha üzerine sıcak ısı kaynağı ile baskı uygulanarak yapıştırılmıştır. Bu amaçla yağlı ince reklam kağıtları kullanılmıştır.



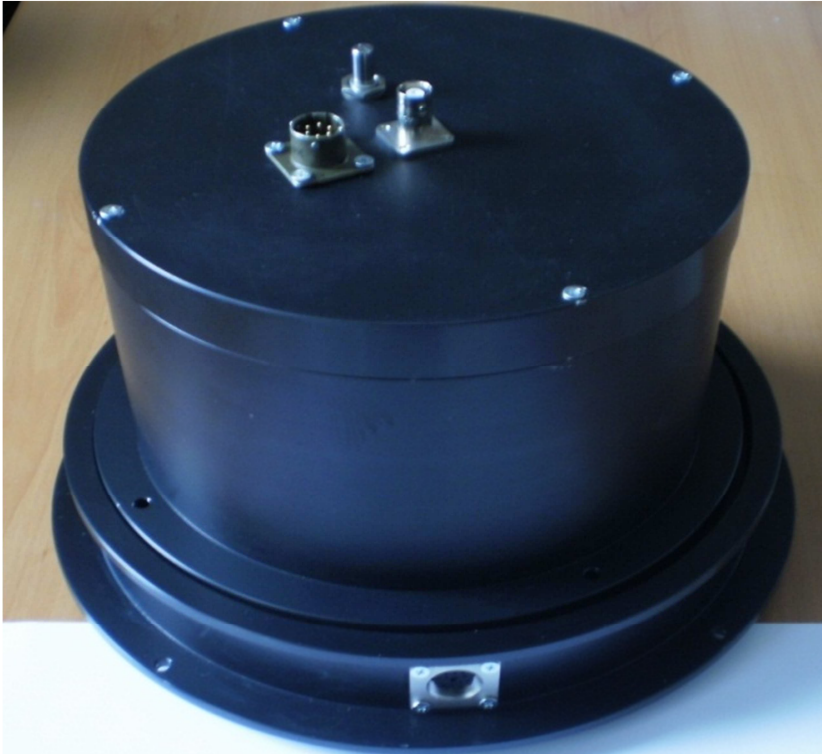
Şekil 3.19 Lazer yazıcıdan çıktı alınan baskı devre şeması solda ve tamamlanmış baskı devre kartı sağda görülmektedir

Yağlı kağıt su ile yumuşatılarak hafifçe kaldırıldığında devre yolları olan siyah tonerli kısım bakır levha üzerinde kalmaktadır. Devre yollarının bozuk olan kısımları edding kalemi ile dikkatlice çizilerek tekrar düzeltilmektedir. Bu kalemin mürekkebi bakırı eritecek olan hidrojen peroksit içerisinde kolay bir şekilde çözülmemektedir, ama asit derişimi yüksek yapılırsa kalemle düzeltme yapılan kısımlar kolayca bozularak çıkacaktır. Kartın dışarısındaki fazlalıklar kesici disk yardımıyla kesilerek çıkarılır. Bakır levha üzerinde yüzeyi elektrik bağlantı yollarını kapatan kısımların dışarısında kalan bakır kısım asitlerle aşağıdaki işlemler yapılarak eritilmiştir. Yaklaşık bir ölçek %30'luk hidrojen peroksit ve dört ölçek %10'luk hidroklorik asit karışımı içerisinde devre kartı bırakılarak 5-6 dakika devamlı gözlem altında tutularak bekletilmiştir. Devre

yolları tamamen ortaya çıktıktan sonra kart yüzeyi su ile temizlenir. Üzerinde kalan boyalı kısımların asetonla tekrar temizliği yapılarak bakır iletken yolların tamamen ortaya çıkması sağlanır (Şekil 3.19). El matkabı ile kartın gerekli montaj delikleri açılır gerektiğinde elmas uçlu disk kullanılarak yollar üzerinde kısa devre olan kısımlar var ise tekrar gerekli düzeltmeler yapılır.

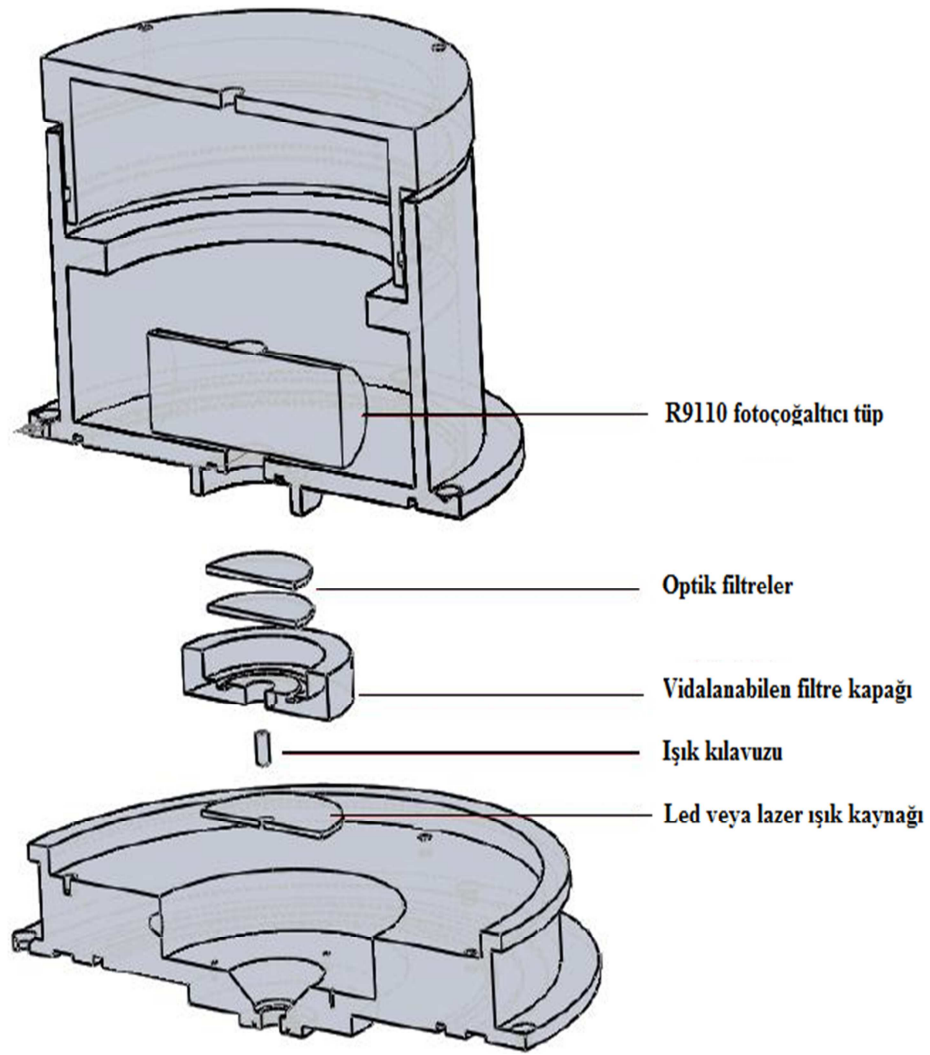
### 3.9 Tasarlanan Lüminesans Okuma Başlığı ve Bileşenleri

Lüminesans okuma başlığının resmi şekil 3.20’de görülmektedir. Bir adet yandan soket bulunmaktadır. Bu soket led veya lazer kaynağının voltajını taşıyan kablo bağlantısını sağlamaktadır. Üstte görülen iki soketden birisi yüksek voltaj bağlantı soketi diğeri ise önyükselteç kartı voltaj beslemesi ve foton sayım bilgisini taşıyan kabloların soketidir. Çok turlu potansiyometre ise kalibrasyon yapılırken gürültü eşik değeri seviyesinin rahatça ayarlanabilmesi için konulmuştur.



Şekil 3.20 Tasarlanan lüminesans okuma başlığının yan soket kısmından görünüşü



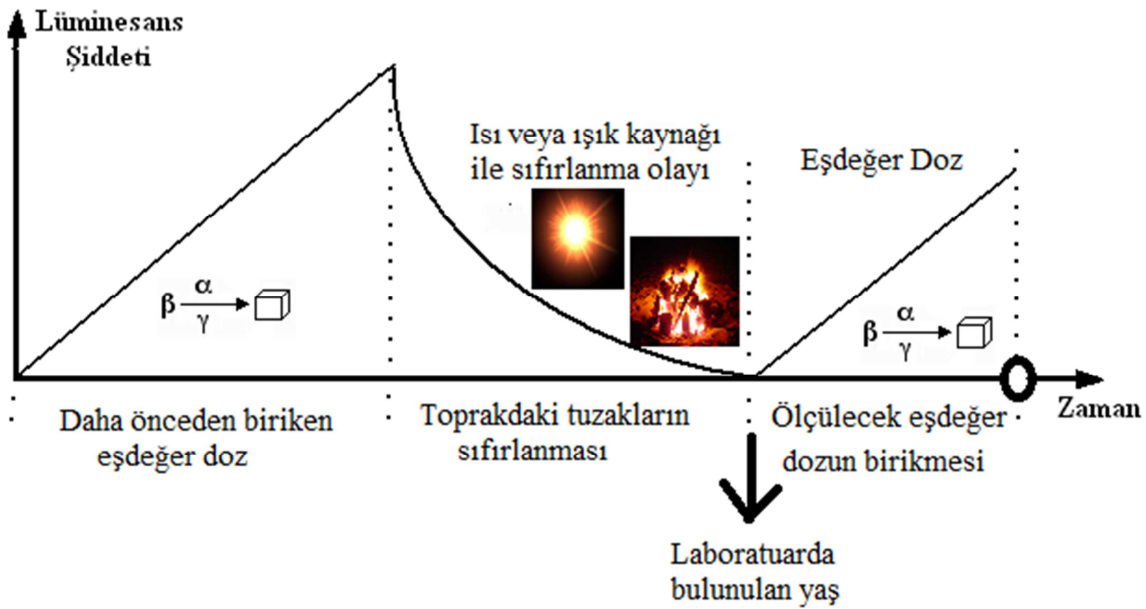


Şekil 3.21 Kesit resmi görülen optik uyarımalı lüminesans okuma başlığı ELSEC 9010 tarihlendirme sistemi ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır

Okuma başlığı en genel hali ile fotoçoğaltıcı tüp, optik filtreler vidalanabilen filtre kapağı, ışık kılavuzu, led kartı gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Şekil 3.21’de görülen kesit resminde bu ilgili optik parçalar görülmektedir. Ayrıca kesit resminde görülmeyen önyükselteç kartı da okuma başlığının içerisinde fotoçoğaltıcı tüpün hemen üzerinde yer almaktadır. Oluşturulan okuma başlığı konfigürasyonlarında optik filtreler, ışık uyarıma kaynağı ve ışık kılavuzu birbirleri ile uyum sağlayacak şekilde birleştirilmiştir. Optik filtrelerin sayısı bu aşamada önem taşıdığı gibi ışık kılavuzlarının boyu ve ışığın içinde taşıdığı kılavuzun iç kısmının yapısı da oldukça önem taşımaktadır.

### 3.10 Eşdeğer Doz ( ED )

Numunelerin tarihlendirilebilmesi için eşdeğer dozun bulunması mutlaka gereklidir. Eşdeğer doz (ED) tarihlendirilecek olan örneklerin en son sıfırlama anından sonra gömü boyunca toprak içerisinde soğurdukları radyasyon dozu anlamına gelmektedir (Şekil 3.22). Tarihlendirilecek olan örneğin geçmişte sıfırlandığı tarihten günümüze kadar geçen süre bir anlamda eşdeğer doz karşılığı olarak tuzaklarda birikmektedir. Tuzakların sıfırlanması fay hatlarında gün ışığı ile olabildiği gibi pişmiş çanak ve çömlek gibi malzemelerde yüksek ısı altında örneklerin fırınlanması ile de olabilmektedir.



Şekil 3.22 Numunenin gömü boyunca iyonize radyasyona maruz kalması ve eşdeğer dozun tespiti (Vandenberghe 2004'den değiştirilerek alınmıştır)

Optik uyarmalı lüminesans şiddeti, soğurulan doz ile doğru orantılıdır. Bu lineer ilişki en son ısı veya ışık kaynağına maruz kalan örneğin yaşını tespit etme imkânı vermektedir. Eşdeğer doz için yapılan temel işlem numunelerin gömü boyunca soğurdukları doz ile laboratuvar dozlamaları sırasında soğurdukları dozları karşılık gelen lüminesans sayımlarıyla ölçeklendirmektir.

Nükleer radyasyona maruz kalan materyallerin enerji soğurma hızları farklı farklıdır. Bu nedenle değişik maddelerde iyonlaşma ile enerjinin soğurulmasının tanımlanmasında bir standardın olması gerekmektedir. Bu niceliğe, soğurulan doz denir ve maddenin birim kütlesi başına iyonlaştırıcı radyasyon tarafından verilen enerjinin de bir ölçüsüdür. Soğurulan dozun eski kullanılan birimi rad (radiation absorbed dose) olup, 1 gram madde tarafından 100 erg'lik enerji soğurulmasına eşittir. Soğurulan doz için SI birimi ise gray (Gy)' dir ve kilogram başına madde tarafından 1 joule'lük enerji soğurulması olarak tanımlanır (Krane 2001).

Eşdeğer dozun tespit edilebilmesi için iki temel yöntem bulunmaktadır. Aşağıda ayrıntıları verilen bu yöntemler "Çok Tablet İlave Doz (Multiple Aliquot Additive Dose- MAAD) Yöntemi" ve "Tek Tablet Yenileme (Single Aliquot Regeneration Additive Dose-SAR) Yöntemi" olarak tanımlanmıştır. Bu tez kapsamında eşdeğer doz tespiti için "Tek Tablet Yenileme (SAR) Yöntemi" kullanılmıştır.

### **3.11 Tek Tablet Yenileme (SAR) Yöntemi**

Bu yöntemde tek bir disk ile tarihlendirme yapabilmek imkânı vardır. Tek disk okuması önısıtma işlemi yapıldıktan sonra okunur ve lüminesans şiddeti (Le) kaydedilir. Disk tamamen sıfırlanır ve laboratuvar doz kaynağı ile tahmini eşdeğer dozun alt ve üstünde bulunabilecek farklı doz değerlerinde yine önısıtma yapıldıktan sonra dozlama ve okumalar yapılır. Bu işlemde laboratuvarda verilen örnek dozun karşılığı olan lüminesans değeri; eşdeğer dozun karşılığı bulunan lüminesans şiddetinin altında veya üzerinde bir değere sahip ise örnek doz miktarı artırılarak veya azaltılarak işlem tamamlanır. Bu şekilde lineer doz cevap eğrisi üzerinde eşdeğer doza karşılık gelen sayısal verinin ortalamada kalması sağlanmış olur. SAR işlemi aşağıdaki aşamalar ile özetlenebilir:

- Önısıtma yapılır. Doğal lüminesans değeri (Le) kaydedilir.
- Disk gün ışığında taban sayım (background) görülene kadar tutulur.
- Örneğe laboratuvarda belirlenen Doz-1 değeri verilir.
- Önısıtma yapılır. Doz-1 lüminesans değeri (L1) kaydedilir.

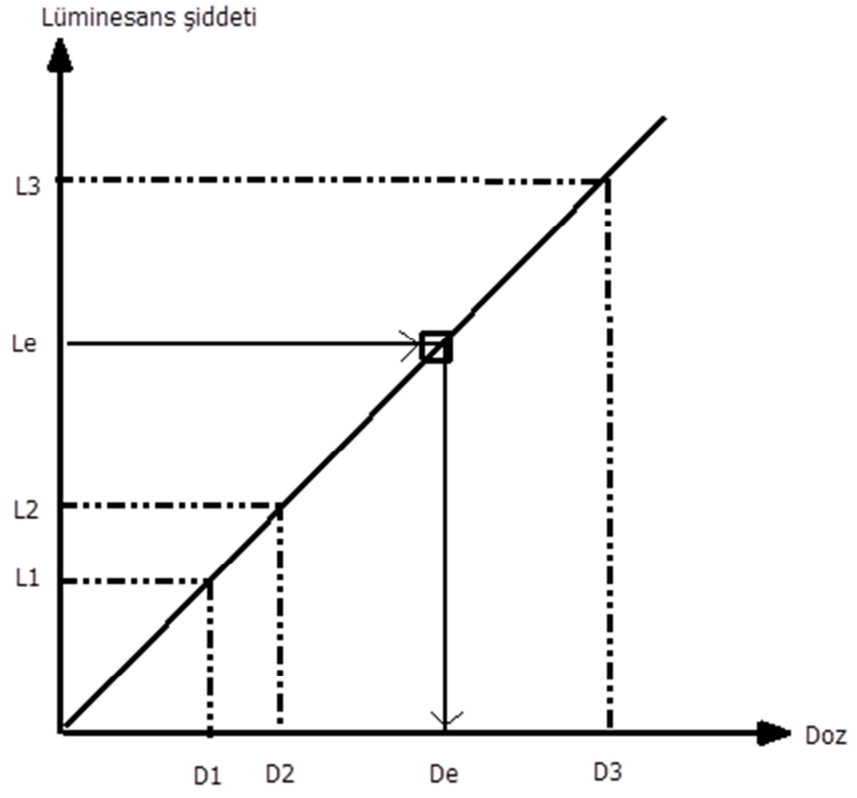
- Disk gün ışığında taban sayım (background) görülene kadar tutulur.
- Örneğe laboratuvarında belirlenen Doz-2 değeri verilir.
- Önısıtma yapılır. Doz-2 lüminesans değeri (L2) kaydedilir.
- Disk gün ışığında taban sayım (background) görülene kadar tutulur.
- Örneğe laboratuvarında belirlenen Doz-3 değeri verilir.
- Önısıtma yapılır. Doz-3 lüminesans değeri (L3) kaydedilir.

Bu listelenen işlemlerden sonra bilinen L1, L2 ve L3 lüminesans değerlerinin karşılığı olan D1, D2 ve D3 doz değerleri ile SAR grafiği çizilir. Bu grafiğe ait lineer eğrinin denkleminde yararlanılarak  $L_e$ 'ye karşılık gelen bilinmeyen eşdeğer doz değeri olan  $D_e$  sonucu bulunur. Şekil 3.23'de SAR doz cevap eğrisi ve lüminesans sayımlarına karşılık gelen eşdeğer doz değerleri grafikte görülmektedir.

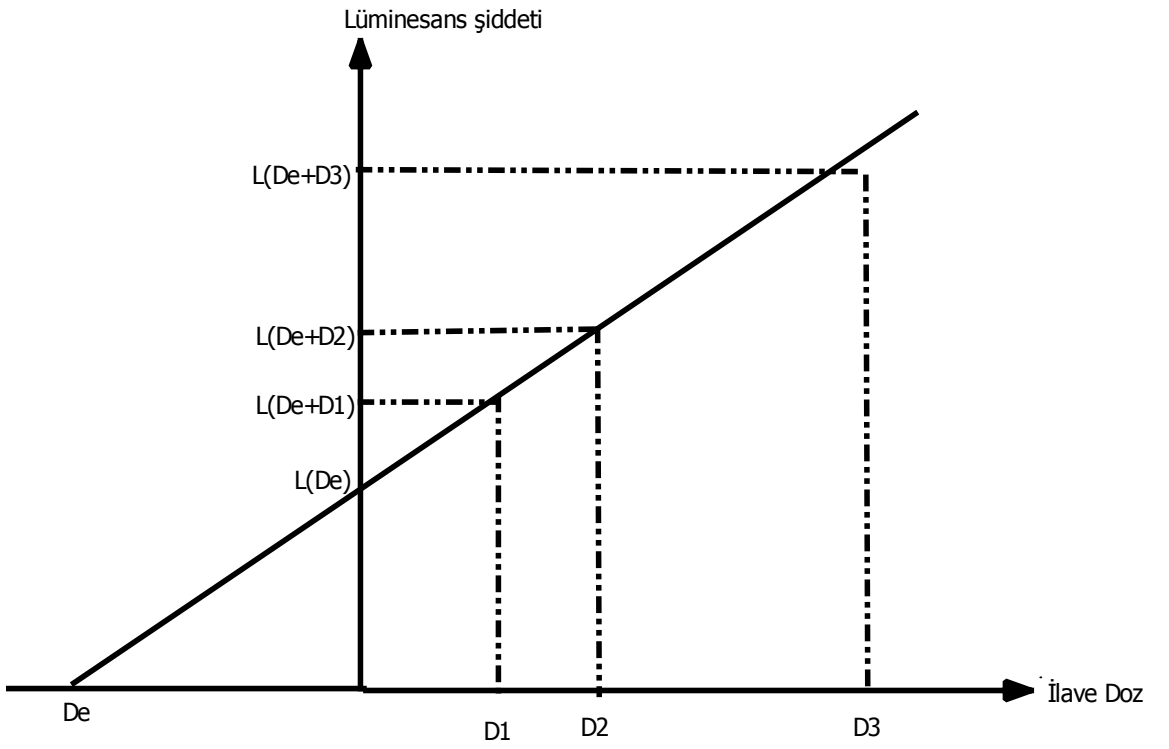
Bu yöntemde tek disk kullanıldığı için normalizasyona gerek yoktur. Ayrıca SAR çalışmalarında MAAD'a göre daha az miktarda numuneye ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte SAR metoduyla sonuç almak için gerekli olan süre, dozlama ve sayım işleminin birkaç defa tekrarlanmasından dolayı MAAD metoduyla sonuç almak için gerekli olan süreden birkaç gün daha uzundur.

