TÜBİTAK

Doğal Minerallerin Kristal Yapılarındaki Çok Derin Tuzakların Termal Asistan Optik Uyarmalı Lüminesans (TA-OSL) Sinyallerini Kullanarak Lüminesans Tarihlendirme Yaş Sınırlarının Genişletilmesi ve Örnek Hazırlama Prosedürünün Sadeleştirilmesi

Program Kodu: 1002

Proje No: 117Y208

Proje Yürütücüsü:

Dr. Eren ŞAHİNER

Araştırmacılar:

- Prof. Dr. Niyazi MERİÇ
- Dr. George S. POLYMERIS

Bursiyer:

- Hümeyra GÜR

EKİM 2018

ANKARA

Önsöz

117Y208 kodlu "*Doğal Minerallerin Kristal Yapılarındaki Çok Derin Tuzakların Termal Asistan Optik Uyarmalı Lüminesans (TA-OSL) Sinyallerini Kullanarak Lüminesans Tarihlendirme Yaş Sınırlarının Genişletilmesi ve Örnek Hazırlama Prosedürünün Sadeleştirilmesi*" başlığı ile yapılan bu çalışmada, doğal minerallerin ve bazı yapay malzemelerin kristal yapılarındaki çok derin tuzakların dozimetrik çalışmalarda kullanılabilirliği irdelenmiştir. Bu amaçla termal asistan optik uyarmalı lüminesans (TA-OSL) yöntemi kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucu lüminesans tarihlendirme yaş sınırlarının en az bir mertebe (~1Milyon yıla kadar) genişletilebileceği ve örnek hazırlama prosedürü sadeleştirilerek TA-OSL tarihlendirmede daha efektif bir örnek hazırlama prosedürünün kullanılabileceği gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar ulusal ve uluslararası literatürdeki önemli dergilerde yayınlanmıştır ve konferanslarda sunulmuştur. Ayrıca lüminesans tarihlendirme alanında bir yüksek lisans öğrencisinin (bursiyerin) tezi tamamlanma aşamasına gelmiştir.

117Y208 numaralı proje, ARDEB-1002 programı kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

TÜBİTAK

İçindekiler

Önsöz i
Tablolar Listesi iii
Şekiller Listesi iv
Özet vi
Abstract vii
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR ÖZETİ VE KAPSAM 4
3. GEREÇ VE YÖNTEM 7
3.1 Lüminesans Ölçüm Cihazının Özellikleri 7
3.2 Örneklemenin Yapıldığı Yerler 7
3.3 Uygulanan Kimyasal Prosedür 7
3.4 Uygulanan TA-OSL SAR Ölçüm Protokolü 8
3.5 Eşdeğer/ Paleodoz/ Toplam Soğrulan Doz Ölçümleri 9
3.6 Nem Tayini Ölçümleri 10
3.7 Yıllık Doz Hızı Hesabı 10
3.8 Dekonvolüsyon Çalışmaları 11
3.9 Kullanılan Lüminesans Mekanizması Modelleri 11
3.10 Termal Sönüm Düzeltmesi 12
4. BULGULAR, SONUÇ VE TARTIŞMA 13
4.1 IR Kontrol (IR Check) İşlemleri 13
4.2 TA-OSL Sinyalleri 14
4.3 Yıllık Doz Ölçümleri 21
4.4 Yaş Tayini Çalışmaları 22
4.5 Dekonvolüsyon Çalışmaları 27
4.6 Proje sırasındaki araştırmalar yapılırken doğan diğer çalışmalar 33
5. DEĞERLENDİRME 34
5.1 Projenin Çıktıları ve Yaygın Etkisi 34
6. KAYNAKLAR 37

TÜBİTAK

Tablolar Listesi

Tablo 3.1 Hazırlanan doğal minerallerin kristal yapılarındaki çok derin tuzaklardan salınan lüminesansın incelenmesi için uygulanan TA-OSL protokolü……..**9**

Tablo 4.1 Sabit sıcaklıklarda farklı test dozları……**19**

Tablo 4.2 Çalışma kapsamında incelenen örneklere ait uygun TA-OSL uyarım sıcaklıkları ve bileşenlerinin minimum dedekte edilebilen doz (MDD) değerleri……..….**20**

Tablo 4.3 Kula örneğinin konum ve radyoizotop bolluk oranları ile çevresel doz hızı…..……**21**

Tablo 4.4 Kula örneğinin istatistiksel analiz sonuçları ve yaş kestirimleri……....**26**

Tablo 4.5 Dekonvolüsyon tekniği ile incelenen kuvars minerallerin TA-OSL tuzak parametreleri ve aktivasyon enerji değerleri……....**32**

TÜBİTAK

Şekiller Listesi

Şekil 4.1 Kuvars örneklerine ait IR kontrol işlemleri **(a)** Kula örneği **(b)** Afşin-Elbistan örneği **(c)** Kütahya-Simav örneği……..**13**

Şekil 4.2 Sedimentlerden ayıklanmış doğal kuvars mineraline ait TA-OSL sinyalleri **(a)** Farklı sıcaklıklarda 200 saniye OSL uyarımı sonucu TA-OSL sinyalleri **(b)** Başlangıçtaki sinyal azalışı dikkate alınarak ilk saniyedeki lüminesans şiddetlerinin sıcaklığa bağlı değişimi **(c)** Işıma eğrisinin altında kalan alan hesaba katıldığındaki lüminesans şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimi……..**14**

Şekil 4.3 Sediment örneklerden ayrıştırılmış doğal K-feldispat mineraline ait TA-OSL sinyalleri **(a)** Farklı sıcaklıklarda 250 saniye OSL uyarımı sonucu TA-OSL sinyalleri **(b)** Başlangıçtaki sinyal azalışı dikkate alınarak ilk saniyedeki lüminesans şiddetlerinin sıcaklığa bağlı değişimi **(c)** Işıma eğrisinin altında kalan alan hesaba katıldığındaki lüminesans şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimi……**15**

Şekil 4.4 Doğal apatit mineraline ait TA-OSL sinyalleri **(a)** Farklı sıcaklıklarda 500 saniye OSL uyarımı sonucu TA-OSL sinyalleri **(b)** Başlangıçtaki sinyal azalışı dikkate alınarak ilk saniyedeki lüminesans şiddetlerinin sıcaklığa bağlı değişimi **(c)** Işıma eğrisinin altında kalan alan hesaba katıldığındaki lüminesans şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimi……**16**

Şekil 4.5 Al_2O_3:C ve MgO dozimetresinin TA-OSL Sinyalleri **(a)** Al_2O_3:C dozimetresinin farklı sıcaklıklarda 1000 saniye OSL uyarımı sonucu TA-OSL sinyalleri **(b)** MgO dozimetresinin farklı sıcaklıklarda 500 saniye OSL uyarımı sonucu TA-OSL sinyalleri……**17**

Şekil 4.6 Afşin-Elbistan örneklerinden ayıklanmış kuvars örneklerinin TA-OSL sinyalleri **(a)** Kuvars üzerindeki doğal radyasyon dozu ve uygulanan yapay dozların dağılımı **(b)** Doğal kuvars örneğinin doz-cevap eğrisi ……**17**

Şekil 4.7 Sediment kökenli örneklerin kuvars TA-OSL (■) polimineral TA-OSL (●) ve kuvars sıradan OSL (▲) uyarım doz cevap grafikleri……..…**18**

Şekil 4.8 Kuvars mineralinin TA-OSL sinyallerinin zamana bağlı kararlılığı……**20**

Şekil 4.9 Örneklemenin yapıldığı yer **(a)** Çalışma alanının Google EarthTM görüntüsü üzerinde görünümü. **(b)** Ahmetler formasyonu ile Burgaz Volkanitlerine ait lav akıntıları arasında sınırlanan Gediz taraça kesitinin **A.** Genel konumu **B.** Ölçülü taraça kesiti üzerinde laminalı siltli ince kum fasiyesinden alınan OSL örneğinin konumu……**23**

Şekil 4.10 Doğal TL (NTL) sinyali ve sonrasında arkaplan (background) ışıması……..…**24**

Şekil 4.11 Tablo 3.1'deki protokole göre 3. adımdaki 180°C'de elde edilen TA-OSL sinyalleri **(a)** Kuvars örneği üzerindeki doğal dozun ve verilen yapay dozların TA-OSL Sinyalleri **(b)** 60 Gy test dozuyla kuvarsın doz hassasiyeti testi……**24**

Şekil 4.12 Çok Derin Tuzakların TA-OSL sinyallerinin geliştirilmiş-SAR tekniğine göre eşdeğer doz değerlendirmesi **(a)** Örnek bir diske ait doz-cevap eğrisi **(b)** Ölçülen D_e değerlerinin nokta saçılım dağılımı **(c)** Kernel yoğunluk dağılımı **(d)** Eşdeğer dozların radyal dağılımı……**25**

Şekil 4.13 GOK modeli kullanılarak TA-OSL sinyallerinin bileşenleri (FOM % 1.5)……**27**

Şekil 4.14 GOK bileşenleri ömür ve tesir kesitinin sıcaklıkla değişimi **(a)** Hızlı bileşen **(b)** Yavaş bileşen……...**28**

Şekil 4.15 GOK ve transfer modelleri kullanılarak TA-OSL analizi **(a)** TA-OSL sinyalinin bileşenleri (FOM % 1.8) **(b)** Transfer modeli bileşeninin sıcaklıkla değişimi **(c)** Transfer modeli parametreleri τ ve F parametreleri, içteki şekil B parametresinin değişimi **(d)** GOK bileşeninin tuzak ömrü parametresi ve transfer modeli f kesrinin değişimi……..**29**

Şekil 4.16 GOK ve tünelleme modelleri kullanılarak TA-OSL analizi **(a)** GOK ve tünelleme modelleri kullanılarak çözümlenmiş TA-OSL sinyalinin bileşenleri (FOM % 2) **(b)** GOK modeli parametrelerinin (τ ve σ) ve tünelleme modeli parametrelerinin (τ ve ρ) sıcaklıkla değişimi….**30**

TÜBİTAK

Özet

Bu projenin sonuçları, çok derin tuzaklardan elde edilen TA-OSL sinyallerinin lüminesans tarihlendirme tekniğiyle elde edilebilen yaş sınırlarının genişletilmesi ve daha sade örnek hazırlama teknikleri için etkili bir uygulama olması yönünden gelecek uygulamalar vaat edici olduğu yönündedir. Bu proje çerçevesinde, TA-OSL sinyalinin dekonvolüsyonu, lüminesans tarihlendirme elde edilebilen yaş sınırlarının genişletilmesi, kuvars mineralinin TA-OSL sinyallerinin özellikleri ve metodolojisini tanımlamaya ve bu sinyalin uygulamalarına ışık tutacaktır. Çalışmanın sonuçları, (a) kuvarsın izotermal TA-OSL sinyalinde küçük bir kısmın iletim bandı yoluyla yeniden birleşirken, çoğunluğunun tünelleme yoluyla yeniden birleştiği gösterir (b) sıradan OSL bozunma eğrilerini başarı ile açıklayan GOK modeli, TA-OSL sinyallerini tamamen karakterize etmek için yeterli değildir (c) farklı materyallerin TA-OSL sinyalinin lokalize veya delokalize yollarla yeniden birleştiğini anlamak için derinlemesine ileri araştırmalar gerekliliğini gösterir (d) farklı malzemelerin TA-OSL sinyal özelliklerini ve uygun uyarım sıcaklıklarını tespit eder (e) kuvarsın TA-OSL sinyallerini kullanarak lüminesans tarihlendirme yaş limitleri genişletilmesine yönelik bulgular içerir (f) kuvarsın kuyruk izotermal TA-OSL bileşeninin tarihlendirme uygulamaları için çok uygun olmadığını gösterir. Bu sinyallerin, doz-cevap eğrilerinin lineer olmasına rağmen, % 30 oranında yüksek reküperasyon değerleri, 1.25 civarında tekrarlanabilirlik oranına sahiptir. Ayrıca SAR TA-OSL protokollerinde kuvarstan alınan bu özel sinyalin kullanımını engelleyen dezavantajlar bulunmaktadır.

Ayrıca katkısız MgO materyalinin TA-OSL özellikleri ile ilgili çalışmalar başlatılmıştır. TA-OSL sinyali oldukça şiddetli olduğu için, dozimetrik özellikleri araştırılmaya değer olduğu düşünülmektedir. Bursiyer öğrencimiz, şu anda projede bahsi geçen malzemelere ek olarak bu malzemenin de tüm TA-OSL özelliklerini tanımlayan ve tartışan bir tez hazırlamaya çalışmaktadır.

Anahtar kelimeler: Lüminesans, tarihlendirme, yaş tayini, çok derin tuzaklar (VDT), TL, OSL

Abstract

The results of the present project are very promising towards the effective application of TA-OSL signal from VDTs for age extension applications and simple sample preparation. In the framework of this project, the deconvolution of TA-OSL, age extension of luminescence dating, properties of quartz TA-OSL signals and two more methodological papers has published will both shed more light on the physics describing the isothermal TA-OSL signal in quartz and applications of this signals. This project (a) concludes that the majority of isothermal TA-OSL signal in quartz recombines via tunneling, while a small fraction of the signal recombines via the conduction band, (b) excludes the use of the GOK model for the deconvolution of the isothermal TA-OSL curves in quartz, as it is the ordinary case for conventional OSL decay curves and (c) suggests probes for understanding whether the TA-OSL signal of other material recombines via localized or de-localized pathways (d) shows TA-OSL signal features of different materials (e) presents how age limit extension could apply using TA-OSL signals of quartz and finally (f) with another recent paper indicated that the flat isothermal TA-OSL component of quartz is not appropriate for dating applications. Unfortunately, despite the linearity of the dose response curves, high recuperation values, of the order of 30%, indicating possible underestimation of the equivalent doses, along with recycling ratio values of around 1.25, stand as drawbacks that deter the widespread use of this specific signal from quartz for SAR TA-OSL protocols.

Moreover, studies about the TA-OSL properties of one more material has been started, namely commercial, un-doped MgO. Because of the signal is quite rich and intense, the dosimetric features require future investigations on the matter. Fellowship student is currently trying to prepare a thesis describing and discussing all TA-OSL features of this material as well as studied material on the project.

Keywords: Luminescence, dating, age estimation, very deep traps (VDT), TL, OSL

1. GİRİŞ

Tuzaklanmış yük tarihlendirme metotları (TL, OSL, ESR) temelde, doğal radyoaktivite ve kozmik radyasyon nedeniyle salınan (yıllık doz) iyonize radyasyonun kuvars, feldspat vb. doğal kristallerde bıraktığı doz miktarının ölçülerek numune üzerindeki yıllık doz miktarına oranlanması prensibine dayanır (Aitken 1985, 1998). Kristal yapılarıyla etkileşen iyonize radyasyon yapıya bağlı elektronları aktive eder ve bu elektronlar kristalin içindeki yasak enerji bölgesindeki safsızlıklar, kristal kusurları nedeniyle oluşmuş elektron tuzaklarında tuzaklanarak tuzak ömrüne bağlı olarak depolanır. Bu tuzaklanmış elektronlar laboratuvar ortamında ısı ve ışık ile uyarılarak kristal yapı içerisinde lüminesans merkezlerindeki hollerle yeniden birleştiği sırada lüminesans olarak adlandırılan görünür bölge veya yakınlarındaki ışık dışarı salınır. Bu lüminesans kontrollü olarak dedekte edilerek iyonize radyasyonun bir fonksiyonu olarak ölçülerek maruz kalınan toplam doz miktarı tayin edilebilir. Uyarıcı ısı olursa termolüminesans (TL), ışık olursa optik uyarmalı lüminesans (OSL) olarak adlandırılır.

Bu özelliği taşıyan numuneler, ısıya ve ışığa maruz kaldığında kristal yapılarındaki tuzaklanmış elektronlar tamamen sıfırlanır. Doğadaki sıfırlanma anı (lüminesans saati) sedimentler için gün ışığı, seramik örnekler için ise pişirilme anı kabul edilir. Tuzaklarındaki elektronları sıfırlanmış olan numune sabit doğal koşullar altında kapalı olarak beklemeye başladığında etrafındaki doğal radyoaktivite ve kozmik radyasyon sonucu tuzaklar yavaş yavaş yeniden dolmaya başlar. Numuneler gün ışığına maruz kalmadan alınıp laboratuvara getirildiğinde, bu sıfırlanma zamanı bir seri laboratuvar ölçüm prosedür ve protokolleri uygulanarak tespit edilmeye çalışılır. Bu yöntemlerle yaş hesabında iki faktörün bilinmesi son derece kritiktir. (1) Doğal radyasyon sonucu birim mineral kütlesi başına soğurulan toplam enerji (paleodoz, toplam soğurulan doz veya eşdeğer doz) (2) numunenin çevresindeki doğal radyoaktif elementlerden (U, Th, K, Rb, vb.) ve uzay merkezcil kozmik radyasyondan kaynaklanan yıllık doz hızı.

Eşdeğer doz, doğal lüminesans şiddetinin laboratuvar ortamında verilen artan yapay radyasyon şiddetine karşı davranışıyla oranlanarak hesaplanabilir. Yıllık doz ise örnekleme yapılan yerdeki doğal radyoaktif izotopların (U, Th, K, Rb, vb.) bolluğu, kozmik radyasyon ve örnekleme yapılan bölgenin ve örneğin nem değerlendirmesi yapılarak hesaplanabilir. Lüminesans yaşı, yani en son ısıya ya da ışığa maruz kaldığı zaman, eşdeğer dozun yıllık doza oranlanmasıyla elde edilir ve bu şekilde numunenin yaşı hesaplanabilir.

Yaklaşık birkaç yüz yıldan birkaç yüz bin yıla kadar yaş tayini yapabilen lüminesans tarihlendirme yöntemi, son yıllarda özellikle arkeoloji ve jeolojide geniş bir uygulama alanına sahiptir. Erken kuvaterner döneme ait sediment numunelerin en son ışığa maruz kaldığı ve pişirilmiş arkeolojik çanak, çömlek, çakmak taşı, seramik, briket vb. numenlerin üretim tarihi bu yöntemler aracılığıyla hesaplanabilir. Özellikle son yıllarda geliştirilen geliştirilmiş-SAR tekniği, Murray ve Wintle (2000) gibi protokollerle minimum % 3-10 hata ile yaş tayini yaparak, radyokarbon ve kozmojenik yaş tayini gibi literatürdeki önemli teknikler arasına girmiştir.

Geçmişi araştıran bilim alanlarındaki bilimsel komite, bu yaş sınırları dışında bir kaç milyon yıllık bir dönem içerisinde canlıların gelişimi ve jeolojik olayları inceleyen çalışmalarla da oldukça yakından ilgilidir. Sınırlı sayıdaki yaş tayini yöntemi, bu yaş aralığında hassas çalışabilmektedir. Kristal yapılardaki lüminesans oluşum merkezlerini ve tuzak-yük yapılarını incelemek üzere yapılan araştırmalar, TL/OSL tekniklerini kullanarak yapılan tarihlendirme yöntemlerinin milyon yıllar mertebesindeki yaş aralığını kapsamak adına oldukça iyi bir potansiyele sahip olduğu gösterilmektedir.

