

Polimineral içerikli seramik bir numunenin lüminesans tekniklerle eşdeğer dozunun belirlenmesinde farklı bir yöntemin kullanımı

Use of a different method in determining the equivalent dose by luminescence techniques of a ceramic sample containing polymineral

Mehmet Altay ATLIHAN^{1*} 

¹Fizik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
aatlihan@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 27.12.2018
Kabul Tarihi/Accepted: 03.04.2019

Düzeltilme Tarihi/Revision: 02.04.2019

doi: 10.5505/pajes.2019.75299
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada arkeolojik kazıyla çıkarılmış polimineral içerikli bir seramik numunenin gömü boyunca çevreden soğurduğu radyasyon dozu (eşdeğer doz) bulunmuştur. Eşdeğer dozun belirlenmesi lüminesans yaş tayini araştırmalarında önemlidir. Kullanılan numune feldispat, kuvars gibi minerallere ayrıştırılmadan polimineral içerikli ve ince tanecik tekniğine uygun olarak hazırlanmıştır. Kullanılan numune için ön ısıtma sıcaklığı deneysel işlemler sonucunda belirlenmiştir. Hazırlanan numune 200 °C'de 12 dk. süreyle ön ısıtmaya tutulmuştur. Jeolojik veya arkeolojik numunelerde eşdeğer dozun belirlenmesi için sıklıkla kullanılan yöntemlerden farklı bir yöntem çalışmamızda ilk defa kullanılmıştır. Çalışmamızda bu yöntemin ayrıntılarından ve gözlenen avantajlarından bahsedilmiştir. Elde edilen eşdeğer doz değerleri 5.17 ± 0.09 ile 7.06 ± 0.29 Gy arasında değişmektedir.

Anahtar kelimeler: Polimineral, Seramik, Lüminesans, Optik uyarmalı lüminesans, Isı uyarmalı lüminesans (Termolüminesans), Eşdeğer doz.

Abstract

In this study the radiation dose absorbed from the surrounding area was determined for a polymineral ceramic sample that was found by an archeological excavation. Determination of equivalent dose is one of the critical points for luminescence dating researches. The sample used was prepared according to the polymeric content and fine grain technique without decomposing into minerals such as feldspar, quartz. The pre-heating temperature for the sample was determined as a result of experimental procedures. The prepared sample was preheated at 200 °C for 12 minutes. A different method was used for the first time in our study, which is different from the methods commonly used for determining the equivalent dose in geological or archaeological samples. The details and observed advantages of this method are mentioned in our study. The equivalent dose values obtained range from 5.17 ± 0.09 to 7.06 ± 0.29 Gy.

Keywords: Polymineral, Ceramic, Luminescence, Optically stimulated luminescence, Thermally stimulated luminescence (Thermoluminescence), Equivalent dose.

1 Giriş

Toprağın yapısında bulunan uzun yarı ömürlü ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K gibi radyoizotoplar buldukları bölgede sürekli olarak α , β , γ radyasyonu yayarlar [1]. Yayınlanan radyasyonlar çevrede bulunan feldispat, kuvars gibi minerallerin kristal örgü yapısında elektronları serbest hale getirirler. Serbest kalan bu elektronlar kristal yapı kusurlarında tuzaklanırlar. Yapısal kusurlarında elektronlar tuzaklanan mineraller ışık fotonları ya da ısı enerjisiyle uyarıldıklarında, yeterli enerjiyi alan bu elektronlar tuzaklarından kurtulabilirler. Bunun sonucunda bir ışımaya oluşur. Bu ışımaya genel olarak lüminesans ışımaları denir. Tuzaklanan elektronları tuzaklardan çıkarmak için gerekli enerji ışık fotonlarından sağlanıyorsa Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL), ısı yoldan sağlanıyorsa Termolüminesans (TL) adını alır. Numune tarafından soğurulan radyasyon dozu tuzaklanan elektronların sayısı dolayısıyla lüminesans ışımının şiddeti ile orantılıdır [1]. Geçmişte son defa ışık ya da ısıya maruz kalan numunenin (sıfırlayıcı mekanizma) o andan günümüze kadar geçmiş olan sürede soğurduğu radyasyon doz miktarı belirlenebilir. Bunun için bilinen radyasyon doz miktarlarına karşılık yayımlanan lüminesans ışımaya şiddetleri ölçeklendirilmelidir. Tarihlendirme çalışmalarında, sıfırlayıcı bir mekanizmanın gerçekleştiği andan itibaren günümüze kadar geçen sürede örnekler tarafından çevreden soğurulan