### **3.12 Çok Tablet İlave Doz (MAAD) Yöntemi**

Bu yöntemde eşdeğer doz tespiti için birçok disk hazırlanır ve bunlar gruplara ayrılır. Bir grup hariç diğer disk gruplarına artan oranlarda dozlar verilir. Eşdeğer doza karşılık gelen ilave doz verilmemiş gruba ait lüminesans sayımı kullanılarak eşdeğer doz tespiti yapılabilir. Her grupta en az 3 adet disk olması sağlanır. Bu disklerin ortalama değerleri grafikte bir veri noktası oluşturacaktır. Bazı durumlarda disklerin homojen olarak diske yapışmaması veya toprak örneğinin homojen yapıda olamamasından kaynaklanan veri sapmaları olabilmektedir.



Şekil 3.23 Doz ile lüminesans şiddetinin değişimi



Şekil 3.24 İlave dozlarla lüminesans şiddetinin değişimi

Bu durumlarda aynı gruptaki disklere göre fazla sapma gösteren disklerin verileri değerlendirme dışında tutulabilmektedir. Bu sebeple MAAD yönteminde gruptaki disk sayılarının fazla tutulması her zaman avantaj sağlamaktadır. MAAD yöntemi işlem aşamaları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- 1.grup diskler için doğal lüminesans okuması için ayrılır. Bu grupta bulunan disklere doz verilmez.
- 2.grup disklere doğal lüminesansa ek olarak D1 ilave dozu verilir.
- 3.grup disklere doğal lüminesansa ek olarak D2 ilave dozu verilir.
- 4.grup disklere doğal lüminesansa ek olarak D3 ilave dozu verilir.
- Bütün disklere önısıtma işlemi yapılır.
- Önısıtma işlemi sonrasında lüminesans okumaları tamamlanarak  $L(De)$ ,  $L(De+D1)$ ,  $L(De+D2)$ ,  $L(De+D3)$  verileri kaydedilir.
- Şekil 3.24'deki gibi lineer bir doz cevap eğrisi oluşturulur.
- Grafiğin ucu negatif doz eksenine doğru uzatılır.
- Yatay eksenin kesim noktasındaki sayısal değer eşdeğer doz ( $De$ ) değeri olarak tespit edilir. Bu noktadaki sayısal değer pozitif olan karşılığı eşdeğer doz olarak kabul edilir.

MAAD yönteminde disklerin normalize edilmesi mecburidir. Çünkü ölçümler için hazırlanan disklerin üzerindeki materyal kütlelerinin eşit olmaması ve hazırlanan disklerin homojen olmaması yüksek olasılıklıdır. Bu nedenle aynı gruptaki disklerin aynı ilave doza cevapları eşit olmayacaktır. Disklerin homojensizliğinden kaynaklanan bu eşitsizliği ortadan kaldırmak için disklere normalizasyon işlemi uygulanır (Aitken 1998). Normalizasyon işlemi için diskler kısa bir süre (0,1-0,5 s civarı) ışık kaynağı ile uyarılarak OSL sinyalleri ölçülür. Uyarma nedeniyle sinyalin şiddetinde oluşacak azalma miktarının %1 veya %2'den daha fazla olmamasını sağlayan kısa bir uyarma süresi seçilmelidir. Bununla birlikte seçilen sürenin gereğinden çok daha kısa olması nedeniyle ölçüm sisteminin yeterli hassaslığı gösterememesi de hatalara yol

açabilmektedir. Elde edilen kısa uyarma sayımlarının aşağıdaki denklemler doğrultusunda kullanılmasıyla her disk için normalizasyon faktörü bulunur.

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n} \quad (2.8)$$

$$F_i = \frac{\bar{N}}{N_i} \quad (2.9)$$

$$L_i = F_i \cdot S_i \quad (2.10)$$

Yukarıdaki denklemlerde i: disk numarası ( i = 1, 2, ..., n ), n: toplam disk sayısı,  $\bar{N}$ : disklerin normalizasyon sayımlarının ortalaması,  $N_i$ : i'inci disk için normalizasyon sayımı,  $F_i$ : i'inci disk için normalizasyon faktörü,  $S_i$ : i'inci disk için normalize edilmemiş lüminesans sayımı,  $L_i$ : i'inci disk için normalize edilmiş lüminesans sayımını göstermektedir. Bir disk için doğru sayım değeri olarak kullanılan normalize sayım değeri, diskin normalizasyon faktörü ile lüminesans sayımının çarpımıdır.

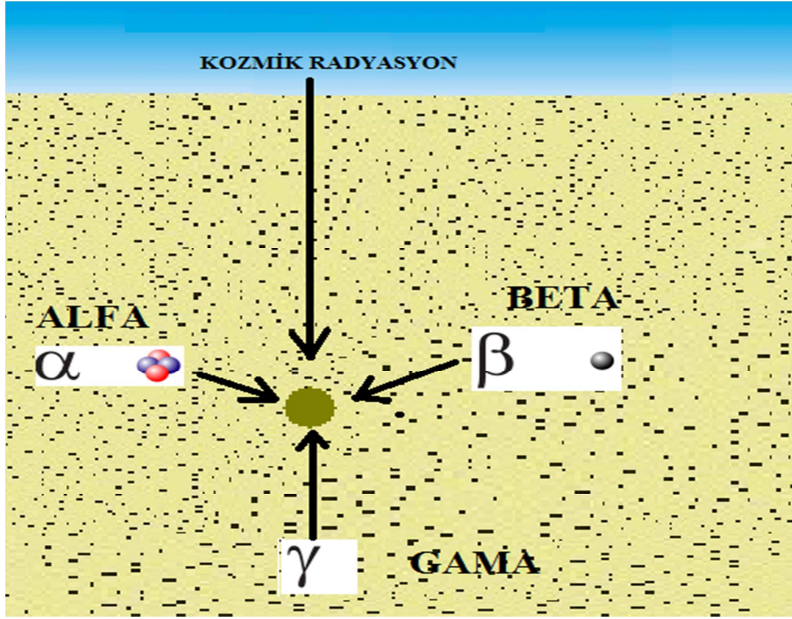
### 3.13 Yıllık Doz

Toprak altından bulunan herhangi bir örnek gömülü kaldığı süre boyunca toprakta bulunan radyoaktif elementlerden ve kozmik ışıklardan sürekli radyasyona maruz kalmaktadır (Şekil 3.25). Numunelerin gömü boyunca soğurmuş oldukları doz miktarını (eşdeğer doz) kaç yılda biriktirdiklerini tespit edebilmek için bir yılda soğrulan dozu yani yıllık dozu belirlemek gereklidir.

Tarihlendirilmesi yapılacak malzemedeki taneciklerin boyutları ve türüne göre yıllık doz hızının hesabı farklılık göstermektedir (Aitken 1998). Bu çalışma kapsamında ince tanecik ve kalın tanecik olarak hazırlanan farklı tipteki örnekler için yıllık doz oranları belirlenmiştir.

Gömü boyunca yıllık doza katkı sağlayan en önemli radyoaktif elementler  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'dur. Çizelge 3.1'de  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{40}\text{K}$ 'un radyoaktif bozunma şemaları

gösterilmiştir. Çekirdeklerden yayınlanan  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ışınlarının topraktaki menzilleri sırasıyla yaklaşık 0,03 mm, 3 mm, 300 mm'dir (Aitken 1998).



Şekil 3.25 Numunelerin gömü süresince maruz kaldıkları radyasyon tipleri (Atlihan 2008'den değiştirilerek alınmıştır)

Menzilleri göz önüne alındığında alfa parçacıklarının doz hızına olan etkisi, ince taneciklerle yapılan tarihlemeye ( $<20 \mu\text{m}$ ) çok fazla artmaktadır (Aitken 1985). Bu tarihlendirmenin büyük bir avantajı da kısa mesafelerde etkili olan alfaların katkısı daha fazla alındığından dolayı eşdeğer doza olumsuz katkı yapabilecek olası homojen olmayan geniş çaptaki yıllık doz değişimlerinin etkisinin de azalmasıdır.

$$Yıllık\ Doz = aD_{\alpha} + D_{\beta} + D_{\gamma} + D_c \quad (2.11)$$

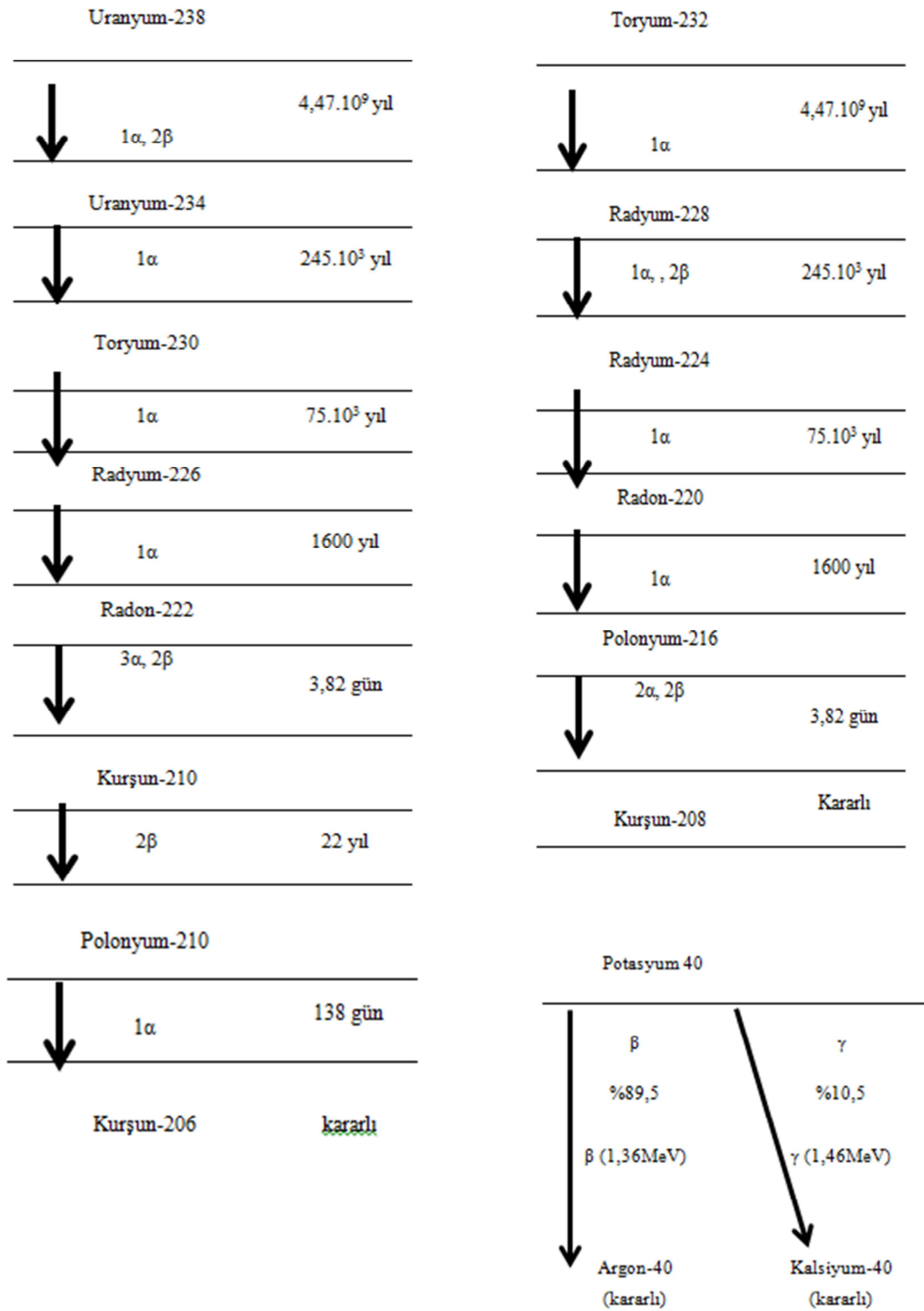
$$D_{\alpha} = D_{\alpha(U)} + D_{\alpha(Th)} \quad (2.12)$$

$$D_{\beta} = D_{\beta(U)} + D_{\beta(Th)} + D_{\beta(K)} \quad (2.13)$$

$$D_{\gamma} = D_{\gamma(U)} + D_{\gamma(Th)} + D_{\gamma(K)} \quad (2.14)$$



Çizelge 3.1 Uranyum-238, Toryum-232, Potasyum-40 için radyoaktif bozunum şemaları (Aitken 1985'den değiştirilerek alınmıştır)



Burada  $D_\alpha$ ,  $D_\beta$ ,  $D_\gamma$ ,  $D_c$ , sırasıyla, alfa, beta, gama ve kozmik doz hızını göstermektedir.  $D_{\alpha(U)}$ ,  $D_{\beta(U)}$ ,  $D_{\gamma(U)}$ ,  $D_{\alpha(Th)}$ ,  $D_{\beta(Th)}$ ,  $D_{\gamma(Th)}$ ,  $D_{\beta(K)}$ ,  $D_{\gamma(K)}$  sembolleri ise sırasıyla yıllık doza uranyumdan ve toryumdan gelen alfa, beta, gama katkıları ile potasyumdan gelen beta ve gama katkılarını vermektedir (Aitken 1985).

Eşitlik 2.11'de  $a$  ile verilen büyüklük alfa zayıflatma katsayısıdır; alfanın oluşturduğu lüminesansın betanın oluşturduğu lüminesansa oranıdır (Aitken 1998). Alfa radyasyonunun menzilin beta ve gamaya göre kısa olması nedeniyle, lüminesans oluşturma verimliliği diğerlerine göre daha düşüktür. Bu yüzden  $a$  sabiti kullanılarak alfa katkısında bir düzeltme yapılır. Çalışmada alfa zayıflatma katsayısı olarak  $a=0,15$  kabul edilmiştir (Aitken 1998).

Yıllık doz hızı büyüklüklerinin değerleri hesaplanırken numunelerdeki nem miktarı göz önüne alınmalıdır (Veronese vd. 2007). Topraktaki nem, taneciklere ulaşan radyasyonun bir kısmını soğurur. Bu nedenle su, kuru toprağın birim kütlesi başına soğurulan radyasyon dozunu azaltır. Suyun soğurma katsayısı toprağa göre alfa, beta, gama radyasyonu için, sırasıyla, %50, %25, %14 daha fazladır. Nemli toprak için alfa, beta, gama doz hızı değerleri, eşitlik 2.11, 2.12, 2.13 ve 2.14'de verilen denklemlerin yeniden düzenlenmesi sonucu elde edilen eşitlikler 2.15, 2.16 ve 2.17 kullanılarak hesaplanır.

$$D_{\alpha(nemli)} = \frac{D_\alpha}{1 + 1,5.W.F} \quad (2.15)$$

$$D_{\beta(nemli)} = \frac{D_\beta}{1 + 1,25.W.F} \quad (2.16)$$

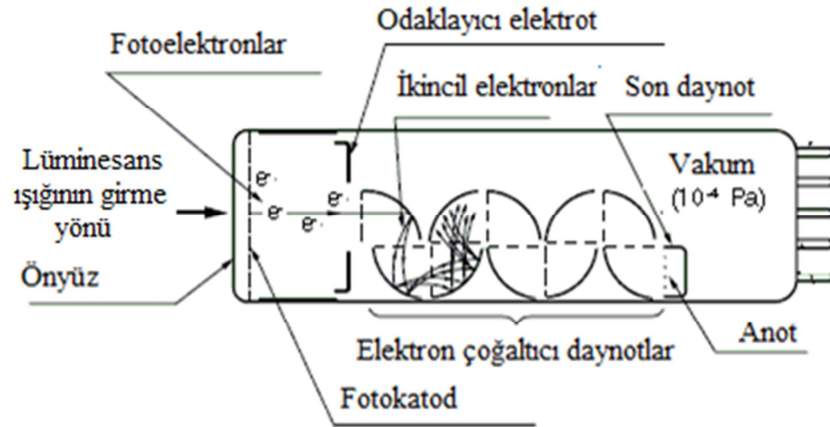
$$D_{\gamma(nemli)} = \frac{D_\gamma}{1 + 1,14.W.F} \quad (2.17)$$

Azalma miktarı nem miktarıyla orantılıdır. Fakat değişebilen çevre şartları, iklimsel değişiklikler gibi nedenlerle gömü boyunca topraktaki nem miktarı sabit değildir. Yapılan bazı çalışmalarda bu değişim gözardı edilmiş ve nem miktarı için çalışmalar sırasında ölçülen veya kabul edilen bir değer hesaplamalarda kullanılmıştır (Murray-Wallace vd. 2002, Chen vd. 2003). Bununla birlikte gömü boyunca varolan nem miktarı

için bir yaklaşım kullanılabilir (Aitken 1985). Bu yaklaşımda gömü boyunca tutulan ortalama su miktarı için iki parametre kullanılır. Bu parametrelerden birincisi, numunenin kütlece maksimum su tutma oranı ( $W$ ), diğeri gömü sırasında maksimum su tutma oranının kesridir ( $F$ ).  $W$  ile  $F$ 'nin çarpımı gömü boyunca numunenin kütlece su tutma miktarını verir. Burada,  $W$  değeri deneysel işlemlerle tespit edilirken,  $F$  değeri için bir kabul yapılır. Literatürde  $F$ 'nin büyüklüğü olarak, bazı değerler önerilmesine rağmen numunelerin toplandığı bölgenin iklim şartları da gözönüne alınarak, araştırmacı tarafından uygun görülen bir değer kabul edilebilir (Aitken 1985).

### 3.14 Fotoçoğaltıcı Tüp (Elektron yükselticileri)

Işığa hassas fotodiyotlar geliştirilmesine rağmen fotoçoğaltıcı tüpler (PMT) günümüzde hala kullanılmaktadır. Fotoçoğaltıcı tüpler düşük seviyedeki ışığa çok hızlı cevap verebilecek şekilde ve farklı dalgaboyu aralıkları için yüksek hassasiyete sahip olarak üretilmektedirler. Tipik olarak bir fotoçoğaltıcı tüp kısaca fotona duyarlı katot (fotokatot), elektronları odaklayan elektrotlardan ve elektronların en son toplandığı anot kısmından oluşmaktadır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 Fotoçoğaltıcı tüpün kesiti (Anonymous 2003'den değiştirilerek alınmıştır)

Işık fotokatoda girdiğinde vakum içerisinde ilk olarak fotokatoda çarpan fotonlar fotoelektronları oluştururlar. Bu fotoelektronlar odaklayıcı elektrotlar vasıtası ile elektron çoğaltıcı alana doğru hızlandırılırlar. Elektron çoğaltıcı kısmında elektronlar her dinot çarptığında ikincil olarak oluşan elektron yayılımı sonucunda elektronların sayıları katlanarak çoğalır. Her dinot bir önceki dinota göre pozitif yüklü olduğundan

elektronlar hızlanarak en sonda bulunan anotta toplanırlar. Fotoçoğaltıcı tüp çıkışında milivolt seviyesinde elektriksel bir puls sinyali oluşur.