Lüminesans tarihlendirmede yaş limitleri, analiz edilen numunenin bileşimindeki minerallerin tuzaklanmış yük yoğunluğu kapasitesine ve çevresel radyasyona bağlıdır. En çok kullanılan kuvars ve feldspat mineralleri için tuzak-yük yoğunlukları ve lüminesans hassasiyeti birbirinden farklıdır. Tipik olarak sediment bir numunenin yıllık doz miktarı, yaklaşık olarak senede 1-2 mGy civarındadır (Stokes 1994). Bu durumda, kuvars minerali OSL yaş tayini ile 150bin yıla kadar analiz edilebilir. Daha düşük bir yıllık doz değeri ile OSL yaş tayininde yaklaşık 800bin yıla kadar analiz edilebilmektedir (Huntley vd., 1993a, 1993b). Feldispatik mineraller ise, doyum doz limitleri daha fazla olduğu için TL tekniğiyle birkaç 100bin yıllık yaşların değerlendirilebileceği rapor edilmiştir (Berger vd. 1992). Çanak çömlek örneklerinde ise yılda 4mGy'lik bir yıllık doz değeri ile 50bin yıla kadar çıkıldığı rapor edilmiştir (Liritzis 2013). Minimum dedekte edilebilir doz miktarı ise yine analiz edilen minerale bağlı olarak 1 Gy civarında olup hesaplanabilecek yaş değeri ise yaklaşık 100 yıldır (Veronese vd. 2006). Yaş limitleriyle ilgili çalışmalar günümüzde halen devam etmektedir. Bu konuda en önemli çalışmalar, mavi ışık yerine mor ışık kullanılarak yapılan çalışmalardır (Ankjærgaard vd., 2013, 2015, 2016). Ankjærgaard vd. (2016) uyarım ışığı olarak maviden daha enerjik olan mor ışığı kullanarak Çin'e ait lös örneklerinden elde edilmiş kuvars mineralinden 600bin yıla kadar yaş hesaplamıştır.

Lüminesans tarihlendirme yaş limitlerinin arttırılmasına bir alternatifte proje kapsamında çalışmış olduğumuz kristal yapı içerisinde, termal ve/veya optik olarak uyarılamayan çok derin tuzaklardan sinyal alınabilmesini mümkün kılan TA-OSL tekniğidir. Bu teknik TL ve OSL tekniğinin bir kombinasyonudur. Bu tekniğe göre, disk veya kap üzerinde lüminesans okuyucuya yerleştirilen örneğe derin tuzakları ölçebilmek için önce 500^{o}C' ye kadar bir TL okuması yapılır (Şahiner 2015). Bu sıcaklığa kadar olan tuzakların sıfırlandığı gözlendikten sonra örnek uygun bir sıcaklığa ısıtılır ve bu sıcaklıkta iken OSL okuması yapılır. Bu çalışma kapsamında doğal kuvars, feldispat ve apatit mineralleri ve son yıllarda oldukça popüler yapay OSL dozimetrik materyalleri olan MgO ve Al_2O_3:C' e ait önemli bulgular elde edilmiştir.

Projede kullanmış olduğumuz TA-OSL tekniği ile çok derin tuzaklardan salınan lüminesans sinyalleri sıradan tuzaklara göre daha derinde olduğu için daha kararlı olduğu ve bu tuzakların uyarılması ile oluşacak sinyallerin daha yüksek eşdeğer dozların tespit edilmesinde kullanılabilir olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bu özel sinyallerin her mineralde gözlenmediği ancak çok derin tuzaklara sahip malzemelerde gözlenebileceği ve bu tuzakların kararlı tuzaklar olduğu için incelenen aralıktaki sinyallerde sönüm olmadığı gözlenmiştir. Bu durum uzun, yorucu ve yüksek maliyetli mineral ayırma süreçleri yerine, polimineral (çoklu mineral) tekniğinin kullanılarak yaş tayini analizi yapılabileceğini göstermektedir.

Proje kapsamında yapmış olduğumuz çalışmalar sonucunda **5 adet makale 2 adet** uluslararası sunum ve **1 adet yüksek lisans tezi** tamamlanma aşamasına gelmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ VE KAPSAM

Lüminesans yaş tayini tekniği 1970'lerde sağlam bir temelle kurulmuş katıhal fiziğinin gelişimine paralel olarak 1980ler 1990lar ve 2000lerde ivmeli gelişme göstermiştir. Son yıllardaki yaş tayini çalışmalarının önemli bir yüzdesini oluşturmakta olup halen yöntemsel olarak gelişmeye devam etmektedir. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak ölçümler de gelişmektedir. Özellikle örnekten hazırlanan tek diskin üzerindeki kuvars, feldspat ve polimineral kullanarak eşdeğer dozun tespitine yönelik önemli çalışmalar yapılmıştır (Murray vd., 1997; Banerjee vd., 2001). Bu tek disk yenileme (SAR) teknikleri yardımıyla tek bir diskten önce doğal doz okunup daha sonra farklı bilinen dozlar verilip ara-değer kestirimi yöntemiyle eşdeğer doz hesaplanabilir. Murray ve Wintle (2000)'ın geliştirmiş olduğu SAR tekniği ile aynı anda hassaslık, tekrarlanabilirlik ve istatistiksel testlerinin yapılabilmektedir. Bu teknik sayesinde çoklu disk gerektiren tekniklerden ziyade çok daha az örnek miktarıyla daha hassas eşdeğer doz analizleri yapılmasına olanak sağlanmıştır.

Lüminesans tarihlendirmede yaş limitleri analiz edilen numunenin bileşimindeki minerallerin tuzaklanmış yük yoğunluğu kapasitesine ve çevresel radyasyona bağlıdır. En çok kullanılan kuvars ve feldspat mineralleri için tuzak-yük yoğunlukları ve lüminesans hassasiyeti birbirinden farklıdır. Tipik olarak sediment bir numunenin yıllık doz miktarı yaklaşık olarak senede 1-2 mGy civarındadır (Stokes, 1994). Bu durumda kuvars minerali düşünüldüğünde OSL yaş tayini ile 150 bin yıla kadar analiz edilebilir. Daha düşük bir yıllık doz değeri ile OSL yaş tayininde yaklaşık 800 bin yıla kadar analiz edilebilmektedir (Huntley vd., 1993a, 1993b). Feldispatik mineraller düşünüldüğünde doyum doz limitleri daha fazla olduğu için TL tekniğiyle birkaç 100 bin yıllık yaşlar değerlendirilebileceği rapor edilmiştir (Berger vd., 1992). Çanak çömlek örneklerinde ise yılda 4 mGy'lik bir yıllık doz değeri ile 50 bin yıla kadar çıkıldığı rapor edilmiştir (Liritzis, 2013). Minimum dedekte edilebilir doz miktarı ise yine analiz edilen minerale bağlı olarak 1 Gy civarında olup hesaplanabilecek yaş değeri ise yaklaşık 100 yıldır (Veronese vd., 2006). Yaş limitleriyle ilgili çalışmalar günümüzde halen devam etmedir. Bu konuda en ciddi çalışmalar mavi ışık yerine mor ışık kullanılarak yapılan çalışmalardır (Ankjærgaard vd. 2013, 2015, 2016). Ankjærgaard vd. (2016) uyarım ışığı olarak maviden daha enerjik olan mor ışığı kullanarak Çin'e ait lös örneklerinden elde edilmiş kuvars mineralinden 600 bin yıl yaşa kadar hesaplamıştır.

TA-OSL tekniği ile çok derin tuzaklardan salınan lüminesans sinyalleri sıradan tuzaklara göre daha derinde olduğu için daha kararlıdır ve bu tuzakların uyarılması ile oluşacak sinyaller daha yüksek eşdeğer dozların tespit edilmesinde kullanılabilirdir (Şahiner 2015).

Tuzaklanmış elektron seviyelerini ölçen TL ve OSL tekniklerinin uygulanmalarında genellikle uyarım sıcaklığı en çok 500-600°C'ye kadar olan sıcaklıklar kullanılır. Mevcut lüminesans okuyucuların çıkabileceği maksimum sıcaklık sınırı bu sıcaklıklardır. Bu sıcaklıklara yaklaşıldığında siyah cisim ışıması lüminesansa göre baskın hale gelir ve ölçülemez hale gelir. Ek olarak ışıkla uyarmada en kısa görünür dalga boyu olan mavi-mor ışık kullanılır. Ayrıca tarihlendirme çalışmalarının çok yüksek bir çoğunluğunda kuvars ve feldspat mineralleri kullanılır. Bu minerallerin bu sıcaklıklara kadar ısıtıldığında veya bu dalga boyundaki ışıkla uyarıldığında değerlendirilebilecek maksimum tuzaklanmış elektron seviyesine göre TL tekniği ile 50-100bin yıla kadar OSL tekniği ile 1milyon yıla kadar yaş analizleri yapılabilmektedir. Bu yaş sınırları jeolojik son dönem ve arkeoloji çalışmaları için yeterli gözükse de daha yaşlı jeokronoloji çalışmaları için yeterli değildir.

Çoğu TL, OSL fosfor malzemeleri geniş band aralığına (1-12eV) sahiptirler ve yukarıda bahsedilen tuzakların dışında daha derin enerji seviyelerinde tuzaklara sahiptirler (Kittel, 2004). Bunlara çok derin tuzaklar (VDT) denir ve ancak 500°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uyarılabilirler (Şahiner 2015). Bu tuzakları uyarmanın yollarından biri 500°C'nin üstündeki sıcaklıklarda okuma yapmaktır ancak, yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça örnek akkor haline gelmeye başlayacak ve siyah cisim ışıması lüminesanstan daha baskın hale gelecektir. Ayrıca okuma için geliştirilen günümüz cihazlarının okuyabildiği maksimum sıcaklıklar 500-700°C'dir. Bu tuzaklara ulaşmanın yollarından biri Termal Asistan OSL (TA-OSL) tekniğidir. Bu teknik TL ve OSL tekniğinin bir kombinasyonudur. Örnek önce uygun sıcaklığa kadar ısıtılır ve bu sıcaklıkta iken ışıkla uyarma yapılır. Derin tuzaklarda kullanabilmek için önce 500°C' ye kadar bir TL okuması yapılır (Şahiner 2015) . Bu sıcaklığa kadar olan tuzakların sıfırlandığı gözlendikten sonra örnek uygun sıcaklıkta ısıtılır ve bu sıcaklıkta iken OSL okuması yapılır. Literatürde CaF_2:N, Al_2O_3:C, kuvars, feldspat, polimineral ve apatit gibi malzemeler bu teknikle incelenmiştir (Bulur ve Göksu 1999, Kitis vd. 2010, Polymeris vd. 2010, Polymeris ve Kitis 2012, Kitis vd. 2013, Polymeris vd. 2015a, 2015b, Şahiner 2015). Bu tür derin tuzakların radyasyon dozimetrisi ve yaş tayininde kullanımının bazı avantajları bulunmaktadır. Bu tuzaklar kendilerinden daha sığ olan tuzaklara göre daha kararlı ve daha uzun ömre sahiptir (Şahiner 2015). Bu özellikler TL ve OSL uygulamaları açısından çok büyük öneme sahiptir. Bu şekilde daha hassas ve geniş doz aralığında eşdeğer doz tespiti yapılabilir ve dolayısıyla arkeoloji ve jeoloji uygulamalarında daha geniş aralıkta ve hassasiyetle yaş hesabı yapılabilir (Şahiner 2015).

Bu proje kapsamında yapılan çalışmalarla birlikte farklı minerallerin TA-OSL sinyalleri araştırılmış ve özellikle kuvars minerali için literatür açısından son derece önemli bilgiler

kazandırılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmalar yeni makalelerin hazırlanmasında ve yeni projelerin üretilmesi için ilham kaynağı olmuştur. Proje kapsamında elde edilen bazı kazanımları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Proje kapsamında literatürde ilk defa Kula-Manisa civarlarındaki Gediz Taraçalarından alınan sediment numunelerin TA-OSL tekniği ile yaş tayini yapılmıştır ve sonuçları bölgede daha önce yapılan çalışmalarla son derece uyumlu çıkmıştır.
- Çalışmada kullanılan sedimentler, Anadolu'nun farklı bölgelerinden alınmış doğal örneklerdir. Örnekler üzerinde yapılan mineralojik araştırmalar ışığında örneklerin kuvars, feldispat, kalsit ağırlıklı olmak üzere birçok mineral çeşidi içerdiği gözlenmiştir.
- Projeye konu olan termal asistan tekniği ile çok derin tuzakların araştırılması hem lüminesans yöntemlerle elde edilebilen yaş limitlerinin genişletilmesi hem de uzun ve zahmetli kimyasal prosedürlerin basite indirgenmesi açısından anahtar rol oynadığı gözlenmiştir.
- Proje kapsamında önceki çalışmaların devamı olarak uygulanacak deneysel ve analiz tekniklerle sedimentlerden ayrıştırılarak elde edilmiş kuvars, feldispat, apatit mineralleri başarıyla analiz edilmiştir ve son yıllarda oldukça popüler OSL dozimetrik materyalleri olan MgO ve Al_2O_3:C kristalleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalarla bu mineralleri kullanarak elde edilebilen yaş limitleri genişletilerek uluslararası literatürde bu tekniğin kullanılabilirliği gösterilmiştir. Ayrıca tekniğin karakteristik lüminesans sinyalleri incelenerek mineral ayırmada kullanılan zorlu kimyasal prosedürünün basite indirgenebileceği gösterilmiştir.
- Ayrıca yapılan çalışmalar, farklı TA-OSL sinyallerinin lüminesans modelinin yapılması ve karakterizasyonu üzerine gerçekleşmiştir. TA-OSL sinyalleri farklı lokalize, delokalize ve transfer modellerinin kombinasyonu kullanılarak literatürde ilk defa başarıyla açıklanmıştır. Lüminesans sinyal şeklinin sıradan olmadığı (yalnızca yavaş bileşen) durumlarda dahi eşdeğer doz ölçümlerinde kullanılabilir olduğu ancak yaş tayini çalışmaları için yüksek saçılma problemi yüzünden kullanılmaya elverişli olmadığı düşünülmektedir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Lüminesans Ölçüm Cihazının Özellikleri

Bu çalışma kapsamında tüm lüminesans ölçümleri ve doz verme işlemleri Riso TL/OSL-D20 lüminesans okuyucu sistemi aracılığıyla yapılmıştır. Sistem bialkali EMI 9235QB foto çoğaltıcı tüp ve 0.120 ± 0.05 Gy/s doz hızında $^{90}Sr/^{90}Y$ beta kaynağına sahiptir. Uyarıcı ışık olarak kuvars, polimineral ve apatit örnekleri için 470 ± 20 nm dalga boylu mavi ışık ve salınan lüminesansın dedekte edilmesinde Hoya-U340 filtresi kullanılmıştır. Feldspat örnekleri içinse, 880 ± 20 nm dalgaboylu kırmızı ışık ve salınan lüminesansın dedekte edilmesinde Corning 7/59 ve BG39 filtre kombinasyonu kullanılmıştır.

3.2 Örneklemenin Yapıldığı Yerler

Proje önerisinde iş paketi hedef planlarında önerildiği üzere ölçümlerde kullanılacak örnekler başarıyla alınmış ve hazırlanmıştır. Numuneler TA-OSL sinyallerinin optimum şekilde elde edilebileceği, üzerinde yüksek doz olduğu tahmin edilen (önceki çalışmalara göre lüminesans tarihlendirme yaş aralıklarına göre yaşlı), Anadolu'nun farklı bölgelerinden alınmış örneklerdir. Bu kapsamda jeolojik olarak milyon yıl mertebesinde yaşa sahip olduğu eski çalışmalarda gösterilmiş olan Manisa-Kula Gediz taraçaları (Şahiner vd. 2017) Afşin-Elbistan kömür madeni (Polymeris vd. 2018a) ve sıradan OSL/IRSL yaşları bilinen (üzerlerindeki eşdeğer doz 100 Gy' in üzerinde ölçülen) Kütahya-Simav bölgesindeki fay hatlarından alınmış örneklerdir (Şahiner 2015). K-feldispat örneği, Kuzey Yunanistan'ın magmatik kayaçlarından ayıklanmış minerallerdir (Polymeris vd. 2013). Apatit minerali ise Meksika'nın Durango bölgesinden alınmış sediment örneklerden çıkartılmış ve lüminesans dozimetrik özellikleri daha önceki çalışmalarda analiz edilmiş örneklerdir (Kitis vd. 1991, 2013; Meriç vd. 2018). Ayrıca rutin OSL/IRSL sinyallerinin araştırılabilmesi için Sakarya nehri taraçalarından alınan sediment örnekleri incelenmiştir (Şahiner vd., 2018).

3.3 Uygulanan Kimyasal Prosedür

Jeolojik örneklerin kalın tanecik (90-140 μm) OSL tarihlendirme yöntemine göre hazırlanması için örnek hazırlama protokolü numunelere uygulanmıştır. Bu aşamada kimyasal işlemleri yapılmak üzere proje kapsamında alınan ve enstitü bünyesinde alınmış olan kimyasallar

kullanılmıştır. Bu teknik, literatürde lüminesans tarihlendirme için kullanılan rutin kuvars mineral hazırlama tekniğidir (Wintle,1997). Uygun boyutlardaki örneklere öncelikle H_2O_2 kimyasalı uygulanıp içerisindeki organiklerden arındırılmıştır. Daha sonra HCl kimyasalı uygulanıp karbonatlı bileşiklerden arındırılmıştır. Kalan numunede ağır sıvı ayrıştırıcı (SPT) yardımıyla kuvars, feldspat vb. ayrımı yapılmıştır. Bu işlemden sonra kuvars örneklerine HF kimyasalı uygulanarak 45-60 dakikalık bir "etcing" işlemi yapılmıştır. Son olarak floritlerden arındırmak amacıyla tekrar HCl asitte bekletilmiştir. Her kimyasal işlem sonrasında örnekler üçer kez örnek dibe çökene kadar saf su ile yıkanmıştır. Bu işlemlerden sonra hazırlanan numuneler, ETÜV içerisinde 45°C'de kurutulup çelik disklere veya çelik kaplara koyularak ölçüme alınmıştır. Hazırlanan kuvarsların kalitesinin ölçülmesi amacıyla "IR-Check" işlemi yapılmıştır. Yapılan işlemler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

i. Numunelerin ezilmesi
ii. Eleme (90<μm<140)
iii. %30 H_2O_2, 1 gün (tepkime bitene kadar)
iv. %10 HCl, 45-60 dakika (tepkime bitene kadar)
v. Ağır sıvı ile kuvars, feldspat ayırımı
vi. %10 HF, 45-60 dakika
vii. %10 HCl, 50 dakika (kuvars örnekler için *etching* işlemi)
viii. Manyetik karıştırıcı ile karıştırarak demir vb. bileşenleri ayırma
ix. 40°C'de ETÜV'de kurutma (örnekler tamamen kuruyana kadar)
x. Ölçüm için silikon spreyle disk hazırlama veya direkt olarak kaplara koyma

Polimineral olarak hazırlanan örnekler ise 90-300 μm boyutlarında ıslak eleme tekniği ile elendikten sonra yalnızca bileşimindeki organiklerin ayrıştırılması amacıyla H_2O_2 kimyasalı uygulanıp tepkime sonlandıktan sonra 35°C'de etüvde kurumaya bırakılmıştır. Yani numune son derece yalın bir örnek hazırlama sürecinden geçirilerek hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 1 cm çapındaki ölçüm kaplarına 10 (±%20) miligram olacak şekilde yerleştirilmiştir.

3.4 Uygulanan TA-OSL SAR Ölçüm Protokolü

Hazırlanan minerallerin TA-OSL sinyalleri için önce 500°C'ye kadar ısıtılıp sıradan tuzaklar sıfırlanmıştır. Daha sonra minerale bağlı olarak uygun uyarım sıcaklığında mavi (kuvars için) veya kızılötesi (feldspat için) ışıkla uyarılmıştır. Uyarım sıcaklığı ise, salınan lüminesansın

hassaslığına ve şiddetine bağlı olarak oda sıcaklığından 300°C'ye kadar değişkenlik göstermiştir. Ancak daha önce yaptığımız çalışmalar ışığında İç Ege Bölgesindeki farklı hendeklerden alınan örneklerden çıkartılan kuvarslarda uygun uyarım sıcaklığının 180°C olduğu tespit edilmiştir (Polymeris vd. 2015a, 2015b; Şahiner 2015; Şahiner vd. 2017). Proje kapsamında yapılan çalışmalar da önceki çalışmalarla uyuşmaktadır.

