TAEK TR-2011-08



TEKNİK RAPOR

ESKİŞEHİR İLİ SİVRİHİSAR YÖRESİNDEN ALINAN JİPS KRİSTALİNİN ESR ve TL TEKNİKLERİ İLE İNCELENMESİ ve TARİHLENDİRİLMESİ

TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

TEKNİK RAPOR

ESKİŞEHİR İLİ SİVRİHİSAR YÖRESİNDEN ALINAN JİPS KRİSTALİNİN ESR ve TL TEKNİKLERİ İLE İNCELENMESİ ve TARİHLENDİRİLMESİ



2010

TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

2690 sayılı kanun ile kurulmuş olan Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun ana görevi; atom enerjisinin barışçıl amaçlarla ülke yararına kullanılmasında izlenecek ulusal politikanın esaslarını ve bu konudaki plan ve programları belirlemek; ülkenin bilimsel, teknik ve ekonomik kalkınmasında atom enerjisinden yararlanılmasını mümkün kılacak her türlü araştırma, geliştirme, inceleme ve çalışmayı yapmak ve yaptırmak, bu alanda yapılacak çalışmaları koordine ve teşvik etmektir.

Bu çalışma TAEK personeli tarafından gerçekleştirilmiş araştırma, geliştirme ve inceleme sonuçlarının paylaşımı amacıyla Teknik Rapor olarak hazırlanmış ve basılmıştır.

Teknik Rapor 2010/23
Türkiye Atom Enerjisi Kurumu yayınıdır
İzin alınmaksızın çoğaltılabilir.
Referans verilerek kullanılabilir.

TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU
Adres : Eskişehir Yolu 9. km 06530 Ankara/Türkiye
Tel : +90 (312) 295 87 00
Fax : +90 (312) 287 87 61
Web : www.taek.gov.tr

ÖNSÖZ

Jeolojik olayların ve oluşumların daha kolay anlaşılıp yorumlanabilmesi, arkeolojik ve antropolojik araştırmaların uygarlık tarihini eksiksiz olarak değerlendirebilmeleri için bu bilim alanları son yıllarda fen bilimlerinin çeşitli dallarından yararlanmaya başlamışlardır. Bu çerçevede özellikle jeolojik oluşumların ve olayların, arkeolojik ve antropolojik buluntuların güvenilir bir şekilde tarihlendirilebilmesinin önemi açıktır. En eski fiziksel tarihlendirme yöntemlerinden birisi olan ^{14}C tarihlendirme yöntemi özellikle organik kökenli materyallerin yaşını bulmakta oldukça başarılı olmuştur. Ancak bu tekniğin sadece organik kökenli malzemelere uygulanabiliyor olması ve en fazla 50.000 yıl'a kadar tarihlendirme yapabilmesi daha yeni, daha duyarlı ve örnek çeşidi ile erişilebilecek yaş değerleri bakımından daha kapsamlı fiziksel tarihlendirme tekniklerinin gelişmesine yol açmıştır. Bunlardan en önemlileri Elektron Spin Rezonans (ESR) ve Termolüminesans (TL) tarihlendirme teknikleridir. ESR tekniği ile hem organik hem de inorganik, TL tekniği ile ise inorganik kökenli örneklerin tarihlendirilmesi rahatlıkla yapılabilmekte ve her iki teknik ile örneğin cinsine bağlı olarak yaklaşık 10^7-10^8 yıllarına kadar %15-20 civarında hata ile tarihlendirme yapılabilmektedir. Teknik rapora konu olan çalışma, fiziksel tarihlendirme tekniklerinden olan ESR ve TL tekniği ile Eskişehir Sivrihisar yöresinden alınan doğal jips kristallerinin incelenmesi ve kristallenme yaşlarının belirlenmesini kapsamaktadır.

İÇİNDEKİLER

Tablolar Dizini.....i

Şekiller Dizini.....iii

Yönetici Özeti.....v

Executive Summary.....vii

Kısaltmalar.....ix

Terimler.....ix

1. GİRİŞ.....1

2. ESR ve TL TEKNİKLERİ İLE ÖLÇÜMLER.....4

2.1 Elektron Spin Rezonans.....4

2.2 Termolüminesans.....4

2.3 ESR ve TL Teknikleri ile Jeolojik Oluşumların Tarihlendirilmesi.....4

2.4 Deneysel İşlemler.....4

3. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME.....5

3.1 ESR Çalışmaları.....5

3.2 TL Çalışmaları.....5

5. KAYNAKÇA.....42

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Jips Kristalleri ve Bunların Etrafından Alınan Dolomit Örneğine Ait U, Th ve K İçerikleri ve Yıllık Doz Değerleri.....6

Tablo 2. 157 ve 278 °C'daki TL Pikleri için Tuzak Parametre Değerleri.....8

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Spin Kuantum Sayısı S = ½ Olan Bir Sistemde Spinlerin Manyetik Alandaki Yönelimine Karşı Gelen Enerji Düzeyleri.....6

Şekil 2. Tek Çizgili Bir ESR Spektrumunun Karakteristik Özellikleri: **a)** Soğurma, **b)** Birinci Türev Eğrileri.....8

Şekil 3. TL Işıma Eğrisi (Aitken, 1985).....10

Şekil 4. Termolüminesans ışıma eğrileri (Türetken, 1984) **a)** Doğal Işıma Eğrisi **b)** Yapay Işıma Eğrisi **c)** Kara Cisim Işıması.....12

Şekil 5. Radyasyon Dozuna Bağlı Olarak ESR / TL Sinyal Şiddetindeki Değişimin Temsili Gösterimi.....13

Şekil 6. Işınlamadan Önce ve 500 Gy Işınlamadan Sonra Alınan Geniş ESR Spektrumları.....13

Şekil 7. Işınlamadan Önce ve 500 Gy Işınlamadan Sonra Alınan ESR Spektrumları.....15

Şekil 8. Jips Örneği için Oluşturulan ESR Doz-Cevap Eğrisi.....16

Şekil 9. ESR Sinyal Şiddetinin Tavlama Sıcaklığa Bağlı Değişimi.....17

Şekil 10. ESR Sinyal Şiddetinin Değişik Tavlama Sıcaklıklarında Tavlama Zamanına Bağlı Değişimi.....17

Şekil 11. Reaksiyon Hız Sabitinin Sıcaklıkla Değişimi.....19

Şekil 12. a) Işınlanmamış **b)** 500 Gy Işınlanmış **c)** Boş Disk için Kaydedilen TL Işıma Eğrileri.....19

Şekil 13. 157 °C ve 278 °C'daki TL Piklerinin Tepe Noktalarına Karşı Gelen T_m Değerlerinin β Isıtma Hızına Bağlı Değişimi.....20

Şekil 14. 21.5 kGy Işınlamadan Sonra 157 °C ve 278 °C'daki TL Piklerinin İlk Yükselme Bölgeleri için Arhenus Grafikleri.....21

Şekil 15. Jips Örneği için Oluşturulan TL Doz-Cevap Eğrisi.....29

YÖNETİCİ ÖZETİ

Eskişehir-Sivrihisar yöresinden alınan jips kristalleri Elektron Spin Rezonans (ESR) ve Termolüminesans (TL) teknikleri ile incelenip tarihlendirildi.Çalışılan jips örneklerinin doğal ESR spektrumunda g=2.009'deki ESR sinyaline ilaveten Mn^{2+} iyonlarına ait sinyaller de gözlenmiştir. Gama ışınlaması ile g=2.009 spektroskopik yarılma çarpanına sahip ESR sinyal şiddetinin gama ışınlama dozu ile arttığı gözlendi. Bu ESR sinyali (g=2.009) jips örneklerinin tarihlendirilmesinde kullanıldı. Işınlanmamış jips örneğinin TL ışıma eğrilerinde 278 °C civarında tek bir TL ışıma piki gözlendi. Işınlanmış örneklerde ise 278 °C'da çıkan TL pikine ilave olarak 157 °C'de bir TL ışıma piki daha gözlenmiştir. Jips örnekleri ^{60}Co gama kaynağı ile ışınlandı. Jips örneklerinin ESR spektrumları ve TL ışıma eğrileri, sırasıyla X-bant ESR spektrometresi ve RisØ TL/OSL okuyucu ile kaydedildi. Örnekler için ESR/TL doz-cevap eğrileri oluşturuldu. Doz-cevap eğrileri doyuma giden üstel fonksiyonuna fit edildi. Bu model esas alınarak tarihlendirme için toplam doğal ışınım doz (JD) değerleri belirlendi. Jips kristalleri ve bunların çevrelerinde bulunan dolomite için ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K analizleri yapıldı. İç doz hızı jips örneklerindeki ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K sonuçlarından hesaplandı. Dış doz hızı dolomite için elde edilen ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K analiz sonuçları ve kozmik ışın doz hızı kullanılarak hesaplandı. Bulunan sonuçlardan yıllık doz hızı değeri hesaplanarak tarihlendirme hesaplamalarında kullanıldı. Jips kristallerinin ilk oluşumlarındandan sonra ardışık bir çok kez yeniden kristalleşmesi nedeni ile, jipsler için hesaplanan yaş değeri beklenen oluşum yaşından daha küçük çıkmıştır.

EXECUTIVE SUMMARY

Gypsum crystals taken from Sivrihisar-Eskişehir district were investigated and dated by Electron Spin Resonance (ESR) and Thermoluminescence (TL) techniques. The natural ESR spectra of gypsum samples had also the signals of Mn^{2+} in addition to the signal at g=2.009. It was observed that the intensity of ESR signal at g=2.009 increased with gamma irradiation dose. This ESR signal (g=2.009) was used as a dating signal in dating of gypsum samples. The only one TL peak at about 278 °C was observed in TL glow curves of nonirradiated gypsum sample. In the case of irradiated sample, TL peak at 157 °C was observed in addition of TL peak at 278 °C. Gypsum samples were irradiated with a ^{60}Co gamma source. The ESR spectra and TL glow curve of gypsum samples were recorded by X-band ESR spectrometer and RisØ TL/OSL reader, respectively. For samples, ESR/TL dose-response curves was constructed. Dose-response curves were fitted with an exponential saturation function. Based on this model, accumulated dose (AD) values for dating are determined. ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K analysis was carried out for gypsum crystals and dolomite which enveloped these gypsum crystals. The internal dose rate was calculated from ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K analysis results of gypsum sample. The external dose rate was calculated by using ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K analysis results of dolomite and cosmic dose rate. Internal and external gamma dose-rate was used for dating calculations. Because of successive recrystallization of gypsum sample after formation, calculated age values of gypsum is smaller than expected formation age.