İkincil elektron oluşturma işleminden dolayı fotoçoğaltıcı tüpler oldukça yüksek bir hassasiyet gösterir. Ayrıca diğer foto diyot benzeri algılama sistemlerine göre istisna olabilecek şekilde düşük bir gürültü oranına da sahiptirler.

### **3.14.1 Fotoçoğaltıcı tüp esitleri ve kullanım alanları**

Fotoçoğaltıcı tüp (PMT) genel olarak side-on (yan tip) veya head-on (kafa tip) olarak iki konfigürasyonda üretilir. Yan tip (side-on) olan PMT lüminesans ışığını yanında bulunan algılama penceresinden alırken; kafa tip (head-on) PMT ışığı baş kısmında bulunan pencereden alır. Yan tip (side-on) şeklinde olan fotoçoğaltıcı tüpler genelde spektrofotometre ve fotometrik sistemlerde sık olarak kullanılır. Kafa tip (head on) tipinde üretilen fotoçoğaltıcı tüplerin foto algılayıcı yüzeyleri daha genişdir. Açısal olarak daha az sapma gösteren bu tüpler yüksek enerji fiziği uygulamalarında kullanılır ve fiyatları yan tip (side-on) olan tüplere göre daha yüksektir. Çalışma prensibi olarak bakıldığında fotoçoğaltıcı tüpleri 7 ana kategoride sınıflandırabiliriz (şekil 3.27).

#### **a) Dairesel kovuk (Circular cage )**

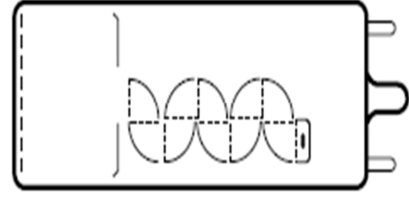
Bu tip foto çoğaltıcı tüpler kompakt, hızlı cevap süresine sahip ve düşük voltajlarda yüksek kazanca sahiptirler. Genelde yan tip (side-on) tipinde olan fotoçoğaltıcı tüpler bu şekilde üretilir.

#### **b) Kutu ve ızgara (box and grid)**

Bu fotoçoğaltıcı bir dizi çeyrek daire şeklinde olan dinot sırasından oluşur. İyi elektron toplama veriminden dolayı bu tip bir yapı kafa tip (head-on) konfigürasyonun da kullanılır. Ayrıca açısal olarak elektron verimi fazla değişme göstermez.



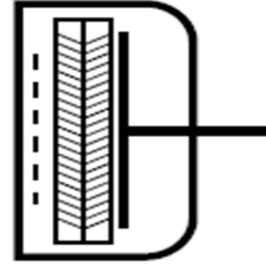
a)



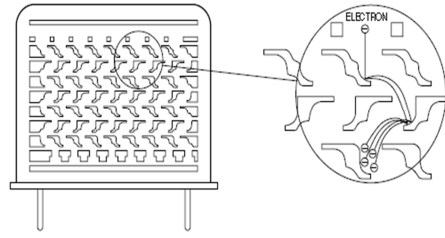
b)



c)



d)



e)

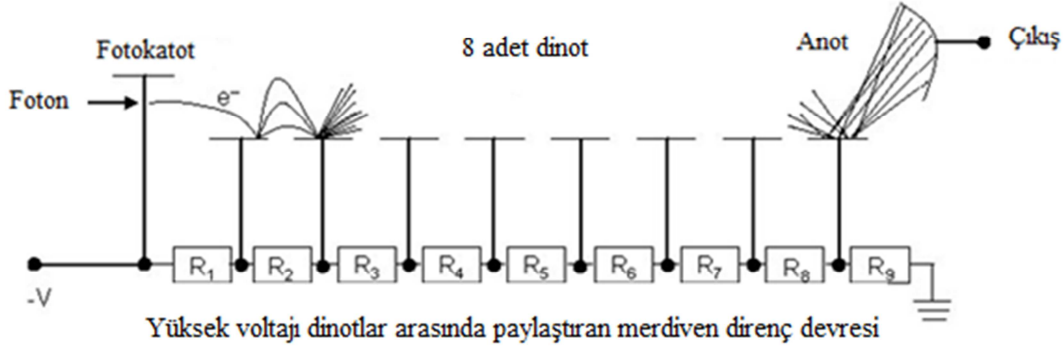
Şekil 3.27 Foto çoğaltıcı tüp çeşitleri (Anonymous 2003'den değiştirilerek alınmıştır)

(a)dairesel kovuk, b)kutu ve ızgara, c)lineer odaklamalı, d) mikro kanal plaka, e)metal kanal tipi)

### c) Linear odaklamalı (Linear focused)

Linear odaklamalı tip olanlar oldukça hızlı cevap sürelerine sahiptir. Zaman çözünürlüğü ve puls lineeritesinin önem taşıdığı uygulamalarda özellikle bu tipte olan fotoçoğaltıcı tüpler kullanılır. Ayrıca bu fotoçoğaltıcı tüpler avantaj olarak geniş bir aralıkta çıkış akımı verebilirler.

Fotoçoğaltıcı tüp kazancı  $G$  olarak tanımlanacak olursa  $G=V^n$  olarak tanımlanabilir. Gama ifadesi herbir dinota ait kazancı ifade etmektedir. Dinot sayısı  $n$  olarak tanımlanmıştır. Dinotların sayısı arttıkça kazanç da artacaktır. En son anot kısmında yüzbinlerce kez yükseltilmiş olan elektronlar bir milivolt ile elli milivolt arasında bir sinyal oluşturacaktır. Önyükselteç katından da geçen bu sinyal birkaç yüz milivolt seviyesinden birkaç volt seviyesine kadar yükseltilecektir. Şekil 3.28’de görülen herbir direnç dinotlar üzerine düşecek olan gerilimin miktarını ayarlama işlevini görmektedir.



Şekil 3.28 Fotoçoğaltıcı tüpün yüksek voltaj bağlantısı (Anonymous 2003’den değiştirilerek alınmıştır)

Bu direnç değerleri üretici tarafından belirlenen aralıklarda tutulmalıdır. En sonda bulunan R7 ve R8 gibi en son sırada yer alan dirençlerin değerleri foton sayma modunda çalışan tüplerde diğer dirençlere göre daha büyük değerlerde seçilmektedir. Bu şekilde fotoçoğaltıcı tüp puls modunda çalıştırılabilmektedir. Bu sayede çok küçük sayıdaki lüminesans fotonlarının elektriksel cevabı da kaybedilmeden ölçülebilmektedir.

## 4. DENEYSEL İŞLEMLER

### 4.1 Örneklerin Kazı Bölgesinden Alınması ve Laboratuvarında Hazırlanması

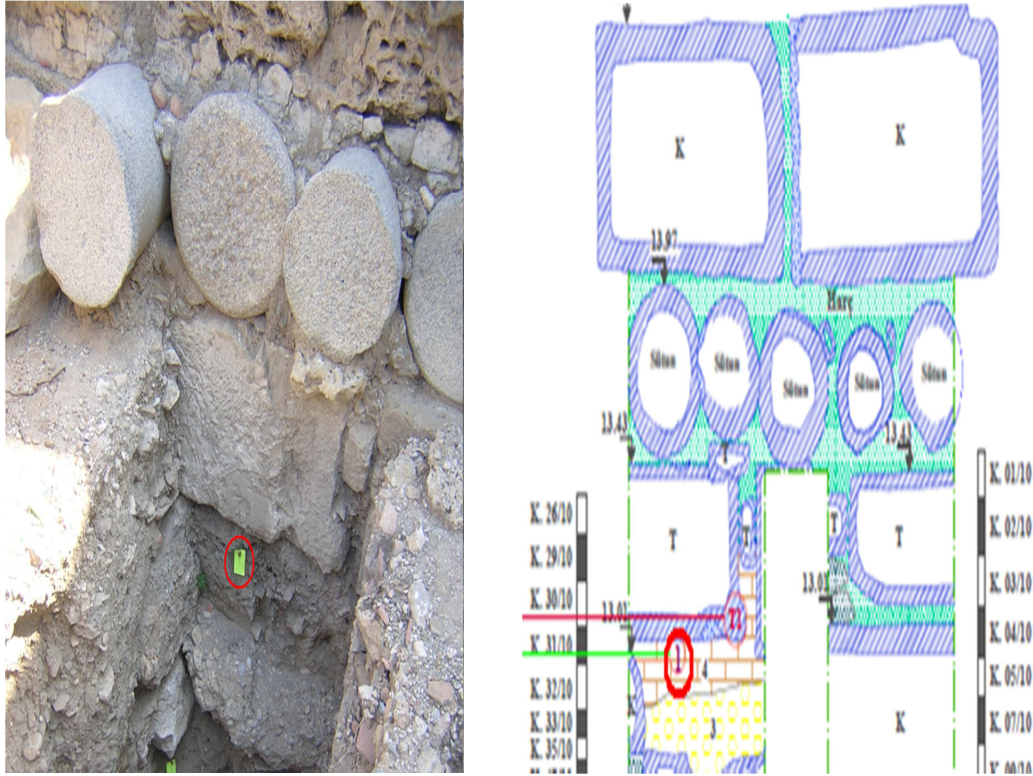
Toprak örnekleri arkeologların belirlemiş olduğu Side Antik Tiyatrosunun temel taşının altından karotlar yardımı ile alınmıştır. Şekil 4.1' de toprak örneğinin alınmış olduğu yerin resmi ve kazının kesit resmi de detaylı bir şekilde görülmektedir. Örnek alma işlemi gece karanlığında yapılmıştır. Örneklerin alınırken ışık görmemesi için kesit çukurunun üzeri kapatılarak çevreden gelebilecek ışık sızmaları engellenmiştir. Bütün karotların uç kısımları siyah poşetlerle sıkıca kapatılmış ve bantlanmıştır. Örneklerin ışığı görmemesi için laboratuvara taşınırken ek önlem olarak karotlar ayrıca üç adet siyah poşet içerisine tekrar sarılarak muhafaza altına alınmıştır.

Laboratuvara getirilen karotlar laboratuvarında bulunan zayıf kırmızı ışık altında açılmıştır. Toprak örnekleri karot içerisinden yavaş bir şekilde kâğıt üzerine dökülerek, karotun tam ortasında kalan toprak kısımları eşdeğer doz ölçüm işlemleri için değerlendirmeye alınmıştır. Bu toprak örnekleri (Büyük Kaya Altı) BKA-Side olarak kodlanmıştır. Bu örneğin daha altında bulunan K35/10 olarak kesit resminde işaretlenen hizadaki altta bulunan künk su borusunun altından alınan toprak örnekleri ise (Künk Altı Toprak) KAT-Side olarak kodlanmıştır. KAT-Side örneği ile kuvars eşdeğer doz tespiti için çalışma yapılmıştır.

BKA-Side örneği  $<20 \mu\text{m}$  olan kısmından polymineral ince tanecikler kullanılarak eşdeğer doz tespiti yapılmıştır. Aşağıda özetlenen işlemler sırası ile uygulanarak lüminesans okuma işlemi öncesinde toprak örnekler hazırlanmıştır.

- Toprak örnekleri havan öğütücüde ezilerek inceltirilmiştir.
- Öğütülen topraklar otomatik eleme sistemi ile elenerek  $20\mu\text{m}$  tanecik boyutundaki mineral parçacıkları ayrılmıştır.
- %10 HCl asit içerisinde reaksiyon tamamlanana kadar bekletilerek örnekler kalsitlerden arındırılmıştır.
- Örnekler üç kere saf su ile yıkanmıştır.
- %35  $\text{H}_2\text{O}_2$  asit içerisinde organik kalıntılardan arındırılmak için yaklaşık 24 saat bekletilmiştir.

- Örnekler üç kere saf su ile yıkanmıştır.
- Etüv içerisinde kurutulan toprak örneklerinden 2ml olarak ölçeklendirilen bir kısmı 200 ml aseton içerisinde karıştırılarak bir süspansiyon karışım elde edilmiştir. Küçük cam tüpler içerisinde bulunan 1cm çap ve 1mm kalınlığa sahip alüminyum diskler üzerine süspansiyon karışım aynı miktarda dökülmüştür. Her tüp üzerine karışım dökülmeden önce karıştırma işlemine devam edilmiştir.
- Etüv içerisinde aseton karışımı buharlaşana kadar bütün tüpler en az 1 gün süre ile bekletilmiştir.
- Diskler üzerine hazırlanan polimineral ince tanecikler bir tabaka halinde çökelmiştir.



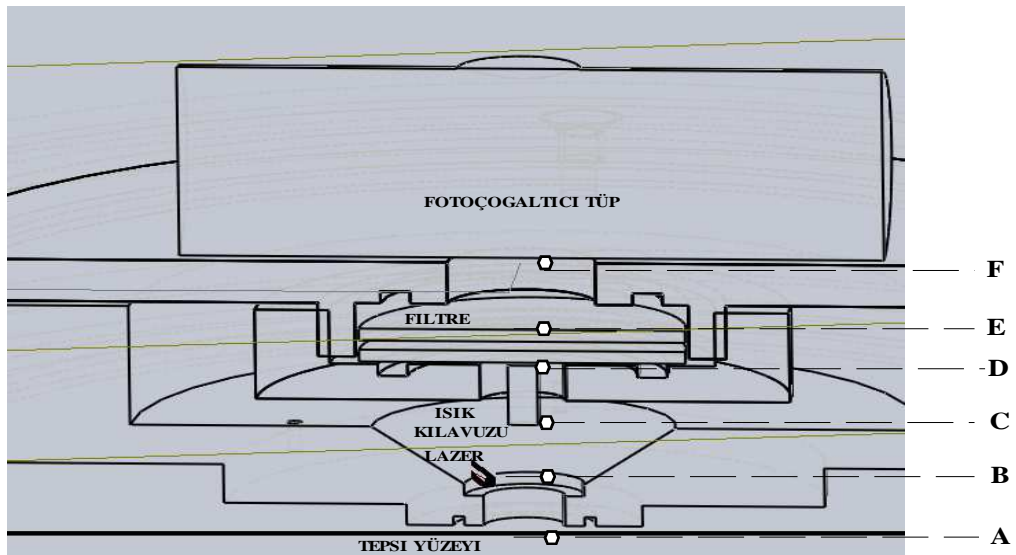
Şekil 4.1 Örnek alınan kazı bölgesinin resmi solda kazı bölgesinin kesiti ise sağda



## 4.2 Deney Yöntemlerinin Belirlenmesi ve Cihazın Kalibrasyonu

Cihazın elektronik kartları çalışır duruma getirilip, elektronik kartların test aşamaları geçildikten sonra iki farklı çalışma konfigürasyonu için okuma başlığı düzenlenmiştir. Temel olarak filtre, ışık kılavuzu, uyarma ışık kaynağının dalgaboyu, ışık kılavuzu gibi kritik öneme sahip parçaların tam bir uyum içinde olması gerekmektedir. Okuma başlığının lüminesans okuma aralığını değiştirebilen bu donanım parçaları iki farklı kombinasyonda düzenlenerek her düzenlenen lüminesans okuma başlığı konfigürasyonu için yüksek voltaj kalibrasyonları ayrı ayrı yapılmıştır.

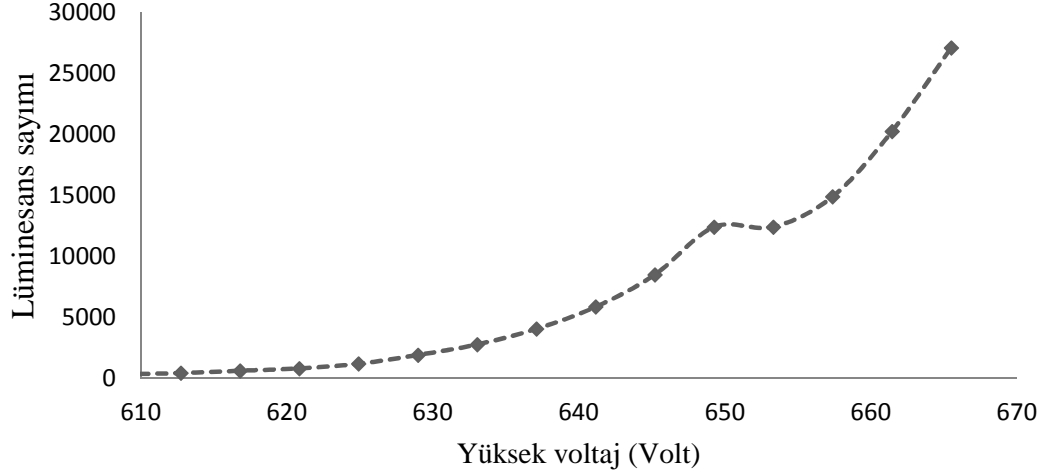
### 4.2.1 650nm lazer uyarımlı lüminesans okuma başlığı konfigürasyonu



Şekil 4.2 650 nm lazer uyarımlı lüminesans okuma başlığında optik sistem bileşenleri ve aralarındaki mesafe değerleri A-B=10,6 mm, A-C=18mm, C-D=18mm, D-E=6mm, E-F=10,7mm olarak sabitlenmiştir

650nm lazer uyarımlı lüminesans okuma başlığı için şekil 4.2'de çizilen bağlantı parçaları (optik ışık kılavuzu, optik filtreler, lazer uyarma kaynağı) mesafeleri için sabitlenmiştir. A ve B arasındaki yani lazer uyarma kaynağı ile tepsi yüzeyi arasındaki mesafe 10,6 mm olarak sabitlenmiştir. 650 nm'lik lazer diyotun ışığı mesafe arttıkça daha fazla dağılacığından dolayı lazer diyot tepsiye en yakın konuma yerleştirilmiştir. Lazer diyot ile ışık kılavuzunun alt ucu arasındaki mesafe 7,4 mm olarak sabitlenmiştir. Kullanılan iki adet BG3 optik filtresinin kalınlığı 6mm'dir ve D-E arası mesafe bu kalınlığı göstermektedir. Optik filtre yüzeyi ile fotoçoğaltıcı tüpün

penceresi arasındaki mesafe de 10,7mm olarak belirlenmiştir. Özellikle lazer diyotun örneğe olan mesafesi ve ışık kılavuzunun tepsiye olan uzaklığı gibi parametrelerde olabilecek milimetrik kaymalar lüminesans ölçüm sonuçlarında büyük sapmalara sebep olabileceğinden dolayı bu oluşturulan lüminesans okuma başlığı konfigürasyonu ilgili deneyler tamamlanana kadar bozulmamıştır.