3.5 Eşdeğer/ Paleodoz/ Toplam Soğrulan Doz Ölçümleri

Eşdeğer doz ölçümleri, Tablo 3.1'deki protokole göre Murray ve Wintle (2000) SAR protokolüne uygun olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3.1 Hazırlanan doğal minerallerin kristal yapılarındaki çok derin tuzaklardan salınan lüminesansın incelenmesi için uygulanan TA-OSL protokolü

Adım	Uygulama	Gözlenen
1	Doz, D_i	
2	Termolüminesans (TL) 500°C Sıcaklık artışı (β) = 2°C/s	Sıradan tuzakların sıfırlanması
3	İzotermal TL (ITL), 60s	
4	Mavi ışıkla uyarma (OSL) T_i (°C), B = 2°C/s, s (saniye)	$\mathbf{L_i}$
5	Test dozu, D_t	
6	Termolüminesans (TL) 500°C Sıcaklık artışı (β) =2°C/s	Sıradan tuzakların sıfırlanması
7	İzotermal TL (ITL), 60s	
8	Mavi ışıkla uyarma (OSL) T_i (°C), β=2°C/s, s (saniye)	$\mathbf{T_i}$
9	İlk adıma dönüş	

Protokole uygun olarak artan yapay dozlara karşı artan $\mathbf{L_i / T_i}$ grafiği çizilip uygun fonksiyonlara fit edilerek ara değer kestirimi yöntemine göre eşdeğer doz hesabı yapılmıştır.

3.6 Nem Tayini Ölçümleri

Nem tayini ölçümleri numune üzerindeki suya doyum yüzdesini tespit etmeye yönelik ölçümlerdir. Bu ölçümler, yıllık doz hesabında W faktörü olarak kullanılmıştır. Bu amaçla örnekler suya doyurularak otomatik nemölçer cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

3.7 Yıllık Doz Hızı Hesabı

Numunelerin gömü süresince soğurmuş oldukları doz miktarını (eşdeğer doz) kaç yılda biriktirdiklerini bulmak için numunelerin bir yılda soğurdukları doz miktarını belirlemek zorunludur. Yeraltında gömülü olan jeolojik veya arkeolojik numuneler kendi yapılarını oluşturan ve toprakta bulunan radyoaktif elementlerden, atmosferden gelen kozmik ışınlardan sürekli radyasyona maruz kalırlar.

Gama spektroskopisi kullanılarak doğal radyoaktif elementlerin bollukları ölçülmüştür. Kullanılan dedektör yüksek saflıkta germanyum dedektör (HpGe) olup özellikleri, kalibrasyonu ve analiz yöntemleri Şahiner (2010), Şahiner ve Meriç (2014) çalışmalarında detaylıca anlatılmıştır. Ayrıca sonuçlar, bazı örnekler için kütle spektroskopisi (ICP-MS) ile madde analizi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Tablo 4.3).

Gama spektroskopisi için numuneler spektrometrenin kalibrasyonunda kullanılan standartlarla aynı geometride hazırlanmalıdır. Analiz öncesi numunelere aşağıdaki işlemler uygulanmıştır:

1) Numuneler, 110ºC'de 48 saat boyunca fırında tutularak tamamen kurutulmuştur.
2) Havan ve elekler kullanılarak numune <500 µm boyutuna getirilmiştir.
3) Numuneler, 110ºC'de 48 saat boyunca fırında tutularak tekrar tamamen kurutulmuştur.
4) Numuneler, spektrometrenin kalibrasyonunda kullanılan standartlarla aynı geometriye sahip silindirik plastik kutulara doldurulmuştur. Sıvı silikonla sızdırmazlık sağlanmıştır.

Kapların boş ve dolu durumdaki ağırlıkları tartılarak, numunelerin net ağırlıkları tespit edilmiştir. Sızdırmaz plastik kutular içerisinde radyoaktif dengenin oluşması için kutular ölçümlerden önce en az 4 hafta kapalı durumda muhafaza edilmiştir.

3.8 Dekonvolüsyon Çalışmaları

Bu kapsamda yapılan çalışmalar farklı kinetik modellerin denklemlerine göre analitik olarak hazırlanan “Microsoft Excel” yazılımı aracılığıyla ve “Solver” eklentisi kullanılarak elde edilen deneysel sinyalleri çözümleyerek yapılmıştır. Bu çalışma programının hazırlanması, testleri ve uygulamaları oldukça uzun sürmüştür (yaklaşık 5-6 ay). Deneysel verilerin teorik sonuçlarla olan uygunluğu “Figure of Merit (FOM)” aracılığıyla kontrol edilmiştir.

TA-OSL sinyalleri, dekonvolüsyon tekniğiyle farklı kinetik modellerle karakterize edilmiştir. Sonuçlar, teorik yaklaşım temellerine dayandırılarak fiziksel olarak açıklanmaya çalışılmıştır.

3.9 Kullanılan Lüminesans Mekanizması Modelleri

Bu proje kapsamında, TA-OSL sinyallerini karakterize edeceği düşünülen üç farklı model kullanılmıştır.

İlk model genel mertebe kinetiğidir ve Eşitlik 1’deki matematiksel bağıntı, kristal band yapısı içinde delokalize geçişlerini açıklar (GOK, Bøtter-Jensen vd. 2003; Kitis ve Pagonis 2008).

$$\mathbf{I(t) = I_0 \left[1 + \frac{(b-1)t}{\tau_{GOK}}\right]^{(-b/(b-1)}} \qquad (1)$$

I_0 başlangıçtaki lüminesans şiddeti, τ_{GOK} tuzak yaşam ömrü, b ise 1.001 - 2 arasında değişiklik gösterebilen kinetik mertebesidir.

Kullanılan diğer model ise, transfer modelidir ve Eşitlik 2’de matematiksel ifadesi gösterilmektedir. Derin tuzaklardan sığ tuzaklara foto-transfer (PTTL) olayı önceki çalışmalarda başarıyla açıklanmıştır (Chen ve McKeever 1997; Bøtter-Jensen vd. 2003; Chithambo vd. 2017). Bu modelde de kristal yapı içerisinde delokalize geçişler konu edilerek derin elektron tuzaklarından daha sığ elektron tuzaklarına ışıkla uyarma sonucu transfer gerçekleşir.

$$\mathbf{I(t) = \frac{\omega \cdot e^{\frac{-t}{\tau}} \cdot N_1 \cdot \left(1 - e^{-B \cdot t}\right)}{\frac{N_2}{n_{20}} - e^{-f \cdot t}}} \qquad (2)$$

N_1 sığ tuzakların sayısı, N_2 derin tuzakların sayısı, N_{20} t=0 anında derin tuzakların konsantrasyonu, t yeniden birleşmeyle ilgili bir sabit, B sığ tuzaklardaki elektronların tuzaklanma oranı, f derin tuzaklardan sığ tuzaklara geçme oranı, ω ise sabittir.

Son olarak Jain vd. (2012) tarafından ileri sürülen Kitis ve Pagonis (2013) tarafından analitik olarak çözümlenen, doğal ve yapay bir çok örneğin lüminesans sinyalini başarıyla açıklayan ve kristal içerisindeki lokalize geçişleri ifade eden tünelleme yeniden birleşme eşitlikleri Eşitlik 3,4 ve 5'de verilmektedir.

$$\mathbf{I(t)} = \frac{\mathbf{3n_0\rho' z\, F(t)^2}}{\mathbf{1+z^{t}/_{\tau}}} \mathbf{exp}(-\boldsymbol{\rho}' \mathbf{F(t)^3}) \qquad (3)$$

$$\mathbf{F(t)} = \mathbf{ln}\left(\mathbf{e} + \mathbf{z}\frac{\mathbf{t}}{\boldsymbol{\tau}_{\mathbf{tun}}}\right) \qquad (4)$$

$$\boldsymbol{\tau}_{\mathbf{tun}} = (\boldsymbol{\sigma} \cdot \boldsymbol{\varphi})^{-1} \qquad (5)$$

n_0 tuzaklanmış elektronların başlangıçtaki konsantrasyonu, z sabit, τ_{tun} tuzak yaşam ömrü, ρ' donor-akseptör yoğunluğunu ifade eden boyutsuz parametre, σ foto-iyonizasyon tesir kesiti ve φ uyarım aksıdır, $F(t)$ uyarım moduna ve ışığa bağlı bir denklemdir.

3.10 Termal Sönüm Düzeltmesi

Lüminesans sinyallerinin uyarım sıcaklığı arttıkça veriminin azalmasına neden olan bu etki Curie (1963) kuvars mineralleri için oldukça önemli olduğu Subedi vd. (2011) tarafından detaylıca araştırılmıştır. Bu yazarların kullandığı Eşitlik 6 sinyalleri düzeltmek için kullanılmıştır.

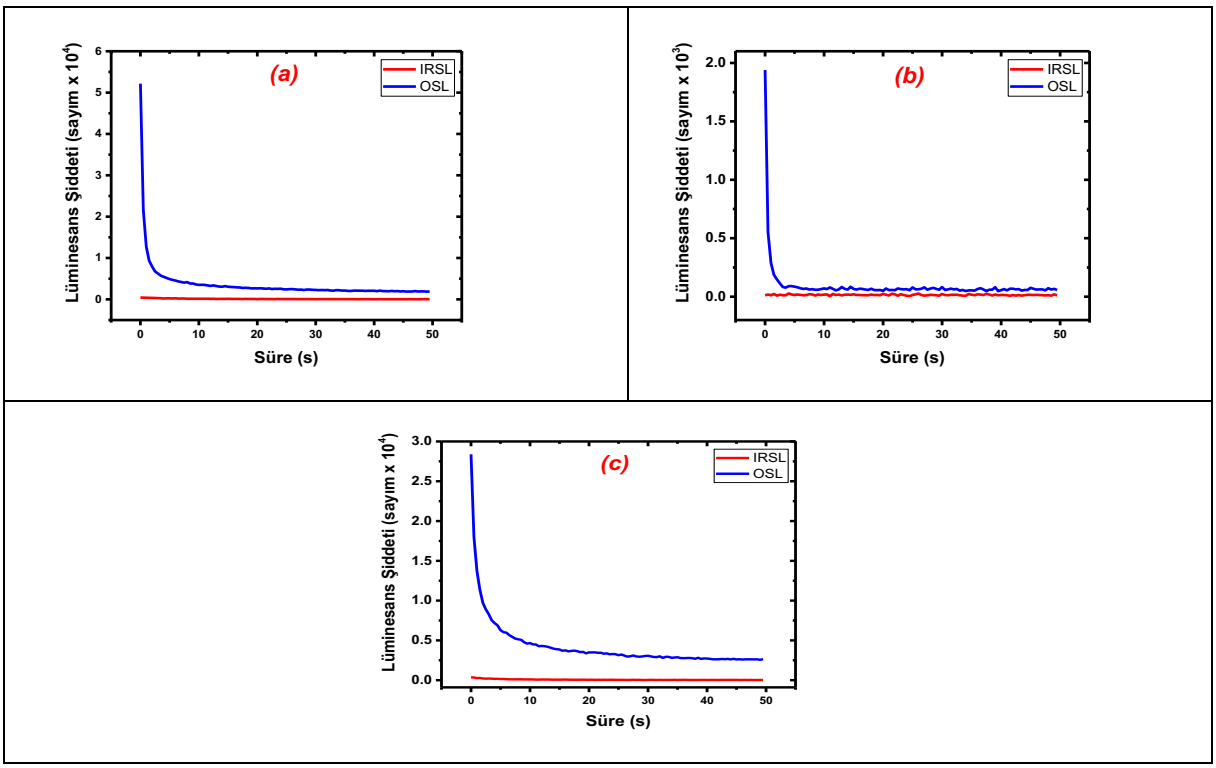
$$\boldsymbol{\eta}\,(\mathbf{T}) = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{1+Ce^{-\frac{W}{kT}}}} \qquad (6)$$

C ve W sönüm parametreleridir ve T Kelvin cinsinden mutlak sıcaklık değeridir. W = 0.67 eV ve C = (3.7)x10^7 olarak Subedi vd. (2011) tarafından kuvars için önerildiği şekilde alınmıştır.

4. BULGULAR, SONUÇ VE TARTIŞMA

4.1 IR Kontrol (IR Check) İşlemleri

Bu paket işlem, Riso Cihazı ile "IR kontrol deneyi" yapılarak proje bütçesindeki ilgili kalem kullanılmadan yapılabilmiştir. XRD ve XRF analizleri kuvars ve hazırlanan minerallerin saflık derecesini kontrol edebilmek için önerilmiş olmasına rağmen bu işlemin optik uyarma işlemiyle ayırılabildiği rahatlıkla görüldüğü için "IR kontrol deneyi" yapılarak başarılı sonuçlar alınabilmiştir. Yapılan araştırma kapsamında bu gereklilik bahsi geçen optik deney aracılığıyla başarılı bir şekilde giderildiği için bütçe kullanılmadan başarı ile giderilmiştir. Bu yüzden, XRD ve XRF ölçümleri yerine yapılan ölçümler başarıyla projenin devam etmesini sağladığı için ülke çıkarları düşünülerek bütçe iade edilmiştir. Hazırlanan minerallerin lüminesans sinyal şiddetlerinin çalışma için uygun olduğu gözlenmiştir. Kuvars örnek hazırlama tekniğine göre hazırlanan örneklerde feldspat katkısını öğrenebilmek için IR-kontrol işlemi yapılmıştır. Oda sıcaklığında ve 50°C'de kuvars minerallerinin elektron tuzaklarında tuzaklanmış elektronların kızılötesi (IR) ışık ile uyarılamayacağı Jain ve Singhvi' nin (2001) çalışmasında gösterilmiştir. Buna göre örnek hazırlama işleminden sonra ayrıştırılan mineraller en az 2 diske okuma işlemi yapılacak şekilde önce kızılötesi ışık ile daha sonra mavi ışıkla uyarılarak incelenmiştir. Şekil 4.1'de bu örneklere ait IR kontrol grafikleri gösterilmektedir.



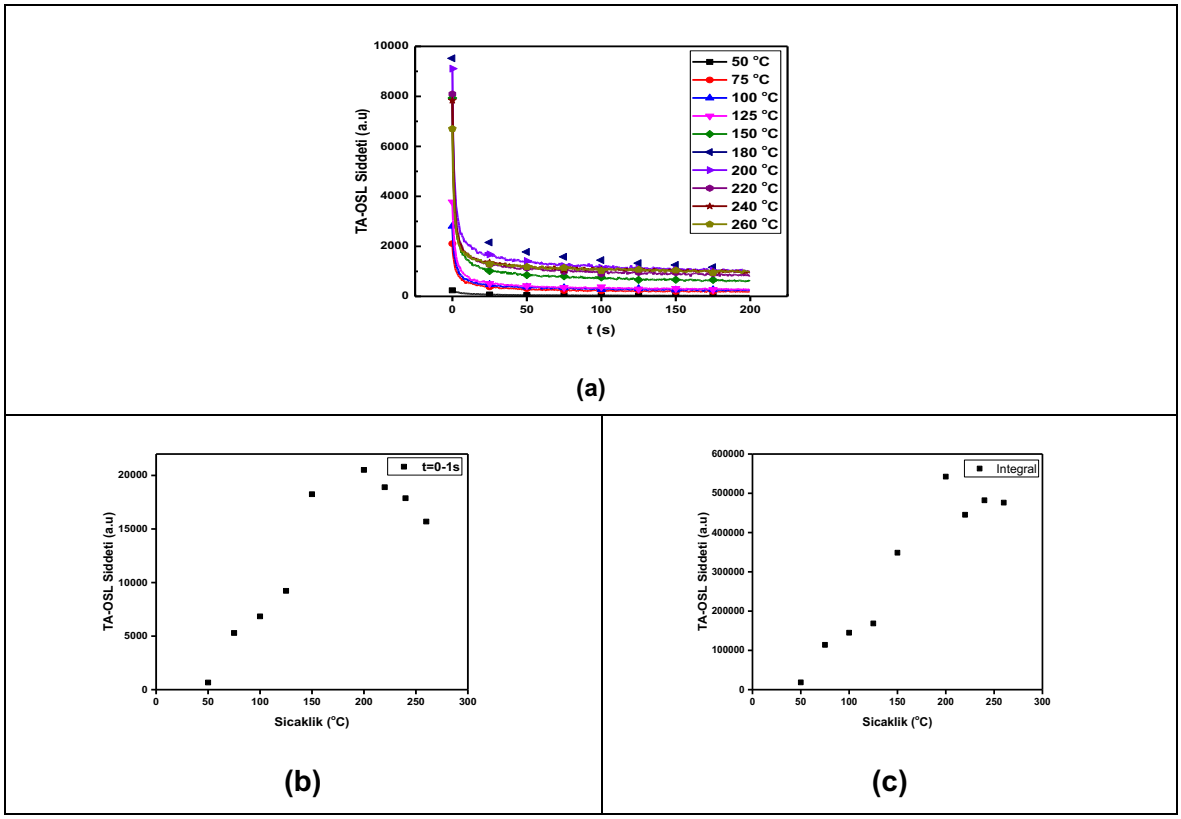
Şekil 4.1 Kuvars örneklerine ait IR kontrol işlemleri **(a)** Kula örneği **(b)** Afşin-Elbistan örneği **(c)** Kütahya-Simav örneği

Sonuçlara göre çalışılan örneklerde kuvars mineralinin başarıyla hazırlanmış olduğu gözlenmektedir. Şekil 4.1, kuvars örneklerindeki lüminesans sinyallerine farklı bir mineralin sinyal katkısının olmadığını göstermektedir.

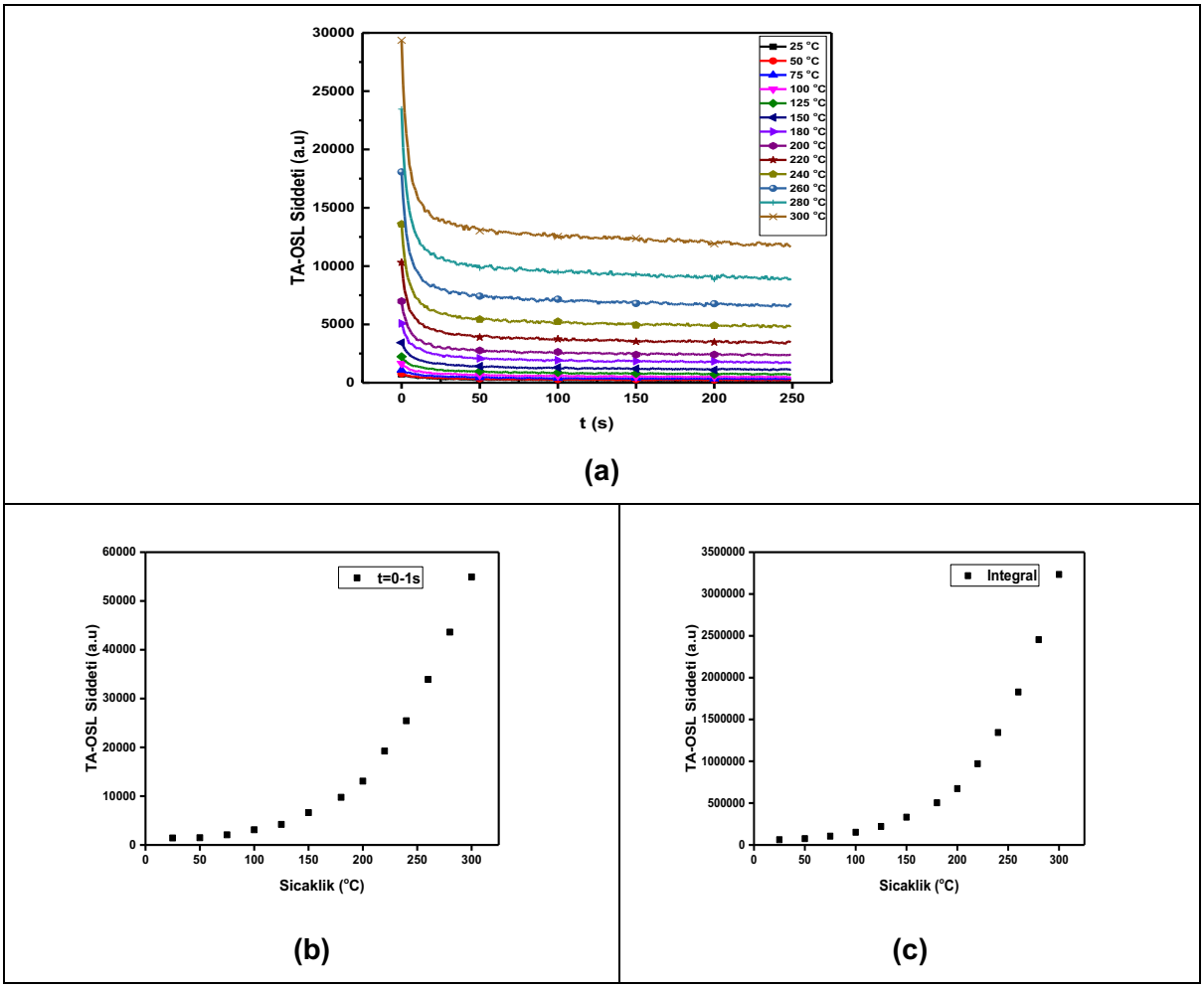
4.2 TA-OSL Sinyalleri

Bu konuda yapılan çalışmaların bir kısmı SCI uluslararası indeksinde taranan lüminesans dozimetri konusunda önemli çalışmaların yayınlandığı Radiation Measurements dergisinde 10.1016/j.radmeas.2018.04.002 doi numarasıyla kabul almıştır ve basım aşamasındadır.