doza paleodoz ya da eşdeğer doz adı verilir [1]. Jeolojik ve arkeolojik malzemelerin tarihlendirilmesinde, radyoterapi tedavilerinde veya radyasyon kazalarında insanların almış olduğu radyasyon dozunun tesbiti gibi kişisel ve çevresel dozimetre çalışmalarında lüminesans yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Tarihlendirmede kuvars, kalsit, feldispat gibi doğal mineraller veya doğal polimineral yapıdaki örnekler kullanılırken medikal çalışmalarda LiF bileşiği gibi laboratuvar ortamında üretilen sentetik dozimetreler yaygın olarak kullanılmaktadır [1]-[7]. Tarihlendirme çalışmaları için herhangi bir alanda zeminde oluşan katmanlar o alanın geçmişine ilgili bilgiler taşır. Yapılan çalışmalarda bazı jeoloji teknikleri ve tarihlendirme çalışmalarıyla ulaşılan bilgiler kullanılarak incelenecek fayların daha önceki hareketleri ele alınır ve bu sahalardaki deprem risklerinin tespitine yönelik analizler yapılır. Yapılan tarihlendirme çalışmalarıyla çalışılan fayın diri fay olup olmadığı ve deprem üretme periyodu hakkında bilgi edinilebilir [8],[9]. Benzer şekilde arkeolojik bir yerleşim alanında bulunan tarihi eserlerin tarihlendirilmesiyle de kazı yapılan alanın geçmişine ait önemli veriler toplanabilmektedir. Jeolojik ve arkeolojik kazılarda elde edilen numuneler için yapılan tarihlendirme çalışmalarında numunenin yaşı ile kastedilen, numunenin sıfırlayıcı mekanizmalar olan ısı veya ışığa son maruz kaldığı zamandan bugüne kadar geçen süredir. Tarihlendirme için kazı sonucu topraktan çıkarılan numunelerin gömülü kaldığı sürede çevreden soğurduğu radyasyon dozu (eşdeğer doz) bulunur.

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Ek olarak numunenin gömülü olduğu ortamda bir yıl içerisinde çevresinden soğurduğu radyasyon dozu da (doz hızı, yıllık doz) belirlenerek, geçmişte ısıtma işlem ya da ışığa maruz kalınan andan (lümnesansın sıfırlanması) günümüze kadar geçen zaman (yaş) hesaplanabilir. Bulunan toplam eşdeğer dozun yıllık doza oranından da incelenen örneğin arkeolojik veya jeolojik yaşı hesaplanır [10].

Genellikle eşdeğer dozun belirlenmesi çalışmaları için alınan numuneler kırma, öğütme ve eleme gibi mekanik işlemlerle istenilen boyuta getirilip ardından HCl ve H₂O₂ asit çözeltileri içerisinde tepkimeler sona erene kadar bekletilirler. Bu şekilde toz haline getirilen numuneler ile alüminyumdan üretilmiş metal disklerin üzerleri kaplanarak çalışmada kullanılacak tabletler(diskler) elde edilir. Bu şekilde hazırlanan diskler (tabletler) eşdeğer doz ölçümlerinde kullanılır. Eşdeğer dozu bulurken genellikle "tek tablet yenileme" (SAR) ile "çok tablet ilave doz" (MAAD) yöntemleri veya bunların geliştirilmiş versiyonları uygulanır [10]-[12]. Bu iki yöntem arasındaki temel fark kullanılan numune miktarıdır. Yapılan ölçümlerde SAR'da tek tablet kullanımı yeterliyken MAAD'da genellikle yirmi civarında tablet kullanılır.

MAAD için hazırlanan disklerin birbirine özdeş olmaları gerekli olmasına rağmen üzerlerindeki malzeme miktarlarının eşit olmaması gibi nedenlerle çoğunlukla bu sağlanamaz. Bu nedenle kullanılan tabletler (diskler) birbirlerine normalize edilerek her bir disk için bir normalizasyon katsayısı bulunur. Bu işlem için yarım saniyeden daha az bir zaman diliminde diskler ışığa maruz bırakılarak lümnesans şiddetleri ölçülür. Bu sırada oluşan lümnesans nedeniyle toplam lümnesans şiddetinde oluşacak azalmanın %1 veya %2'den fazla olmayacak şekilde uyarma süresi seçilmelidir. Gereğinden uzun seçilen ışık uyarma süresi eşdeğer doza ait sinyali önemli ölçüde azaltarak hatalı sonuçlara neden olabilir. Buna benzer olarak ışığa maruz bırakma işleminin gereğinden daha kısa oluşu lümnesans sayımlarının yeterli olmamasına ve bunun sonucunda da bazı yanlışlıklara neden olabilmektedir. Nadiren normalizasyon için ölçümler tüm deneyler bittikten sonra da uygulanabilmektedir. Bu durumda ölçümler boyunca tabletlerin duyarlılığının değişmediği kabul edilmektedir. SAR yönteminde ise tek tabletle çalışılması nedeniyle hem normalizasyona ihtiyaç duyulmaması hem de az miktarda numunenin yeterli olması bu protokolün MAAD'a göre üstünlüğüdür. Fakat SAR'da kullanılan tablet için birkaç defa tekrarlanan ön ısıtma, lümnesans ölçümü, ışınlama işlemleri tabletin radyasyona duyarlılığını değiştirmektedir. Bu değişimin giderilebilmesi için SAR yöntemi farklılaştırılmış ve geliştirilmiştir [13].