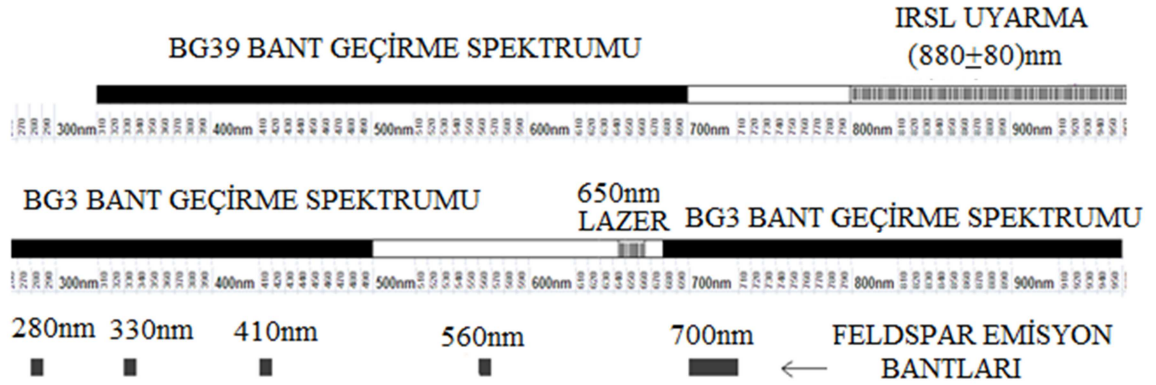


Şekil 4.3 Lazer (650Δ10nm) uyarmalı lüminesans okuma başlığının yüksek voltaj kalibrasyonu yapılarak bu grafik elde edilmiştir. Yüksek voltaj platosu 650 volt değerinde ortaya çıkmıştır

Lazer uyarmalı lüminesans okuma başlığının konfigürasyonu tamamlandıktan sonra tepsi üzerine yerleştirilen sabit ışık çıkışına sahip kalibrasyon ışık kaynağı kullanılarak lüminesans okuma başlığının yüksek voltaj kalibrasyonu yapılmıştır. Yüksek voltaj değerleri çok küçük adımlarla 610V-670V arasında kademe kademe artırılmıştır. Lazer uyarmalı lüminesans okuma başlığının yüksek voltaj plato değeri 650V değerinde ortaya çıkmıştır (Şekil 4.3). Okuma başlığında 2 adet 3mm kalınlığa sahip Schott BG3 optik filtre ve 1 adet Laser Components APC65075TA2 model, 7mW ışık gücüne sahip (650Δ10nm) dalgaboyu aralığı olan lazer diyot kullanılmıştır. 650V değeri lazer uyarmalı okuma başlığı konfigürasyonunda fotoçoğaltıcı tüp için yüksek voltaj çalışma değeri olarak belirlenmiştir.

Bu oluşturulan konfigürasyon BKA-Side kodlu toprak örneğinin polimineral ince tanecik kısmı eşdeğer doz değerlendirmesi için kullanılmıştır. Aynı deney ELSEC-9010 IRSL lüminesans okuma başlığı ile yeniden tekrarlanarak deney sonuçları karşılaştırılmıştır. ELSEC-9010 IRSL okuma başlığı optik filtre olarak bir adet 2mm kalınlığında Schott

BG39 filtreye sahiptir, ayrıca 880nm dalgaboyunda 30mW aydınlatma gücüne sahip infrared (IR) ledler ile donatılmıştır.



Şekil 4.4 650nm lazer uyarma başlığı konfigürasyonu ve IRSL konfigürasyonu

Infrared uyarma (IRSL) ile polimineral ince tanecik tarihlendirme kuvars minerali ile yapılan tarihlendirmeye göre çok daha iyi doz cevap potansiyeline sahiptir (Auclair vd. 2007). Konvansiyonel IRSL başlık ile lüminesans okuması yapıldığında spektrumun mavi ve ultraviyole kısmını da içerisine alan bir pencereden algılama yapılır. IRSL polimineral ince tanecik tarihlendirme çalışmalarında genelde Schott BG39 filtresi IR led grupları ile beraber kullanılır. Birçok tarihlendirme çalışması ve sönüm düzeltme modellerine rağmen IRSL tarihlendirme çalışmalarında (yaklaşık %25) civarında beklenen yaş değerine göre yüksek değerler çıktığı da gözlenmiştir (Banerjee vd. 2001). Side antik tiyatrosunun bilinen tarihine göre beklenen eşdeğer doz aralığı tahmin edilebilmektedir. Beklenen eşdeğer doz aralığına göre ELSEC- IRSL okuma başlığı ile yapılan deneyler sonucunda eşdeğer doz ortalamaları daha yüksek çıkmıştır. 650nm lazer uyarımlı okuma başlığı kullanılarak aynı örnekler tekrar değerlendirilmiştir. Lazer uyarımlı konfigürasyonda BG3 optik filtreler kullanılmıştır bu uyarma ile ayrıca gelebilecek olası 700 nm dalgaboylu feldspat lüminesans sinyalleri de değerlendirilmiştir (Şekil 4.4).

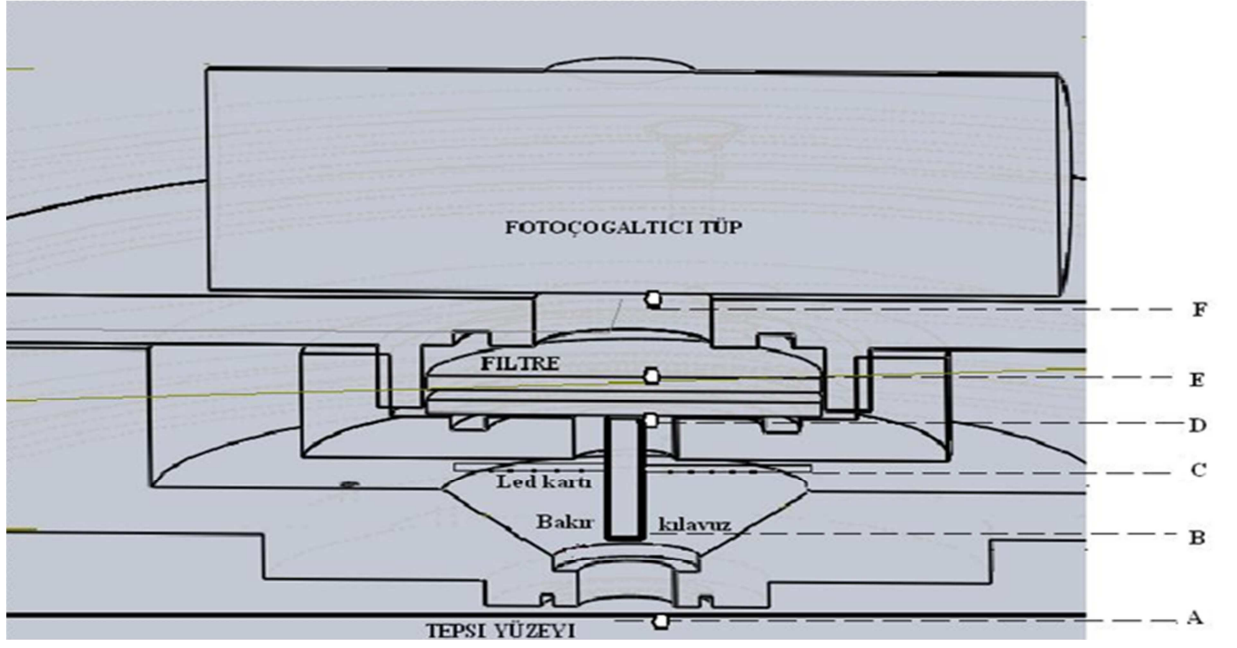
ELSEC okuma başlığına göre yüksek gelen IRSL eşdeğer doz değerlerinde yeni düzenlenen lazer uyarımlı lüminesans okuma başlığı kullanılarak eşdeğer doz sonuçlarında belli bir seviye de düzeltme yapılması mümkün olmuştur. Eşdeğer doz ortalaması ELSEC okuma başlığının sonuçlarına göre aşağıya çekilmesi mümkün olmuştur.

#### 4.2.2 Kuvars okuma başlığı konfigürasyonu

Feldspat mineralinden sonra kuvars minerali geriye doğru doz bulma amaçlı kullanılan bir diğer mineraldir. 1970 yılının başlarından bu zamana kadar kuvars yoğun olarak termolüminesans (TL) tarihlemede kullanılmıştır (Aitken 1985). Kuvars mineralinden ısı ile uyarma yerine ışıkla uyarma yaparak lüminesans sinyali elde edilebileceği ilk Huntley tarafından gösterilmiştir (Huntley vd. 1985). Bøtter-Jensen ve Duller (1992) ilk olarak OSL sinyalinin kuvars mineralinden mavi-yeşil ışık aralığındaki spektrumdan (420-550nm) uyarma yapılarak elde edilebileceğini de göstermişlerdir.

Tasarlanan kuvars konfigürasyonunda mavi ve yeşil (420nm-550nm) dalgaboyu aralığını içeren 9 adet Osram (model: LBE63C-T2V2-35-Z) led tasarlanan led kartında kullanılmıştır. Ledlerin tipik çalışma voltajı 3,4V-4V aralığında olduğundan Elsec-9010 sisteminin orijinal led kartı 30V gerilimle çalıştığından dolayı bu sistem ile sorunsuz çalışacak bir led kartı tasarlanmıştır. Üzerinde 9 adet led bulunan led kartının, led üreticisinin verdiği ışınım gücü bilgilerinden faydalanılarak yaklaşık  $24\text{mW/cm}^2$  ışık gücünde ışınım yaptığı bulunmuştur. Örnekler üzerindeki gerçek ışık şiddeti ledlerin açılabilir olarak ışığı dağıtmasından ve ledlerin örneğe olan mesafesinden dolayı daha küçük bir değer olacaktır. Ledler iki adet 3mm kalınlığında Schott UG11 filtresi ile beraber kullanılarak kuvars mineralinden optik uyarmalı lüminesans sinyali elde edilmiştir.

Kuvars okuma başlığı için oluşturulan konfigürasyon da kullanılan Osram mavi dalgaboylu (460-520nm) ledler tepsiye mümkün olan en yakın konuma yerleştirilmiştir. Şekil 4.5 incelendiğinde A-C arası mesafe yani mavi led kartı ile tepsi yüzeyi arasındaki mesafe 23mm'dir. Optik filtre olarak da iki adet Schott UG11 filtresi kullanılmıştır. D-E arasındaki mesafe iki filtrenin de toplam kalınlığı olan 6mm mesafeyi göstermektedir. Işık kılavuzu olarak bakır içi boş olan bir boru kullanılmıştır. Bakır ışık kılavuzunun iç kısımdan çapı 4,8mm ve dıştan olan çapı ise 6,4mm'dir.

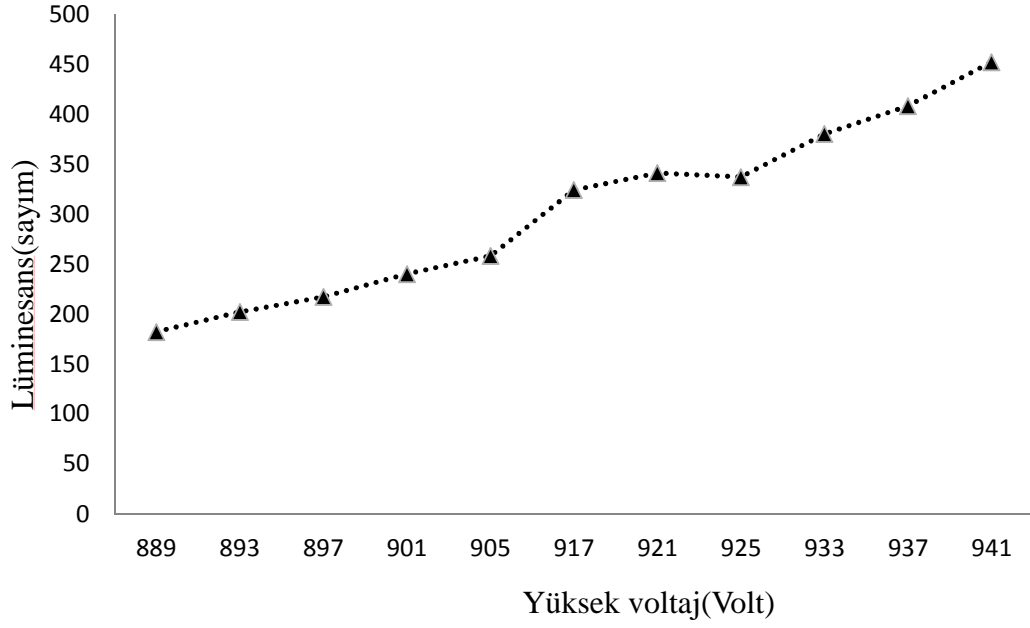


Şekil 4.5 Kuvars okuma başlığında sistem bileşenleri ve aralarındaki mesafe değerleri

(A-B=3 mm, B-D=33,7mm, C-D=13,7mm, D-E=6mm, E-F=10,7mm olarak sabitlenmiştir. Ebatları dış çapı 6,4mm, iç çapı 4,8 mm olan bir bakır metal boru ışık kılavuzu olarak kullanılmıştır)

Pleksiglass ışık kılavuzu yerine bakır ışık kılavuzu kullanılmasının nedeni saçılan ışıkların tüpe tekrar yoğun bir şekilde ulaşmaması içindir. Mavi ledlerden çıkan ışık huzmeleri lazer ışık kaynağına göre daha geniş bir açı ile dağıldığından dolayı bakır kılavuz yanlardan gelebilecek ışık yansımalarını büyük ölçüde kesmiştir. Çevreden saçılan ışığın başlık içinden yansıma yaparak tüpe daha da fazla miktarda ışık gelmesi bu şekilde bir ölçüde engellenmiştir. Bakır boru sadece dikine gelen yani tepsi yüzeyinden gelebilecek olan ışık fotonlarını algılayabilecek şekilde bir algılama avantajı sağlamıştır.

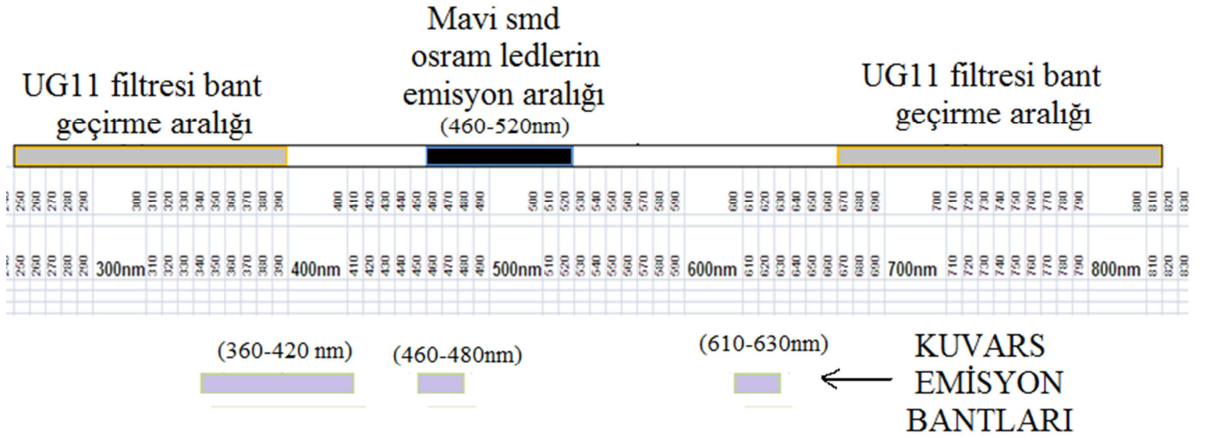
Dolayısı ile iç kısımlarda yanlardan saçılarak gelebilecek olası ışık saçılmaları da rahatça engellenmiştir. İç yüzeyi mat olduğundan pleksiglass malzemeye göre içten yansımaya fazla izin vermemektedir.



Şekil 4.6 Osram (450-530nm) mavi ledler ve Schott UG11 filtresi kullanılarak oluşturulan kuvars okuma başlığının yüksek voltaj kalibrasyonu

Kuvars okuma başlığının yüksek voltaj kalibrasyonu kalibrasyon ışık kaynağı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.6 incelendiğinde yüksek voltaj değerleri 889V değerinden 941V değerine kadar çok küçük adımlarla artırılarak kuvars okuma başlığının yüksek voltaj kalibrasyonu tamamlanmıştır. 917V-925V arasında yüksek voltaj platosu oluşmuştur. Çalışma voltajı olarak 921V alınmıştır. Platoyu elde etmek için kalibrasyon voltajları geniş bir aralıkta artırılacak olursa bu platonun oluştuğu bölgeyi fark etmek de zorlaşmaktadır. Bu yüzden voltaj artışlarındaki küçük değişimler mikroamper seviyesinde akım değerleri ölçülerek kontrol edilmiş ve bu kalibrasyon grafiği çizilmiştir.

Filtrelerin ışığı geçirme miktarı arttıkça yüksek voltaj platosu daha düşük voltaj değerlerinde ortaya çıkmaktadır. Filtreden ışığın geçme miktarı azaldıkça yüksek voltaj platosunun olduğu kısım daha yüksek voltaj değerlerinde ortaya çıkmaktadır. Schott UG11 filtresi şekil 4.7 incelenecek olursa (250-390nm) arasında dar bir bölgeyi geçirebilmektedir. Bu filtre göz ile kontrol edilerek incelendiğinde de ışığı çok az miktarda geçirebildiği rahatça görülebilmektedir.



Şekil 4.7 Kuvars okuma başlığı konfigürasyonu ve Schott UG11 filtresinin band geçirme aralığı ,altta kuvars minerali için raporlanan lüminesans dalgaboyu aralıkları

Bu yüzden dolayı fotoçoğaltıcı tüpün çalışma voltajı daha üst seviyelerde çıkmıştır. Filtreden daha az geçebilecek lüminesans fotonlarının foto tüp tarafından rahatça yükseltilebilmesi için yüksek voltaj değerinin biraz daha artırılması gerektiği görülmektedir.

Lazer uyarma konfigürasyonun da BG3 filtresinin (260-490nm) ve (680-1000nm) aralığında geçirme bandının olduğu görülmektedir. Geniş bir dalgaboyu aralığında ışığı geçirebilmektedir. Bu filtre göz ile kontrol edilecek olursa ışığı çok daha fazla geçirebildiği de görülmektedir. Bu filtreden iki adet kullanılarak ve lazer diyot kullanılarak oluşturulan okuma başlığı konfigürasyonun da çalışma voltajı doğal olarak daha aşağı bir seviyede yani 650 volt değerinde ortaya çıkmıştır.

### 4.3 BKA-Side Polyminerale İnce Tanecik Önısıtma Sıcaklığı ve Süresinin Tespiti

Poliminerale ince tanecik toprak örneklerinde önısıtma sıcaklık parametrelerinin bulunması mutlaka gereklidir. Eşdeğer doz ölçüm işleminde sığ tuzaklardan gelebilecek lüminesans sinyallerinin sonuç üzerinde sapmalara sebep olmaması için aşağıda özetlenen önısıtma aşamaları tamamlanarak önısıtma sıcaklık ve zaman değerleri bulunmuştur. Ön ısıtma işleminin hangi sıcaklıkta ne kadar sürede yapılacağını tespit etmek için izlenen işlemler ve sıralamaları aşağıda verilmiştir.

1) 68 adet disk hazırlanmıştır ve her bir grupta en az 3 adet disk olacak şekilde bütün diskler 19 gruba ayrılmıştır. Bu disk gruplarından 10 tanesi ön ısıtma sıcaklığı tespiti, 9 tanesi de ön ısıtma süresi tespiti için kullanılmıştır.

2) Bütün diskler gün ışığında taban sayım (background) seviyesi görülene kadar tutularak sıfırlanmıştır. Sıfırlanmanın tam olup olmadığı da ayrıca test okumaları yapılarak kontrol edilmiştir. Sıfırlanmadan sonra her bir diske 10 Gy doz verilmiştir. Bütün diskler 24 saat karanlıkta bekletilmiştir. Bu bekletme işleminin amacı dozlama sonrasında kristal örgünün dinlendirilmesidir.

3) Önısıtma sıcaklık deneyi için zaman parametresi 5 dakika olarak sabitlenmiştir

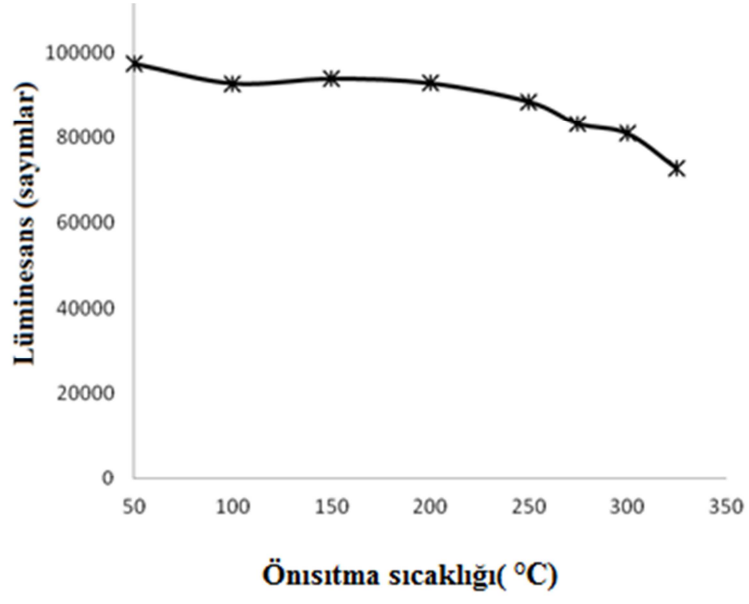
4) 10 grubun her biri 0-325°C arasında belirlenen farklı sıcaklık seviyeleri için 5 dakikalık zaman aralığı boyunca fırında tutulmuş daha sonra soğumaları için bütün diskler yaklaşık 2 saat karanlıkta beklemeye alınmıştır.