Bu aşamada hazırlanan doğal kuvars örneklerinin artan uyarım sıcaklığında TA-OSL sinyalleri incelenmiştir. Numunelerden elde edilen artan uyarım sıcaklığına göre doğal TA-OSL sinyalleri Şekil 4.2a' da gösterilmektedir. Şekil 4.2b ve c' de doğal kuvars mineraline ait sıcaklığa bağlı TA-OSL sinyallerinin altında kalan alanlar (b'de ilk saniye ve c'de tüm alan) incelenmiştir. Grafiklere göre 180-200 ^{o}C aralığı kritik sıcaklık olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, daha önce yapılan Şahiner (2015), Polymeris vd. (2015a, 2015b) çalışmalarıyla uyum içerisindedir yani, kuvars mineralinin TA-OSL optimum uyarım sıcaklığı 180-200 ^{o}C olarak kabul edilebilir.

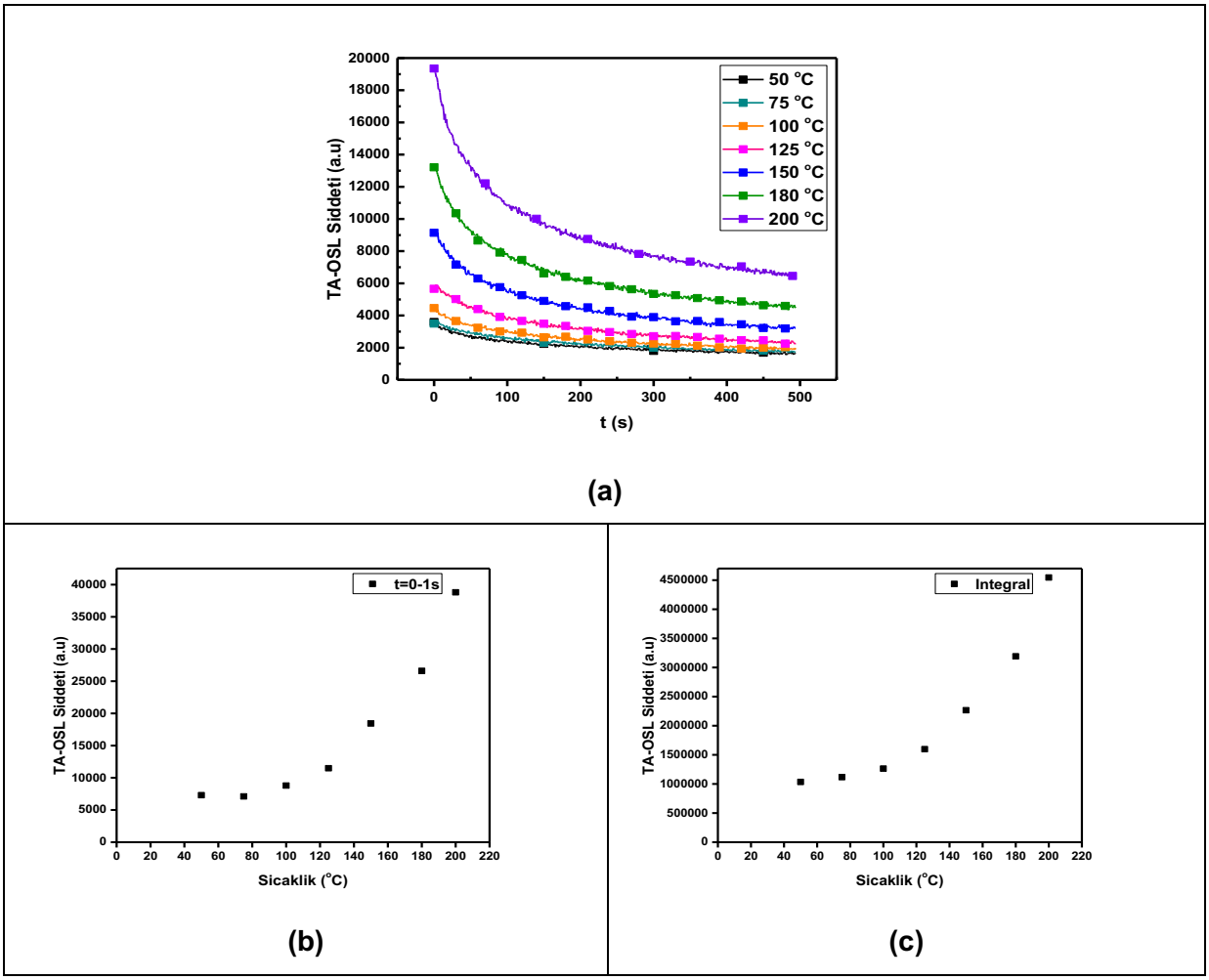


Şekil 4.2 Sedimentlerden ayıklanmış doğal kuvars mineraline ait TA-OSL sinyalleri **(a)** Farklı sıcaklıklarda 200 saniye OSL uyarımı sonucu TA-OSL sinyalleri **(b)** Başlangıçtaki sinyal azalışı dikkate alınarak ilk saniyedeki lüminesans şiddetlerinin sıcaklığa bağlı değişimi **(c)** Işıma eğrisinin altında kalan alan hesaba katıldığındaki lüminesans şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimi



Şekil 4.3 Sediment örneklerden ayrıştırılmış doğal K-feldispat mineraline ait TA-OSL sinyalleri **(a)** Farklı sıcaklıklarda 250 saniye OSL uyarımı sonucu TA-OSL sinyalleri **(b)** Başlangıçtaki sinyal azalışı dikkate alınarak ilk saniyedeki lüminesans şiddetlerinin sıcaklığa bağlı değişimi **(c)** Işıma eğrisinin altında kalan alan hesaba katıldığındaki lüminesans şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimi

Şekil 4.3, sediment örneklerden ayrıştırılmış doğal K-feldispat mineraline ait artan uyarım sıcaklığına karşı TA-OSL sinyallerini göstermektedir. TA-OSL şiddeti, artan sıcaklıkla artmaktadır ve sinyalin başlangıç kısmı hızlı bir bozunum göstermektedir. Ancak sinyalin kuyruk bileşenindeki artış daha belirgindir. Bunun nedeni, Jain vd. (2011)'de belirtildiği üzere K-feldispattaki band yapısının sürekli olması olabilir. Ayrıca Şekil 4.3b ve 4.3c'de görüldüğü üzere hem sinyalin başlangıç kısmının altında kalan alan hem de tüm alan sıcaklık arttıkça artmaktadır. Bu durum kuvarsta gözlenen durumdan farklıdır. Optimum uyarım sıcaklığı olarak en yüksek uyarım sıcaklığının seçilebileceği ön görülebilir. Bu durum Polymeris vd. (2015a, 2015b) gözlemleriyle uyumluluk göstermektedir. Farklı kökendeki feldispat türleri üzerinde benzer araştırmalar yapılarak karakterizasyon çalışması yapılması gerekmektedir.

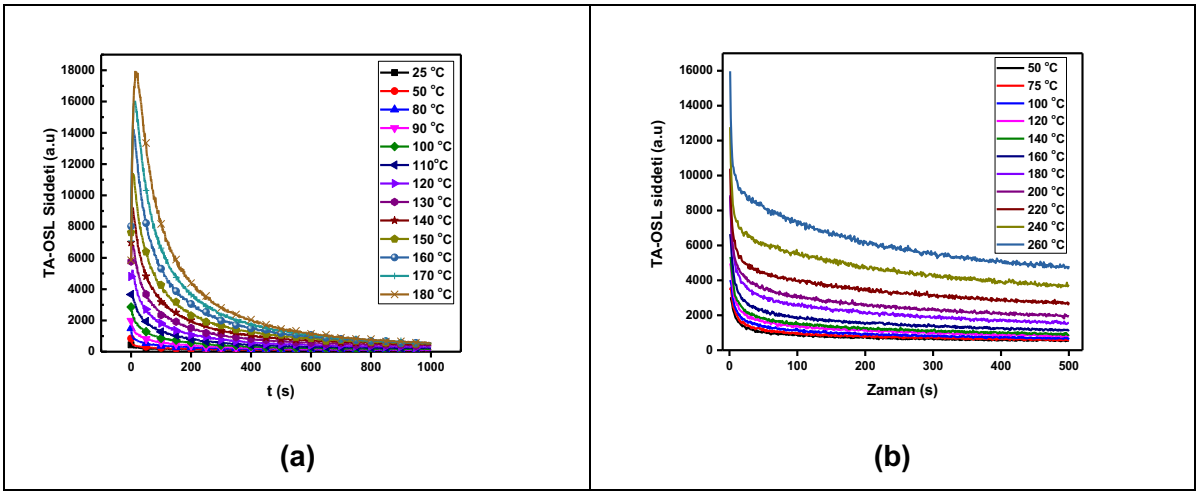


Şekil 4.4 Doğal apatit mineraline ait TA-OSL sinyalleri **(a)** Farklı sıcaklıklarda 500 saniye OSL uyarımı sonucu TA-OSL sinyalleri **(b)** Başlangıçtaki sinyal azalışı dikkate alınarak ilk saniyedeki lüminesans şiddetlerinin sıcaklığa bağlı değişimi **(c)** Işıma eğrisinin altında kalan alan hesaba katıldığındaki lüminesans şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimi

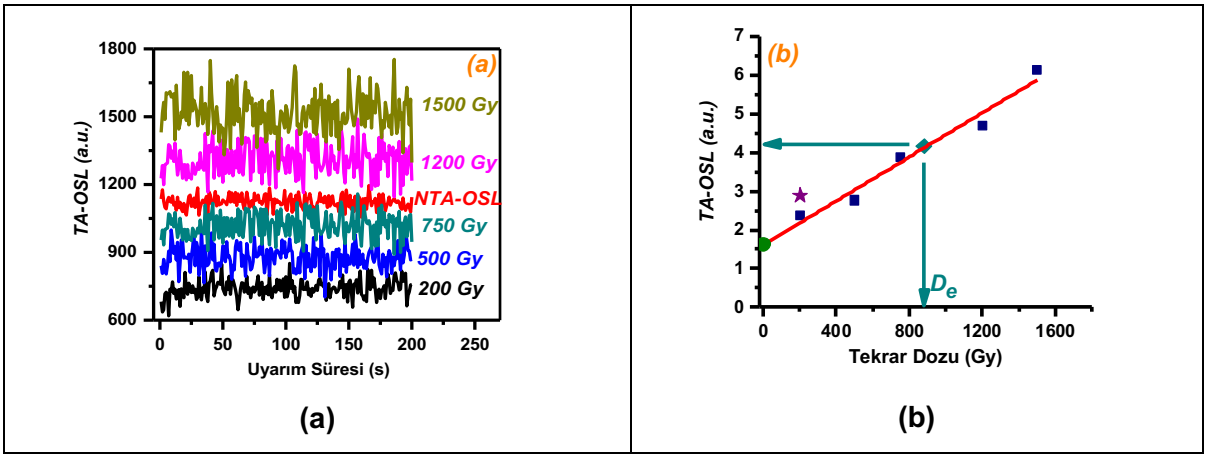
Şekil 4.4'te apatit mineraline ait artan uyarım sıcaklığına göre TA-OSL sinyalleri gösterilmektedir. Apatit mineraline ait TA-OSL sinyalleri, kuvars ve feldispat mineralinin aksine daha yavaş bir OSL bozunumu göstermektedir. Bu durumun sebebi, hızlı bileşene neden olan tuzakların apatit sinyallerinin sıradan OSL uyarımında olduğu gibi sürekli bir band yapısına sahip olması (band tail) olabilir. Şekil 4.4b ve 4.4c'de feldispat TA-OSL sinyallerine benzer olarak hem sinyalin başlangıç kısmının altında kalan alanın hem de tüm alanın sıcaklık arttıkça arttığı görülmektedir.

Şekil 4.5'te Al_2O_3:C ve MgO kristalleri için uyarım sıcaklığının artışına göre TA-OSL sinyalleri gösterilmektedir. Şekil 4a'da Al_2O_3:C sinyalleri, özellikle 100 °C üzerindeki sıcaklıklar için, 1 saniyelik kısma kadar bir artış; daha sonra bozunum sürecinin başlamasıyla da bir azalış şeklinde gözlenmektedir. Benzer durum proje sırasındaki araştırmalarda sıradan feldspat IRSL

sinyallerinde de gözlenmiştir ve konu detaylıca araştırılarak makale yayınlanmıştır (Şahiner vd. 2018). Şahiner vd. (2018)'e göre bu kısmın yeniden birleşme merkezlerinin uygulanan sıcaklıktan dolayı tuzaklar arası elektron transferinin olması, kristal yapı fonon etkileşmeleri veya izotermal ışımanın başlangıçta baskınlığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ancak sinyalin baş kısmının yavaş bozunmasına rağmen kuyruk kısmının çabuk silinmesi, (200s'de %10'a düşüyor) (bleaching) dozimetrik çalışmaların pratik uygulanabilirliği açısından oldukça önemlidir. Şekil 4.5b'de MgO kristalinin TA-OSL sinyalleri, Al_2O_3:C'e göre daha hızlı bir boşalma göstermesine rağmen kuyruk bölgesinin bozunumunun daha yavaş olduğu gözlenmektedir.

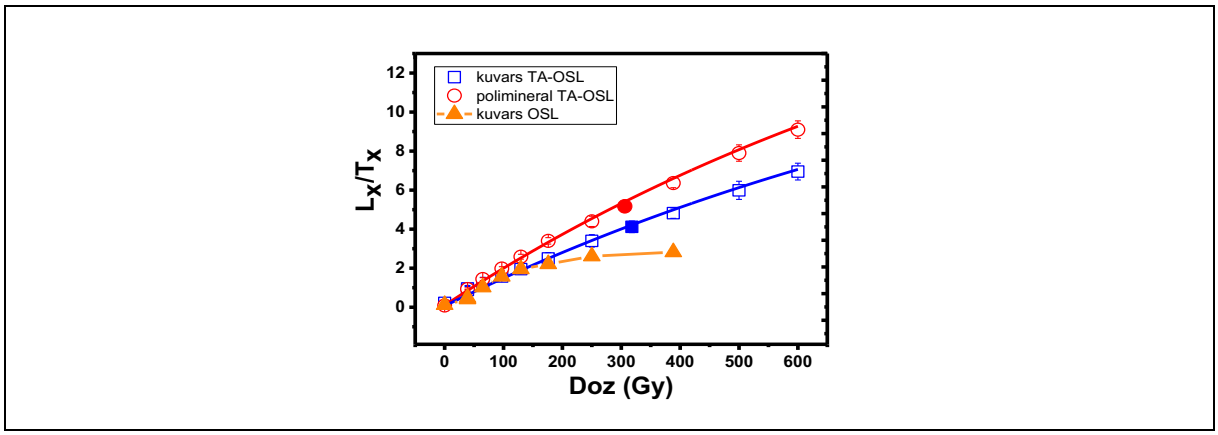


Şekil 4.5 Al_2O_3:C ve MgO dozimetresinin TA-OSL Sinyalleri **(a)** Al_2O_3:C dozimetresinin farklı sıcaklıklarda 1000 saniye OSL uyarımı sonucu TA-OSL sinyalleri **(b)** MgO dozimetresinin farklı sıcaklıklarda 500 saniye OSL uyarımı sonucu TA-OSL sinyalleri



Şekil 4.6 Afşin-Elbistan örneklerinden ayıklanmış kuvars örneklerinin TA-OSL sinyalleri **(a)** Kuvars üzerindeki doğal radyasyon dozu ve uygulanan yapay dozların dağılımı **(b)** Doğal kuvars örneğinin doz-cevap eğrisi

Şekil 4.6a'da Afşin-Elbistan örneklerinden ayıklanmış kuvars örneklerinin TA-OSL sinyallerinin artan dozlar için farklılık gösterdiği görülmektedir ve sinyalin başlangıç kısmı tuhaf bir şekilde hiç gözlenmemiştir. Bu tuhaf sinyalin nedeni örnekten elde edilen kuvars mineralindeki safsızlık durumlarından kaynaklı yavaş ve hızlı bileşen süperpoze olduğu ve yavaş bileşen kısmının hızlı bileşene göre daha baskın olduğu söylenebilir. Tuzak derinlik hesabına göre yapılan analizler daha önce yapılan kuvars mineralinin enerjilerinin hesaplandığı çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Polymeris 2015a, 2015b; Şahiner 2015). Bu konuda yapmış olduğumuz detaylı araştırma sonucu çıktılar *Radiation Measurements* dergisinde yayınlanmıştır (Polymeris vd. 2018a). Şekil 4.6b'de artan doza karşı TA-OSL şiddetinde bir artış gözlenmiş ve kuvars örneği üzerinde ara değer kestirimiyle 800-1000 Gy arasında bir eşdeğer doz tespit edilmiştir. Bu eşdeğer doz değerleri, sıradan kuvars OSL sinyalleriyle hesaplanamayacak büyüklüktedir. Bu durum, bize TA-OSL sinyalinin başlangıçtaki azalan kısmının olmadığı durumlarda özel koşullarla doz ölçümünün yapılabileceğini göstermektedir. Ancak, %30 civarında yüksek reküperasyon değerleri, SAR tekniği ile eşdeğer doz hesaplanmasında problem yaratmaktadır ve bu durum yaş tayini çalışmalarında kullanılabilirliğini kısıtlamaktadır.