Bu çalışmada eşdeğer dozun belirlenmesi için OSL ve TL teknikleri uygulanmıştır. OSL ölçümlerinde daha önce arkeolojik ve jeolojik tarihlendirme çalışmalarında eşdeğer dozu belirleme amacıyla kullanılmayan bir yöntem kullanılmış ve sonuçlar MAAD ve SAR ile karşılaştırılmıştır. Birkaç disk kullanılmasına rağmen normalizasyonu ve ön ısıtma-ölçme-sıfırlama-ışınlama döngüsünün tekrarlanmasını gerektirmeyen bu yöntem "Seçilmiş Tabletleri Yenileme" (SeAR) yöntemi olarak adlandırılmıştır. Bunlara ilave olarak TL tekniğinde MAAD yöntemi ile de ölçüm yapılmıştır. Çalışmamızda Muğla İl sınırları içerisinde bulunan Stratonikeia Antik Kentindeki Eriklı Bazilikasından alınan Şekil 1'de yuvarlak halka ile gösterilen seramik parçası kullanılmıştır. Seçilen seramik parçası polimineral-ince tanecikli numune hazırlama prosedürüne uygun olarak toz

haline getirilmiş ve lümnesans ölçümleri yapılmıştır. Çoğunlukla tarihlendirme çalışmalarında tekli mineralin (kuvars veya feldspat) kullanılması daha çok tercih edilmiştir. Ancak polimineral (çoklu mineral) örneklerle yapılan metodoloji geliştirme veya doğrudan yaş tayini çalışmaları lümnesans tarihlendirmenin ileri sürüldüğü günden bugüne devam etmiştir [14]-[18]. Aitken [10] polimineral örneklerle IR uyarım ile çalışılabileceğini ancak anormal sönüm ve ön ısıtma/sıcaklık deneylerinin ek olarak yapılması gerektiğini göstermiştir. Bu çalışma kapsamında ön ısıtma/sıcaklık deneyleri detaylıca yapılmıştır. Çalışmamız tarihlendirmeden daha ziyade önerilen yeni eşdeğer doz hesaplanma tekniğinin kullanılabilirliğinin araştırılması üzerine olduğu için anormal sönüm etkisi dikkate alınmamıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan seramik malzeme resimde siyah halka içerisinde gösterilmiştir.

Figure 1. The ceramic material used in the study is shown in the black ring in the picture.

2 Deneysel işlemler

2.1 Lümnesans Ölçüm Cihazları

Bu çalışmada OSL ölçümleri için ELSEC-9010 OSL okuyucusu kullanılmıştır. ELSEC-9010'da, 880±80nm dalgaboyunda kızılötesi (infrared) ışın üreten yirmidört adet LED ışık kaynağı numuneye yöneltilmiştir. Bu ışığın, oluşan lümnesans ışımayla birlikte sayılmasını engellemek amacıyla bu cihazda Schott-BG 39 marka optik filtre bulunur. Numunelerin ışınlanması (dozlama-radyasyona maruz bırakma işlemi) için yarı ömrü 28 yıl olan Sr-90/Y-90 beta ışın kaynağı kullanılmıştır. Bu kaynak için açma-kapatma işlemleri cihaz kontrolünde gerçekleştirilebilmektedir. TL okuyucu olarak maksimum ısıtma sıcaklığı 600 °C olan, Harshaw-3500 Model TL okuyucusu kullanılmıştır. TL ölçümlerinde, okuyucunun ısıtıcı kısmına yerleştirilen tabletler belli bir sıcaklığa kadar sabit bir ısıtma hızıyla ısıtılmaktadırlar.