KISALTMALAR ve TERİMLER

KISALTMALAR

ESR : Elektron Spin Rezonans

AD : Toplam Soğurulan Doğal Işınım Dozu

g : Spektroskopik Yarılma Çarpanı

TL : Termolüminesans

JD : Toplam Jeolojik Doz

TERİMLER

Elektron Spin Rezonans : Fiziksel bir spektroskopi dalıdır.

ESR Spektrumu : Manyetik alana karşı ESR sinyallerinin şiddetlerini gösterir

Tuzaklanmış Elektron : Kristal içerisindeki örgü kusurlarına yakalanmış elektron.

Termolüminesans : Fiziksel bir tekniktir.

1. GİRİŞ

Arkeolojik ve jeolojik maddelerde bulunabilen uzun yarı ömürlü uranyum (^{238}U), Toryum (^{232}Th) ve Potasyum (^{40}K)'un bozunması ile ortaya çıkan ışınlar, tuzaklanmış elektron ve holler oluşturabildiği için bu tür mineraller ESR ve TL teknikleri ile incelenebilmektedir. Gözlenen ESR spektrumları ve TL ışıma eğrileri, tuzaklanmış elektron ya da hol sayısına; tuzaklanmış elektron (ya da hol) sayısı da radyoaktif elementlerin bozunmasına bağlı olduğu için bu maddelerde, ESR ve TL yöntemleri ile yaş tayini yapılabilmektedir.

ESR yöntemi ile tarihlendirme çalışmaları,1967 yılında Zeller ve arkadaşları tarafından başlatılmış[1] ve sistematik uygulaması ise ilk kez 1975 yılında Ikeya tarafından yapılmıştır. Mağara sarkıtlarının yaşlarının tayinini içeren bu çalışmadan sonra, arkeolojik ve jeolojik maddelerin, ESR yöntemiyle yaş tayini çalışmaları hızlı bir gelişme süreci içine girmiştir [2,3].

Termolüminesans yöntemi ile arkeolojik yaş tayini yapılabileceği ilk kez 1953 yılında öne sürülmüş (4), daha sonra olumlu sonuçlar alınmaya başlanmış (5,6) ve yöntem 1965 yılından başlıyarak yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanmış ve başarılı sonuçlar elde edilebilmiştir (7, 8, 9, 10, 11, 12). Termolüminesans ayrıca jeolojik kaynaklı lavalara (13), meteoritelere (14), volkanik tüf ve camlara (15), çakmak taşına (16) ve doğal kalsitlere (17) uygulanabilmektedir.

Bu teknik rapor Eskişehir ili Sivrihisar yöresinden alınan $CaSO_4.2H_2O$ yapıdaki jips kristal örneğinin ESR ve TL teknikleri ile incelenmesi ve tarihlendirilmesi çalışmalarını kapsamaktadır.

2. ESR ve TL TEKNİKLERİ İLE ÖLÇÜMLER

2.1 Elektron Spin Rezonans

Maddenin manyetik özellikleri, maddeyi oluşturan atomik birimlerin manyetizmasına ve bu atomik birimlerin kendi aralarındaki etkileşmeye bağlıdır. Manyetik momentleri sıfırdan farklı ve aralarındaki etkileşmenin zayıf olduğu yapı taşlarının meydana getirdiği maddelere paramanyetik madde denir. Atoma sürekli manyetik momenti, çekirdek ve elektronlar kazandırır. O halde atomun toplam manyetik momenti elektron ve çekirdek manyetik momentlerinin toplamıdır. Manyetik rezonans, statik manyetik alan uygulayarak bu manyetik momentlerle bağlantılı enerji düzeyleri yaratıp bunlar arasında geçişler oluşturma esasına dayanır. ESR, elektronik manyetik momentlere ilişkin enerji düzeyleri arasındaki geçişleri inceler.

H_0 manyetik alanına konmuş μ manyetik momentine sahip bir dipolün enerjisi,

$$H = -\mu.H_0$$

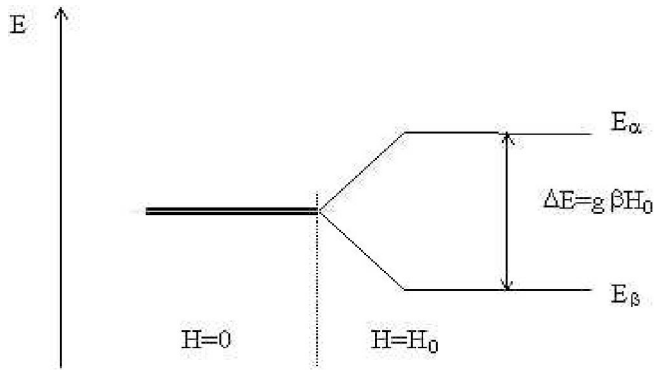
şeklinde bir hamiltoniyen ile ifade edilebilir. Büyüklüğü H_0 olan durgun manyetik alanı içine konmuş bir serbest elektron için bu ifade, Z kuantumlanma doğrultusu olarak alındığında,

$$H = g\beta H_0 S$$

şekline dönüşür. Burada g spektroskopik yarılma çarpanıdır ve serbest elektron için 2.0023 değerindedir. β ise Bohr magnetonudur (β=9.274x10^{-24} J.T^{-1}). Serbest elektron için S=±1/2 değerlerini alır ve özvektörleri de $|\alpha>$ ve $|\beta>$'dır. "$g\beta H_0$" skaler bir nicelik olduğundan, S'nin özvektörleri aynı zamanda H hamiltoniyeninin de özvektörleri olurlar. Böylece serbest elektron için öz enerji ifadeleri,

$$E_\alpha = +1/2 g\beta H_0, \quad E_\beta = -1/2 g\beta H_0$$

olarak bulunur. Başka bir deyimle, spini 1/2 olan bir elektron üzerine uygulanan dış manyetik alan, Şekil 1'deki gibi aralarında ΔE kadar enerji farkı olan enerji düzeyleri yaratır.



Şekil 1. Spin Kuantum Sayısı S=1/2 Olan Bir Sistemde Spinlerin Manyetik Alandaki Yönelimine Karşı Gelen Enerji Düzeyleri

Bu enerji düzeyleri arasındaki fark,

$$\Delta E = g\beta H_0$$

kadardır. Eğer elektrona ΔE enerji farkına eşit olacak şekilde bir mikrodalga (MD) enerjisi verilirse, elektron bu enerjiyi soğurur. Soğurulan MD enerjisi ile ΔE arasında,

$$h\nu_0 = \Delta E$$

eşitliği ile verilen bağıntıya **rezonans koşulu** denir. Burada h Planck değişmezi ve ν_0'da MD'nın frekansıdır. Manyetik alan sabit bir H_0 değerinde iken düzeyler arasındaki enerji farkı,

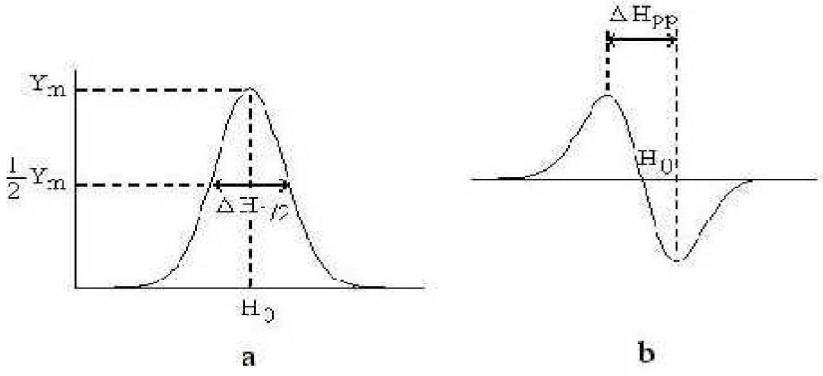
$$\Delta E = E_\alpha - E_\beta = 2g\beta H_0$$

olur. Rezonans koşulu ise,,

$$h\nu_0 = g\beta H_0$$

haline dönüşür. Bu bağıntıya uyacak şekilde spin sisteminin soğurduğu enerjinin gözlenmesi ESR spektrumu olarak nitelenir. Son bağıntıdaki H_0 rezonans alanı ve ν_0'da rezonans frekansıdır. Rezonans koşulu, manyetik alan ile mikrodalga frekansını birbirine bağlayan çizgisel bir bağıntıdır. Bu özellik nedeniyle pratikte ya manyetik alan değişmez alınarak frekans rezonans koşulunu sağlayacak şekilde değiştirilir, ya da frekans değişmez alınarak manyetik alan değiştirilir. Çözünürlüğün artırılması, gürültü düzeyinin düşürülmesi vb. nedenlerden ötürü ESR spektrumları pratikte genellikle MD frekansı sabit tutulup manyetik alan

değiştirilerek soğurma eğrisinin birinci türevi olarak çizdirilirler. Bu yolla çizdirilen spektrumların karakteristik özellikleri Şekil 2'de verilmiştir. Burada H_0 rezonans alan değeri, ΔH_{pp} tepeden-tepeye çizgi genişliği ve Y_m'de sinyal şiddeti olarak adlandırılır. H_0 rezonans alan değerinden yararlanılarak spektroskopik yarılma çarpanı g, ΔH_{pp} ve Y_m değerlerinden ise soğurma eğrilerinin altında kalan alan hesaplanır.