5) Disklerin OSL ölçümleri yapılarak OSL sayımlarının sıcaklıkla değişimi gösteren grafik şekil 4.8a'da verilmiştir. Bu grafikteki düz bölgenin ( plato, sayım kararlılığı olan bölge ) orta noktası olan 160 °C uygun ön ısıtma sıcaklığı olarak seçilmiştir.

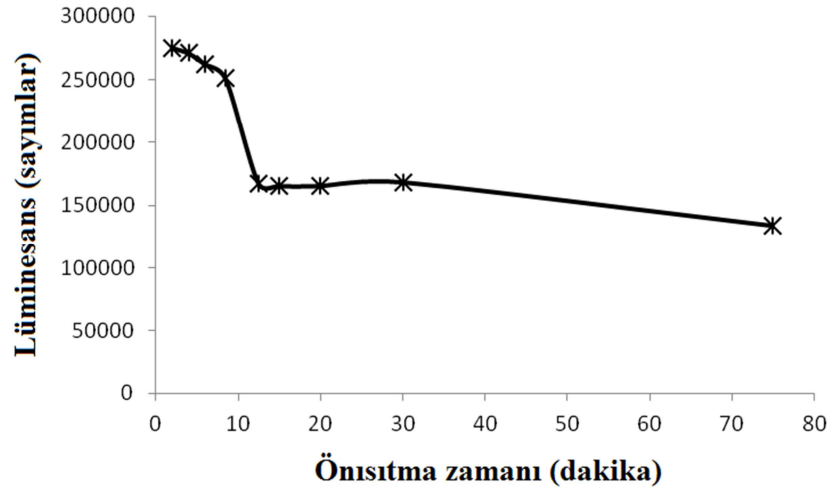
6) Ön ısıtma süresini tespit etmek için, fırın sıcaklığı 160°C'de sabitlenmiştir. Fırınlama süresi her bir grup için 0-21 dakika arasında belirlenen sürelerde değiştirilerek ön ısıtma sıcaklığının süresinin tespiti için deney geri kalan 9 disk gruba uygulanmıştır. OSL sayımlarının önısıtma süresine göre olan değişimi de şekil 4.8b'de gösterilmiştir. Bu grafikteki düz bölgenin ( plato, sayım kararlılığı olan bölge ) orta noktası olan 25 dakika uygun ön ısıtma süresi olarak polimineral ince tanecikler için seçilmiştir.



a



b



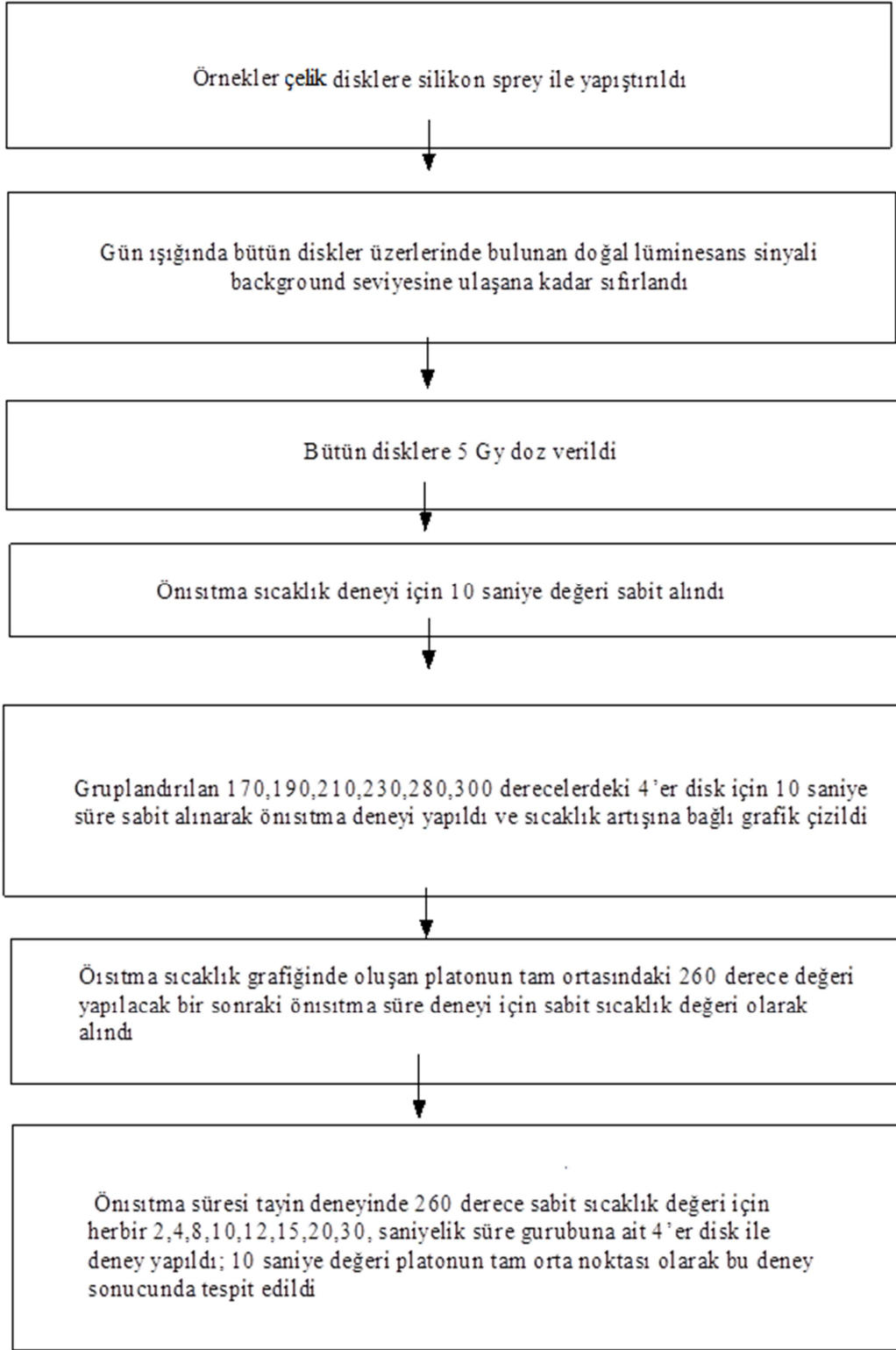
Şekil 4.8 (a) Önısıtma sıcaklığına bağlı lüminesans sayımı (b) önısıtma zamanına bağlı lüminesans sayımı

#### 4.4 KAT-Side Kuvars Kalın Tanecik Önısıtma Sıcaklığı ve Süresinin Tespiti

Çevresel radyasyona maruz kalan kuvars mineraline mavi veya yeşil ışık ile optik uyarmalı lüminesans yöntemi uygulandığında doğal olarak mineralde biriken eşdeğer doz ile orantılı olarak örnek üzerinde biriken lüminesans miktarı ölçülebilmektedir. Eğer bu örnek çökelti örneği ise eşdeğer dozun birikmeye başladığı zamana kadar çömlük, çanak gibi bir örnek ise ilk ısıtıldığı zamana kadar örneğin üzerinde birikmiş olan eşdeğer dozun miktarı belirlenebilmektedir. Murray ve Wintle (1999)'da izotermal bozunum deneyleri sonucunda (lüminesans değeri her bir tuzaklanan yük için tekrar düzeltmeye tabi tutuluyor) hem laboratuvarında hem de doğada dozlanmış olan Avusturalya çökelti örnekleri 30 000 senelik bir zaman dilimi için kontrol edilmiştir. Gözlenen doğal OSL sinyalinin ilk 0,4 saniye ortaya çıkan lüminesans değeri (%99) oranında 20°C oda şartlarında 10<sup>8</sup> senelik bir ömre sahip olduğunu, laboratuvarında dozlanan örneğin ise daha kısa bir ömre sahip olduğunu (~400 sene, 20°C sıcaklıkta) gözlemlemişlerdir. Bu istenmeyen sinyalleri gidermenin bir yolu ölçüm öncesinde (önısıtma olarak biliniyor) örnekleri bir süre ısıtmaktır. Fakat değişik sıcaklık ve zaman parametreleri farklı miktarlarda hassasiyet değişimine sebep olabilmektedir (Roberts vd. 1994). Oluşturulan tek tablet yenileme protokolü çerçevesinde 260°C 10 saniye'lik bir önısıtmanın kuvars için yeterli olduğunu belirtilmiştir. Yapılan birçok deneysel çalışmada da 260°C 10 saniye'lik önısıtma değeri yaygın olarak birçok araştırmacı tarafından da kullanılmış ve kabul edilmiştir (Murray ve Wintle 2000).

Kuvars mineralleri KAT-Side toprak örneklerinden aşağıdaki işlemler uygulanarak elde edilmiştir.

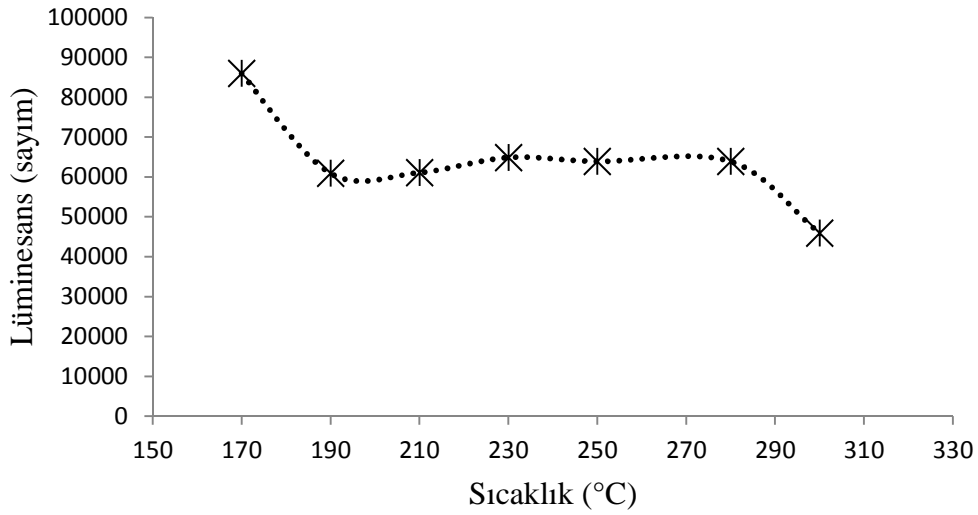
- Toprak örnekleri havan öğütücüde ezilerek toprak inceltirilmiştir.
- Öğütülen topraklar otomatik eleme sistemi ile elenerek 90µm ve 125 µm üzerindeki mineral parçacıkları ayrılmıştır.
- %10 HCL asit içerisinde reaksiyon tamamlanana kadar yaklaşık bir gün süre ile bekletilerek örnekler kalsitlerden arındırılmıştır.



Şekil 4.9 Kuvars önısıtma deneyine ait aşamalar ayrıntılı bir şekilde özetlenmiştir

- Örnekler üç kere saf su ile yıkanmıştır.
- %35 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> asiti içerisinde örnekler organik kalıntılardan arındırılmak için 24 saat bekletilmiştir.
- Örnekler üç kere tekrar saf su ile yıkanmıştır.
- %40 HF asit içerisinde 45 dakika bekletilerek kuvars mineral tanecikleri elde edilmiştir. Kuvars mineralinin elde edilebilmesi için gerekli olan 45 dakika süre deneyinin ayrıntısı 4.5 bölümünde anlatılmıştır.
- Etüv içerisinde kurutulan kuvars örnekleri silikon sprej yardımı ile çelik diskler üzerine yapıştırılmıştır.

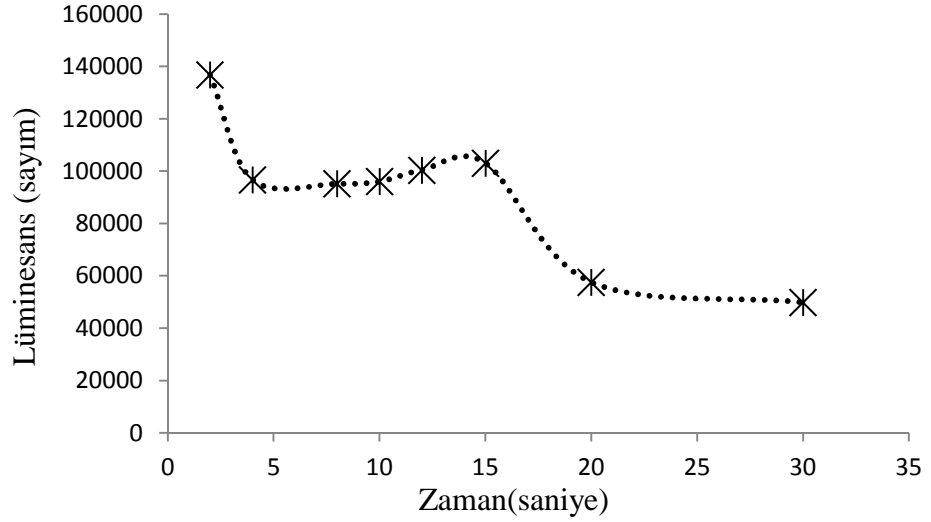
Kuvars tanecikleri kullanılarak şekil 4.9'da deney aşamaları anlatılan önısıtma prosedürü uygulanarak önısıtma sıcaklık ve önısıtma zaman parametreleri bulunmuştur. Deneyler yeni tasarlanan kuvars başlığı ile yapılmıştır.



Şekil 4.10 Kuvars tanecikler için önısıtma sıcaklığı ile lüminesans şiddetinin değişimi

Kuvars mineralinin önısıtma sıcaklık ve zaman parametrelerinin bulunabilmesi için iki değişken parametreden bir tanesi sabit tutularak (zaman) diğeri (sıcaklık) belirlenen aralıkta değiştirilir. Bir sonraki aşamada deneysel olarak ilk belirlenen parametre (sıcaklık) sabitlenir ve diğeri parametrenin(zaman) bulunması için ikinci deney yapılır. İlk yapılan deneyde zaman için 10 saniye değeri sabit alınarak deneye başlanılmıştır. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi plato aralığı 190°C'den başlamakta ve 280 °C'ye kadar devam etmektedir. 260°C değeri platonun yaklaşık orta noktasına rast gelmektedir. Literatür ile de uyum içinde olduğu için bu değer önısıtma sıcaklık değeri olarak

belirlenmiştir (Murray ve Wintle 2000). Önısıtma zaman deneyi için 260°C sıcaklık değeri sabit alınarak deneye devam edilmiştir. Önısıtma zaman deneyi 2sn ve 30 sn arasında 8 farklı nokta için yapılmıştır. Platonun yeri 5. ve 15. saniyeler arasında çıkmıştır (Şekil 4.11). Platonun orta noktası olan 10 saniye değeri önısıtma zaman parametresi olarak alınmıştır. Eşdeğer doz ölçümlerinde 260°C 10 saniye önısıtma sıcaklık ve zaman parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 4.11 Kuvars tanecikler için önısıtma zaman deneyinin grafiği

#### 4.5 KAT-Side Kuvars Kalın Tanecik Ayrımı için HF Asitde Bekletme Süre Tespiti

HF asit içerisinde bekleme süresinin tespiti için bu deney yapılmıştır. HF asit deneyinde her bir zaman aralığı için bir grup olmak üzere 7 ayrı disk grubu hazırlanmıştır. Hazırlanan kalın tanecik (90µm -125µm) toprak örnekleri aşağıda özetlenen örnek hazırlanma ön aşamasından geçtikden sonra HF asit ile deney yapılma aşamasına geçilmiştir.

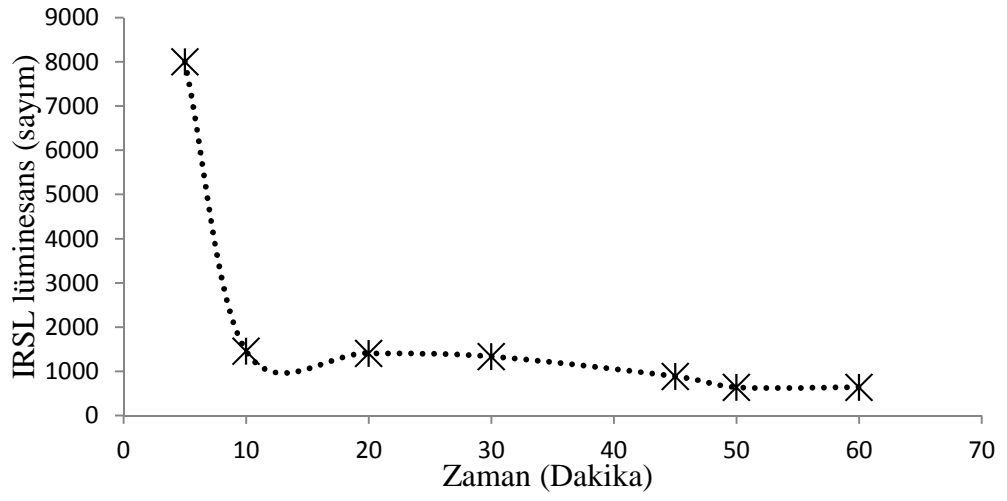
- %10 HCL asit içerisinde reaksiyon tamamlanana kadar bekletilerek örnekler kalsitlerden arındırılmıştır.
- Örnekler üç kere saf su ile yıkanmıştır.
- %35 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> asiti içerisinde örnekler organik maddelerden arındırılmak için 24 saat süre ile bekletilmiştir. Reaksiyonun tamamlandığı görülmüştür.
- Örnekler üç kere saf su ile yıkanmıştır.

Mineral tanecikleri HF asitde çok uzun bir süre tutulacak olursa bütün mineraller (feldspat ve kuvars) asit tarafından eritilmiş olacaktır. Mineral asitde bekletildiğinde feldspat minerali kalmadan sadece kuvars minerali kaldığında HF asit içerisindeki bekletme işlemine son verilmelidir. Örnekler kısa bir süre HF asitde tutulacak olursa feldspat minerali kuvars mineralinden tam olarak ayırlamayacağından dolayı kuvars mineralinin optik uyarmalı lüminesans (OSL) sinyali içerisinde feldspat mineralinin de katkısı bulunacaktır. % 40 derişime sahip HF asit ile süre deneyi yapılmıştır. Asit içerisinde belirlenen 5, 10, 20, 30, 45, 50, 60 dakikalık süreler boyunca tutulan her bir grup toprak örneği üç kere saf sudan geçirildikten sonra etüvde kurutulmuştur. HF asit cam beherleri erittiğinden dolayı HF asit deneyi için plastik kaplar kullanılmıştır.