Şekil 4.7 Sediment kökenli örneklerin kuvars TA-OSL (■) polimineral TA-OSL (●) ve kuvars sıradan OSL (▲) uyarım doz cevap grafikleri

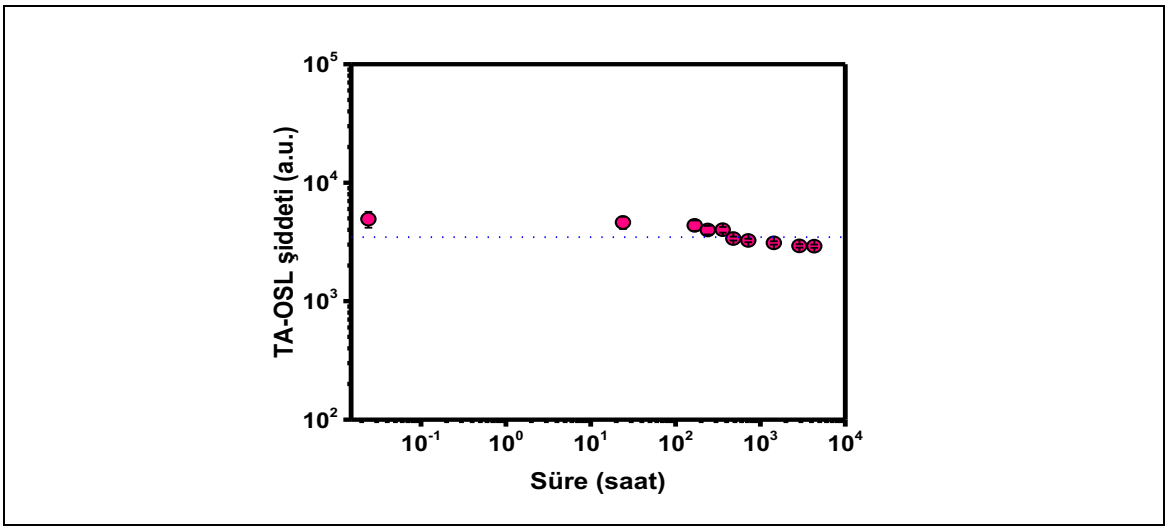
Şekil 4.7'de sedimenter kuvars ve polimineral olarak hazırlanan örneklerin TA-OSL ve kuvarsın sıradan OSL uyarım doz cevap eğrileri gösterilmektedir. Grafikten görüldüğü üzere aynı örnekten elde edilmiş sıradan OSL tuzaklarına ait sinyal şiddeti yaklaşık 100 Gy civarı doyuma ulaşırken TA-OSL sinyallerin 600 Gy civarı dozlarda bile artışı devam etmektedir. Murray ve Wintle (2006) çalışması bize doyum dozunun yaklaşık 3 katına kadar eşdeğer dozun hesaplanabileceğini ön görmektedir. Bu durumda bu TA-OSL~1500 Gy' lik bir doza denk gelir ve yıllık doz hızına bağlı olarak yaklaşık 1-2 milyon yıl arasındaki bir yaşın hesaplanabilmesine olanak sağlar.

Ayrıca 3σ (üç sigma) kuralına göre (Pagonis vd. 2006) elde edilebilen minimum doz hesaplanmıştır. Bu değer yaklaşık olarak ~2.5 Gy'e karşılık gelmekte ve sıradan OSL uyarımı için ise ~1 Gy'e karşılık gelmekte olup (Veronese vd., 2006) sıradan lüminesans uyarım tekniklerine göre hesapladığı değerlerle uyuşmaktadır. Buna göre çalışılan örnek için TA-OSL sinyalleri ile sıradan OSL sinyallerinden elde edilebilecek minimum yaşlar benzer değerleri gösterecektir. Bu durumda TA-OSL sinyalleri ile yapılacak eşdeğer doz hesaplarının sıradan OSL sinyalleriyle yapılacak eşdeğer doz hesaplarını kapsadığı söylenebilmektedir. Ancak ~2Gy yapay dozun altındaki ışınlamalara TA-OSL sinyal tepkisi gözlenmediği için bu noktadan daha düşük bölgelerde yaş tayini yapılabilmesi mümkün gözükmemektedir. Bu durumun nedeni göreli olarak düşük radyasyon dozlarında (2 Gy'in altında) çok derin tuzakları doldurabilecek yeterli elektron popülasyonun olamaması olabilir. Yani katı içerisinde önce sığ ve sıradan tuzakların (~2.5 eV'un altındaki uyarılma enerjisine sahip tuzaklar) dolduğu daha sonra çok derin tuzakların dolduğu söylenebilmektedir. Minimum doz limitlerinin sıradan OSL tuzaklarının doz limitlerine yakın çıkmış olması TA-OSL tekniğinin uygulanabilirliği açısından oldukça önemlidir. Farklı bölgelerden alınmış kuvars örnekleri üzerinde teknik test edilerek uygulama sahası geliştirilmelidir. Şahiner vd. (2015) çalışmasında belirtildiği üzere, farklı disklere göre kuvars TA-OSL sinyallerinden elde edilen eşdeğer dozlarda saçılma miktarı oldukça fazladır. Bunun nedeni, örnek üzerindeki eşdeğer doza uygun aralıkta test dozu seçilememiş olmasından veya çok derin tuzakların sıfırlanması (bleaching) probleminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumun kaynağını araştırmak için 16'şarlı gruplar halinde hazırlanan örnekler için 25, 50 ve 75 Gy' lik test dozları ile 150, 200 ve 400 saniyelik uyarım süreleriyle incelenmiş ve sıradan OSL uyarımı sonucuyla hesaplanan eşdeğer dozlarla karşılaştırılmıştır. Tablo 4.1'de sunulan sonuçlara göre, standart sapmanın en az olduğu 75 Gy'lik test dozunun (eşdeğer dozun ~%20si) en uygun olduğu görülmektedir. Göreli olarak yüksek test dozlarının uygun olmasının nedeni, çok derin tuzaklardaki tuzaklanmış elektronların popülasyonunun yüksek dozlarla orantılı olması olabilir.

Tablo 4.1 Sabit sıcaklıklarda farklı test dozları

Ölçüm Tipi	Uyarım Sıcaklığı (°C)	Test Dozu (Gy)	Uyarım Süresi (s)	Eşdeğer Doz (Gy)	Std. Sapma (Gy)
OSL	*110*	*25*	*150*	*313±15*	*20*
TA-OSL	180	25	200	301±42	98
		25	400	316±28	79
		50	200	338±22	106
		50	400	361±28	68
		75	200	397±18	39
		75	400	381±18	44

Şekil 4.8'de kuvars minerali için TA-OSL sinyallerinin zamanla kararlılığı verilmiştir. Bu amaçla eşit miktarda ışınlanmış (400Gy) ve eşit kütlede olan kuvars mineralleri 1 günden 6 aya kadar bekletilerek ölçülmüştür ve TA-OSL sinyallerinde kayda değer önemli bir azalma olmadığı gözlenmiştir. Bu durum, TA-OSL sinyallerinin incelenen süreler için oldukça kararlı sinyaller olduğunu ve anormal sönümden etkilenmediğini göstermektedir.



Şekil 4.8 Kuvars mineralinin TA-OSL sinyallerinin zamana bağlı kararlılığı

Tablo 4.2 Çalışma kapsamında incelenen örneklere ait uygun TA-OSL uyarım sıcaklıkları ve bileşenlerinin minimum dedekte edilebilen doz (MDD) değerleri

Materyal	***Konum***	***Optimum TA-OSL uyarım sıcaklığı (°C)***	***TA-OSL MDD (ilk 5 saniyelik kısım) Gray (Gy)***	***TA-OSL MDD (kuyruk bileşen kısmı) Gray (Gy)***
Kuvars, Kula	30.61 K 28.81 D	180 - 200	8 ± 2	28 ± 8
Kuvars, Afşin-Elbistan	38.40 K 36.80 D	180 - 200	Yalnızca kuyruk bileşeni gözlenmiştir.	40 ± 10
Kuvars, Kütahya-Simav	38.08 K 28.39 D	180 - 200	2.5 ± 0.5	20 ± 5
K-feldspat, Kuzey Yunanistan	40.50 K 23.05 D	180 - 300	4 ± 2	15 ± 4
Apatit, Drango Meksika	24.85 K -103.20 D	200	-	-
MgO	-	260	10 ± 1	22 ± 2
Al_2O_3	-	160	-	-

Minumum dedekte edilebilen doz (MDD) değerleri artan doz-cevap bağımlılığına göre Şahiner (2015)'in çalışmasında kullanılan *ekponansiyel + lineer* özel bir fonksiyona fit edilerek eğrinin x-eksenini kestiği nokta tespit edilmek koşuluyla hesaplanmıştır ve sonuçlar Tablo 4.2'de sunulmaktadır. Kuvars mineraline ait minimun ölçülebilen doz değerleri kuvarsın alındığı bölgeye göre sinyalin başlangıç bölgesi dikkate alındığında yaklaşık ~2 ve 8 Gy iken kuyruk kısmı dikkate alındığında 20-40 Gy arasında olduğu gözlenmektedir. Bu sonuçlar Şahiner (2015)'in çalışmasında bellirttiği MDD değerleriyle ve (Polymeris vd 2015a,b) çalışmasında belirttiği TA-OSL uyarım sıcaklıklarıyla uyumlu olduğu söylenebilir. Buna göre TA-OSL sinyalinin başlangıç bölgesinin tüm malzemelerde eşdeğer doz ölçümü için daha uygun olduğu söylenebilir. Elde edilebilen minimum doz değerinin ortalama 5 Gy olduğu düşünüldüğünde bölgedeki yıllık doz oranına göre değişmekle birlikte birkaç bin yıl olduğu tahmin edilebilir. Sıradan OSL tuzaklarında ise bu değer Veronese vd.'nin (2006) çalışmasında 1 Gy olarak gözlenmiştir. Bu durumda düşük doz bölgesinde incelenen kuvars örnekleri kapsamında sıradan tuzakların çok derin tuzaklara göre daha etin olduğu söylenebilmektedir.

4.3 Yıllık Doz Ölçümleri

Yılık doz ölçümleri numunelerin içerdiği U, Th, K konsantrasyonunu tespit etmek için %33 göreli verime sahip yüksek saflıkta germanyum dedektörü (HpGe) ile gama spektroskopisi yöntemi kullanılmıştır. Numuneler spektrometrenin kalibrasyonunda kullanılan standartlarla aynı geometride hazırlanmış ve radyoaktif dengeye ulaştıktan sonra karşılaştırmalı analiz tekniği ve doğrudan aktivite ölçüm tekniği kullanılarak doğal radyonüklit konsantrasyonu yapılmıştır. Dedektör kalibrasyonu, ölçüm ve analiz detayları Şahiner ve Meriç (2014) çalışmasında sunulmuştur.

Tablo 4.3 Kula örneğinin konum ve radyoizotop bolluk oranları ile çevresel doz hızı(Şahiner vd. 2017)

Örnek Kod	Konum		Yüksek lik (m)	Derinlik (m)	Tane boyu (µm)	U (ppm) ICP-MS/ Gama Spek.	Th (ppm) ICP-MS/ Gama Spek.	K (%) ICP-MS/ Gama Spek.	Suya doyum yüzdesi (%)	Kozmik doz hızı (Gy/bin yıl)	Doz hızı (Gy/bin yıl)
K1 (Kula)	30. 61 K	28. 81 D	542. 5	7.5	90-300	1.22 ± 0.08	3.70 ± 0.14	0.50 ± 0.08	35 ± 5	0.038 ± 0.012	1.07 ± 0.05
						1.33 ± 0.04	3.92 ± 0.05	0.55 ± 0.07			

Analizlerde U aktivitesi için, ^{214}Pb'nin 351,9 ve 295,2 keV; ^{214}Bi'nin 609,3 ve 1764 keV'lik pikleri, Th aktivitesi için, ^{228}Ac'ın 338,4 ve 911,1keV; ^{208}Tl'nin 583,1 keV'lik pikleri, K aktivitesi için 1460 keV'lik pik kullanılmıştır. Doğal radyoaktif elementlerin (U, Th, K, Rb) ICP-MS "inductively Coupled Plasma - Mass Spectroscopy" ve gama spektroskopisi teknikleriyle analiz sonuçları gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.3'te yer almaktadır. Sonuçlar U, Th ve K için sırasıyla ~% 8 , %6 ve ~%10 farkla birbiri içerisinde tutarlı olduğu gözlenmiştir.

4.4 Yaş Tayini Çalışmaları

Bu bölümde yapılan çalışmalar, ULAKBİM ve ESCI uluslararası indekslerinde taranan Türkiye Jeoloji Bülteni (Geological Bulletin of Turkey)'nin 2017 yılı Aralık özel sayısı 60(4) cilt no ile 489-506 sayfaları arasında "Termal-Asistan Optik Uyarmalı Lüminesans (TA-OSL) Tekniğiyle Milyon Yıl Mertebesindeki Jeolojik Örneklerin Tarihlendirilmesi: Gediz Taraçaları, Kula/Manisa." başlığı ve 10.25288/tjb.360609 doi numarasıyla yayınlanmıştır. Bu çalışma, bu tekniğin literatürde yaşı bilinen bir bölgeden alınan örnekler üzerindeki ilk başarılı uygulamasıdır.

Önerilen çalışma kapsamında yapılan çalışmalar salt tarihlendirme çalışmasından ziyade önerilen hipotezin metodolojik olarak test edilmesi ve geliştirilmesi üzerine odaklamıştır. Bu yüzden ilgili bölgelere ait uzmanlık dışında kalan jeolojik yorumdan mümkün olduğunca kaçınılmıştır. Yalnızca kula bölgesinden alınan örnekler jeolojik açıdan değerlendirilmiş olup bu kısmın yorumu ve değerlendirmesi basılan makalede (Şahiner vd. 2017) ismi geçen ortak yazar (Dr. M.Korhan ERTURAÇ) tarafından yapılmıştır.

Şahiner (2015) ve Şahiner vd. (2017) kuvars ve polimineral örneklerde TA-OSL tekniğiyle birkaç bin Gray (Gy) eşdeğer dozun hesaplanabileceğini literatürde ilk defa göstermiştir. Ayrıca Polymeris vd. (2015a, 2015b) çalışmalarında kuvars ve feldispat minerallerinin TA-OSL sinyallerine ait dozimetrik özellikler, uygun uyarım sıcaklığı ve tuzak yük yapısına ait önemli bilgiler gösterilmektedir. Bu kapsamda incelenecek numune, yaşı literatürde iyi bilinen ve milyon yıl mertebesinde (1280000 yıl) Maddy vd. (2017) değerlendirilen Manisa-Kula bölgesinden seçilmiştir. Bu çalışma için elde edilen OSL örneği, geç Miyosen yaşlı karasal Ahmetler formasyonuna ait haki renkli killi seviye üzerine uyumsuz olarak gelen ve belirgin bir akarsu deposu niteliği sunan taraça seviyesi içerisinden alınmıştır Örneklemenin yapıldığı mevkii Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



(a)

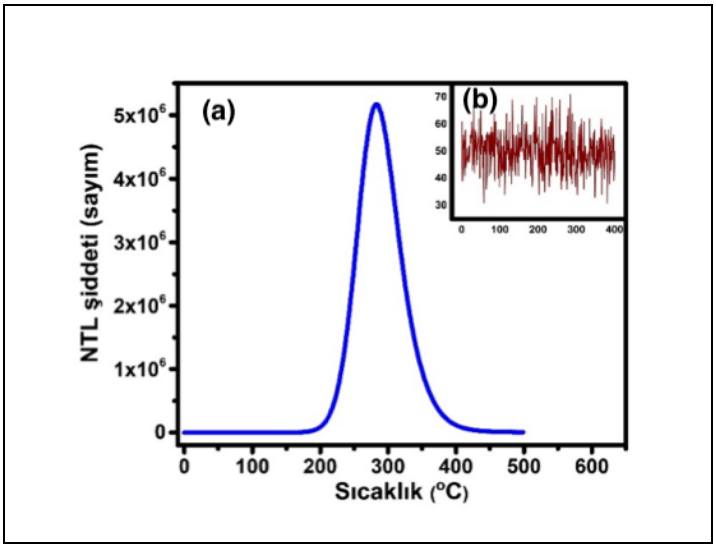


(b)

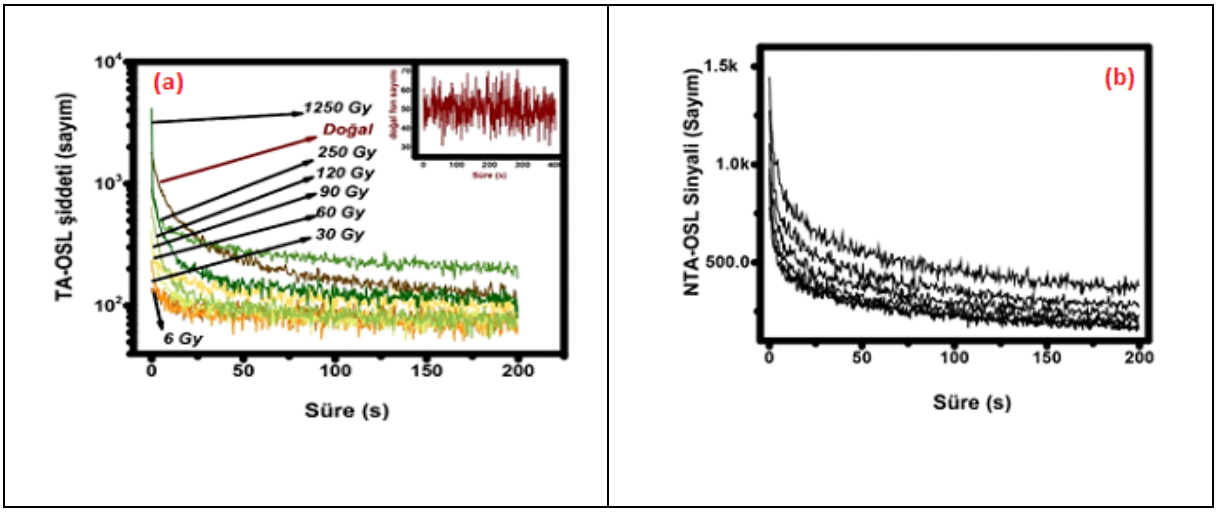
Şekil 4.9 Örneklemenin yapıldığı yer **(a)** Çalışma alanının Google Earth™ görüntüsü üzerinde görünümü. **(b)** Ahmetler formasyonu ile Burgaz Volkanitlerine ait lav akıntıları arasında sınırlanan Gediz taraça kesitinin Genel konumu ve Ölçülü taraça kesiti üzerinde laminalı siltli ince kum fasiyesinden alınan OSL örneğinin konumu (ölçek 1 m uzunluğundadır) (Sahiner vd. 2017)

Hazırlanan disklere TA-OSL SAR protokolü uygulanarak eş değer doz hesaplanmıştır. Hazırlanan örneğe ait doğal termolüminesans (NTL) şiddeti, Şekil 4.10'da gösterilmektedir. NTL şiddetinin milyon sayım mertebesinde olduğu gözlenmektedir. Bu örneğin yaşlı olduğunu ve tüm tuzaklarının yeterli seviyede dolu olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.10'da doğal TL (NTL) sinyali ve fototüpün arkaplan ışıması kontrol edilmiştir. Görüldüğü gibi TL sinyali oldukça parlaktır. Arkaplan ışıması hemen TL okumasının ardından alınmıştır ve okuma sonrası fototüpte herhangi bir problem ve izotermal ışıma görülmemektedir. Bu işlem sonrasında tekrar TL ve oda sıcaklığında OSL okumalarında sinyal şiddetleri arkaplan ışıması seviyesindedir. Yani sıradan tüm tuzakların boşaltıldığı söylenebilir.