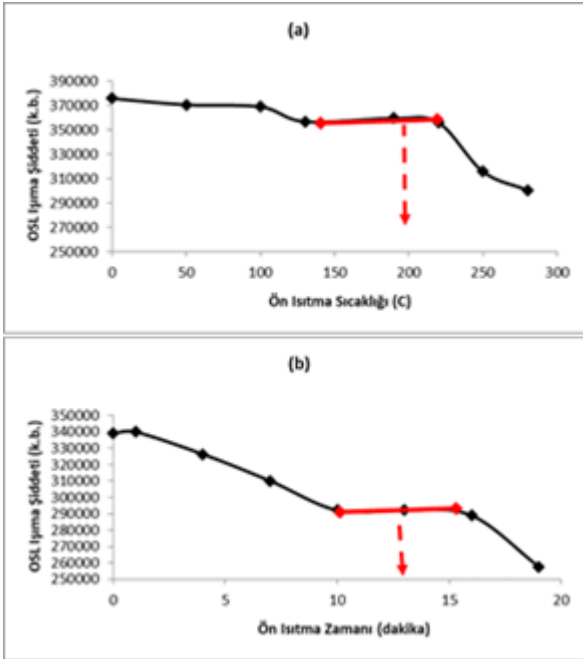
2.2 Numune hazırlama

Güneş ışığının lümnesans sinyalindeki sönümlenme etkisinden kurtulmak için laboratuvarındaki tüm işlemler kırmızı ışık altında yapılmıştır. Seramik parçanın güneşi görmüş dış yüzeyi (3 mm) kesme ve kazıma işlemleriyle atılmıştır. Kalan kısım toz haline getirilene kadar yumuşakca ezilmiştir. Karbonat ve organik maddelerden temizlemek için bu numune sırasıyla %10'luk HCl ve %35'lik H₂O₂ ile yıkanmıştır. Daha sonra saf su ile temizlenen polimineral içerikli malzeme kurutulup elenerek 20µm'nin altında tanecik boyutlu

taneciklerden numune elde edilmiştir. Bu tanecikler silikon sprey yardımıyla 10 mm çaplı, 0,5 mm kalınlıklı alüminyum disklerin üzerine çok ince bir tabaka olarak yapıştırılmıştır. Bu şekilde üzerinde numune yerleştirilmiş ve lüminesans ölçümlerde kullanıma hazır hale getirilmiş alüminyum disklere tablet denilmektedir.

2.3 Ön ısıtma için sıcaklık ve süre tespiti

Lüminesans ölçümlerinden önce numuneler kısa yarı ömürlü kararsız tuzak elektronlarından kaynaklanan lüminesans sinyallerinin ölçümlere etkisini yok etmek için ön ısıtma işlemine tutulmalıdır. Ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesinde 60 tane tablet (disk) hazırlanarak kullanılmıştır. Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL) şiddetinin ön ısıtma sıcaklığı ve ön ısıtma zamanı ile değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu grafiklerde önce lüminesans sayımlarında ciddi bir düşüş sonra eğimsiz(düz) bir bölge ve tekrar azalma gözlenmektedir. Sayımlardaki ilk düşme kararsız tuzakların ısı etkisiyle boşalması ve düz bölge sonrasında ortaya çıkan düşüş ise kararlı tuzakların boşalması ile ilişkilidir. Grafiklerde olan 150-220 °C ve 10-15 dk. aralığındaki düz kısımların orta bölgelerinde bulunan 200° ve 12 dk. değeri ön ısıtma için uygun görülmüştür. Lüminesans çalışmaları ile ilgili bazı kitap ve makalelerde ön ısıtmanın hangi süreyle hangi sıcaklıkta yapılacağını belirlemek için izlenen işlemlerle ilgili ayrıntılı bilgiler verilmiştir[1], [8].



Şekil 2(a): Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL) şiddetlerinin ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak değişimi. (b): Optik uyarımlı lüminesans (OSL) şiddetlerinin ön ısıtma zamanına bağlı olarak değişimi.

Figure 2(a): Changes of Optically Stimulated Luminescence (OSL) intensities depending on the preheat temperature.
(b): Changes of Optically Stimulated Luminescence (OSL) intensities depending on the preheating time.

2.4 Eşdeğer doz (ED) ölçümleri

Eşdeğer dozu belirlemek için OSL ölçümlerinde MAAD, SAR ve SeAR yöntemleri, TL ölçümünde ise sadece MAAD yöntemi kullanılmıştır. Tüm ölçümlerde ön ısıtma işlemi sonrası

tabletler soğumaları için lüminesans ölçümlerinden önce 120 dk. ve ışılamadan sonra ise bir gün ışığa maruz kalmayacak şekilde karanlık bir ortamda oda sıcaklığında bekletilmişlerdir. OSL ölçümlerinde lüminesans ışımaya ölçümleri 160s'lik süre içerisinde gerçekleştirilmiştir.

2.5 MAAD yöntemi_OSL

Numune kullanılarak her birisi dört (4) adet tablet içeren dört (4) grup'tan oluşan toplam 16 adet tablet hazırlanmıştır. Giriş bölümünde bahsedildiği şekilde bu tabletler için normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Bir grup tablet ışılanmamış, diğer gruplar da 2, 5 ve 10 Gy beta dozu olacak biçimde ışılanmışlardır. Işınlamanın ardından sırasıyla ön ısıtma, lüminesans ışımaya ölçüm işlemi (sayım) yapılmıştır. OSL şiddetinin eklemeli beta dozlarıyla değişimini gösteren doz-cevap grafikleri çizilmiştir. Grafikte lüminesans ışımaya şiddetinin sıfır olduğu duruma karşılık gelen doz miktarı (doğrunun x eksenini kestiği, y=0 olan nokta) eşdeğer dozu belirlemede kullanılmıştır.