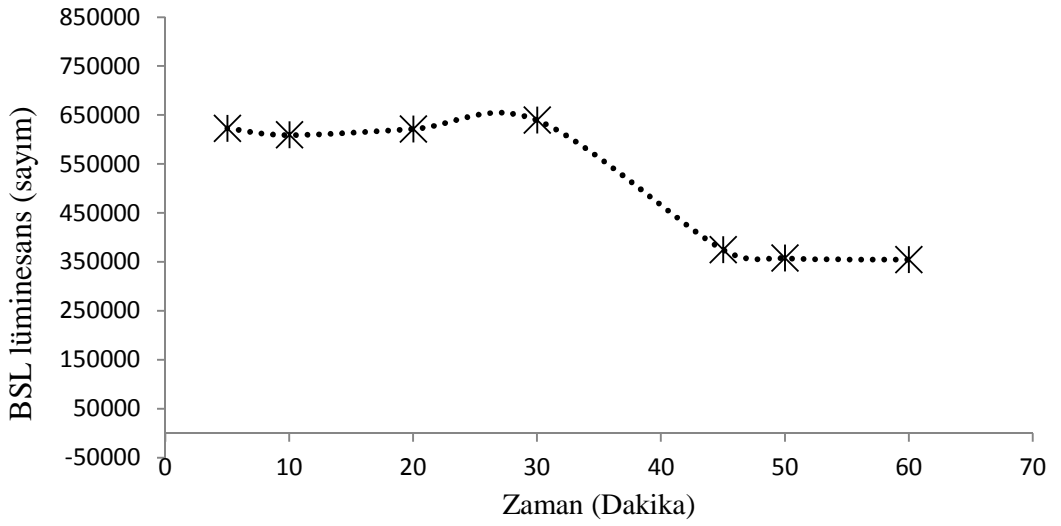
Kuvars minerali sadece mavi ve yeşil dalgaboyundaki ışık ile uyarılabilmektedir. Feldspat minerali infrared dalgaboylu ışık ile uyarılabildiği gibi daha kısa dalgaboylu mavi uyarmalı lüminesans ışığı ile de uyarılabilmektedir. Asit içerisinde bekletilen minerallerin önce IRSL sinyaline sonrada mavi uyarmalı lüminesans sinyaline bakılarak kuvars ve feldspat sinyalleri her bir aşamadaki süre için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Bütün gruptaki disklerin öncelikli olarak IRSL sinyallerine bakılmıştır. IRSL lüminesans ölçümü sonucunda feldspat miktarındaki azalma zamana bağlı olarak grafikten izlenebilmiştir (Şekil 4.12). Aynı örnekler IRSL okuması sonrasında mavi uyarma ile tekrar kontrol edilerek kuvars mineralinin lüminesans sinyalinin zamana bağlı olarak azalması gösterilmiştir (Şekil 4.13). Deney sonucunda 45 dakika süre boyunca HF asit içerisinde örneklerin bekletilmesinin yeterli olacağı sonucuna varılmıştır.

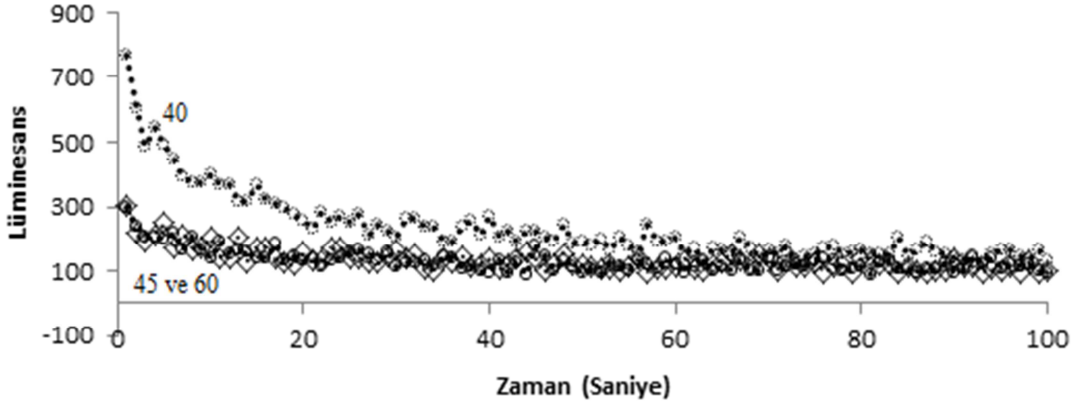
Şekil 4.14 incelenecek olursa feldspat lüminesans sinyallerinin 45. dakika ve 60. dakika lüminesans sinyallerinin aynı seviyede olduğu ve taban sayım (background) seviyesine yaklaşmış olduğu da görülebilmektedir. 45. dakika süreden sonra kuvars sinyalinin de sabit bir değer aldığı şekil 4.13'de rahatça görülebilmektedir. Asit içerisinde daha fazla bekletmek kuvars taneciklerin boyutunun daha da küçülmesine ve kuvarsa ait lüminesans sinyalinin büyüklüğünün de azalmasına sebep olacaktır.



Şekil 4.12 HF asitte feldspat mineralinin zamana bağlı lüminesans sinyali



Şekil 4.13 HF asitte kuvars mineralinin zamana bağlı lüminesans sinyali



Şekil 4.14 IRSL sinyalinin HF asitte 40,45 ve 60 dakika bekletilme sonrasındaki görünümü

#### 4.6 Elsec IRSL ve 650nm Lazer Uyarım Eşdeğer Doz Sonuç Karşılaştırması

IRSL polimineral ince tanecikler ile tarihlendirmede genellikle Schott BG39 filtresi infrared led(880Δ80nm) grupları ile beraber kullanılmaktadır. BG39 filtresi lüminesans ışığını geçirirken infrared uyarım ışığını filtrelemektedir. Birçok yapılan çalışmada sönüm düzeltme modellerine rağmen yapılan çalışmalarda (~ %25) oranında eşdeğer doz sonuçları beklenenin üzerinde çıkabilmektedir.

Loss çökeltilerinin 4-11μ olan kısmı ile çalışma yapan Lian (1997) IRSL yaşlarını beklenenin üzerinde (14C yaşları baz alınmıştır) bulmuştur. Bunun sebebi olarak da kalsiyum karbonat içeriğinin tuzaklarda sıfırlamayı zayıflatmış olabileceğini öne sürmüştür. Bir diğer karşılaştırmalı çalışmada polimineral ince tanecikler ile yapılan çalışmada IRSL sinyali, IRSL sonrası mavi, ve sadece mavi uyarım yapılarak eşdeğer doz sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Mavi uyarım ve IR sonrası mavi uyarıma göre IRSL eşdeğer doz değerleri beklenen değere göre %20 oranında yüksek çıkmıştır (Banerjee vd. 2001).

İlk yapılan OSL ölçümlerinde feldspat mineralleri 514nm dalgaboyunda lazer ile uyarılmıştır (Huntley vd. 1985). Termolüminesans spektrumu 400nm-620 nm aralığında olan bazı doğal feldspat mineralleri için 514,5nm ve 632,8 nm dalgaboylarında uyarımlar yapılarak bu sonuçlar literatürde paylaşılmıştır (Huntley vd. 1989).



Feldspat emisyon bandları 280nm, 330 nm, 410nm, 560nm ve 700nm olarak raporlanmıştır (Krbetschek vd. 1996). Bir kısım loss çökeltilerinde uzak kırmızı IRSL emisyonlarının (700nm) olduğunu gösteren çalışmalarda yapılmıştır (Lai vd. 2003).

650nm lazer uyarımlı lüminesansa yakın dalgaboylarında benzer deneysel çalışmalar geçmişte yapılmış olmasına rağmen yeni yapılan bu çalışma ile Schott BG3 optik filtresi kullanılarak rapor edilen feldspat emisyon bandlarının birçoğunu da içine alacak şekilde farklı bir deneysel çalışma oluşturulmuştur. Geçmişte ve günümüzde yaygın olarak kullanılan 9235QA model fotoçoğaltıcı tüplerin algılama sınırı 600nm'den daha yukarılara çıkamamaktadır. Çalışmada kullanılan R9110 fotoçoğaltıcı tüpü 200nm-900nm aralığında benzerlerine göre daha geniş bir spektrum aralığında algılama yapabilmesi 700nm dalgaboyundan gelebilecek olası lüminesans sinyallerinin de değerlendirilmeye alınmasını sağlamıştır (Doğan ve Meriç, 2014).

Üzerinde BKA-Side polimineral ince tanecik toprak örneği olan 6 adet diskin şekil 4.15'de lazer uyarmalı lüminesans bozunum eğrileri görülmektedir. Aynı disklerin şekil 4.16'de tek disk tablet yenileme (SAR) yöntemi uygulanarak çizilmiş doz cevap doğruları görülmektedir. Lazer uyarma yöntemi ile tuzaklar kısa bir süre içerisinde boşalmaktadır. Şekil 4.15'de lüminesans bozunum eğrisine bakılacak olursa ilk 10 saniye içerisinde lüminesans bozunum eğrisi taban sayım (background) seviyesine kadar inmiştir. Aynı BKA-Side örneğinden diğer 6 disk'in ELSEC-9010 IRSL sistemi ile de tekrar ölçümü yapılmıştır. Şekil 4.17'de IRSL lüminesans bozunum eğrileri de görülmektedir. Tuzakların boşalabilmesi için 100 saniye gibi bir süre uyarma yapılması gerekmektedir. Şekil 4.18'de IRSL uyarma yapılmış olan disklerin tek disk tablet yenileme (SAR) yöntemi uygulanarak çizilmiş doz cevap doğruları görülmektedir.

Tablo 4.1'de her okuma başlığından elde edilmiş eşdeğer doz sonuçları da özetlenmiştir. 650nm lazer uyarmalı başlık ile elde edilen en yüksek eşdeğer doz değeri 6,4Gy'dir. ELSEC-IRSL okuma başlığında bu değer 7,4Gy olduğu görülmektedir. Arada 1 Gy seviyesinde bir azalma olduğu görülmektedir. Diğer disklere de bakılacak olursa yaklaşık bu seviyede bir değişim olduğu yine görülecektir. Eşdeğer doz değerleri genel olarak dağılıma bakılacak olursa yeni lazer uyarmalı okuma başlığında ortalama 1-1,5 Gy arasında azalma göstermiştir. Her okuma başlığına ait 6 diskin ortalama değerlerine bakılacak olursa daha iyi bir fikir elde edilecektir. 650nm lazer uyarma başlığında

ortalama 5,05 Gy eşdeğer doz elde edilirken ELSEC-IRSL başlığında ortalama 6,63 Gy eşdeğer doz elde edilmiştir. Side Antik Tiyatrosunun tarihi göz önünde bulundurularak bu eşdeğer dozun 4,8Gy seviyelerinde olması gerektiği öngörülmektedir.

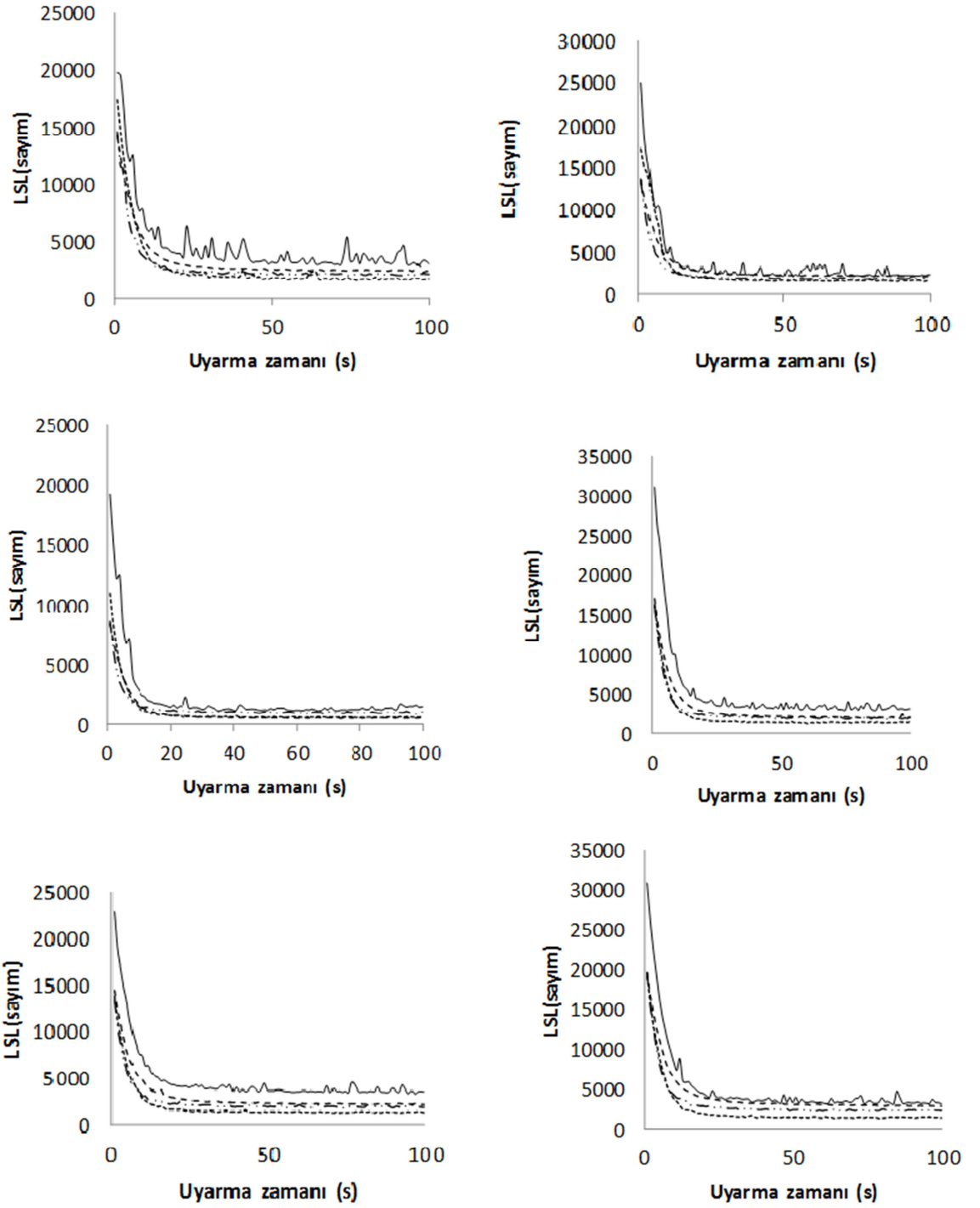
Daha önceki yapılan birçok çalışmada da sıkça rastlanılan IRSL yaş okumalarının beklenenden daha yüksek bir seviyede ortaya çıkması gibi bir problem, yeni tasarlanan okuma başlığı ile belli bir seviyede düzeltilenmiştir.

Çizelge 4.1 650 nm Lazer uyarma başlığı ve ELSEC IRSL okuma başlıklarının ortalama eşdeğer doz sonuçları

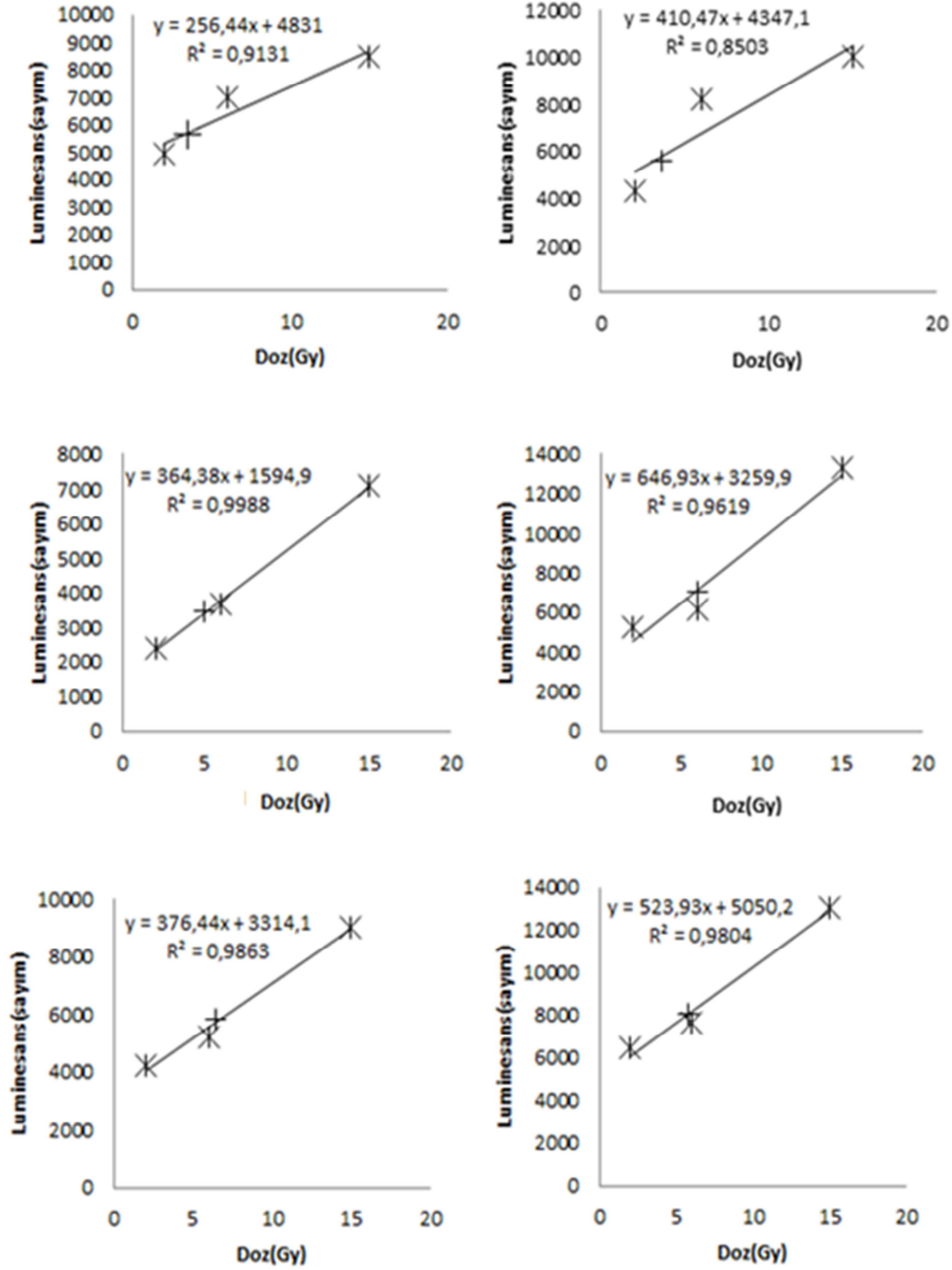
R9110 fotoçoğaltıcı tüp	
650 $\Delta$ 10 nm Lazer uyarım iki adet Schott BG3 filtre	ED(Gy)
SDSAR1	3,5
SDSAR2	3,6
SDSAR3	5
SDSAR4	6
SDSAR5	5,8
SDSAR6	6,4
Ortalama	5,05