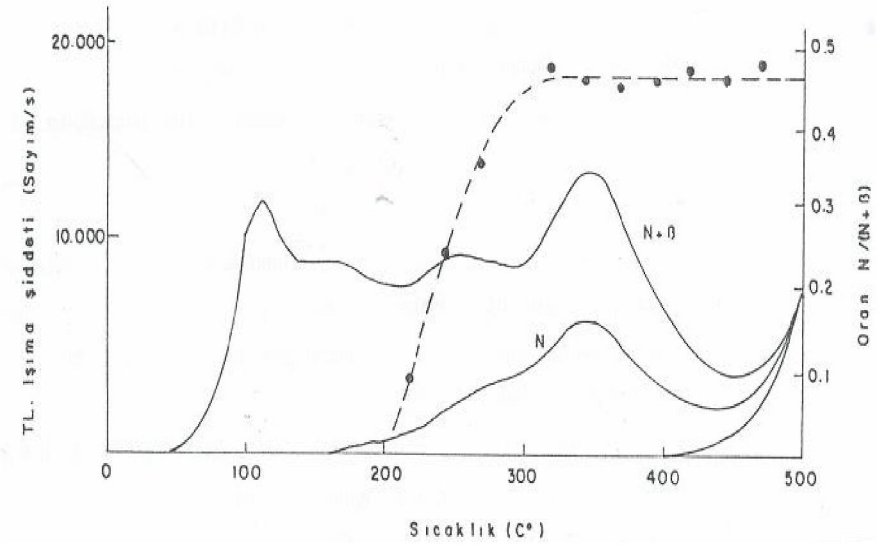
Şekil 2. Tek Çizgili Bir ESR Spektrumunun Karakteristik Özellikleri:
a) Soğurma, **b)** Birinci Türev Eğrileri

2.2 Termolüminesans

Termolüminesans herhangi bir radyoaktivite etkisi ile enerji depolamış kimi maddelerin sıcaklığının düzgün olarak yükselmesi sonucunda oluşan ışımadır. Işık yayılımı daha önceki radyasyona maruz kalmanın sonucudur. Daha basit bir ifadeyle yarı iletken ve yalıtkanlar ısıtıldığı zaman yayılan ışıktır, fakat bu ışık ısıtılarak akkorhaline gelmiş maddeden kendiliğinden yayılan ışık değildir. Yalıtkan ve yarı iletken maddeler içlerinde ve çevrelerinde bulunan uranyum, toryum ve potasyum gibi radyo-aktif elementlerin saldığı alfa ve beta parçacıkları ile gama ışınları gibi radyasyonlardan enerji soğururlar ve bu enerjinin bir kısmını kristal yapılarında depo ederler. Enerji depolanması şu şekilde olur, madde içinden geçen radyasyon yolu üzerindeki birçok atomla çarpışır bu sırada atomlardan elektron koparark enerji kazanırlar ve atomlardaki enerji düzeylerinden daha yüksek düzeylere çıkarlar, bu elektronların az bir kısmı maddenin kristal yapısında çeşitli nedenlerle oluşan ve tuzak denilen yerlere bağlanırken, büyük çoğunluğu kazandığı enerjiyi çok kısa bir süre içinde kaybederek takrar düşük enerji düzeylerine dönerler, tuzağa bağlanan elektronlara 'tuzaklanan elektronlar' denir. Bu elektronlar radyasyondan aldıkları enerjinin büyük bir kısmını geri

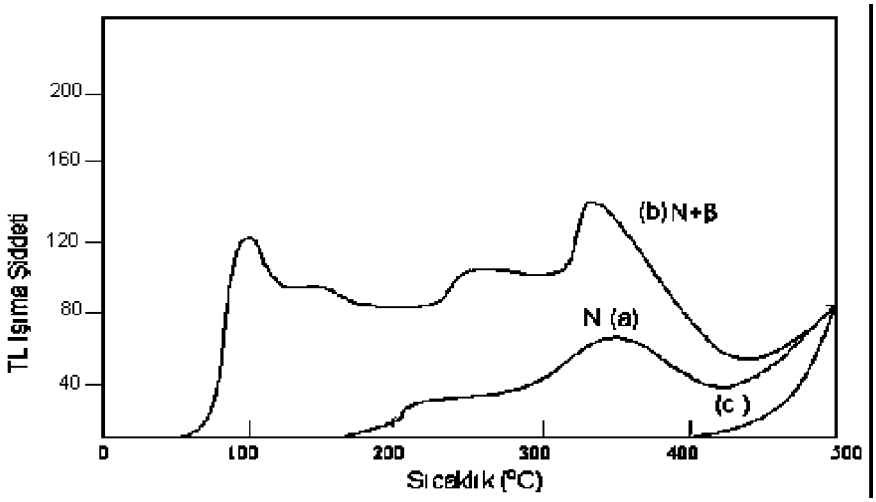
vermediklerinden maddede enerji depolanmış olur. Madde ısıtıldığı zaman ışık olarak ortaya çıkar. Çıkan ışık miktarı maddenin biriktirdiği radyasyon enerjisi miktarına bağlıdır. Ne kadar çok enerji birikirse o kadar çok ışık çıkar. Hiç enerji birikmemiş ise veya biriken enerji bir nedenden dolayı boşalmış ise hiç ışık görülmeyecek yani hiç TL olmayacaktır. Sonuç olarak TL, maddenin etkileştiği toplam radyasyon miktarı (dozu) sonucunda biriken enerjinin ve bu enerjinin birikmesi için geçen sürenin dolaylı bir ölçüsüdür.

Materyallerin enerji depolama süresi çevre şartlarına ve tuzak özelliklerine bağlıdır. Birkaç dakikadan bir milyon yıla kadar elektronları tutan tuzaklar vardır, normal çevre şartlarında kısa sürede boşalan tuzaklara sığ, uzun sürede boşalan tuzaklara derin tuzaklar denir. Tarihlemede derin tuzaklar kullanılır çünkü bu tuzaklar tarih boyunca kendiliklerinden boşalmadıkları (herhangi bir yangına maruz kalmadıkları sürece) için maddenin aldığı radyasyon miktarını tam olarak yansıtırlar, bu da tarihlemede sağlanması gereken temel şartlardan biridir. Elektronların tuzaklardan kurtulmasının diğer bir yolu maddeyi ısıtmaktır, bu yolla tuzaklardan kurtulan elektronlar, birer ışık taneciği (foton) salarak düşük enerji düzeylerine dönerler. Maddede depolanan radyasyon enerjiside böylece ışık olarak geri verilmiş olur, bu olaya maddenin ısıtılarak ışıma yapması anlamına gelen 'termolüminesans denir. Bir kristal yapıda değişik derinlikte tuzaklar vardır, bunlar genellikle birkaç gruba ayrılırlar, her grubun derinliğine göre bir boşalma sıcaklığı vardır. Madde sabit bir hızda ısıtılacak olursa tuzaklar sığlardan derinlere doğru sırayla boşalırlar; tuzak gruplarının boşalma sıcaklıklarına yaklaştıkça ışıma artar ve bir maksimum değer aldıktan sonra azalmaya başlar, bu azalma bir sonraki tuzak grubunun boşalmaya başladığı sıcaklığa kadar devam eder ve sonra yeniden artmaya başlar,ışımadaki bu artma ve azalmaları sıcaklığa karşı gösteren eğriye 'ışıma eğrisi' denir. Bu eğrilerdeki ışıma tepeleri yani maksimumlar değişik derinlikteki tuzak gruplarının boşalma sıcaklıklarını göstermektedir, tuzak gruplarının birbirinden çok farklı derinlikte olması durumunda ışıma tepeleri belirgin bir durumda görünür. Eğer grupların tuzak derinliği birbirine yakınsa ışıma tepelerinde yakın sıcaklıklarda olacakları için birbirlerini etkilerler ve tek tek görülmeyip geniş bir eğri şeklinde ortaya çıkarlar. Kuvarslarda 100 ^{0}C civarında elde edilen tepe, oda sıcaklığında ömrü birkaç saat olan tuzakların boşalması ile oluşmaktadır, bu arada 350 ^{0}C civarındaki sıcaklıklarda olan tuzaklar bir milyon yıl ömre sahiptir.



Şekil 3. TL Işıma Eğrisi (Aitken, 1985)

Doğal ışıma eğrisinde 200 ^{o}C kadar termolüminesans ışıması gözlenmemektedir çünkü düşük sıcaklıklara karşılık gelen sığ tuzaklarda elektronun ömrü herhangi önemli bir elektron birikimine izin vermeyecek kadar kısadır. Doğal termolüminesansın bir radyoizotop kaynaktan nükleer radyasyona tutulmuş diğer bir örnek parçasından gelen termolüminesansa oranı 200 ^{o}C civarında sıfırdan itibaren gittikçe artmaktadır. 300 ^{o}C'den sonra düzenli bir plato seviyesine ulaşmaktadır. Bu plato, bu sıcaklık aralığında termolüminesansı oluşturan tuzakların yarı ömürlerini doğal termolüminesansın birikimini sağlayan tuzakların yarı ömürlerinden çok daha fazla olduğunu göstermektedir. Yani burada göz önüne alınan tuzaklardan ihmal edilebilir kaçaklar olmaktadır.



Şekil 4. Termolüminesans Işıma Eğrileri (Türetken, 1984).
a) Doğal Işıma Eğrisi b) Yapay Işıma Eğrisi c) Kara Cisim Işıması

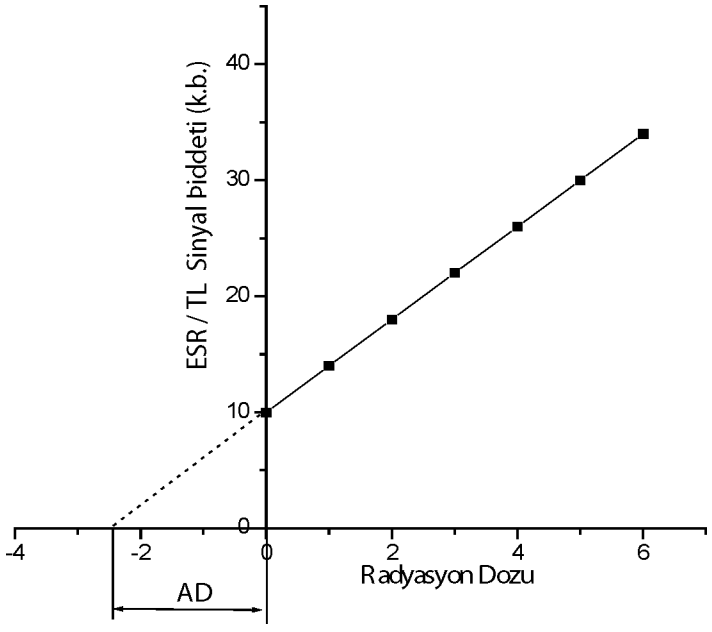
Şekil 4'de görülen 'a' eğrisi doğal ışıma eğrisidir. Aynı örnek tekrar ölçüldüğünde ortaya çıkan eğri 'c' eğrisidir ki buna 'Kara Cisim Işıması' denir. Aynı örnekten alınan başka bir parçayı laboratuvar şartlarında belirli sürelerle beta kaynağı ile radyasyona tuttuktan sonra yapılan ölçümlerde alınan eğrilere de 'Yapay Işıma Eğrileri' denir. Yapay ışıma eğrileri şekilde 'b' eğrisi ile gösterilmiştir.