2.6 SAR yöntemi_OSL

Bu yöntemle sonuç almak için bir tablet kullanımı yeterli olmasına rağmen sonuçları karşılaştırabilmek için 6 adet tablet kullanılmıştır. Hazırlanan tabletler herbiri birbirinden bağımsız olarak SAR yöntemiyle değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler birbirleriyle karşılaştırılarak tutarlı sonuçların oluşup oluşmadığı kontrol edilmiştir. Hazırlanmış tabletlere ön ısıtma işlemi uygulanmıştır. Ardından eşdeğer dozla ilişkili olan doğal lüminesans sayımlar alınarak kalıntı sinyal sıfırlanmıştır (ağartılmıştır). Bu tabletler sırasıyla 1 Gy doz olacak biçimde beta ışınlamasına, ışınlama sonrasında ön ısıtmaya maruz bırakılmış ve bu doz miktarıyla ilişkili lüminesans ışımaya şiddetleri ölçülmüştür. Benzer işlemler daha yüksek beta doz değerleri (2, 4, 8 Gy) için tekrarlanarak doz-cevap eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen lüminesans ışımaya şiddetlerinin artan beta radyasyon dozu ile doğrusal bir biçimde arttığı gözlemlendi(Şekil 4).Bu doğruları geriye doğru extrapolasyonu ile eşdeğer doz değerleri belirlendi.

2.7 SeAR yöntemi_OSL

Bu yöntem için yaklaşık yirmi tane tablet hazırlandı. İlk olarak herhangi bir ışınlama yapmadan önce üzerlerinde bulunan eşdeğer doza karşılık gelen doğal lüminesans sayımları yapıldı. Aynı gruptaki disklerin lüminesans şiddetleri arasında en fazla %2 fark olacak şekilde birbirine en yakın sayımları veren tabletler beşerli dört gruba ayrıldı. Sonuç almak için tek grupla çalışmak yeterli olmasına rağmen sonuçların kesinliğini arttırmak amacıyla dört grup da kullanıldı. Herbir gruptaki tabletlerin eşdeğer doza karşılık gelmekte olan doğal lüminesans sayımlarının ortalaması hesaplanmıştır. İkinci işlem olarak gruptaki tüm tabletlerin kalıntı sinyali sıfırlanmıştır. Sonrasında aynı grupta bulunan herbir tablet farklı miktarlarda beta dozu ile ışınlanmış (1, 2, 4, 6, 8 Gy) ve bu dozlara karşılık gelen lüminesans ışımaya ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak gruplar için verilen dozlarla bu dozlara karşılık gelen lüminesans sayımları arasında çizilen doz-lüminesans sayım grafikleri çizilmiştir. Herbir grup için daha önce hesaplanan doğal lüminesans ışımaya ölçümlerinden elde edilen sayımların ortalamaya değerleri kullanılarak çizilen doz-cevap eğrilerinden eşdeğer dozlar tespit edilmiştir.

2.8 MAAD yöntemi_TL

TL'de MAAD yöntemi OSL'de uygulanan MAAD yöntemi ile aynı işlem döngüsüne sahiptir. Bu nedenle OSL yönteminde

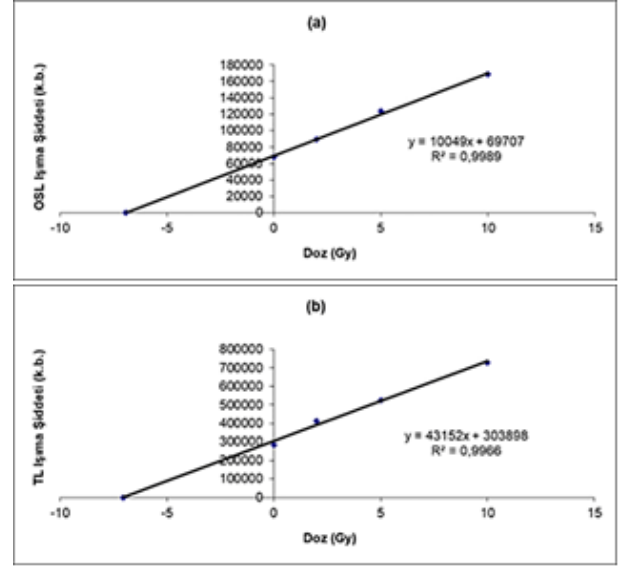
MAAD yöntemi için uygulanan işlemlerin aynı TL yönteminde de aynen tekrar edilmiştir. Tek fark OSL yönteminde tuzak elektronlarını serbest hale getirmek için gereken enerji ışık fotonları tarafından sağlanırken, TL yönteminde bu enerji ısı yolla sağlanmaktadır. İncelenen numuneden hazırlanan tabletler TL ölçümlerinde 2 °C/s doğrusal ısıtma hızıyla oda sıcaklığından 500 °C'ye kadar ısıtılmışlardır. Eşdeğer dozu belirlemek içinse TL ölçümlerinde elde edilen ışımaya eğrilerinde 250 °C ve 350 °C arasında lüminesans sağlayan uzun ömürlü kararlı tuzaklardan elde edilen sayım değerleri kullanılmıştır.