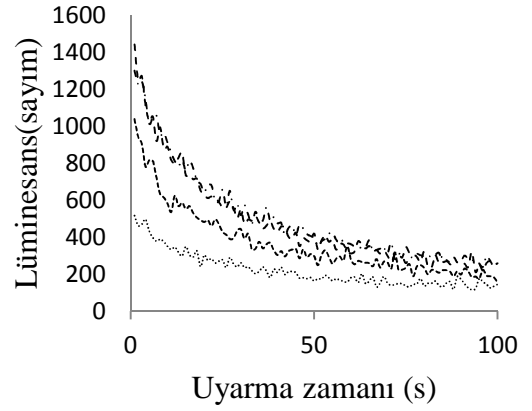
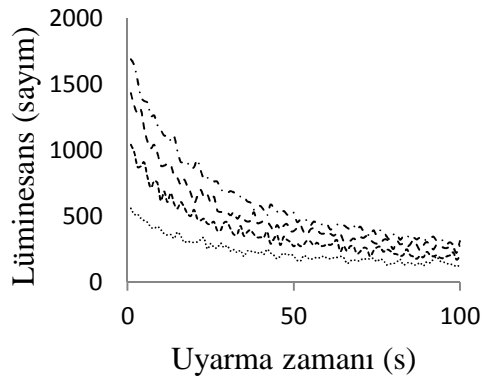
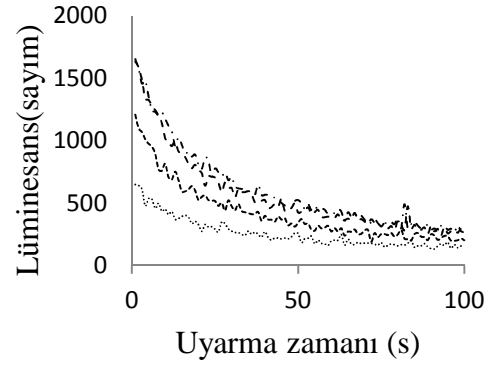
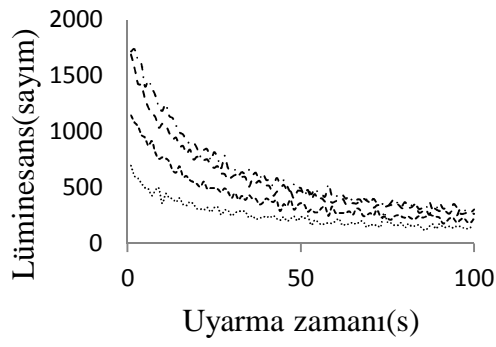
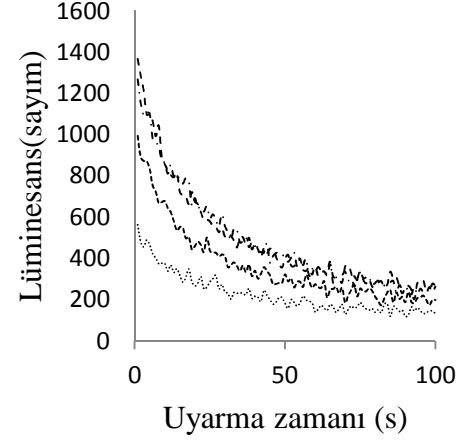
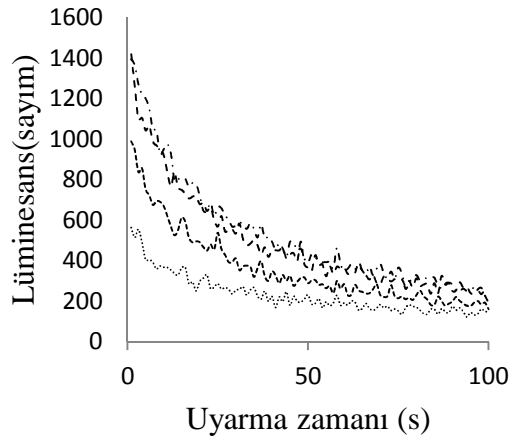
Thorn EMI 9235QA fotoçoğaltıcı tüp	
IR 880 $\Delta$ 80 nm uyarma bir Schott BG39 filtre	ED(Gy)
SDSAR7	6,6
SDSAR8	6,1
SDSAR9	6,9
SDSAR10	6,5
SDSAR11	7,4
SDSAR12	6,3
Ortalama	6,63



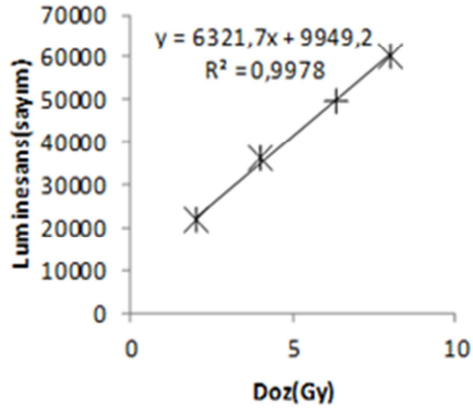
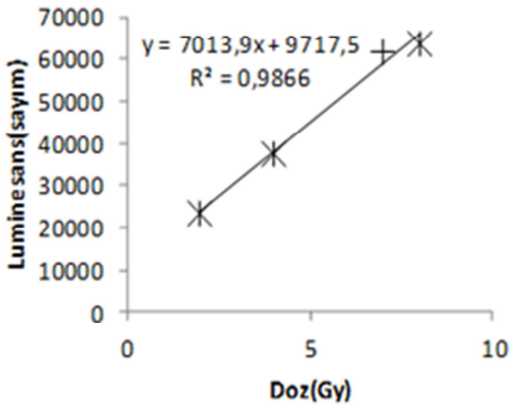
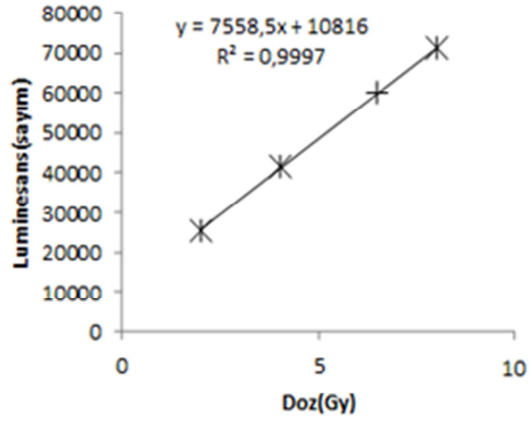
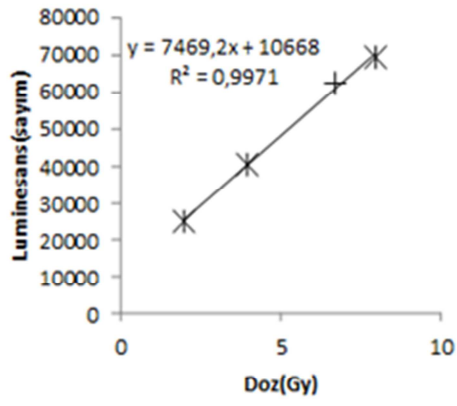
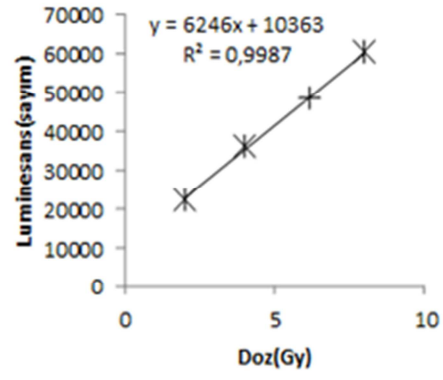
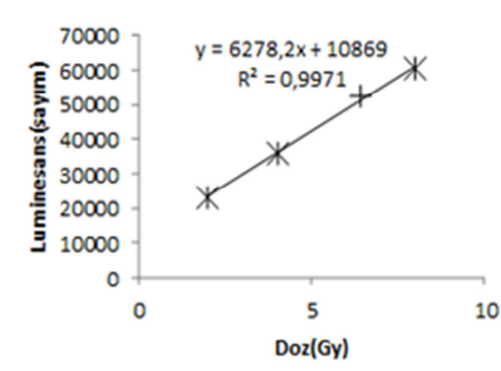
Şekil 4.15 BKA-Side numunesi polymineral ince tanecik 6 adet diskin 650nm lazer uyarımlı lüminesans (LSL) bozunum eğrileri 2, 6, 15 Gy dozlar için zamana bağlı bozunumu



Şekil 4.16 SAR yöntemi ile eşdeğer doz tespiti için BKA-Side numunesi kullanılarak hazırlanan 6 adet poliminerale ince tanecik diskin 650nm lazer uyarımı ile verilen dozlara karşılık gelen OSL şiddetlerinin gösterildiği doz cevap doğruları



Şekil 4.17 BKA-Side numunesi polimineral ince tanecik 6 adet diskin infrared uyarmalı lüminesans bozunum eğrileri 2,4,6,8 Gy dozlar için zamana bağlı bozunumu



Şekil 4.18 SAR yöntemi ile eşdeğer doz tespiti için BKA-Side numunesi kullanılarak 6 adet poliminerale ince tanecik diskin infrared uyarımı ile verilen dozlara karşılık gelen OSL şiddetlerinin gösterildiği doz cevap doğruları

#### 4.7 R9110 Kuvars Okuma Başlığı ve RISØ TL/OSL Kuvars Eşdeğer Doz Sonuçlarının Karşılaştırılması

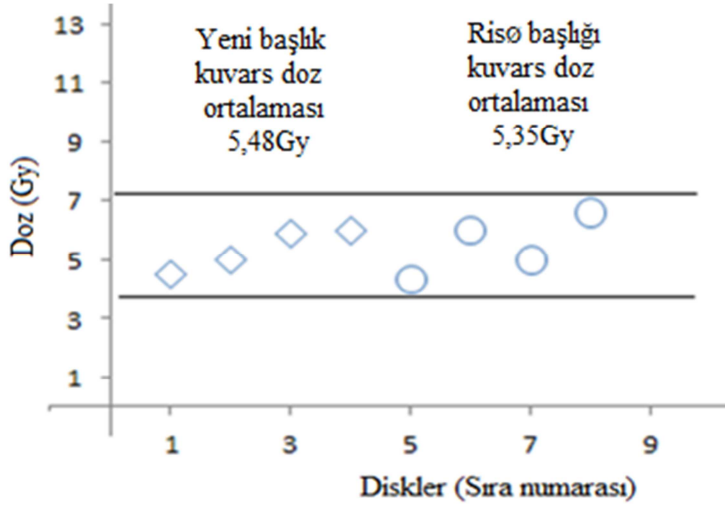
Kuvars örnekler KAT-Side ismi ile kodlanmış olan toprak örneklerinden elde edilmiştir. Asit aşamalarından geçtikten sonra elde edilen kalan kuvars örnekleri çelik diskler üzerine homojen bir şekilde silikon sprej ile yapıştırılmıştır. Aşağıda bu aşamalar kısaca özetlenmiştir.

- %10 HCL asit içinde 90 µm -125µm ölçeğindeki toprak örnekleri 1 gün süre ile tutularak kalsitlerden arındırılmıştır. Reaksiyon tamamlanana kadar işleme devam edilmiştir.
- Örnekler bir sonraki asit aşamasına geçebilmesi için 3 kere saf sudan geçirilmiştir.
- %35 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içinde 1gün süre ile tutularak organik kalıntılardan arındırılmıştır.
- Örnekler bir sonraki asit aşaması için tekrar 3 kere saf sudan geçirilmiştir.
- %40 derişime sahip HF asit içerisinde 45 dakika tutularak kuvars mineralleri elde edilmiştir. Örnekler IRSL uyarma yapılarak feldspat kontaminasyonu olmadığı da doğrulanmıştır.
- En son oluşan kuvars mineralleri saf su ile temizlenerek etüvde kurumaya bırakılmıştır.

Kuvars okumaları için RISØ mavi uyarma başlığı ve yeni tasarlanan kuvars okuma başlığı kullanılmıştır. Eşdeğer doz sonuçlarının RISØ cihazı ile yapılan deney sonucu ortalaması 5,48Gy olmuştur. R9110 kuvars okuma başlığı ile eşdeğer doz ortalaması 5,35 Gy bulunmuştur. Grafikselsel olarak da her bir diskin eşdeğer doz sonucu şekil 4.19'da ayrı ayrı gösterilmiştir. Eşdeğer doz dağılımları aynı aralık içerisinde düşmektedir. Diskler 4Gy ile 7Gy arasında genel bir dağılım göstermektedir. Radyasyonun doğasından dolayı verilerde bir miktar saçılma gözlenmesi doğaldır. RISØ ve yeni tasarlanan kuvars okuma başlığı eşdeğer doz verilerinin genel dağılımına bakıldığında birbirleri ile uyum içerisinde çıktığı görülmektedir.

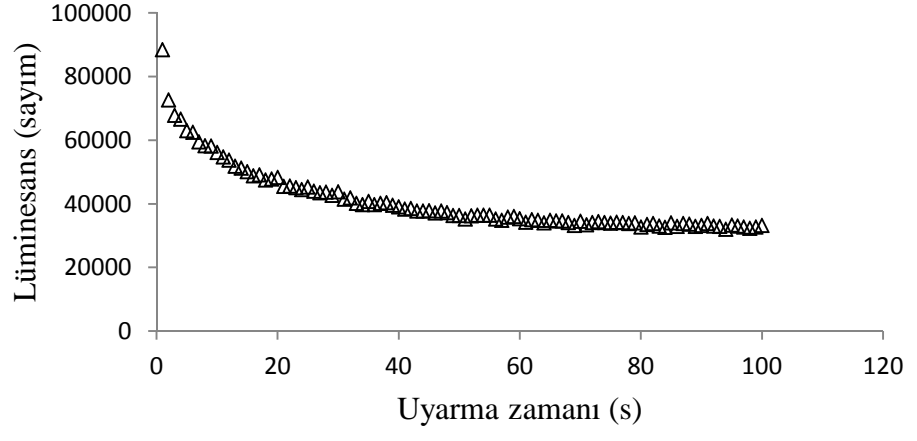
Şekil 4.21’de tasarlanan kuvars okuma başlığı kullanılarak tek disk tablet yenileme (SAR) yöntemi ile çizilmiş doz cevap doğruları görülmektedir. RISO mavi uyarma başlığı kullanılarak tek disk tablet yenileme (SAR) yöntemi ile çizilmiş doz cevap doğruları şekil 4.22’de görülmektedir. Yeni okuma başlığının mavi uyarımalı lüminesans okuması  $24\text{mW/cm}^2$  ışık gücüne sahiptir. Saçılmalardan dolayı ışığın örnek üzerindeki yoğunluğu bir miktar azalmaktadır. Kuvars bozunum eğrisinin sağlıklı bir şekilde olduğu şekil 4.20’de görülmektedir. Okuma süresi olarak 100 saniye alınmıştır.

SAR prosedürüne göre disklerin her okumadan sonra tam olarak sıfırlanmasına özen gösterilmiştir. Gün ışığı kullanılarak disklerin üzerindeki lüminesans sinyalinin taban sayım (background) seviyesine gelmesi sağlanmıştır.

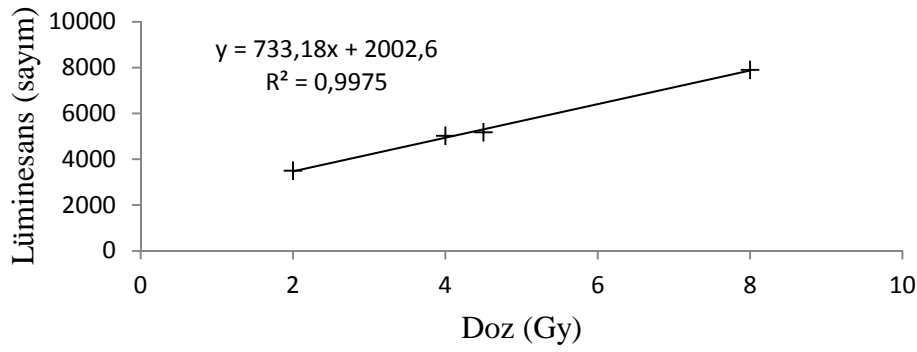
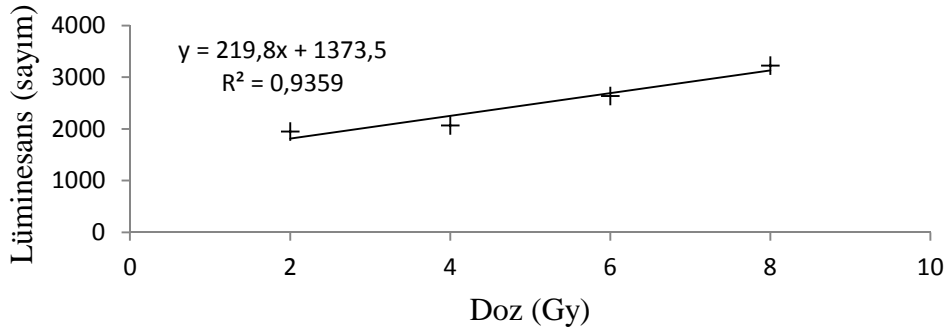
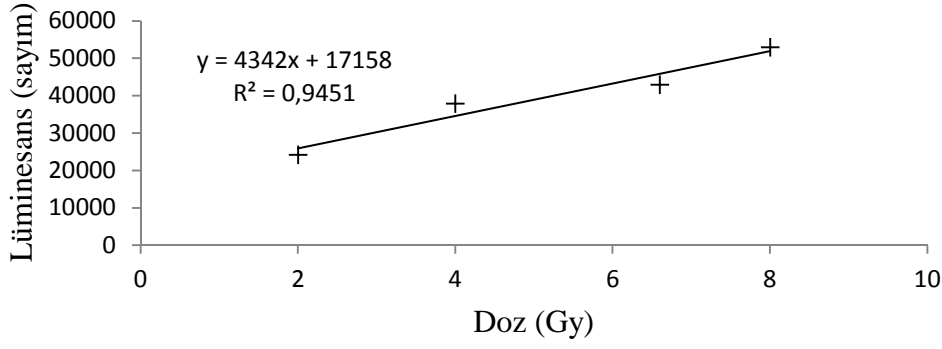
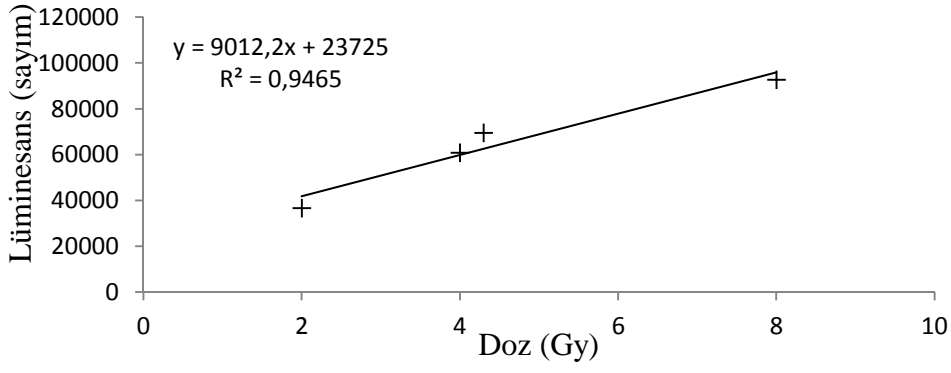


Şekil 4.19 KAT-Side örneklerinden hazırlanan kuvars disklerin RISØ ve yeni kuvars okuma başlıkları kullanılarak elde edilmiş ortalama eşdeğer doz sonuçları ve grafiksel olarak gösterimi

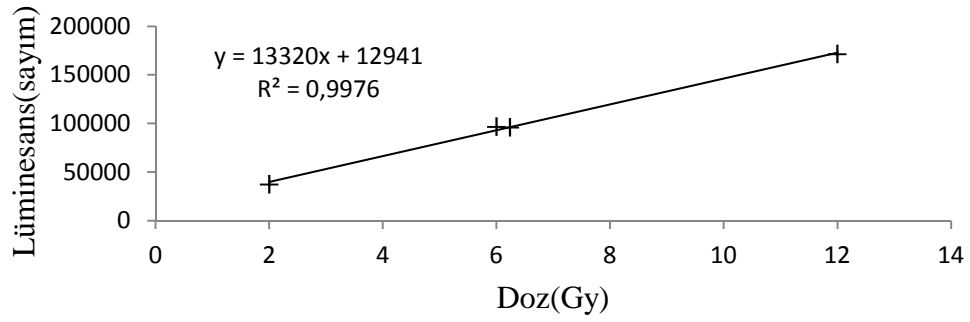
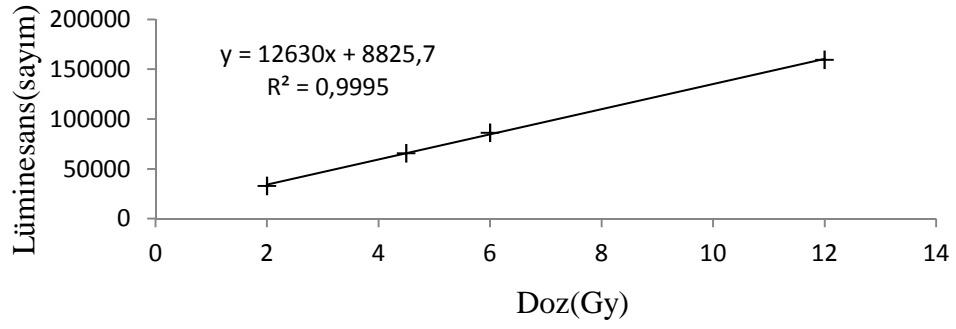
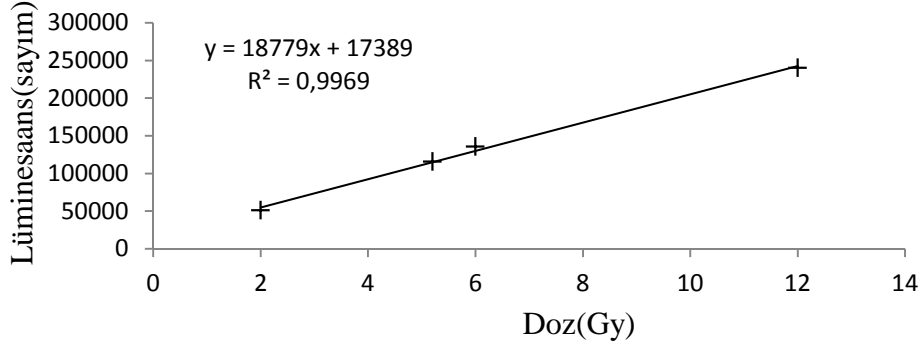
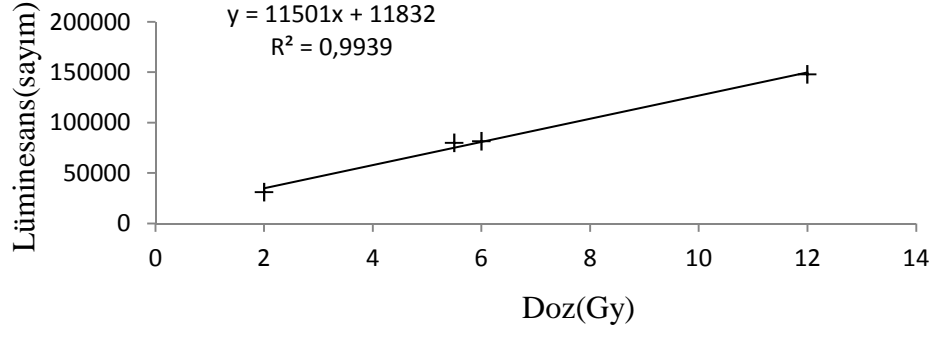