2.3 ESR ve TL Teknikleri ile Jeolojik Oluşumların Tarihlendirilmesi

Jeolojik kayaç ve minerallerin yapısında, çok az miktarda da olsa, radyoaktif element vardır. Bu elementlerin başında Uranyum (^{238}U), Toryum (^{232}Th) ve Potasyum (^{40}K) gelir. Jeolojik zamanlar boyunca kayaç ve minerallerdeki bu radyoaktif elementler radyoaktif bozunmaya uğrar ve γ-ışınları ya da β, α gibi yüksek enerjili parçacıklar salarlar. Kayaç ya da mineral içerisinde salınan bu ışınımlar yapıdaki bazı elektronları serbest hale getirirler. Serbest elektronların bazılarının yapı içindeki bozukluklar (kristal örgü kusurları) tarafından tuzaklanmaları sonucunda örnek içinde ESR ve TL tekniklerine duyarlı merkezler oluşur. Derin tuzaklarda tutulan elektronlar bize örneğin yaşını saptamada yardımcı olurlar.

Jelojik ve arkeolojik maddelerde bu tür merkezlerin varlıklarının gözlenmesi, ESR ve TL yöntemlerinin bu alana uygulanmasına olanak sağlamıştır. Gözlenen ESR ve TL sinyallerinin şiddeti, tuzaklanmış elektron sayısına, tuzaklanmış elektron sayısı da jeolojik ya da arkeolojik örnek içindeki radyoaktif elementlerin bozunması sonucu oluşan ışınım dozuyla doğrudan ilişkilidir. ESR ve TL yöntemiyle bu ilşkiyi ortaya çıkarmak demek, göz önüne alınan arkeolojik maddenin ya da jeolojik mineralin oluşumundan bu yana, radyoaktif bozunmadan ötürü oluşan enerji dozu hakkında bilgi edinmek demektir. Bu dozun zamana çevrilmesi işlemi, o örneğin ESR ve TL yaşını verir.

Jeolojik veya arkeolojik örneklerin oluşumlarından günümüze kadar almış oldukları toplam radyasyon dozu eklemeli doz yöntemiyle belirlenir. Bunun için tarihlendirilecek örnek günümüzdeki yaşından başlanarak, yapay ışınım ile yaşlandırılır ve oluşumundan günümüze değin yutmuş olduğu doğal ışınım dozu (AD) bulunur. Bu çalışmada kullanılan jips gibi jeolojik örneklerde AD, toplam jeolojik doza karşılık gelmektedir. AD'nin bulunabilmesi için örnek eşit miktarlara bölünerek değişik yapay (laboratuvar) ışınım dozlarına tutulur. Artan ışınım dozuyla ESR veya TL sinyal şiddeti arasındaki değişimi karakterize eden doz-cevap eğrisi oluşturulur (Bkz. Şekil 5.).



Şekil 5. Radyasyon Dozuna Bağlı Olarak ESR/TL Sinyal Şiddetindeki Değişimin Temsili Gösterimi

Bu eğride sinyal şiddeti ve yapay ışınım dozu arasındaki matematiksel formülasyon belirlenir. ESR/TL sinyal şiddetinin yapay ışınım dozuna göre çizilen grafiğinde doğrunun veya eğrinin yatay ekseni kestiği değer jeolojik yıllar boyunca biriken doğal ışınımın toplam doz miktarı (AD) değerini verir. O halde örneğin oluşumundan bu yana yuttuğu toplam dozun yıllık doza bölümü onun ESR/TL yaşını verir:

$$\text{Yaş (Yıl)} = \text{AD (Gy)/D (Gy/yıl)}$$

Burada D yıllık dozu göstermektedir. Yıllık doz iç ışınım dozu ve dış ışınım dozu olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. İç ışınım dozu tarihlenecek maddenin içerisinde eser miktarda bulunan uzun yarı ömürlü ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K elementlerinden yayınlanan α, β ve γ radyasyonlarından kaynaklanmaktadır. Dış ışınım dozı ise maddenin çevresindeki toprakta bulunan yine aynı elementlerden ve kozmik ışınlardan kaynaklanmaktadır.

İç doz, maddenin içindeki ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K elementlerinin konsantrasyonlarının saptanması ve bunlardan salınan ışınım katkılarının hesaplanmasıyla belirlenir. Dış doz ise, örneklerin alındıkları yerdeki çevre toprağındaki ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarının bulunması ve bu elementlerden salınan ışınım katkılarının hesaplanmasıyla bulunabileceği gibi, örneklerin alındıkları yerlere birkaç adet termolüminesans dozimetre (TLD) gömerek de belirlenebilir.

2.4 Deneysel İşlemler

Tarihlenecek jips örneği Eskişehir ili Sivrihisar yöresinden alınmıştır. Örnekler üzerine çevresel α ve β parçacıklarının etkisini elimine etmek için jips örneğinin yüzeyden itibaren 1-2 mm'lik kısımları kaldırılmıştır. Geriye kalan jips örneği havan içerisinde öğütülmüştür. Öğütülen örnek % 1'lik seyreltik hidroklorik asit çözeltisi ve ardından saf su ile yıkanarak etüvde 40 ^{0}C'de kurutularak elekten geçirilmiş ve çapları yaklaşık 125-180 μm aralığında toz örnekler elde edilmiştir. Elde Edilen bu toz örnekler ESR ve TL ölçümlerinde kullanılmıştır.

Jips örneği için yukarıda tarif edilen biçimde hazırlanan toz örnekler doz-cevap eğrilerinin oluşturulabilmesi amacıyla oda sıcaklığında doz hızı 1.1 kGy/saat olan ^{60}Co gama kaynağı ile farklı dozlarda ışınlanmıştır.

Işınlanan örnekler 200 mg tartılarak ESR tüplerine aktarılmıştır. Örneklerin ESR spektrumları Bruker e-scan ve Bruker EMX 131 X-band

spektrometrelerinde alınmıştır. Her bir ışınlama dozunda ışınlanan örnekler için ESR spektrumları oda sıcaklığında kaydedilmiştir.

ESR ölçümleri sırasında benimsenen spektrometre parametreleri şöyledir:

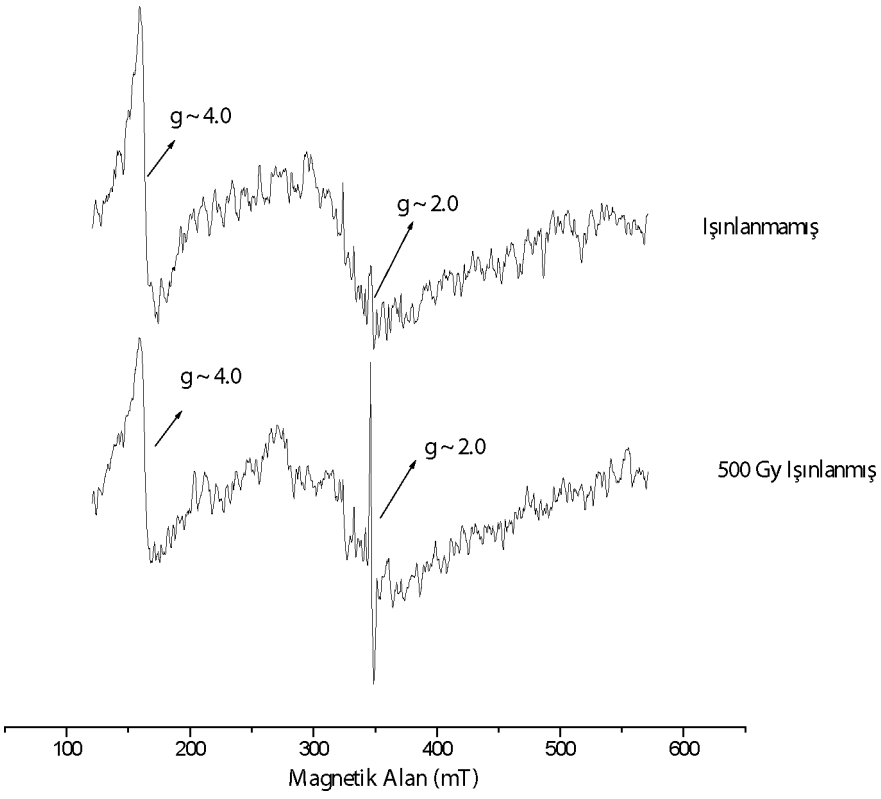
Mikrodalga frekansı	: 9.8 GHz
Mikrodalga gücü	: 2 mW
Modülasyon Alanı Genliği	: 2 G
Modülasyon Frekansı	: 86 kHz
Merkezi Magnetik Alan	: 34804 G
Tarama Aralığı	: 200 G

Örneklerin TL ölçümleri RisØ TL/OSL (TL/OSL-DA-20) okuyucuda saf azot gazı atmosferinde gerçekleştirilmiştir. TL ölçümlerinde 5 mg toz örnekler kullanılmıştır. TL ölçümleri alınırken örneklerin ısıtılma işlemleri oda sıcaklığı ile 500 ^{0}C değerleri arasında gerçekleştirilmiştir. Isıtma hızı ise 5 ^{0}C/s olarak alınmıştır.