3 Sonuçlar

Bu çalışmada Stratonikeia Antik Kentinden alınan bir tuğla parçasının eşdeğer dozu OSL ve TL teknikleriyle bulunmuştur. Birbirlerini doğrulayıp doğrulamayacağını görmek için OSL ve TL yöntemlerinde eşdeğer dozun belirlenmesinde farklı yöntemler (MAAD, SAR, SeAR) kullanılmıştır. Çalışmamızda tanımlanan SeAR yöntemi ilk defa polimineral içerikli bir arkeolojik doğal malzemeye eşdeğer doz hesabı için uygulanmıştır. Öncelikle lüminesans ölçümlerinden önce numuneye uygulanacak olan ön ısıtma sıcaklığı ve süresini tespit için yapılan çalışma sonucunda ortaya çıkan verilerle Şekil 2(a)-(b)'deki grafikler çizilmiştir. Bu grafiklerdeki düz bölgenin (plato, sayım kararlılığı olan bölge) orta noktaları olan 200 °C ve 12 dk. bu numune için kullanılacak değerler olarak belirlenmiştir. Buna uygun biçimde çalışmamızda örnekler için ön ısıtma işlemi 200 °C'de 12 dk. olarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte kullanılan numune polimineral olmasına rağmen çalışmamız tarihlendirmeden daha ziyade önerilen yeni eşdeğer doz hesaplanma tekniğinin kullanılabilirliğinin araştırılması üzerine olması nedeniyle anormal sönüm etkisi araştırılmamıştır. Bu nedenle doz hesabında hata miktarı artmıştır. OSL ve TL'de kullanılan MAAD yöntemi sonucu elde edilen verilerle çizilen OSL şiddetinin eklemeli dozlarla değişimi sırasıyla Şekil 3(a)-(b)'de gösterilmiştir. Bu şekilde çizilen doğruların ekstrapolasyonu ile doz eksenini kestiği noktalar eşdeğer doz miktarlarını 6.94±0.18 Gy ve 7.04±0.31 Gy olarak vermiştir.

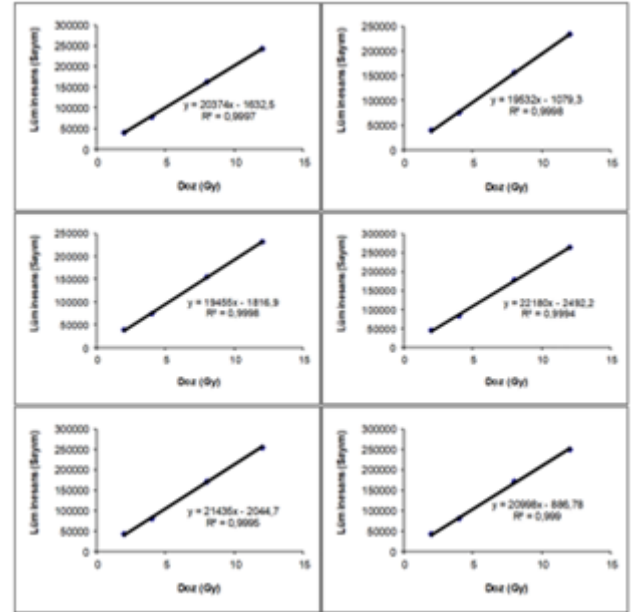
SAR yönteminin OSL'de ki ölçümlere uygulanması sonucunda herbir disk için oluşturulan doz-cevap eğrileri Şekil 4'te verilmiştir. Bu doz-cevap eğrileri değerlendirilirken, ölçülen lüminesans ışımaya şiddeti değerleriyle dozlar için hazırlanan grafiklerde oluşan doğrudan doğal lüminesans sayımlarına karşılık gelen dozlar (eşdeğer doz) belirlenmiştir. Altı tane tabletten elde edilen sonuçların ortalaması alınarak eşdeğer doz değeri 5.17±0.09 Gy olarak bulunmuştur. MAAD ve SAR yöntemine ilave olarak yukarıda tanımlanan SeAR yöntemi de OSL'de kullanılmıştır. SeAR uygulanması sonucu elde edilen verilerle çizilen doz-cevap eğrileri Şekil 5'te verilmiştir. Bu doz-cevap eğrileri de SAR yöntemi için yapılan değerlendirmeye benzer olarak değerlendirilmiştir.