Şekil 4.20 KAT-Side örneklerinden hazırlanan kuvars diskin yeni tasarlanan mavi uyarımlı okuma başlığı kullanılarak elde edilmiş bozunum eğrisi



Şekil 4.21 KAT-Side numunesi 4 adet kuvars diskin mavi uyarımlı başlık ile tek disk tablet yenileme yöntemi (SAR) kullanılarak çizilmiş doz cevap doğruları



Şekil 4.22 KAT-Side numunesi 4 adet kuvars diskin RISO mavi uyarma başlığı kullanılarak tek disk tablet yenileme yöntemi (SAR) kullanılarak çizilmiş doz cevap doğruları

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

İlk oluşturulan konfigürasyonda polimineral ince tanecikler IRSL uyardan farklı olarak yeni tasarlanan 650nm lazer uyarma kaynağı olan okuma başlığı ile denenmiştir. Elde edilen eşdeğer doz sonuçları ELSEC konvansiyonel IRSL başlığının eşdeğer doz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Side Antik Tiyatrosunun tarihi göz önünde bulundurularak bakıldığında IRSL okuma başlığı ile elde edilen eşdeğer doz sonuçları beklenen sonucun üzerinde çıkmıştır. 650 nm lazer uyarma ile Schott BG3 filtreler kullanılarak aynı yaş aralığı göz önünde tutulduğunda daha sağlıklı sonuçlar elde edilmiştir. Feldspat minerali için literatürde raporlanan lüminesans ışınım aralıklarından 280nm, 330 nm, 410nm ve 700nm dalgaboyu aralıkları yeni başlığın ölçüm yapma aralığına girmektedir (Krbetschek vd. 1996). 560nm dalgaboyu feldspat lüminesans ışınımı Schott BG3filtresinin özelliğinden dolayı lüminesans ölçüm aralığı dışında kalmıştır. ELSEC-9010 cihazında eşdeğer doz ölçümleri IRSL uyarma yapılarak BG39 filtre kullanıldığında 330nm, 410nm ve 560nm band aralıklarından gelebilecek lüminesans ışınimleri değerlendirilmiştir. Yeni fotoçoğaltıcı tüpün spektrum algılama aralığı 900nm değerine kadar geniş olması ayrıca 700nm dalgaboyundan gelebilecek feldspat emisyonlarının da yeni lazer uyarımlı başlıkta değerlendirilmesini sağlamıştır. ELSEC-9010 IRSL başlığı eşdeğer doz ortalaması 6,63Gy olarak, 650nm lazer uyarımlı başlık eşdeğer doz sonucu ortalaması 5,05Gy olarak çıkmıştır. Sonuç olarak lazer uyarma başlığı kullanılarak polimineral ince tanecikli örnekler sağlıklı bir şekilde değerlendirilmiştir. Lazer uyarma ile elde edilen eşdeğer doz sonuçları ELSEC IRSL başlığının doz sonuçlarına göre 1,5 Gy seviyesinde daha aşağıda bir değer çıkmıştır. Birçok tarihlendirme çalışması ve sönüm düzeltme modellerine rağmen IRSL tarihlendirme çalışmalarında (yaklaşık %25) civarında beklenen yaş değerine göre yüksek değerler çıktığı gözlenmiştir (Lian 1997, Banerjee vd. 2001, Doğan ve Meriç 2014). Bu deneysel düzenleme IRSL ile yapılan polimineral ince tanecik çalışmaları için bir alternatif deneysel düzenleme olarak kullanılabilir.

Kuvars okuma başlığı oluşturmak için yeni okuma başlığının filtre ve ışık kaynağı kuvars mineraline göre yeniden düzenlenerek aynı fotoçoğaltıcı tüp ve başlık farklı bir çalışma şekli ile tekrar düzenlenmiştir. Kuvars okuma başlığına ışık uyarma kaynağı olarak Osram marka mavi dalgaboylu ledler takılmıştır. Filtre olarak da kuvars başlığında yaygın olarak kuvars başlığı konfigürasyonların da kullanılan Schott UG11

filtresi kullanılmıştır. Bu oluşturulan konfigürasyon ile bulunan kuvars eşdeğer doz sonuçları RISO cihazının mavi uyarma başlığı ile de deneyler yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kuvars eşdeğer doz sonuçları RISØ cihazı için ortalama 5,48Gy olarak elde edilmiştir. Yeni başlık kullanılarak kuvars minerali için eşdeğer doz ortalaması 5,35 Gy bulunmuştur. Elde edilen eşdeğer doz sonuçları birbirleri ile uyum içerisinde çıkmıştır.

Çalışmada eşdeğer doz ölçümü için sahadan alınan örnekler dikkatli bir şekilde ışık görmeden alınarak laboratuvara getirilmiştir. Örneklerin alındığı toprak ve çevresindeki homojenlik tarihlendirme aşamasında çok büyük önem taşımaktadır. Kazı bölgesinde homojen bir toprak yapısına sahip olan kazı kesitlerinden örnekler dikkatli bir şekilde alınmıştır.

Cihaz geliştirme aşamasında eski çalışan başlığın bütün ayrıntıları incelenerek yeni tasarlanacak olan başlığın ELSEC-9010 OSL tarihlendirme sistemi ile uyumlu olması sağlanmıştır. Örnek olarak ELSEC-9010 okuma başlığının bütün soket girişlerinin aynısı temin edilerek yeni tasarlanan okuma başlığına, bu soketlerin montajları yapılmıştır. Dışarıdan ELSEC cihazının verdiği tepkiyi anlayabilmek amacı ile değişik frekanslarda kare dalga sinyaller verilerek ELSEC foton sayma kartının çalışma prensibi araştırılmıştır. Verilen test sinyali sinyal jeneratörünün izin verdiği en düşük 20 mV değerinden başlanarak kademe kademe birkaç volt değerine kadar artırılmıştır. Foton sayma kartı 1kHz frekans için saniyede 1000 sayım, 100 kHz frekans için saniyede 100 bin sayım vererek test sinyaline doğrusal bir tepki vermiştir. İki farklı konfigürasyonda da başlık düzenlenerek bahsedilen eşdeğer doz okuma deneyleri yapılmıştır. Önyükselteç kartında yapılacak çok küçük değişiklikler ile genç yaştaki örneklerin tarihlendirilebileceği öngörülmektedir. Genç yaştaki örneklerin tarihlendirilebilmesi adli tıp çalışmalarında tarihlendirme yapılabilmesine olanak verecektir.

Yeni tasarlanan okuma başlığı bütün parçaları ve elektronik kartları ile eski başlıktan tamamen farklı bir şekilde üretilmiştir. Okuma başlığının parçalarının tasarlanması ve geliştirilmesi deneysel aşamada birçok açıdan esneklik sağlamaktadır. Yurtdışından temin edilen birçok cihaz garanti kapsamında olmasından, arıza yapma ihtimali gibi sebeplerden cihazların modifikasyonu veya yenilerinin yapılması her zaman sınırlanmaktadır. Tasarım aşamasında ihtimal dâhilinde olan ve olmayan birçok arıza

yapılan çalışmada da oluşmuştur. Bu gibi riskler göze alındığında farklı deney cihazları kolayca tasarlanabilecektir. Deney cihazlarının birçok parçası ve elektronik kartları ülkemizde yapıldığı zaman bir parçanın arızalanma endişesi olmadan her türlü deney düzeneği farklı amaçlar için laboratuvarımızda kurulabilecektir. Yeni ve özgün olan deneysel çalışmalar bu yeni tasarlanan cihazlar kullanılarak çok daha rahat yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Aitken, M.J. 1985. Thermoluminescence dating. Academic Press, 351 s. England.
- Aitken, M.J. 1998. An introduction to optical dating. Oxford University Press, 267 s. Oxford.
- Anonymous. 1993. 9010 Optical dating system user manual. Littlemore scientific engineering 47 s., Oxford.
- Anonymous. 2003. Hamamatsu Photomultiplier Tubes. Hamamatsu Photonics 120 s., Japan.
- Anonymous 2013. Web Sitesi <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electronic/schmitt.html>, Erişim Tarihi: 18.10.2013.
- Anonymous. 2014. Web Sitesi: <http://amazingsolids.wordpress.com/15/imperfections-in-solids-stoichiometric-and-impurity-defects>, Erişim Tarihi: 01.03.2014.
- Anonymous. 2014. Web Sitesi: <http://www.engineersgarage.com/contribution/wireless-patient-heartbeat-and-temperature-monitoring-system?page=6>, Erişim Tarihi: 05.03.2014.
- Anonymous 2014. Web Sitesi: <http://www.elektromania.net>, Erişim Tarihi: 15.03.2014.
- Atlıhan, M.A. and Meriç, N. 2008. Luminescence dating of a geological sample from Denizli, Turkey. Applied Radiation and Isotopes, 66: 69-74.
- Atlıhan, M.A. 2008. Ege çöküntü sistemindeki bazı deprem izlerinin lüminesans yöntemiyle incelenmesi. Doktora tezi. Ankara Üniversitesi, 106 s. Ankara
- Auclair, M. Lamothe, M. and Huot, S. 2003. Measurement of anomalous fading for feldspat IRSL using SAR. Radiation Measurements, 37, 487 – 492.
- Banerjee, D. Murray, A.S. Bøtter-Jensen, L. and Lang, A.2001. Equivalent dose estimation using a single aliquot of polymineral fine grains. Radiation Measurements, 33,73–94.
- Bøtter-Jensen, L. and Duller, G.A.T. 1992. A new system for measuring OSL from quartz samples. Radiation Measurements, 20, 549 – 553.
- Bøtter-Jensen, L. Duller, G.A.T. Murray, A.S. and Banerjee, D. 1999a. Blue light emitting diodes for optical stimulation of quartz in retrospective dosimetry and dating. Radiation Protection Dosimetry, 84, 335-340.
- Bøtter-Jensen, L. Mejdahl, V. and Murray, A.S. 1999b. New light on OSL. Quaternary Geochronometry, Quaternary Science Reviews, 18,303-309.
- Bøtter-Jensen, L. 2000. Development of optically stimulated luminescence techniques using natural minerals and ceramics, and their application to retrospective dosimetry. Phd. Thesis. Riso National Laboratory, 185 s. Roskilde, Denmark.
- Bøtter-Jensen, L. McKeever, S.W.S. and Wintle, A.G. 2003. Optically stimulated luminescence dosimetry. Elsevier Science B.V.355 s. Netherlands.

- Chen, Y.G. Chen, Y.W. Chen, W.S. Zhang, J.F. Zhao, H. Zhou, L.P. and Li, S.H. 2003. Preliminary results of long-term slip rates of 1999 earthquake fault by luminescence and radiocarbon dating. *Quaternary Science Reviews*, 22, 1213–1221.
- Duller, G.A.T. and Bøtter-Jensen, L. 1993. Luminescence from potassium feldspat stimulated by infrared and green light. *Radiation Protection Dosimetry*, 47, 683–688.
- Doğan, M. and Meriç, N. 2014. 650 nm laser stimulated dating from SIDE Antique Theatre, TURKEY. *Radiation Physics and Chemistry*, 96, 60–68.
- Emmanuel J. Sendezera, George J. Susino, Ann G. Wintle . 2009. Quartz as a natural luminescence dosimeter. *Earth-Science Reviews*, 97, 184–214.
- Huntley, D.J. Godfrey-Smith, D.I. and Thewalt, M.L.W. 1985. Optical dating of sediments. *Nature*, 313,105–107.
- Huntley, D.J. McMullan, W.G. Godfrey-Smith, D.I. and Thewalt, M.L.W. 1989. Time dependent recombination spectra arising from optical ejection of trapped charges in feldspats. *Journal of Luminescence*, 44(1–2), 41–46.
- Krbetschek, M.R. Rieser, U. and Stolz, W.1996. Optical dating: some luminescence properties of natural feldspats. *Radiation Protection Dosimetry*, 66(1–4),407–412.
- Krbetschek, M.R. Gotze, J. Dietrich, A. and Trautmann, T. 1997. Spectral information from minerals relevant for luminescence dating. *Radiation Measurement*, 27, 695-748.
- Serway, R.A. 1996. Fen ve mühendislik için Fizik III (çeviri: kurul), 1. baskı, Palme Yayıncılık, 343 s, Ankara.
- Spooner, N.A. 1994b. The anomalous fading of infrared stimulated luminescence from feldspats. *Radiation Measurement*, 23, 625-632.
- Roberts, R.G. Spooner, M.A. and Questiaux, D.G. 1994. Palaeodose underestimates caused by extended-duration preheats in the optical dating of quartz. *Radiation measurements*, 23, 647-653.
- Krane, K.S. 2001. Nükleer fizik I (çeviri: kurul). Palme yayıncılık, 404 s. Ankara.
- Lai, Z.P. Stokes, S. Bailey, R. Fattahi, M. and Arnold, L. 2003. Infrared stimulated red luminescence from Chinese loess: basic observations. *Quaternary Science Reviews*, 22 (10–13),961–966.
- Lian, O.B. 1997. Quaternary Geology of the Fraser Valley Area, Big Bar Creek to Pavillion. University of Western Ontario, Southcentral British Columbia. (Ph.D. Thesis, unpublished).
- Murray, A.S. and Wintle, A.G. 1999. Isothermal decay of optically stimulated luminescence in quartz. *Radiation Measurements*, 30, 119–125.



- Murray, A.S. and Wintle, A.G. 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements*, 32, 57–73.
- Murray-Wallace, C.V. Banerjee, D. Bourman, R.P. Olley, J.M. and Brooke, B.P. 2002. Optically stimulated luminescence dating of Holocene relict foredunes, Guichen Bay, South Australia. *Quaternary Science Reviews*, 21,1077–1086.
- S. W. S. McKeever 1985. *Thermoluminescence of Solids*. Cambridge Press, 376 s.
- Tanır, G. Meriç, N. Aytekin, H. and Okuducu, Ş. 2004. A fitting procedure for palaeodose from old sandstone using IRSL. *Czechoslovak Journal of Physics*, 54, 941-946.
- Tanır, G. Şencan, E. Bölükdemir, M.H. Türköz, M.B and Tel, E. 2005. Application of the luminescence single-aliquot technique for dose estimation in the Marmara Sea. *Journal of Environmental Radioactivity*, 84, 409-416.
- Thomsen, K.J. 2004 . *Optically Stimulated Luminescence Techniques in Retrospective Dosimetry using Single Grains of Quartz extracted from Unheated Material*. Ph.D. Thesis, Risø National Laboratory, 17-41s, Roskilde, Denmark .
- Vandenbergh, D. 2004. Investigation of the optically stimulated luminescence dating method for application to young geological sediments. Phd. Thesis. Universiteitgent, 298s., Hollanda.
- Veronese, I. Göksu, H.Y. Schwenk, P. and Herzig, F. 2007. Thermoluminescence dating of a mikveh in Ichenhausen, Germany. *Journal Environmental Radioactivity*, doi:10.1016/j.jenvrad.2007.09.002.
- Visocekas, R. 1985. Tunnelling radiative recombination in labradorite; its association with anomalous fading of thermoluminescence. *Radiation Measurements*, 10, 521-529.
- Wintle, A.G. 1973. Anomalous fading of thermoluminescence in mineral samples. *Nature*, 245, 143-144.
- Wilson, J. Hawkes, J.F.B. *Optoelectronics*. (Çeviri:İbrahim Okur), 1.baskı, Değişim yayıncılık, 518 s, Adapazarı.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Mustafa Doğan

Doğum Yeri :Yozgat

Doğum Tarihi :03.07.1977

Medeni Hali :Evli

Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Fethiye Kemal Mumcu Anadolu Lisesi (1995)

Lisans :Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü (Eylül 1999)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği  
Anabilim Dalı (2008)

### Yayınlar (SCI)

**M. Doğan**, N. Meriç ,“650 nm laser stimulated dating SIDE Antique Theatre, TURKEY”, Radiation Physics and Chemistry (2014) Volume 96, Pages 60–68. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.08.011>

### Hakemli Dergiler

**M. Doğan**, N. Meriç, Yusuf Kagan Kadioğlu, Refik Samet , “Gis Approach to Radioactive Contamination Around Seyitömer Thermic Powerhouse”, Journal of Science (2010), 21(2); pp 33-36.

**M. Doğan**, N. Meriç. "Forensic Science Oriented Dating Of Young Soil Samples Using of Optically Stimulated Luminescence Method ", Turkish Journal of Forensic Sciences. Volume 11, No: 4, pp: 18-23. 2012.

### **Uluslararası Kongre Sunumlar**

**M. Doğan**, N. Meriç, Y. K. Kadioğlu, " GIS Application in the Definition of Radiation and Heavy Metal Pollution in the vicinity of Seyitömer Thermic Powerhouse" , The Fifth Eurasian Conference Nuclear Science and its Application, Ankara – Turkey, 14 – 17 October 2008.

### **Ulusal Kongre Sunumlar**

N.Meriç, M.Doğan, E.Şahiner, U.Yargıçoğlu, H. Külekçi, H.G.İlk " ELSEC 9010 OSL Sisteminde Kullanılan Yazılımın Güncellenmesi ve Geliştirilmesi" Eylül 2012, LUMIDOZ VI- Çeşme

E.Şahiner, **M.Doğan**, N.Meriç, "Artvin Yeni Rabat Kilisesinden Alınan Örneklerin Lüminesans Yöntemler Kullanılarak Tarihlendirilmesi" Eylül 2012, LUMIDOZ VI- Çeşme

**M.Doğan**, E.Şahiner, N.Meriç, "Puls Uyarmalı Lüminesans Okuma Başlığı Tasarımı" Eylül 2012, LUMIDOZ VI- Çeşme

E. Şahiner, **M.Doğan**, N.Meriç, "Doğada Oksitlenmiş Bazı Metallerin Lüminesans Özellikleri" Lümidoz III Kongresi, Bodrum, 28-30 Eylül 2009.

**M.Doğan**, N.Meriç, "Termik Santral Çevresinde Aktivite Dağılımı" Lümidoz III Kongresi, Bodrum, 28-30 Eylül 2009.

### **Çalıştığı Projeler**

OSL (Optical Stimulated Luminescence) Cihazının İyileştirilerek quartz numunelerin Tarihlendirilmesinde Kullanılması, Ankara Üniversitesi (BAP), **Araştırmacı**, 2010-2011.