Şekil 4.10 Kula kuvars örneğine ait termolüminesans (TL) ışıma grafiği (a) Doğal TL (NTL) sinyali ve (b) hemen sonrasında arkaplan (background) ışıması (Şahiner vd. 2017)

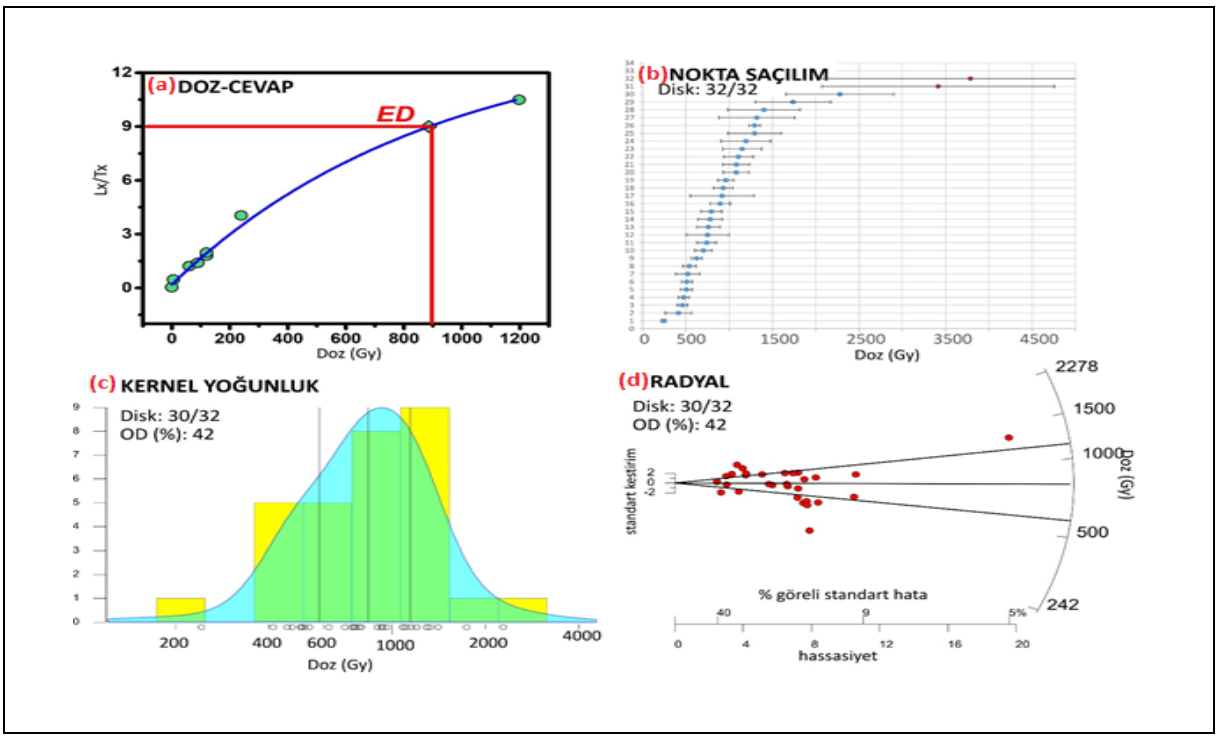


Şekil 4.11 Tablo 3.1'deki protokole göre 3. adımdaki 180°C'de elde edilen TA-OSL sinyalleri **(a)** Kuvars örneği üzerindeki doğal dozun ve verilen yapay dozların TA-OSL Sinyalleri **(b)** 60 Gy test dozuyla kuvarsın doz hassasiyeti testi (Şahiner vd. 2017)

Şekil 4.11a'da artan yapay dozlar verilmiştir, yaklaşık 10 saniye içerisinde TA-OSL sinyalinde tuzaklarda hızlı bir boşalma olduğu anlaşılmaktadır. Ancak kuyruk kısmının da doz ile birlikte arttığı gözlenmektedir. Bu durum Kütahya-Simav'dan alınmış örneklerde de gözlenmiş ve kuyruk bileşeni olarak adlandırılmıştır (Polymeris vd. 2015a, 2015b; Şahiner 2015). TA-OSL uyarım sıcaklığı ise daha önce yapılmış çalışmalardaki bulgular ışığında 180 °C olarak seçilmiştir (Polymeris vd. 2015a, 2015b; Şahiner 2015). Doğal TA-OSL sinyallerinin yanı sıra

içteki şekilde arkaplan/doğal fon ışıması da gösterilmektedir. TA-OSL sinyallerinin bozunum şekillerinin sentetik kristaller (Al_2O_3:C, CaF_2:N) ile kıyaslandığında farklı olduğu görülmektedir. Sentetik kristallerde lüminesans sinyali, başlangıç bölgesinde önce artıp daha sonra azalırken incelemiş olduğumuz örnekte, sıradan sürekli dalga boyu (CW-OSL) lüminesansına benzer şekilde zamanla azalan bir bozunum söz konusudur. Benzer sonuçlar Şahiner (2015) tarafından kuvars ve polimineral numunelerde de gözlenmiştir. Bu farkın nedeni doğal minerallerde safsızlıkların miktarının çok olmasından dolayı tuzaklanmış elektronların uyarıldıktan sonra iletkenlik bandına geçmeden en yakın komşuluğundaki bir merkezle lokalize yeniden birleşme yapmış olması olabilir (Şahiner 2015).

Şekil 4.11b'de doz hassasiyet kontrolü için diskler aynı dozda ışınlanarak 180 °C sıcaklıkta TA-OSL sinyalleri incelenmiştir. Ölçümlerde ~%10 fakla tekrarlanabilirlik gözlenmektedir. Bu durumun Şahiner (2015) ve Polymeris vd. (2015a, 2015b) çalışmasıyla çeliştiği söylenebilir. Çünkü bu çalışmalarda farklı disklerde aynı kütlede örneklerin TA-OSL sinyallerinde birbiriyle uyumlu, tekrarlanabilir bir sinyal gözlenememiştir. Bu durumda faklı sedimetlerden ayıklanmış kuvars minerallerinin kristal yapısındaki farklılıklar (bu beklenen bir durumdur çünkü doğa karmaşıktır) TA-OSL davranışlarının birbirinden farklı olabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.12 Çok Derin Tuzakların TA-OSL sinyallerinin geliştirilmiş-SAR tekniğine göre eşdeğer doz değerlendirmesi **(a)** Örnek bir diske ait doz-cevap eğrisi **(b)** Ölçülen D_e değerlerinin nokta saçılım dağılımı **(c)** Kernel yoğunluk dağılımı **(d)** Eşdeğer dozların radyal dağılımı (Şahiner vd. 2017)

Burada, çok derin tuzakların TA-OSL sinyalleri kullanılarak geliştirilmiş-SAR tekniği protokolü başarılı olarak uygulanmıştır. Şekil 4.12a'da numunenin çok derin tuzaklarından alınan TA-OSL sinyallerine bağlı doz-cevap grafiği gösterilmektedir. Test dozu olarak 60 Gy seçilmiştir ve eşleme işlemi, *lineer+eksponansiyel* denklemine göre yapılmıştır. Şekilde her bir SAR döngüsünden sonra T_x/T_n oranı kontrol edilerek hassasiyet değişimi düzeltilmiştir. Eşdeğer dozların farklı disklere göre nokta değerleri hata payları ile birlikte Şekil 4.12b'de, kernel yoğunluk histogramı Şekil 4.12c'de, radyal dağılımı da Şekil 4.12d'de sunulmaktadır.

TA-OSL için her bir ölçüm diskinden hesaplanan eşdeğer dozlar hata değerleri ortalaması %5 olarak belirlenmiştir. Bu oran, her diskin eşdeğer dozunun yüksek hassasiyetle hesaplandığını göstermektedir ki bu sonucun Şahiner (2015) ve Şahiner vd. (2017) çalışmalarındaki kuvars ve polimineral sonuçlarıyla uyumlu olduğu söylenebilir.

Tablo 4.4 Kula örneğinin istatistiksel analiz sonuçları ve yaş kestirimleri (Şahiner vd. 2017)

Model	Eşdeğer doz (Gy)	Olasılık (%)	Doz hızı (Gy/bin yıl)	Yaş (bin yıl)
CAM	808 ± 69	*	1.07 ± 0.05	755 ± 99
FMM#1	1141 ± 43	53		1066 ± 22
FMM#2	582 ± 27	43		544 ± 51
MAM	242 ± 31	*		226 ± 40

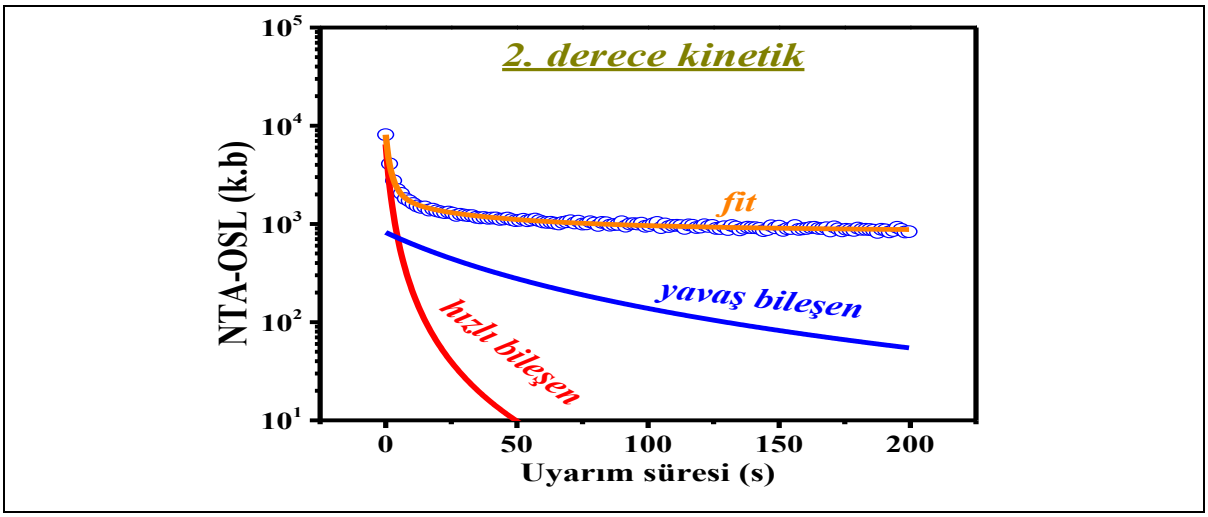
Kula OSL örneğinin alındığı taraça seviyesi, Maddy vd. (2017) tarafından örneklenen bölge depolanma yaşı 1280 binyıl (MIS 38) olarak önerilmiştir. Bu önermede, Kula'nın ilk evre volkanik faaliyetinin ürünlerinden bazaltik lav akıntısının Gediz Nehri'nin yatağını ve o dönemki taşkın ovasını örttüğü, dolayısıyla da volkanizma ile taraçanın fosilleşmesinin eş zamanlı olduğu kabul edilmiştir. Şahiner vd. (2017) çalışmasında gösterdiği istatistiksel analize göre Burgaz volkanitlerinden elde edilen radyometrik (K/Ar ve Ar/Ar) yaş analizinin Richardson-Banbury (1996); Westaway vd. (2004, 2006); Maddy vd. (2015, 2017) istatistiksel değerlendirilmesi yaklaşık 1.2 milyon yıl civarındadır. Taraçayı örten lav akıntısının radyometrik yaşların ortalaması ile taraçadan TA-OSL yöntemi kullanılarak elde ettiğimiz maksimum yaş değeri yaklaşık olarak 1.1 milyon yıl civarında olup, bu değerin literatürdeki yaşların istatistiksel değerlendirilmesiyle ~% 90 oranında örtüştüğü görülebilmektedir. Sonuçlar bize son derece efektif ve daha sade örnek hazırlama prosedürüyle anormal

sönümden etkilenmeyen, kararlı sinyallere sahip ve yaklaşık 1-2 kGy gibi yüksek eş değer dozların hesaplanabileceği bir tekniğin başarıyla uygulanmasını sunmaktadır. Paleodoz sonuçları saçılma göstermiş olsa da ölçüm hassasiyetleri yaklaşık %10'u geçmeyecek şekilde çıkmıştır. Literatürle uyumlu çıkan TA-OSL yaş tayini tekniği farklı bölgelerden elde edilen yaşlarla örnek sayısı arttırılarak sınanmalıdır. Ayrıca saçılmanın nedenin bölgenin jeolojisinden kaynaklı sıfırlanma mekanizmasının çalışmamasından mı (uncomplate bleaching) yoksa tuzakların fiziksel özelliklerinden mi kaynaklandığı üzere ileri araştırmalar yapılmalıdır.

4.5 Dekonvolüsyon Çalışmaları

Bu konuda yapılan çalışmalar SCI uluslararası indeksinde taranan lüminesans dozimetri konusunda önemli çalışmaların yayınlandığı Radiation Measurements dergisinin 119 cilt numarası, 93-101 sayfaları arasında, 10.1016/j.radmeas.2018.09.009 doi numarasıyla basılmıştır.

TA-OSL sinyalleri, dekonvolüsyon tekniği ile bileşenlerine çözümlenerek tuzaklar hakkında fiziksel yorumlar yapılabilir, oluşum mekanizmaları araştırılabilir. Bu şekilde geçmişe yönelik doz ölçümlerinin yapıldığı çalışmalara önemli katkılar sağlanabilir. TA-OSL tekniği ile çok derin tuzakların uyarıldıktan sonra salınan lüminesansın oluşum mekanizması hakkında kuvars ve feldispatın sıradan OSL sinyallerinde olduğu gibi henüz tam olarak başarılı bir yaklaşım yapılamamıştır. Bu amaçla proje kapsamında, sinyalleri çözümlemek için genel mertebe kinetiği (GOK), transfer ve tünelleme kinetikleri kullanılarak bir yaklaşım yapılmaya çalışılmıştır.

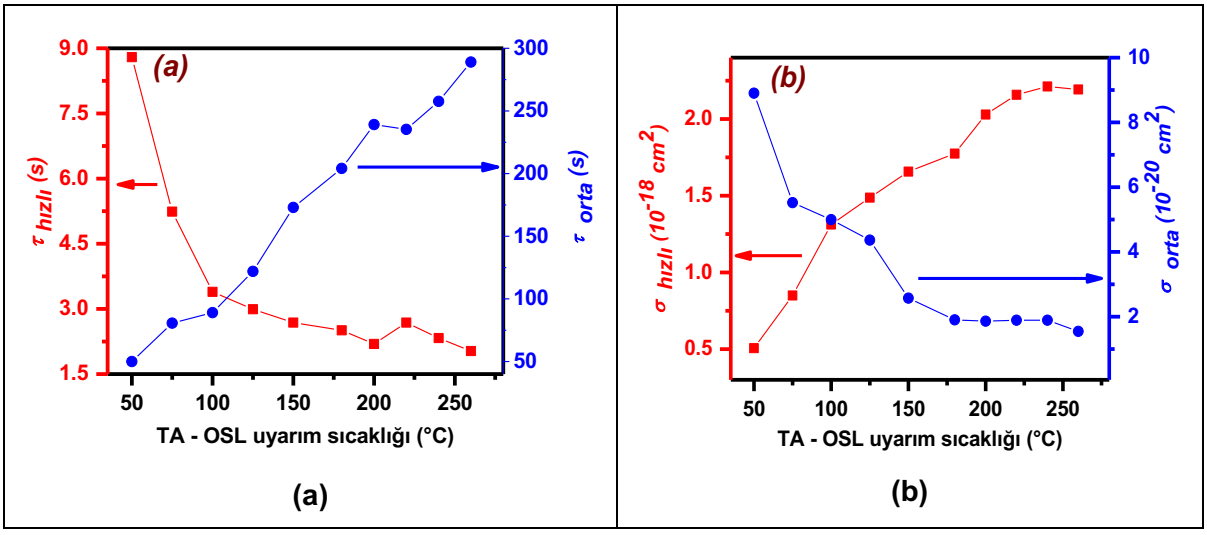


Şekil 4.13 GOK modeli kullanılarak TA-OSL sinyallerinin bileşenleri (FOM % 1.5)

Şekil 4.13'te öncelikle Kütahya-Simav'dan alınan sedimentlerden elde edilmiş kuvars numuneleri YKT kodlarıyla kodlandırılmıştır. TA-OSL sinyallerinin dekonvolüsyonu için öncelikle kuvars OSL sinyalini başarılı bir şekilde açıklayabilen Eşitlik 1'deki GOK modeli kullanılmıştır.

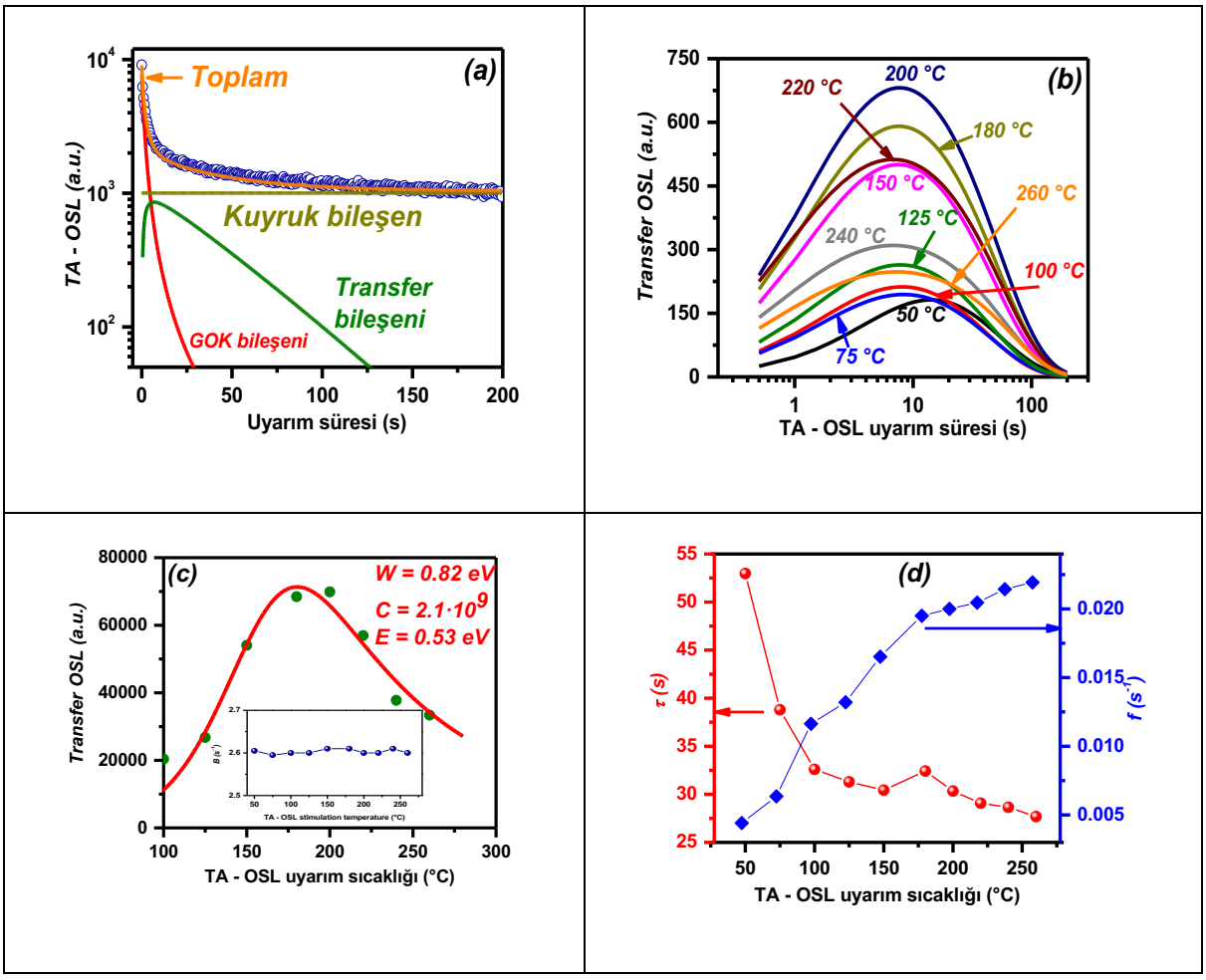
Şekil 4.13'te görüldüğü üzere iki bileşende GOK modeline göre çözümlenebilmiştir. b parametresinin değeri yaklaşık olarak 2 olduğu için sistem ikinci dereceden kinetiktir yani kristal içinde yeniden tuzaklanmalar meydana gelmektedir. Aslında bu durum oldukça mantıklı ve beklenen bir yaklaşımdır, çünkü uyarım boyunca çok derin tuzaklardan daha sığ tuzaklara elektron transferi söz konusudur.