Bunun sonucunda eşdeğer doz için ortalama olarak 7.06±0.29 Gy değeri elde edilmiştir. TL ve OSL'de kullandığımız farklı yöntemlerle belirlenen eşdeğer doz değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu tablodan görülebileceği gibi hata sınırları içerisinde elde edilen sonuçlar birbirleriyle uyumludur. Sadece OSL'de kullanılan SAR yönteminden elde edilen sonuç diğerlerinden farklıdır. Bunun nedeni bu yöntemde birkaç defa tekrarlanan ısıtma-ön ısıtma-ölçüm-sıfırlama(ağartma) döngüsünün bazı numunelerde lüminesans duyarlılığının değişmesine neden olmasıdır [13].



Şekil 3(a): MAAD yönteminde OSL sayımlarının eklemeli dozlarla değişimi. (b): MAAD yönteminde TL sayımlarının eklemeli dozlarla değişimi

Figure 3(a): Change of OSL counts with additive doses in MAAD method. (b): Variation of TL counts with additive doses in MAAD method.



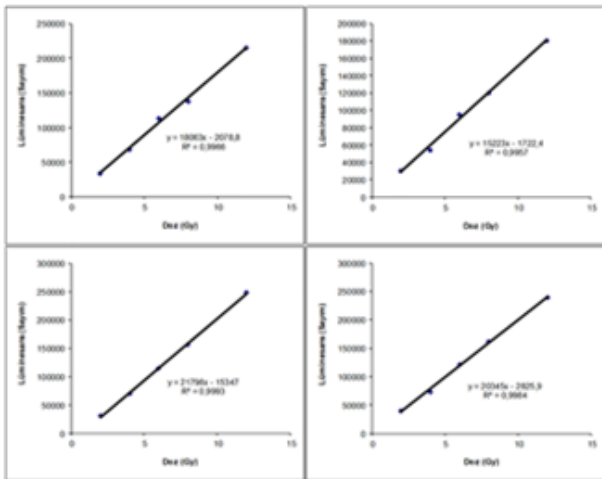
Şekil 4. SAR yöntemiyle değerlendirilen altı tane tabletin doz-cevap eğrileri.

Figure 4. Dose-response curves of six tablets evaluated by the SAR method.

Tablo 1: OSL ve TL tekniklerinde farklı yöntemlerin kullanımı ile elde edilen eşdeğer doz değerleri.

Table 1. Equivalent dose values obtained by using different methods in OSL and TL techniques.

TL ve OSL'de kullanılan yöntemler	ED (Gy)
MAAD -TL	7.04±0.31
MAAD -OSL	6.94±0.18
SAR -OSL	5.17±0.09
SeAR -OSL	7.06±0.29



Şekil 5. SeAR yönteminde kullanılan dört farklı grup için hazırlanan doz-cevap eğrileri.

Figure 5. Dose-response curves prepared for four different groups used in the SeAR method.

Kullanılan SeAR yönteminin hem MAAD yönteminde kullanılan normalizasyona ihtiyaç duymaması hem de SAR yönteminde ortaya çıkan duyarlılık değişimine neden olmaması, bu yöntemin diğer yöntemlere göre daha tercih edilebilir bir yöntem olduğunu gösterir. İlave olarak SeAR yöntemde işlemler için gerekli süre SAR'a göre daha kısa ve ihtiyaç duyulan numune miktarı MAAD'a göre daha azdır. Ayrıca önerilen SeAR yönteminin yapılacak yeni çalışmalar kapsamında tekli mineraller kullanılarak farklı arkeolojik/jeolojik numuneler üzerinde kullanılabilirliğinin araştırılması uygun olacaktır.

4 Results

In this study, the equivalent dose of a piece of archaeological brick obtained from Stratonikeia Antique City was investigated with OSL and TL techniques. Different methods (MAAD, SAR, SeAR) have been used to determine the equivalent dose in OSL and TL methods to see if they can confirm each other. Moreover, The SeAR method described and was applied for the first time to calculate the equivalent dose for a polymineral archaeological material. Firstly, the data in Figure 2 (a) - (b) were illustrated with the data obtained from preheating temperature and duration time experiments in order to apply the sample before luminescence measurements. The midpoint of the flat region (plateau, counting stable region) were determined as 200 °C and 12 min for preheating temperature and time, respectively. Although polymineral sample used for the protocols, the anomalous fading effect has not been investigated since our study was based on investigating the availability of the new equivalent dose calculation techniques, rather than pure dating applications. Therefore, some error might come from an anomalous fading issue. The change of OSL intensity with additive doses drawn with the data obtained as a result of the MAAD method used in OSL and TL is shown in Figure 3 (a) - (b), respectively. equivalent doses were calculated by extrapolation method, giving as 6.94 ± 0.18 Gy and 7.04 ± 0.31 Gy. Application of SAR method and related the dose-response curves to each disc were presented in Figure 4. While evaluating dose-response curves, the doses corresponding to the natural luminescence counts (equivalent dose) formed in