4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

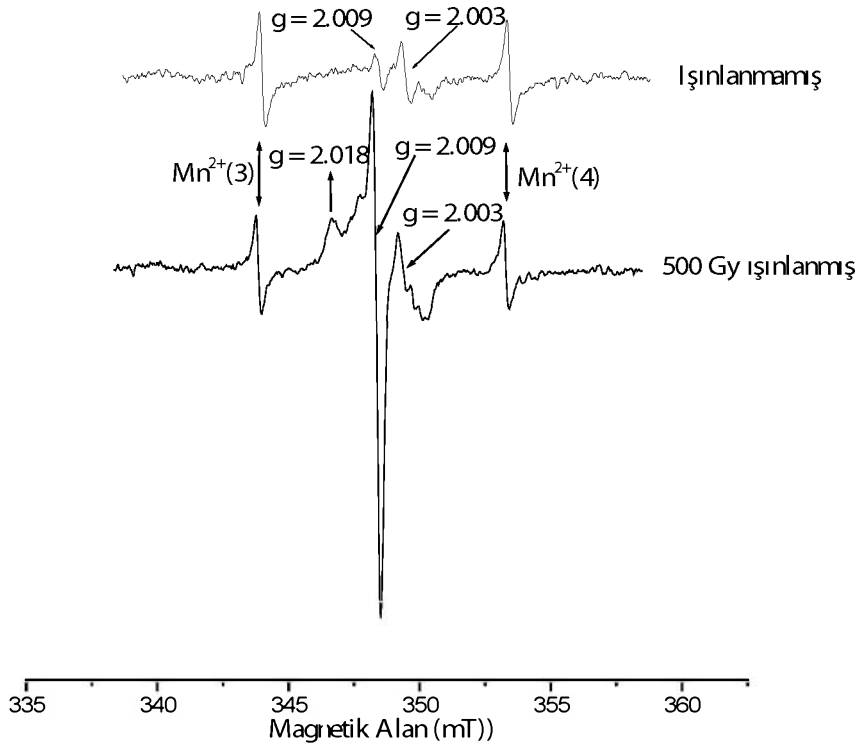
4.1 ESR Çalışmaları

Işınlanmamış doğal jips örneği ve 500 Gy ışınlanmış jips örneği için geniş (450 mT) magnetik alan taraması için kaydedilen ESR spektrumları Şekil 6'da verilmiştir. Işınlanmamış ve ışınlanmış örneklerde g~2.0 civarında serbest radikal sinyalleri ile g~4.0 civarında demir (Fe^{3+}) sinyalleri gözlenmiştir.



Şekil 6. Işınlamadan Önce ve 500 Gy Işınlamadan Sonra Alınan ESR Spektrumları. Magnetik Alan Tarama Aralığı 450 mT

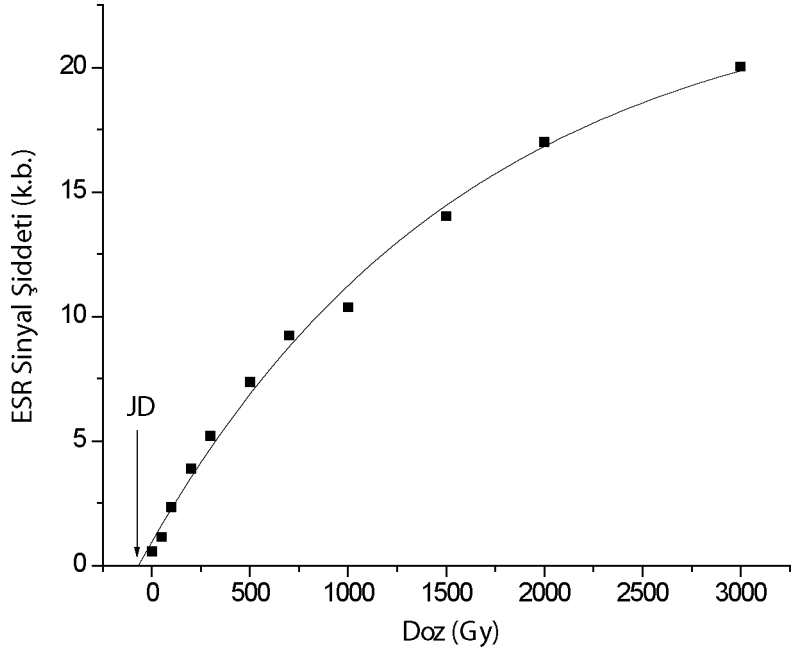
Işınlanmamış ve ışınlanmış jips örnekleri için oda sıcaklığında magnetik alan 20 mT taranarak elde edilen ESR spektrumları Şekil 7'de gösterilmiştir. Işınlanmamış dikit örneklerinin karakteristik ESR spektrumu g=2.009'de ve g=2.003'de bulunan sinyalleri ile bu sinyallerin solunda ve sağında yer alan Mn^{2+} sinyallerinden ibarettir. Işınlama dozu ile g=2.009'da bulunan ESR sinyal şiddetinin belirgin şekilde arttığı görülmüştür. Bu nedenle tarihlendirme çalışmasında bu sinyal kullanılmıştır.



Şekil 7. Işınlamadan Önce ve 500 Gy Işınlamadan Sonra Alınan ESR Spektrumları. Magnetik Alan Tarama Aralığı 20 mT

Co-60 gama kaynağı kullanılarak (doz hızı=1.1 kGy/saat) 10 farklı doz değerinde jips örnekleri ışınlandı. Her bir doz değerinde ışınlanan örnek için ESR spektrumu kaydedildi. Kaydedilen ESR spektrumu değerlendirilerek g=2.009 ESR sinyal şiddeti ölçüldü. ESR sinyal şiddetinin doz değerine bağlı grafiği çizilerek Şekil 8'de verilen doz-cevap eğrisi oluşturuldu.

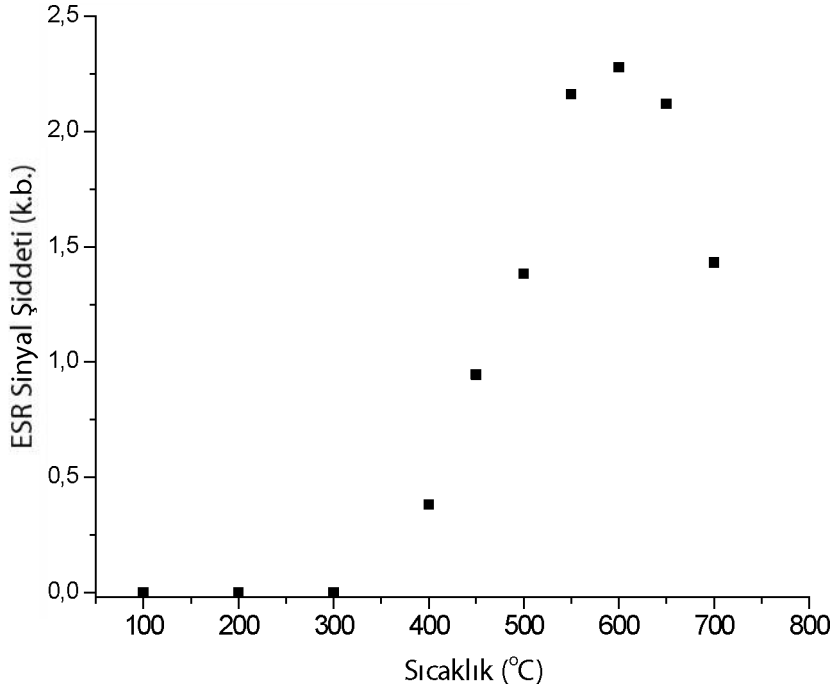
Şekil 8'den görüldüğü gibi artan gama ışınlama dozu ile tarihlendirmede kullanılan g=2.009 spektroskopik yarılma çarpanına sahip ESR sinyal şiddetinin doygunluğa erişen üstel fonksiyona uyacak biçimde arttığı gözlenmiştir. Jips örneği için ESR tkniği kullanılarak oluşturulan doz cevap eğrisi I (D)=$I_0(1-e^{-(D+JD)/D0})$ fonksiyona fit edilmiştir. Fit sonucu bulunan JD değeri, eğrinin ekstrapolasyonuyla x-eksenini kestiği değer yani toplam jeolojik doz değeri (JD=67.4±10.1 Gy) belirlenmiştir. Bu doz değeri örneklerin kristalleşmesinden günümüze dek kendi içlerindeki ve çevrelerindeki radyonüklitlerin (^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K) yayımladığı α, β ve γ radyasyonlardan almış oldukları toplam doz değeridir.



Şekil 8. Jips Örneğinde g=2.009 ESR Sinyali için Oluşturulan Doz-Cevap Eğrisi

Yıllık doz iç doz ve dış doz olmak üzere iki ayrı bileşenden oluşmaktadır. Yıllık iç doz hızının belirlenebilmesi amacıyla jips örneği için örnek içerisindeki ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K elementlerinin miktarları kütle spektrometresiyle ölçülmüştür (Bkz. Tablo 1). İç doz değeri 1.16 mGy/yıl, dış doz değeri ise 0.76 mGy/yıl olarak bulunmuştur. Toplam yıllık doz hızı 1.92±0.22 mGy/yıl olarak hesaplanmıştır. Jips örnekleri için elde edilen toplam jeolojik doz değerlerinin yıllık doz değerine oranlanması ile jips kristaline ait jeolojik kristallenme yaşları (35±4)x10^3 yıl olarak belirlenmiştir. ESR yaş değerindeki hata değerleri toplam jeolojik doz ve yıllık doz değerlerinin belirlenmesinden kaynaklanmaktadır.