Sistemin doğru yorumlanabilmesi için bileşenlerin fiziksel değişimlerinin ve parametrelerin incelenmesi gerekir. Bu amaçla uygulanan bütün sıcaklıklar tek tek çözümlenmiştir. Sıcaklıkla ömrün ve tesir kesitinin değişimi ($\tau = (\sigma.\phi)^{-1}$) incelenmiştir (Şekil 4.14). Sıcaklık arttıkça kristal band aralığı daralmaya başladığı için uyarılmış elektronun yeniden birleşmesi için geçen süre azalır. Bu durumda beklenen τ 'nun sıcaklıkla azalması ve ters orantılı olarak σ'nın sıcaklıkla artmasıdır (sabit ışık uyarım gücünde çalıştığımız için ϕ sabittir). Şekil 4.14a'da hızlı bileşen için, beklenene uygun şekilde sıcaklıkla τ azalmaktadır ve σ ile ters orantılı olarak değişmektedir.



Şekil 4.14 GOK bileşenleri ömür ve tesir kesitinin sıcaklıkla değişimi **(a)** Hızlı bileşen **(b)** Yavaş bileşen

Fakat Şekil 4.14b'de beklenenden farklı olarak τ sıcaklıkla artmaktadır ve bu fiziksel olarak beklenen bir durum değildir. Bu durumda 2. bileşen olan yavaş bileşende GOK modelinin çalışmadığı ve farklı bir modelle açıklanması gerektiği düşünülebilir. Bu açıklama için lüminesans oluşumu sırasında termal asistanlık söz konusu olduğu için ilk akla gelen transfer modelidir. Yavaş bileşenin incelenmesi için Eşitlik 2'deki transfer modeli kullanılmıştır. Şekil 4.14'te GOK ve transfer modellerinin bir kombinasyonu kullanılarak TA-OSL sinyali çözümlenmiştir.

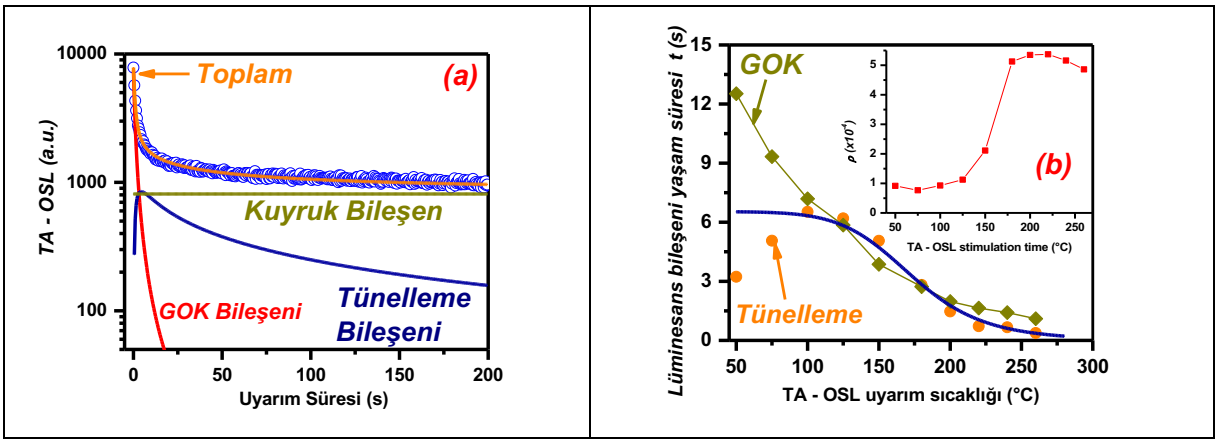


Şekil 4.15 GOK ve transfer modelleri kullanılarak TA-OSL analizi **(a)** TA-OSL sinyalinin bileşenleri (FOM % 1.8) **(b)** Transfer modeli bileşeninin sıcaklıkla değişimi **(c)** Transfer modeli parametreleri τ ve F parametreleri, içteki şekil B parametresinin değişimi **(d)** GOK bileşeninin tuzak ömrü parametresi ve transfer modeli f kesrinin değişimi (Polymeris vd. 2018b)

Transfer modelinde başarılı bir fit işlemi gerçekleştirilmiştir. Ancak fiziksel olarak uygunluk yine ancak parametrelerin incelenmesi ile mümkündür. GOK ve transfer modelindeki parametrelerin sıcaklıkla değişimi incelenecek olursa, öncelikle τ, F, B parametrelerinin sıcaklıkla değişimi analiz edilmelidir (Şekil 4.15b).

Şekil 4.15d'de yeniden birleşme oranı τ, 125°C'ye kadar hızlı bir düşüş gösterip daha sonraki sıcaklıklarda neredeyse kararlı bir değişim göstermektedir. Sıcaklık arttıkça derin tuzaklardaki elektronların iletkenlik bandına geçme oranı F artmaktadır. Şekil 4.15c'de elektronların sığ tuzaklarda tuzaklanma oranı B ise sıcaklıkla sabit kalmaktadır. GOK bileşeninde ise τ sıcaklıkla azalmakta ve σ ise artmaktadır. GOK bileşeni için bu durum beklenen bir durumdur. Fakat transfer modeline göre $\tau_{transfer}$ ve B'nin sabit olması durumunda sistem sanki-kararlı (quasi-equilibrium) durumda varsayılabilir (Chen ve Pagonis 2011). Buna göre sistemde, B'nin yanı sıra τ'nun da sabit olmasının gerektiği düşünülebilir. Ancak beklenenden farklı olarak τ ilk sıcaklık değeri için hızlı bir düşüş gösterip daha sonra sabit davranış göstermiştir. Bu durum, transfer modelinin çok derin tuzaklarda 100°C'nin üzerinde çalıştığını düşündürmektedir.

Kuvars mineralinde sıradan OSL ve TL uyarım teknikleriyle oluşturulan lüminesans olayı, birinci, ikinci ve genel mertebe kinetik modelleriyle oldukça başarılı bir şekilde açıklanmıştır. Ayrıca kuvars mineralinde görülen anormal sönüm şimdiye kadar olan çalışmalarda gözlenmemiştir. Tünelleme modeli ise, sönüm olgusunun meydana geldiği minerallerdeki (feldispat, apatit vb.) lüminesans olgusunu, lokalize geçişlerin en yakın komşuluğunda yeniden birleşme yaparak başarılı bir şekilde açıklamaktadır. Bu yaklaşım, kuvarsta çok derin tuzakların TA-OSL sinyallerinin mekanizmasını açıklamak için kullanışlı olabilir. Bu amaçla tuzakların TA-OSL sinyallerini çözümlemek için GOK ve tünelleme kinetik modellerinin bir kombinasyonu kullanılmıştır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 GOK ve tünelleme modelleri kullanılarak TA-OSL analizi **(a)** GOK ve tünelleme modelleri kullanılarak çözümlenmiş TA-OSL sinyalinin bileşenleri (FOM % 2) **(b)** GOK modeli parametrelerinin (τ ve σ) ve tünelleme modeli parametrelerinin (τ ve ρ) sıcaklıkla değişimi (Polymeris vd. 2018b)

GOK ve tünelleme modellerine göre başarılı bir şekilde çözümlenebilen VDT TA-OSL sinyalinin yanı sıra sıcaklıkla artarak değişen bir düz/kuyruk bileşen (flat component) önerilmiştir. Şekil 4.16b'de yapılan çalışmalar, ~100^{o}C'ye kadar tünelleme bileşeni yaşam süresinin (τ) uyarım sıcaklığıyla artmakta olduğunu ve bu noktadan sonra ise azaldığı göstermektedir. Etkin akseptörlerin (ρ') yoğunluğunun ise ~100-125 ^{o}C'ye kadar sabit, daha sonra 125-175 ^{o}C arasında keskin bir artış ve bu noktadan sonra sabit ve devamında yavaşça azalan bir davranış gösterdiği gözlenmektedir. Bu durum Şahiner vd. (2014) ile uyumlu olmadığı ve farkın nedeninin çalışılan minerallerin doğal kristallenme süreçlerindeki farklardan veya tuzak-hol oranlarının farklılığından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. 175-225 ^{o}C arasında akseptörlerin yoğunluğunun yaklaşık kararlı olduğu, tünelleme ömrünün ise azalmaya devam ettiği gözlenmektedir. Bu gözlemin Şahiner vd.'nin (2014) ve Şahiner'in (2015) gözlemleriyle uyumlu olduğu söylenebilir yani, TA-OSL lüminesans oluşumu, yeniden birleşme çok derin tuzakta tuzaklanmış elektronun en yakın komşuluğundaki bir lüminesans merkezi ile birleşmesi ile gerçekleşebilir. GOK bileşeni için ömür azaldıkça, tesir kesiti artmaktadır ve bu durum, model ile uyumludur. Tablo 4.5'te kuvars mineraline ait TA-OSL sinyallerinin farklı modellere göre yapılan dekonvolüsyon çalışmalarından elde edilen parametreler sunulmaktadır.

Sonuç olarak, lüminesans oluşum mekanizmasına henüz tam olarak bilinmeyen bu tuzakların açıklanabilmesi için farklı yaklaşımlar yapılmıştır. Bu anlamda, yalnızca GOK modeli ile açıklanamayan TA-OSL sinyalleri, GOK, transfer ve tünelleme modellerinin kombinasyonu kullanılarak çözümlenmiştir. Bu durumda, termal asistan tekniği ile uyarılan tuzaklar yalnızca iletim bandı vasıtasıyla yeniden birleşme yapmamakta aynı zamanda lokalize yeniden birleşmeler yapmaktadır. Sinyalin küçük bir kısmı GOK modeline uyarken geri kalan kısmı tünelleme yeniden birleşme modeliyle başarıyla açıklanabilir

Tablo 4.5 Dekonvolüsyon tekniği ile incelenen kuvars minerallerin TA-OSL tuzak parametreleri ve aktivasyon enerji değerleri (Polymeris vd. 2018b)

	Dekonvolüsyon yapıla madan		GOK modeli			GOK ve transfer modellerinin kombinasyonu					GOK ve tünelleme yeniden birleşme modellerinin kombinasyonu			
Örnek kodları	**E_{ak1} (eV)**	**E_{ak2} (eV)**	**E_{ak2} (eV)**	**$\sigma_{hızlı}$ (cm^2) (50°C – 260°C)**	**σ_{orta} (cm^2) (50°C – 260°C)**	**E_{ak1} (eV)**	**W (eV)**	**C**	**E_{ak2} (eV)**	**$\sigma_{hızlı}$ (cm^2) (50°C – 260°C)**	**E_{ak2} (eV)**	**$\sigma_{hızlı}$ (cm^2) (50°C – 260°C)**	**W (eV)**	**C**
KS1	0.47 ±0.06	0.95 ±0.07	0.82 ±0.07	$5{\cdot}10^{-19}$ - $2{\cdot}10^{-18}$	$9{\cdot}10^{-20}$ - $1{\cdot}10^{-20}$	0.49 ±0.03	0.91 ±0.05	$1.2{\cdot}10^{10}$	0.85 ±0.08	$5{\cdot}10^{-19}$ - $4{\cdot}10^{-18}$	0.96 ±0.08	$3{\cdot}10^{-19}$ - $6{\cdot}10^{-18}$	0.68 ±0.05	$4.2{\cdot}10^{7}$
KS2	0.45 ±0.05	0.97 ±0.06	0.85 ±0.06	$3{\cdot}10^{-19}$ - $6{\cdot}10^{-18}$	$8{\cdot}10^{-20}$ - $2{\cdot}10^{-20}$	0.48 ±0.04	0.78 ±0.04	$6.3{\cdot}10^{9}$	0.87 ±0.07	$2{\cdot}10^{-19}$ - $6{\cdot}10^{-18}$	0.97 ±0.07	$3{\cdot}10^{-19}$ - $7{\cdot}10^{-18}$	0.67 ±0.04	$5.3{\cdot}10^{7}$
KS3	0.53 ±0.07	1.03 ±0.07	0.88 ±0.07	$2{\cdot}10^{-19}$ - $5{\cdot}10^{-18}$	$9{\cdot}10^{-19}$ - $3{\cdot}10^{-20}$	0.53 ±0.03	0.86 ±0.04	$2.1{\cdot}10^{9}$	0.87 ±0.07	$1{\cdot}10^{-19}$ - $6{\cdot}10^{-18}$	0.94 ±0.07	$2{\cdot}10^{-19}$ - $7{\cdot}10^{-18}$	0.71 ±0.04	$3.1{\cdot}10^{7}$
KS4	0.51 ±0.06	0.98 ±0.06	0.84 ±0.06	$1{\cdot}10^{-19}$ - $3{\cdot}10^{-18}$	$9{\cdot}10^{-19}$ - $5{\cdot}10^{-20}$	0.49 ±0.04	0.86 ±0.05	$4.8{\cdot}10^{9}$	0.91 ±0.08	$2{\cdot}10^{-19}$ - $5{\cdot}10^{-18}$	0.97 ±0.08	$4{\cdot}10^{-19}$ - $5{\cdot}10^{-18}$	0.66 ±0.05	$1.1{\cdot}10^{8}$
KS5	0.48 ±0.06	1.05 ±0.07	0.86 ±0.07	$5{\cdot}10^{-19}$ - $4{\cdot}10^{-18}$	$9{\cdot}10^{-20}$ - $2{\cdot}10^{-20}$	0.46 ±0.03	0.75 ±0.04	$2.6{\cdot}10^{10}$	0.87 ±0.07	$3{\cdot}10^{-19}$ - $3{\cdot}10^{-18}$	0.96 ±0.07	$4{\cdot}10^{-19}$ - $8{\cdot}10^{-18}$	0.72 ±0.04	$2.6{\cdot}10^{7}$
ORTALAMA	**0.49 ±0.03**	**0.95 ±0.05**	**0.85 ±0.03**	-	-	**0.49 ±0.02**	**0.83 ±0.07**	**$1.1{\cdot}10^{10}$ ± $7.3{\cdot}10^{9}$**	**0.88 ±0.03**	-	**0.96 ±0.02**	-	**0.69 ±0.03**	**$5.4{\cdot}10^{7}$ ± $3.3{\cdot}10^{7}$**

4.6 Proje sırasındaki araştırmalar yapılırken doğan diğer çalışmalar

Projeye konu olan örneklere uygulanan teknikler, yeni çalışmalar doğurmuştur ve bu konuda ön çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan biri Sakarya nehri taraçalarından alınmış sediment örneklerinden ayıklanan kuvars ve feldispat minerallerinin yaş tayini ve feldispat IRSL sinyallerinin araştırılması üzerinedir. Örneklerin feldispat sinyallerindeki tuhaf artış kısmı artan sıcaklıklara göre incelenmiş ve bu durumun kristal örgü fonon etkileşmelerinden kaynaklanabileceği ön görülmüştür. Aktivasyon enerjisi 0.035 ± 0.005 eV olarak hesaplanmış ve bu değerin Jain vd. (2011) çalışmasındaki feldispat minerallerinin fonon etkileşmeleri enerjisi ile tutarlı olduğu gözlenmiştir. Çalışma *Radiation Measurements* dergisinden kabul almıştır ve basım aşamasındadır.

Bir diğer çalışma ise, TA-OSL sinyallerinin kökeni araştırılırken apatit sinyallerinde oda sıcaklığında başarılı EPR sinyalleri alınması ile gerçekleştirilmiştir. Kademeli olarak 110 ^{0}C'ye kadar ısıtılan farklı boyutlarda apatit mineralinin her aşamadaki TL, IRSL, TA-OSL ve EPR sinyallerindeki değişim karşılaştırılmıştır. g=1,992'deki bileşenin TA-OSL sinyaline neden olan merkezlerden kaynaklandığı ve g=2.0398'deki bileşenin ise TL sinyaline neden olan merkezden kaynaklandığı ön görülmektedir. Çalışma *Radiation Measurements* dergisinden kabul almıştır ve basım aşamasındadır.

5. DEĞERLENDİRME

Proje kapmasında yapılan çalışmalar hem yer bilimleri alanında hem de lüminesans fiziği ve lüminesans tarihlendirme alanında dünya literatürüne oldukça özgün katkılar sağlamıştır. Bu araştırmalar yapılırken lüminesans tarihlendirme çalışmalarında yeni farklı teknikler uygulanarak yöntemin geliştirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca önerilen TA-OSL sinyalleri dekonvolüsyon tekniğiyle analiz edilerek olayın mekanizması adına çeşitli yaklaşımlar yapılarak literatüre yeni bilgiler kazandırılmıştır. Derin tuzakların lüminesans yaş tayininde kullanılmasıyla bu teknikle elde edilebilen yaş limitleri en az bir mertebe genişletilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca kimyasal süreçleri daha basite ve az maliyete indirmek adına polimineral örneklerle çalışılabileceği gösterilmiştir.

Retrospektif dozimetri çalışmalarında sıklıkla kullanılan veya kullanma potansiyeli olan yüksek lüminesans verimli yeni materyallerin bu teknik aracılığıyla hesaplanabilen doz limitlerinin arttırılması üzerine çalışmalarımız devam etmektedir.

Proje kapsamında fikir alışverişi içerisinde bulunmuş olduğumuz yerbilimleri konusundaki hocalarımız ile tekniğin farklı jeolojik problemeler karşılaştırmalı olarak uygulayabileceğimiz yeni proje önerisi çalışmaları başlatılmıştır.

5.1 Projenin Çıktıları ve Yaygın Etkisi

Projeyle birlikte, lüminesans tarihlendirmenin doğa bilimlerinde daha kolay ve daha geniş yaş aralığındaki çalışmalarda ve kaza dozimetrisi, bireysel dozimetri gibi çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanımına yönelik yenilikçi bir yaklaşım ortaya konmuştur. TA-OSL sinyallerinin mekanizması farklı kinetik modellerin bir kombinasyonu olarak başarıyla açıklanmıştır. Bu konuda bilgi birikimi arttırılarak yeni kapsamlı disiplinler arası projelere zemin oluşturularak, ileriye yönelik ülke ekonomisine katkıda bulunulmuştur. Buna ek olarak, benzer teknikler farklı yapay dozimetrelere de uygulanarak radyasyon doz ölçüm limitlerinin genişletilmesi gelecekte yeni araştırmaların hazırlanmasına da temel oluşturmuştur. Proje bünyesinde yapılan ve farklı disiplinler tarafından desteklenen SCI indekslerde taranan ve lüminesans dozimetri alanında oldukça önemli çalışmalar olan 5 adet makale yayınlanmıştır. Ayrıca 2 (sözlü+poster) adet uluslararası sunum yapılmıştır.