the graphs were determined by related doses of measured luminescence intensity values. By taking the average values of the results obtained from six tablets, the equivalent dose value was found to be 5.17 ± 0.09 Gy. In addition to the MAAD and SAR method, the SeAR method, details were described above sections, was also used in OSL. The dose-response curves of applied SeAR were given in Figure 5, evaluating similarly to the SAR method. As a result, on average for the equivalent dose of 7.06 ± 0.29 Gy value was obtained for this technique. Determined equivalent dose values by different methods for both TL and OSL were tabulated in Table 1. As can be seen from the Table1, the results within the error limits are compatible with each other, excluding SAR OSL method. The reason for this difference might come from sensitivity changes in samples over the SAR cycle applications (irradiation-preheating-measurement-resetting (bleaching)) [13]. The newly presented SeAR method has some advantages than MAAD and SAR methods in terms of not need any normalization factors and sensitivity change over the cycle applications as in SAR method. Therefore, the new SeAR method looks more preferable than other methods Moreover, the time required for application of the SeAR method is shorter than the SAR and the amount of required sample is less than the MAAD. Lastly, it could be worth to investigate the usability of the suggested SeAR method for single minerals within the scope of studies of archaeology and geology.

5 Kaynaklar

- [1] Aitken MJ. *An introduction to Optical Dating*. Oxford, England, Oxford University Press, 1998.
- [2] Yoshimura EM, Yukihara EG. "Optically stimulated luminescence: Searching for new dosimetric materials". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 250(1-2), 337-341, 2006.
- [3] Öke G, Yurdapan E. "Optically stimulated luminescence dating of pottery from Turkey". *Talanta*, 53(1), 115-119, 2000.
- [4] Kortov V. "Materials for thermoluminescent dosimetry: Current status and future trends". *Radiation Measurements*, 42, 576-581, 2007.
- [5] Fleming S. *Thermoluminescence Techniques in Archaeology*. Oxford, England, Clarendon Press, 1979.
- [6] Atlıhan MA, Koralay T, Şahiner E. "Luminescence dating and mineralogical investigations of bricks from erikli basilica in stratonikeia ancient city (Sw-Turkey)" *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 18(1), 77-91, 2018
- [7] Şahiner E, Meriç N, Uygun S. "Luminescence (IRSL) dating of yeni rabat church in Artvin, Turkey". *Radiation Physics and Chemistry*, 86, 68-73, 2013.
- [8] Yanchou L, Prescott JR, Hua Z, Jie C, Lanying W. "Optical dating of colluvial deposits from Xiyangfang, China, and the relation to palaeo-earthquake events". *Quaternary Science Reviews*, 21, 1087-1097, 2002.
- [9] Atlıhan MA, Meriç N. "Luminescence dating of a geological sample from Denizli, Turkey". *Applied Radiation and Isotopes*, 66, 69-74, 2008.
- [10] Aitken MJ. *Thermoluminescence Dating*. London, England. Academic Press, 1985.
- [11] Wintle AG, Murray AS. "A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols". *Radiation Measurements*, 41, 369-391, 2006.

- [12] Lu YC, Wang XL, Wintle AG. "A new OSL chronology for dust accumulation in the last 130.000 yr for the Chinese Loess Plateau". *Quaternary Research*, 67, 152-160, 2007.
- [13] Duller GAT, Botter-Jensen L, Mejdahl V. "An automated iterative procedure for determining paleodoses using the SARA method". *Quaternary Geochronology*, 18, 293-301, 1999.
- [14] Zhang J, Li SH. "Constructions of standardised growth curves (SGCs) for IRSL signals from K-feldspar, plagioclase and polymineral fractions". *Quaternary Geochronology*, 49, 8-15, 2019.
- [15] Liritzis I, Polymeris GS, Vafiadou A, Sideris A, Levy TE. "Luminescence dating of stone wall, tomb and ceramics of Kastrouli (Phokis, Greece) Late Helladic settlement: Case study". *Journal of Cultural Heritage*, 35, 76-85, 2019.
- [16] Long H, Haberzettl T, Tsukamoto S, Shen J, Kasper T, Daut G, Liping Z, Mausbacher R, Frechen, M. "Luminescence dating of lacustrine sediments from T angra Y umco (southern T ibetan P lateau) using post-IR IRSL signals from polymineral grains". *Boreas*, 44(1), 139-152, 2015.
- [17] Zhang J, Tsukamoto S, Nottebaum V, Lehmkuhl, F, Frechen M. "De plateau and its implications for post-IR IRSL dating of polymineral fine grains". *Quaternary Geochronology*, 30, 147-153, 2015.
- [18] Schmidt C, Bösken J, Kolb T. "Is there a common alpha-efficiency in polymineral samples measured by various infrared stimulated luminescence protocols?". *Geochronometria*, 45(1), 160-172, 2018.