Tarihlendirmede kullanılan ESR sinyalinin kararlığı hakkında bilgi elde edebilmek amacı ile 500 Gy ışınlanmış, öğütülmüş ve elenmiş jips örnekleri 100, 200, 300, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700 °C'da 15 dakika tavlanarak izokronal çalışmalar yapılmıştır. Her bir sıcaklık değerinde 15 dakika tavlanan jips örnekleri soğutulup termal dengeye ulaştıktan sonra ESR spektrumları oda sıcaklığında kaydedilmiştir. Jips örneklerine ait ESR spektrumlarının sıcaklığa bağlı değişimine bakılmıştır. ESR spektrumlarının çizgi sayısı ve çizgi genişliğinde sıcaklığa bağlı bir değişim olmadığı ancak g=2.009 spektroskopik yarılma çarpanına sahip ESR sinyal şiddetinin sıcaklığa bağlı bir değişim gösterdiği gözlenmiştir. ESR sinyal şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Bu grafikten görüldüğü üzere ESR sinyal şiddeti sıcaklığın artması ile önce artmış, 600 °C'da maksimum değerine ulaştıktan sonra azalmıştır.

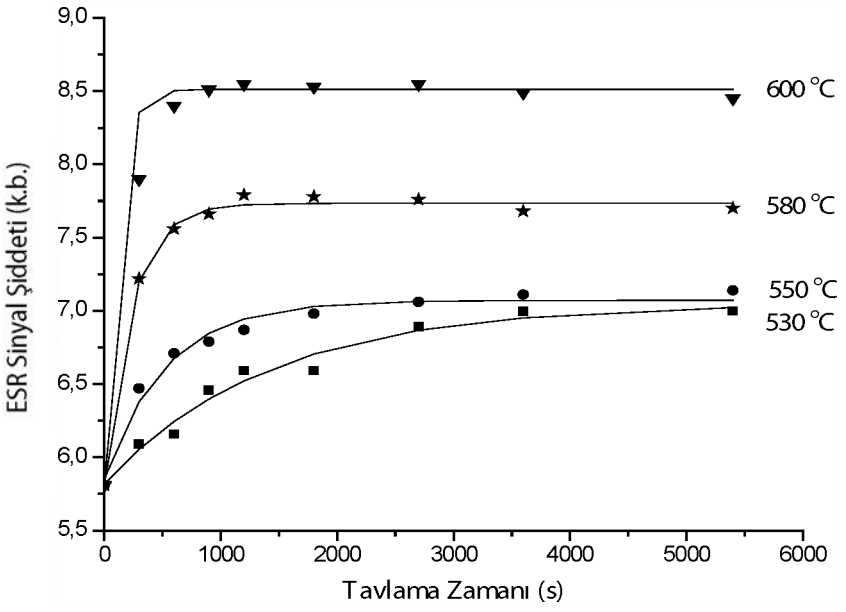


Şekil 9. ESR Sinyal Şiddetinin Tavlama Sıcaklığına Bağlı Değişimi

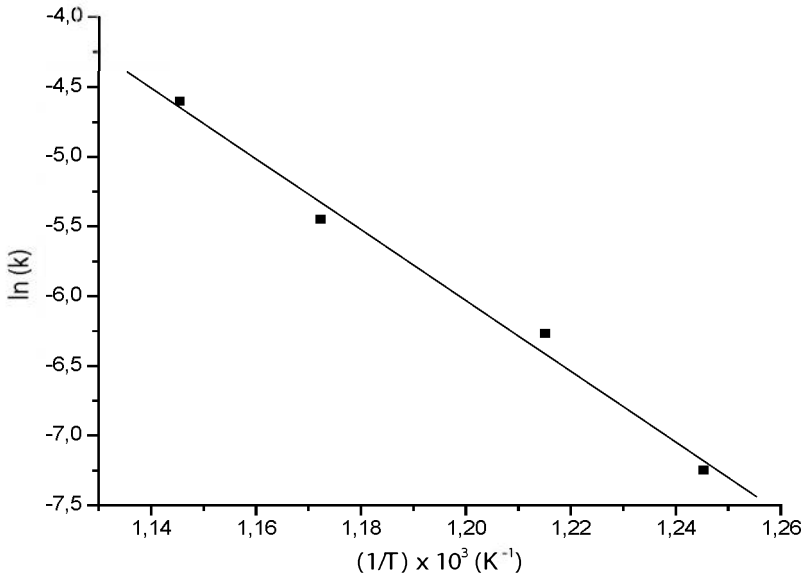
Daha sonra jips örnekleri için kinetik çalışma yapılmıştır. Kinetik çalışma için dört farklı sıcaklık değeri tespit edilmiştir. Bu sıcaklık değerleri Şekil 9'da verilen izokronal grafikte ESR sinyalinin sıcaklığa bağlı olarak artış gösterdiği sıcaklık bölgesinden seçilmiştir (530, 550, 580, 600

°C). Kinetik çalışmalarda 500 Gy ışınlanan jips örnekleri kullanılmıştır. Başlangıç noktası olarak (t=0), hiç ısıl işlem görmemiş jips örneğinin ESR spektrumu kaydedildi. Daha sonra her bir sıcaklık değerinde ESR sinyal şiddetinin zamana bağlı değişimine bakıldı. ESR sinyal şiddetinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'dan görüldüğü üzere dört ayrı sıcaklıkta da ortak davranış göstererek, ESR sinyal şiddeti zamanla önce bir artış göstermiş daha sonra doyuma gitmiştir. Ancak yüksek sıcaklıkta daha kısa sürede doyuma ulaşırken, düşük sıcaklıklarda bu daha uzun sürede olmaktadır.

Her bir sıcaklık için oluşturulan ESR sinyal şiddetinin zamana bağlı değişim grafikleri $I=I_o+I_1(1-\exp(-kt))$ bağıntısına fit edilerek k reaksiyon hız sabitleri bulunmuştur. Bulunan bu k reaksiyon hız sabitleri kullanılarak lnk'nın (1/T)'ye karşı grafiği çizilmiştir (Bkz. Şekil 11). Grafiğin eğiminden g=2.009 sinyaline karşılık gelen serbest radikaller için aktivasyon enerjisi E=2.19 eV, doğrunun düşey ekseni kestiği noktadan frekans faktörü $s=4.2\times10^{10}$ s^{-1} ve 15 ^{0}C'deki radikal ömrü $\tau=1.5\times10^{20}$ yıl olarak bulunmuştur.



Şekil 10. ESR Sinyal Şiddetinin Değişik Tavlama Sıcaklıklarında Tavlama Zamanına Bağlı Değişimi

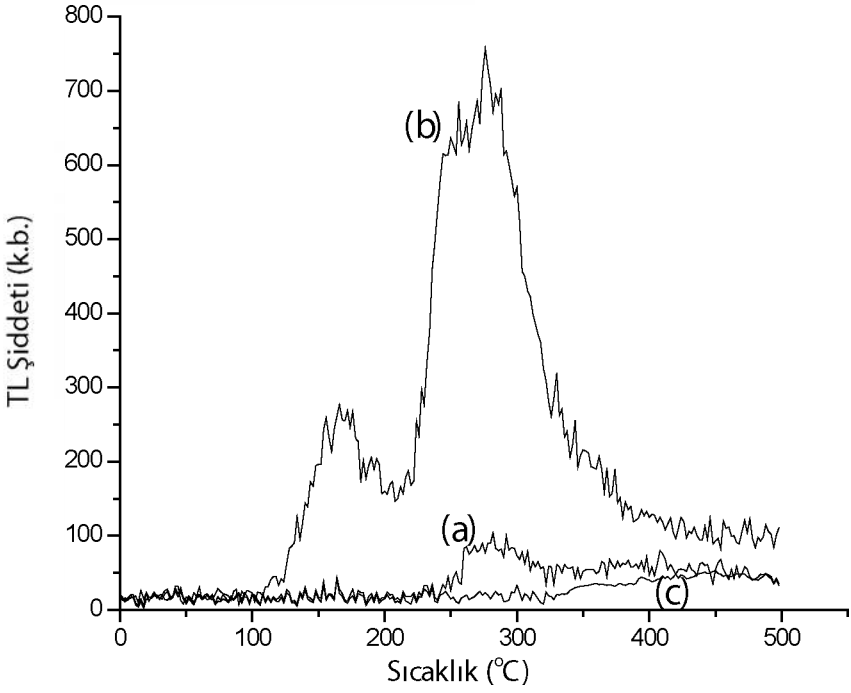


Şekil 11. Reaksiyon Hız Sabitinin Sıcaklıkla Değişimi

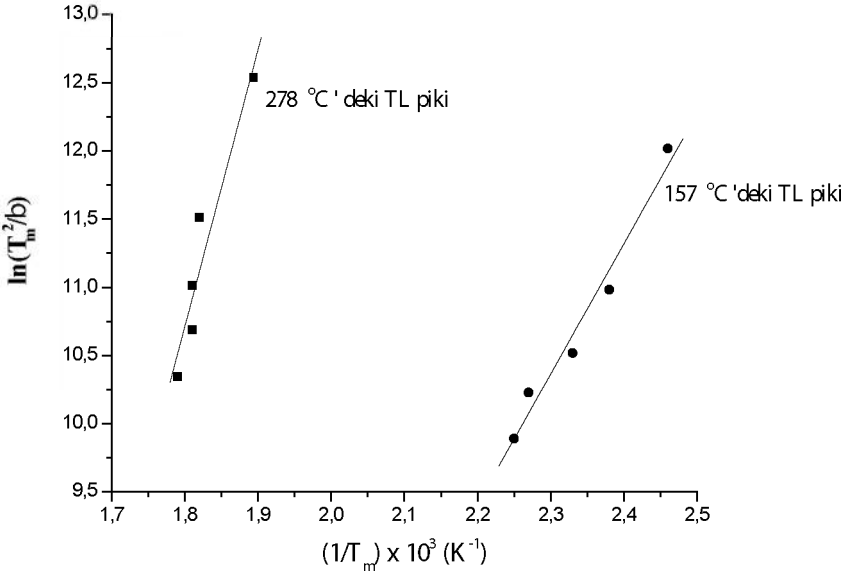
4.2 TL Çalışmaları

Işınlanmamış, 500 Gy ışınlanmış jips örnekleri ve boş disk (black body) için kaydedilen TL ışıma eğrileri Şekil 12'de verilmiştir. Işınlanmamış jips örneği için kaydedilen ve Şekil 12 a'da verilen TL ışıma eğrisinde ~287 °C'da tek bir TL ışıma piki gözlenmiştir. Bu pik, jips örneklerinin oluşumundan bu güne kadar doğal ortamlarında maruz kaldıkları radyasyonlarla etkileşmelerii sonucu jips örnekleri içerisinde depolanan enerjinin 287 °C'da ışıma enerjisi olarak açığa çıkması ile oluşur. 500 Gy ışınlanmış jips örneği için kaydedilen TL ışıma eğrisi Şekil 12 b'de verilmiştir. Bu ışıma eğrisinde ~157 °C ve ~287 °C'da olmak üzere iki farklı TL piki gözlenmiştir. Bu iki sıcaklıkta ortaya çıkan TL pikleri farklı elektron tuzaklarına karşı gelmektedir. Biriken enerjinin saklanabilme süresi, yani elektronların tuzaklarda kalabilme süreleri çevre şartlarına ve tuzak özelliklerine bağlıdır. Birkaç dakikadan bir milyon yıla kadar elektronları tutabilen tuzaklar vardır. Bizi ilgilendiren uzun ömürlü tuzaklardır. Çünkü ancak bu tuzaklar baştan itibaren yakaladıkları tüm elektronları korurlar ve böylece radyasyonla sağlanan enerji tam olarak birikmiş olur. 157 °C pikine karşı gelen tuzak, 287 °C pikine karşı gelen tuzağa göre daha sığ ve bu nedenle burada tuzaklanan elektronlar kısa ömürlüdür. Bu nedenle doğal jips örnekleri için kaydedilen TL