Proje kapsamında başlatılan proje bursiyerinin (Hümeyra GÜR) yüksek lisans tezi tamamlanma aşamasına gelmiştir. Tez Prof. Dr. Niyazi MERİÇ danışmanlığında devam etmektedir ve tez başlığı aşağıdaki şekildedir:

- Doğal ve Yapay Lüminesans Materyallerinden Elde Edilen Termal Asistan Optik Uyarımlı Lüminesans(TA-OSL) Sinyallerinin Retrospektif Dozimetri Alanında Kullanılabilirliğinin Araştırılması: Yaş Tayini ve Sağlık Fiziği Uygulamaları

Makaleler

- Şahiner, E., Erturaç, M. K., & Meriç, N. (2017) Termal-Asistan Optik Uyarmalı Lüminesans (TA-OSL) Tekniğiyle Milyon Yıl Mertebesindeki Jeolojik Örneklerin Tarihlendirilmesi: Gediz Taraçaları, Kula/Manisa. Türkiye Jeoloji Bülteni/Geological Bulletin of Turkey, 60(4), 489-506.

  http://dx.doi.org/10.25288/tjb.360609

- Meriç, N., Aşlar, E., Şahiner, E., Kadioğlu, Y. K., & Polymeris, G. S. (2018). Step annealing and fading studies on EPR signals of Durango apatite for various grain size fractions at the edge of the nano-scale; comparison with the corresponding luminescence results. Radiation Measurements.

  https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2018.05.001

- Şahiner, E., Erturaç, M. K., Polymeris, G. S., & Meriç, N. (2018). Methodological studies on integration time interval's selection for the luminescence ages using quartz and feldspar minerals; sediments collected from Sakarya, Turkey. Radiation Measurements.

  https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2018.06.024

- Polymeris, G. S., Şahiner, E., Kadioğlu, Y. K., & Meriç, N. (2018). Properties of quartz TA–OSL signal with a peculiar decay shape for SAR TA–OSL applications. Radiation Measurements.

https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2018.04.002

- Polymeris, G. S., Şahiner, E., Aşlar, E., Kitis, G., & Meriç, N. (2018). Deconvolution of isothermal TA–OSL decay curves from sedimentary quartz using combinations of various contemporary models. Radiation Measurements. 119, 93-101.

  https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2018.09.009

Tebliğler

- G.S. Polymeris, E. Şahiner, H. Gür, N. Meriç “Thermally assisted optically stimulated luminescence (TA – OSL) in BeO and MgO dosimeters; a comparative study” XI. International Conference on Nuclear Structure Properties (NSP2018), pp 33,12-14 September 2018. (sözlü bildiri)

- H. Gür, E. Şahiner, G.S. Polymeris, N. Meriç “Very deep traps (VDT) properties of various natural minerals and usage on retrospective dosimetry researches” XI. International Conference on Nuclear Structure Properties (NSP2018), pp 33, 12-14 September 2018. (poster bildiri)

TÜBİTAK

6. KAYNAKLAR

[1] Aitken, M. J. 1985. Thermoluminescence Dating. Acedemic Press. 359 p. London.
[2] Aitken, M. J. 1998. An Introduction to Optical Dating. The Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-Stimulated Luminescence. 267 p. Oxford.
[3] Ankjærgaard, C., Guralnik, B., Buylaert, J. P., Reimann, T., Yi, S. W., & Wallinga, J. (2016). Violet stimulated luminescence dating of quartz from Luochuan (Chinese loess plateau): Agreement with independent chronology up to~ 600 ka. Quaternary Geochronology, 34, 33-46.
[4] Ankjærgaard, C., Guralnik, B., Porat, N., Heimann, A., Jain, M., & Wallinga, J. (2015). Violet stimulated luminescence: geo-or thermochronometer. Radiation Measurements, 81, 78-84.
[5] Ankjærgaard, C., Jain, M., & Wallinga, J. (2013). Towards dating Quaternary sediments using the quartz Violet Stimulated Luminescence (VSL) signal.Quaternary Geochronology, 18, 99-109.
[6] 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 (1): 73-94.
[7] Berger, G. W., Pillans, B. J., & Palmer, A. S. (1992). Dating loess up to 800 ka by thermoluminescence. Geology, 20(5), 403-406.
[8] Bøtter-Jensen, L., McKeever, S.W.S. and Wintle, A.G. 2003. Optically stimulated luminescence dosimetry. Elsevier Science B.V., 355 p., Netherlands.
[9] Bulur, E., Göksu, H.Y. 1999. Phototransferred thermoluminescence from a-Al2O3:C using blue light emitting diodes. Radiation Measurements 30, 203–206.
[10] Chen, R. and Pagonis, V. 2011. Thermally and Optically Stimulated Luminescence: A Simulation Approach. John Wiley and Sons. ISBN: 978-0-470-74927-2, 419 p.
[11] Chen, R. and McKeever, S.W.S., 1997. Theory of thermoluminescence and related phenomena. 537 p, Singapore: World Scientific.
[12] Chithambo, M.L., Seneza, C., Kalita, J.M., 2017. Phototransferred thermoluminescence of a-Al2O3:C: Experimental results and empirical models. Radiation Measurements 105, 7 – 16
[13] Curie, D., 1963. Luminescence in Crystals. Wiley, New York. 332 pages.
[14] Huntley, D.J., Hutton, J.T., Prescott, J.R. (1993a). The stranded beach-dune sequence of South-East South Australia: a test of thermoluminescence dating, 0–800 ka. Quaternary Science Reviews 12, 1–20.
[15] Huntley, D.J., Hutton, J.T., Prescott, J.R. (1993b). Optical dating using inclusions within quartz grains. Geology 21, 1087–1090.
[16] Jain, M., Guralnik, B., and Andersen, M. T. (2012). Stimulated luminescence emission from localized recombination in randomly distributed defects. Journal of Physics: Condensed Matter, 24(38), 385402.
[17] Jain, M. and Ankjrgaard, C. 2011. Towards a non-fading signal in feldspar: Insight into charge transport and tunnelling from time-resolved optically stimulated luminescence. Radiat. Meas. 46, 292-309.
[18] Jain, M., & Singhvi, A. K. (2001). Limits to depletion of blue-green light stimulated luminescence in feldspars: implications for quartz dating. Radiation Measurements, 33(6), 883-892.
[19] Kitis, G., Bousbouras, P., Antypas, C., & Charalambous, S. (1991). Anomalous fading in apatite. International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements, 18(1), 61-65.
[20] Kitis, G., Kiyak, N.G., Polymeris, G.S. and Pagonis, V. 2010. Investigation of OSL signals from very deep traps in unfired and fired quartz samples. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 268, 592–598.
[21] Kitis, G., Polymeris, G.S., Pagonis, V. and Tsirliganis, N.C. 2013. Anomalous Fading of OSL signals originating from very deep traps in Durango apatite. Radiation Measurements 49 73-81.
[22] Kitis, G. and Pagonis, V. 2008. Computerized curve deconvolution analysis for LM-OSL. Rad. Meas. 43, 737-741
[23] Kittel, C. 2004. Introduction to Solid State Physics, 8th Edn, John Wiley and Sons, Ltd. 675p.
[24] Liritzis, I., Singhvi, A. K., & James, K. (2013). Luminescence dating in archaeology, anthropology and geoarchaeology: an overview. Heidelberg, Germany: Springer.
[25] Maddy, D., Schreve, D., Demir, T., Veldkamp, A.,Wijbrans, J.R., van Gorp, W., van Hinsbergen,D.J.J., Dekkers, M.J., Scaife, R., Schoorl, J.M.,Stemerdink, C., van der Schriek, T., 2015.The earliest securely-dated hominin artefact inAnatolia? Quat. Sci. Rev. 109, 68-75.
[26] Maddy, D., Veldkamp, A., Demir, T., van Gorp, W.,Wijbrans, J.R., van Hinsbergen, D.J.J., Dekkers,M.J., Scahreve, D., Schoorl, J.M., Scaife, R.,Stemerdink, C., van der Schriek, T., Bridgland,D.R., Aytaç, A.S., 2017. The Gediz River fluvialarchive: A benchmark for Quaternary research inWestern Anatolia. Quat. Sci. Rev. 166, 68-75.
[27] Meriç, N., Aşlar, E., Şahiner, E., Kadioğlu, Y. K., & Polymeris, G. S. (2018). Step annealing and fading studies on EPR signals of Durango apatite for various grain size fractions at the edge of the nano-scale; comparison with the corresponding luminescence results. Radiation Measurements.(in press)
[28] Murray, A. and Wintle, A. 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative dose protocol. Radiation Measurements, 32:57–73.
[29] Murray, A. S., Roberts, R. G. and Wintle, A. G. 1997. Equivalent dose measurement using a single aliquot of quartz. Radiation Measurements, 27(2), 171-184

[30] Wintle, A. G., & Murray, A. S. (2006). A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. Radiation measurements, 41(4), 369-391.
[31] Pagonis, V., Kitis, G., & Furetta, C. (2006). Numerical and practical exercises in thermoluminescence. Springer Science & Business Media.
[32] Polymeris, G.S. and Kitis, G. 2012. Thermally assisted photo transfer OSL from deep traps in Al2O3:C grains exhibiting different TL peak shapes. Applied Radiation and Isotopes, 70(10), 2478-2487.
[33] G.S. Polymeris, E. Theodosoglou, G. Kitis, N.C. Tsirliganis, A. Koroneos, K.M. Paraskevopoulos, Medit. Arch. Archaeom. 13 (3) (2013) 155–161.
[34] Polymeris, G.S., Raptis, S., Afouxenidis, D., Tsirliganis, N.C. and Kitis, G. 2010. Thermally assisted OSL from deep traps in Al_2O_3:C. Radiation Measurements 45, 519–522.
[35] Polymeris, G.S., Şahiner, E., Meriç, N. and Kitis, G. 2015a. Experimental features of natural thermally assisted OSL (NTA-OSL) signal in various quartz samples; preliminary results. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 349, 24-30. doi:10.1016/j.nimb.2015.01.079
[36] Polymeris, G.S., Şahiner, E., Meriç, N. and Kitis, G. 2015b. Thermal assistance in TA - OSL signals of feldspar and polymineral samples; comparison with the case of pure quartz. Radiation Measurements. 81, 270-274.
[37] Polymeris, G. S., Şahiner, E., Kadioğlu, Y. K., & Meriç, N. (2018a). Properties of quartz TA–OSL signal with a peculiar decay shape for SAR TA–OSL applications. Radiation Measurements. (in press)
[38] Polymeris, G. S., Şahiner, E., Aşlar, E., Kitis, G., & Meriç, N. (2018b). Deconvolution of isothermal TA–OSL decay curves from sedimentary quartz using combinations of various contemporary models. Radiation Measurements. 119, 93-101.
[39] Richardson-Bunbury, J.M., 1996. The Kula volcanic field, western Turkey: the development of a Holocene alkali basalt province and the adjacent normal faulting graben. Geol. Mag. 133, 275-283.
[40] Stokes, S., Optical dating of selected aeolian sediments from the southwestern United States. D.Phil. Thesis, Oxford University, Oxford, 660 pp, 1994.
[41] Subedi, B., Oniya, E., Polymeris, G. S., Afouxenidis, D., Tsirliganis, N. C., & Kitis, G. (2011). Thermal quenching of thermoluminescence in quartz samples of various origin. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 269(6), 572-581.
[42] Şahiner E. 2015. Paleosismolojik çalışmalarda TL/OSL ve ESR yöntemlerinin kullanılması: Kütahya-Simav ve Kuzey Anadolu fay hattı. Doktora tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı. 216s.
[43] Şahiner, E. and Meriç, N. 2014. A trapezoid approach for the experimental total-to-peak efficiency curve used in the determination of true coincidence summing correction factors in a HPGe detector. Radiation Physics and Chemistry, 96, 50-55.
[44] Şahiner, E. 2010. Doğal radyoaktif izotoplarda gerçek çakışma etkisi. Yüksek lisans tezi, Ankara üniversitesi,80 sayfa. Ankara.
[45] Şahiner, E., Erturaç, M. K., Polymeris, G. S., & Meriç, N. (2018). Methodological studies on integration time interval's selection for the luminescence ages using quartz and feldspar minerals; sediments collected from Sakarya, Turkey. Radiation Measurements. (in press)
[46] Şahiner, E., Erturaç, M. K., & Meriç, N. (2017) Termal-Asistan Optik Uyarmalı Lüminesans (TA-OSL) Tekniğiyle Milyon Yıl Mertebesindeki Jeolojik Örneklerin Tarihlendirilmesi: Gediz Taraçaları, Kula/Manisa. Türkiye Jeoloji Bülteni/Geological Bulletin of Turkey, 60(4), 489-506.
[47] Veronese, I., Giussani, A., Goksu, H.Y. (2006). Limits of thermoluminescence dosimetry using quartz extracted from recent building materials in urban settlements. Journal of Environmental Radioactivity 86, 319 – 336.
[48] Westaway, R., Pringle, M., Yurtmen, S., Demir, T., Bridgland, D.R., Rowbottom, G., Maddy, D.,2004. Pliocene and Quaternary regional uplift in western Turkey: the Gediz river terrace staircase and the volcanism at Kula. Tectonophysics 391, 121-169.
[49] Westaway, R., Guillou, H., Yurtmen, S., Beck, A., Bridgland, D.R., Demir, T., Rowbottam, G., 2006. Late Cenozoic uplift of western Turkey: improved dating and numerical modelling of the Gediz river terrace staircase and the Kula Quaternary volcanic field. Glob. Planet. Change 51, 131-171
[50] Wintle, A.G. 1997. Luminescence dating: laboratory procedures and protocols. Radiation Measurements, 27(5-6), 769-817.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	EREN ŞAHİNER
Proje No:	117Y208
Proje Başlığı:	Doğal Minerallerin Kristal Yapılarındaki Çok Derin Tuzakların Termal Asistan Optik Uyarmalı Lüminesans (Ta-Osl) Sinyallerini Kullanarak Lüminesans Tarihlendirme Yaş Sınırlarının Genişletilmesi Ve Örnek Hazırlama Prosedürün Sadeleştirilmesi
Proje Türü:	1002 - Hızlı Destek
Proje Süresi:	12
Araştırmacılar:	NİYAZİ MERİÇ, GEORGIOS POLYMERIS
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	ANKARA Ü. NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/10/2017 - 01/10/2018
Onaylanan Bütçe:	26463.0
Harcanan Bütçe:	22545.0

TÜBİTAK

Öz:	OSL ve TL teknikleri yer bilimleri, arkeoloji, coğrafya vb. temel bilim alanlarında birkaç yüzbin yıla kadar yaş analizi yapılabilen bilimsel/mutlak yaş tayini (tarihlendirme) yöntemleri olarak yaygınca kullanılmaktadır. Özellikle son yıllardaki kuvaterner dönem (~2.5 milyon yıl) yer bilimleri çalışmalarının büyük çoğunluğu OSL/TL yaş tayini çalışmalarıyla desteklenmektedir. Bu araştırma alanlarındaki bilimsel komite bu yaş sınırları dışında bir 4-5 milyon yıllık canlıların gelişimini ve jeolojik olayları inceleyen çalışmalarla da oldukça yakından ilgilidir. Sınırlı sayıda yaş tayini yöntemi bu yaş aralığında hassas çalışabilmektedir. Kristal yapılardaki lüminesans oluşum mekanizması ve tuzak-yük yapısını inceleyen yeni gelişmeler sayesinde bu teknikleri kullanılarak yapılan tarihlendirme yöntemlerinin milyon yıllar mertebesindeki yaş aralığını kapsamak adına oldukça iyi bir potansiyele sahip olduğu gösterilmektedir. Bu projenin önemli amaçlarından biri son zamanlarda lüminesans dozimetri çalışmalarında popüler termal transfer ve termal asistan teknikleriyle gözlenebilen kristal yapılardaki çok derin tuzakların OSL sinyallerini kullanarak lüminesans dozimetri/yaş tayini uygulamalarındaki doz/yaş limitini arttırmaya yöneliktir. Çok derin tuzaklar, mineralin kristal yapısı içerisindeki sıradan elektron tuzaklarından farklı olarak 500-600oC?nin üzerinde uyarılabilen tuzaklardır ve sıradan ölçüm cihazları bu sıcaklıkların üstünde uyarma yapamamaktadır. Ayrıca teorik olarak uyarılabildiği düşünülse dahi bu sıcaklıkların üzerinde salınan lüminesansın dedekte (siyah cisim ışıması baskın hale gelir) etmek oldukça zordur. Lüminesans teorisi açısından bakıldığında çok derin tuzakların sıradan lüminesans tuzaklarına göre daha derinde oldukları için tuzaklanma ömürlerinin oldukça yüksek olması beklenmektedir. Bu durum ısı ile sıfırlanmış (arkeolojik örneklerin yaş tayini) ve ışık ile sıfırlanmış (jeolojik) numunelerdeki bu tür tuzakların OSL sinyallerinin yaş limitini arttırma açısından oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Grubumuz tarafından yapılan ön çalışmalarla doğal kuvars, apatit ve florit minerallerindeki bu tuzakların OSL sinyalleri TA-OSL (Termal-Asistan OSL) tekniği kullanılarak gözlenmiş ve retrospektif (geriye dönük) dozimetri çalışmaları adına iyi bir potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir (Polymeris ve Kitis 2012, Kitis vd. 2010, Polymeris vd. 2015a,b, Şahiner 2015). Bir diğer amacı ise bu tekniği kullanarak, zahmetli ve maliyetli lüminesans örnek hazırlama prosedürünün sadeleştirilmesidir. Önerilen bu proje ile birlikte literatürde ilk defa, lüminesans tarihlendirmedeki önemli problemlerden biri olan anormal sönümden etkilenmen, birkaç milyon yıl mertebesinde tarihlendirme analizlerine imkân veren, örnek hazırlama süreci çok daha hızlı ve maliyeti daha düşük bir SAR (tek disk yenileme: eşdeğer doz hesaplama tekniği) protokolü farklı örnekler üzerinde test edilerek ortaya koyulmuş olacaktır. Bu anlamda proje çıktıları OSL yaş tayini tekniğinin literatürdeki daha fazla jeolojik problemlerin ele alınabilmesine ve yerbilimlerinde yeni yaklaşımların üretilmesine kaynak olacaktır. Sonuç olarak proje kapsamında yapılacak çalışmalarla lüminesans tarihlendirmede yaş tayini sınırları birkaç mertebe (~4-5 milyon yıl) arttırılmış olacaktır. Bu kapsamda yapılacak çalışmalarla bu konudaki dünya literatürüne son derece değerli bilgiler kazandırılarak ülkemiz öncü olduğu yeni bir çalışma sahası oluşturulmuş olunacak ve başarılı çalışmalara imza atılmış olacaktır. Proje bünyesinde yapılacak çalışmaların uygulamaları yer bilimleri sahasında oldukça geniş olmasından dolayı yeni projeler, bilimsel makaleler, lisansüstü tezler, disiplinler arası ve uluslararası ortak projeler doğurma potansiyeli yüksek, ülke ekonomisine katma değerli, sistemli bir proje gerçekleştirilmiş olacaktır. Bu bağlamda projenin sonuçlanmasıyla birlikte jeolojik problemlerle desteklenen kapsamlı yeni projelerin hazırlanması için zemin hazırlanmış olacaktır
Anahtar Kelimeler:	lüminesans tarihlendirme, OSL, TL, çok derin tuzaklar, termal asistan OSL (TA-OSL)
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır

TUBITAK

Projeden Yapılan Yayınlar:	1- Dating of geological samples over millions of years by Thermally Assisted Optically Stimulated Luminescence (TA-OSL) technique: Gediz River Terraces, Kula/Manisa (Makale - Diğer Hakemli Makale), 2- Methodological studies on integration time interval's selection for the luminescence ages using quartz and feldspar minerals; sediments collected from Sakarya, Turkey (Makale - İndeksli Makale), 3- Step annealing and fading studies on EPR signals of Durango apatite for various grainsize fractions at the edge of the nano-scale; comparison with the corresponding luminescence results (Makale - İndeksli Makale), 4- Properties of quartz TA ? OSL signal with a peculiar decay shape for SAR TA?OSL applications (Makale - İndeksli Makale), 5- Deconvolution of isothermal TA ? OSL decay curves from sedimentary quartz using combinations of various contemporary models (Makale - İndeksli Makale), 6- Thermally Assisted OpticallyStimulated Luminescence (TA ? OSL) in BeO and MgO Dosimeters; A Comparative Study (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum), 7- VERY DEEP TRAPS (VDT) PROPERTIES OF VARIOUS NATURAL MINERALS AND USAGEON RETROSPECTIVE DOSIMETRY RESEARCHES (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum),

TÜBİTAK