ışıma eğrisinde kısa ömürlü olan bu tuzaklara karşı gelen TL piki gözlenmemiştir. Diğer bir deyişle çevre şartlarında bu tuzaklardaki elektronlar tuzaklardan ayrılmışlardır. Şekil 12 c'de verilen TL ışıma eğrisi ise siyah cisim ışıması olarak adlandırılan ve boş disk için kaydedilen ışıma eğrisidir.



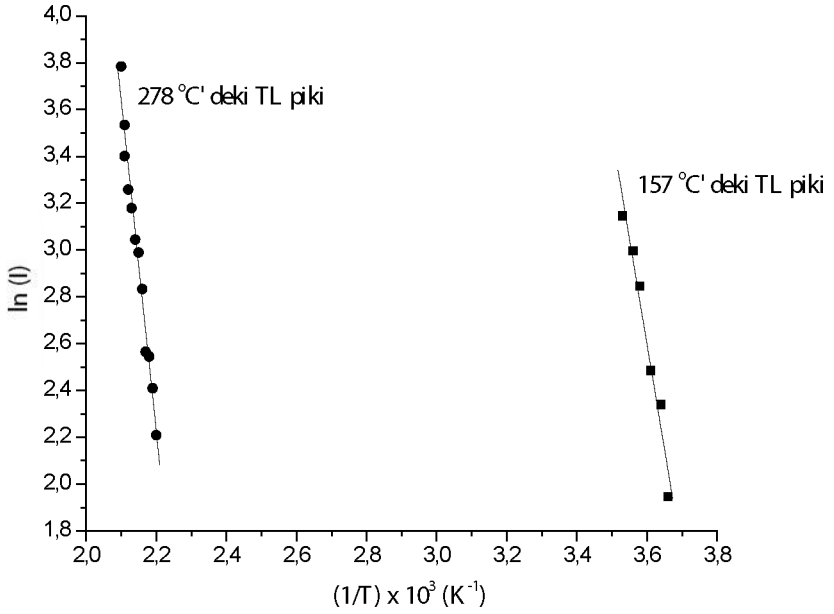
Şekil 12. a) Işınlanmamış **b)** 500 Gy Işınlanmış **c)** Boş Disk için Kaydedilen TL Işıma Eğrileri



Şekil 13. 157 °C ve 278 °C'daki TL Piklerinin Tepe Noktalarına Karşı Gelen Tm Değerlerinin β Isıtma Hızına Bağlı Değişimi

Çalışmamın bu kesiminde 500 Gy ışınlanmış jips örnekleri kullanılarak farklı ısıtma hızları (1, 3, 5, 7, 10 °C/s) için TL ışıma eğrileri kaydedildi. Her bir ısıtma hızı için kaydedilen TL ışıma eğrisi değerlendirildi. 500 Gy ışınlanmış jips örnekleri için 5 °C/s ısıtma hızında kaydedilen TL ışıma eğrisini oluşturan iki farklı sıcaklıkta çıkan TL pikleri için pik şiddetinin maksimum olduğu T_m sıcaklık değerleri 157 °C ve 278 °C olarak belirlendi. β ısıtma hızı arttıkça her iki pik için de TL pik şiddetinin maksimum olduğu T_m sıcaklık değerleri artmıştır. Her bir β ısıtma hızı için kaydedilen TL ışıma eğrilerinden belirlenen T_m sıcaklık ve β değerleri kullanılarak Şekil 13'de verilen $\ln(T_m^2/\beta)$-$(1/T_m)$ grafiği oluşturuldu. Şekil 13'den görüldüğü üzere her bir pik için $\ln(T_m^2/\beta)$ değeri $(1/T_m)$ değeri ile doğrusal olarak artış göstermektedir. Bu nedenle her iki pik için elde edilen deneysel veriler bir doğruya fit edilmiştir. Her pik için elde edilen doğrunun eğim değerlerinden o pike karşılık gelen tuzak elektronlarının aktivasyon enerji değerleri bulundu (Bkz. Tablo 2). Aktivasyon enerji değerleri 278 °C ve 157 °C pikleri için sırası ile 1.75 eV ve 0.82 eV olarak belirlendi. İki ayrı sıcaklıkta ortaya çıkan TL ışıma piklerine karşı gelen tuzaklar için beklendiği gibi iki farklı aktivasyon enerji değeri belirlenmiştir. Daha düşük sıcaklıkta ortaya çıkan TL pikine karşı gelen tuzak daha sığ olduğu için aktivasyon enerjisi daha düşük çıkmıştır. Her bir piki oluşturan tuzaklanmış elektronların 15 °C'daki ısıl ömürleri ise yüksek sıcaklık piki

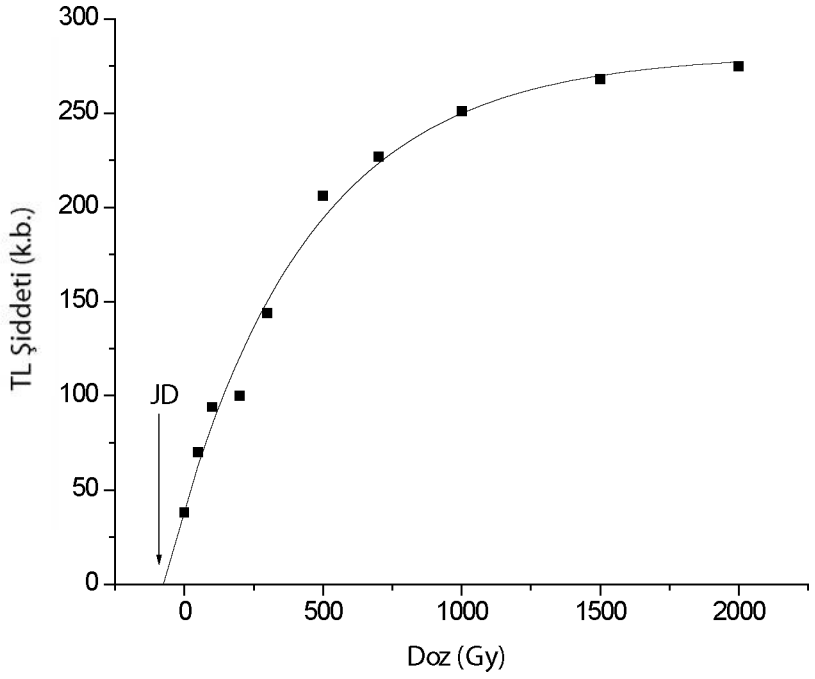
için ~4.09x10^7 yıl, düşük sıcaklık piki için ise yaklaşık 2,5 gün olarak hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 2). Bulunan ısıl ömür değerleri de aktivasyon enerji değerleri ile uyumludur. Yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkan pike karşı gelen derin tuzaklardaki elektronlara ait ısıl ömür diğerine göre çok daha büyük çıkmıştır. Yüksek sıcaklıklardaki TL ışıma piklerine karşı gelen derin tuzaklardaki elektronların aktivasyon enerjilerinin büyük dolayısı ile ısıl ömürlerinin uzun olması bunların ortam sıcaklığında tuzaklardan kurtulma olasılıklarının çok az olduğunu gösterir.



Şekil 14. 1.5 kGy Işınlamadan Sonra 157 °C ve 278 °C'daki TL Piklerinin İlk Yükselme Bölgeleri için Arhenus Grafikleri

Bu kesimde 500 Gy ışınlanmış jips örneği için β=5 °C/s ısıtma hızı için TL ışıma eğrisi kaydedildi. Kaydedilen TL ışıma eğrisi kullanılarak düşük sıcaklık (157 °C) ve yüksek sıcaklık (278 °C) pikleri için pik şiddetlerinin ilk yükselmeye başladığı bölgede (~%10) değerlendirmeler yapıldı. Bu bölgede sıcaklık değerleri ve bu sıcaklık değerlerine karşı gelen TL ışıma piki şiddetleri okundu. Hem düşük sıcaklık hem de yüksek sıcaklık pikleri için belirlenen bu şiddet ve sıcaklık değerleri kullanılarak Şekil 14'de verilen ln(I)-(1/T) grafiği oluşturuldu. Şekil 14'den de görüldüğü üzere TL pik şiddetleri, 1/T değerine bağlı olarak azalmıştır. Her iki pik için deneysel veriler bir doğruya fit edildi. Fit sonucu eğim değerleri kullanılarak her bir pik için tuzaklanmış elektronlar için aktivasyon enerji

değerleri bulundu (Bkz. Tablo 2). Yüksek sıcaklık (278 °C) ve düşük sıcaklık (157 °C) pikleri için aktivasyon enerji değerleri sırası ile 1.24 eV ve 0.79 eV olarak belirlenmiştir. 278 °C TL ışıma piki için 15 °C ortam sıcaklığında tuzak elektronlarının ısıl ömürleri bulundu (Bkz. Tablo 2). Bu değer, 3.05x103 yıl'dır. Bu yöntemle bulunan aktivasyon enerji değerleri ve radikal ömürleri, değişken ısıtma hızı yöntemine göre ~29% daha küçük çıkmıştır.



Şekil 15. Jips Örneği İçin 278 °C TL Işıma Piki İçin Oluşturulan TL Doz-Cevap Eğrisi

Doz-cevap eğrisini oluşturmak amacı ile 0-2000 Gy arasında on değişik doz değerlerinde ışınlanan jips örnekleri için TL ışıma eğrileri kaydedildi. Her bir doz değeri için kaydedilen TL ışıma eğrileri değerlendirilerek 278 °C'da bulunan kararlı TL ışıma pikine ait şiddet değerleri belirlendi. Bu TL pik şiddetleri kullanılarak TL doz-cevap eğrisi oluşturulmuştur. Jips örneğine ait TL doz-cevap eğrisi Şekil 15'de verilmiştir. Oluşturulan doz-cevap grafiğindeki deneysel verilerin artan doz değeri ile arttığı daha sonra doyuma doğru gittiği gözlenmiştir. Deneysel veriler $I(D)= I_0(1-e^{-(D+JD)/D0)})$ fonksiyonuna fit edilmiştir. Fit sonucu bulunan JD değeri, eğrinin ekstrapolasyonuyla

x-eksenini kestiği değer yani toplam jeolojik doz değeri (JD=75±11 Gy) belirlenmiştir. Bu değer örneklerin kristalleşmesinden günümüze kadar kendi içlerindeki ve çevrelerindeki radyonüklitlerin (^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K) yayımladığı radyasyonlardan almış oldukları toplam doz değeridir (Bkz. Tablo 1). Jips örnekleri için TL yöntemi kullanılarak bulunan jeolojik doz değerlerinin yıllık doz değerine oranlanması ile jips kristaline ait jeolojik kristallenme yaşları (39 ± 5)x10^3 yıl olarak belirlenmiştir. ESR ve TL yaşlarının hata sınırları içerisinde uyumlu oldukları görülmektedir.

Tablo 1. Jips Kristalleri ve Bunların Etrafından Alınan Dolomit Örneğine Ait U, Th ve K İçerikleri ve Yıllık Doz Değerleri

Örnek	^{238}U (ppm)	^{232}Th (ppm)	K_2O (%)	Nem oranı (%)	İç doz, DI (mGy/yıl)	Dış doz, DE (mGy/yıl)	Toplam yıllık doz, D=DI+DE
Jips	0.59±0.04	1.90±0.04	0.81±0.03	5	1.16		1.92± 0.22
Dolomit	2.01±0.16	5.86±0.13	0.46±0.02	10		0.76	

Tablo 2. 157 ve 278 °C'daki TL Pikleri İçin Tuzak Parametre Değerleri

Analiz metodu	Pik sıcaklığı (°C)	Aktivasyon Enerjisi, E(eV)	Frekans faktörü, $s(s^{-1})$	15 °C'daki yarı ömür, τ (yıl)
Farklı ısıtma hızları metodu	157	0.82	1.02 x 109	-
	278	1.75	3.31 x 1015	4.09 x 107
İlk yükselme metodu	157	0.79	4.76 x 108	-
	278	1.24	5.20 x 101	3.05 x 103

KAYNAKÇA

1- E.J. Zeller, P.W. Levy, P.L. Mattern, Geological dating by electron spin resonance, in: Proceedings of the Symposium on Radioactive Dating and Low Level Counting, Vienna, 1967, p.531.

2- M. Ikeya, Dating a stalactite by electron paramagnetic resonance, Nature 255 (1975) 48.

3- M. Ikeya, New Applications of Electron Spin Resonance: Dating, Dosimetry and Microscopy, World Scientific, Singapore, 1993.

4- Daniels, F., Boyd, C.A., Saunders, D.F., Thermoluminescence as a research tool. Science 1953, 117, 343-349.

5- Houtermans, F.G., TL glow curve as a research tool on the thermal and radiation history in geologic settings, Summer Course on Nuclear geology, Univ. Pisa, Varenna, 1961, 233.

6- Kennedy G., Knoph, L., Dating by TL, Archeology, 1960, 13, 137-148.

7- Fleming, S. J., Study of cystalline extracts from pottery, Archaeometry, 1966, 9, 170-173.

8- Fleming, S. J., TL Dating:Refinement of the fuartz inclusion method, Archaeometry, 1970, 12,133-145.

9- Aitken, M.J., Physics and Archaelogy, 2nd edition, Oxford University Pres., 1974, 85, 134.

10- Mejdahl, V., TL dating of ancient Danish ceramics, Archaeometry, 1972, 14, 245-256.

11- Zimmerman, D. W., TL from fine grains from ancient pottery, Archaeometry, 1967, 10, 26-28.

12- Zimmerman, D. W., TL dating using fine grains from pottery, Archaeometry, 1971, 13, 29-52.

13- Aitken, M.J., Fleming, S. J., Doell, R. R. And Tanguy J. C., TL of geological materials, 1968, (Edit, by McDougal D. J.), Academic Pres.

14- Christodoulides, C., Ettinger, K. V., Some problems of long range TL dating as applied to meteorites and tektites, Phys., Earth and Planet Interiors, 1970, 4, 261-269.

15- Hwang, F. S. W., TL dating applied to volcanic lava, Nature, 1970, 227, 940-941.

16- Göksu, H. Y., Fremlin, I. H., Irwin H. T., Fryxel, R., Age determination of burned flint by TL Method, Science, 1974, 183, 651-654.

17- Türetken, N., Özer, A. M., Kolat A., Göksu, H. Y., TL and ESR studies of stalacties from Southern Turkey, 1979, PACT Journal, part 3, 266-280.

YAYIN BİLGİ FORMU

Rapor Bilgileri	1.Yayın Yılı/No 2010/23
2.Rapor Başlığı ESKİŞEHİR İLİ SİVRİHİSAR YÖRESİNDEN ALINAN JİPS KRİSTALİNİN ESR ve TL TEKNİKLERİ İLE İNCELENMESİ ve TARİHLENDİRİLMESİ	3.Yayın Kurulu Tarih (Gün/Ay/Yıl)-No 15.09.2010-3-3
4. Yazarlar Canan AYDAŞ, Birol ENGİN, Talat AYDIN	5-Yayın Türü Teknik Rapor
6. Çalışmayı Yapan Birim Dozimetri Birimi	
7. Destekleyen veya Ortak Çalışılan Kuruluşlar -	

8. Özet

Eskişehir-Sivrihisar yöresinden alınan jips kristalleri Elektron Spin Rezonans (ESR) ve Termolüminesans (TL) teknikleri ile incelenip tarihlendirildi. Çalışılan jips örneklerinin doğal ESR spektrumunda g=2.009'deki ESR sinyaline ilaveten Mn^{2+} iyonlarına ait sinyaller de gözlenmiştir. Gama ışınlaması ile g=2.009 spektroskopik yarılma çarpanına sahip ESR sinyal şiddetinin gama ışınlama dozu ile arttığı gözlendi. Bu ESR sinyali (g=2.009) jips örneklerinin tarihlendirilmesinde kullanıldı. Işınlanmamış jips örneğinin TL ışıma eğrilerinde 278 °C civarında tek bir TL ışıma piki gözlendi. Işınlanmış örneklerde ise 278 °C'da çıkan TL pikine ilave olarak 157 °C'de bir TL ışıma piki daha gözlenmiştir. Jips örnekleri ^{60}Co gama kaynağı ile ışınlandı. Jips örneklerinin ESR spektrumları ve TL ışıma eğrileri, sırasıyla X-bant ESR spektrometresi ve RisØ TL/OSL okuyucu ile kaydedildi. Örnekler için ESR/TL doz-cevap eğrileri oluşturuldu. Doz-cevap eğrileri doyuma giden üstel fonksiyonuna fit edildi. Bu model esas alınarak tarihlendirme için toplam doğal ışınım doz (JD) değerleri belirlendi. Jips kristalleri ve bunların çevrelerinde bulunan dolomite için ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K analizleri yapıldı. İç doz hızı jips örneklerindeki ^{238}U, ^{232}Th ve ^{40}K sonuçlarından hesaplandı. Dış doz hızı dolomite için elde edilen ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K analiz sonuçları ve kozmik ışın doz hızı kullanılarak hesaplandı. Bulunan sonuçlardan yıllık doz hızı değeri hesaplanarak tarihlendirme hesaplamalarında kullanıldı. Jips kristallerinin ilk oluşumlarındandan sonra ardışık bir çok kez yeniden kristalleşmesi nedeni ile, jipsler için hesaplanan yaş değeri beklenen oluşum yaşından daha küçük çıkmıştır.

9. Anahtar Kelimeler	10. Gizlilik Derecesi
Jips, ESR, TL, Yaş Tayini	Tasnif Dışı

GİZLİLİK DERECELERİ

TASNİF DIŞI (UNCLASSIFIED): İçerdiği konu itibarıyla, gizlilik dereceli bilgi taşımayan, ancak devlet hizmetiyle ilgili bilgileri içeren evrak, belge ve mesajlara verilen en düşük gizlilik derecesidir.

HİZMETE ÖZEL (RESTRICTED): İçerdiği konu itibarıyla, gizlilik dereceli konular dışında olan, ancak güvenlik işlemine ihtiyaç gösteren ve devlet hizmetine özel bilgileri içeren evrak, belge ve mesajlara verilen gizlilik derecesidir.

ÖZEL (CONFIDENTIAL): İçerdiği konu itibarıyla, izinsiz olarak açıklandığı takdirde, milli menfaatleri olumsuz yönde etkileyecek evrak, belge ve mesajlara verilen gizlilik derecesidir.

GİZLİ (SECRET): İzinsiz açıklandığı takdirde, milli güvenliği, milli prestij ve menfaatleri ciddi ve önemli bir şekilde zedeleyecek olan evrak, belge ve mesajlara verilen gizlilik derecesidir.



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU