

AKÜ FEMÜBİD 17 (2017) 031101 (872-880)

AKU J. Sci. Eng. 17 (2017) 031101 (872-880)

DOI : 10.5578/fmbd.66223

Doğal Siyah Obsidyen Cevherleri İçin Yığılma Faktörlerinin Belirlenmesi

Nil Küçük, Onur Gezer*Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Bursa.**e-posta: nilkoc@uludag.edu.tr*

Geliş Tarihi: 02.04.2017 ; Kabul Tarihi: 07.12.2017

Özet

Bu çalışmada, Artvin ve Van yöresinden çıkarılan doğal siyah obsidyen cevherleri kullanılmıştır. Her iki obsidyen cevherinin kimyasal kompozisyonları, sırasıyla bir enerji ayırımı X-ışını floresan spektrometresi (EDXRF) ile bir dalga boyu ayırımı X-ışını floresan spektrometresi (WDXRF) kullanılarak belirlenmiştir. Bu doğal örneklerin gama-ışını enerji soğurma yığılma faktörleri (EABF) ile doz yığılma faktörleri (EBF), 0,015–15 MeV foton enerji aralığında ve 0,5–40 mfp derinlik bölgesinde 16 çeşit nüfuz etme derinliği için hesaplanmıştır. EABF ve EBF değerlerini hesaplamak için beş-parametrelili geometrik dizi (G-P) yaklaşımı ve ANSI/ANS-6.4.3-1991 standart veri arşivi kullanılmıştır. EABF ve EBF değerleri, gelen foton enerjisinin ve nüfuz etme derinliğinin bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. İki örnek için elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu bulunmuştur. Bu uyumluluk, her ne kadar kimyasal kompozisyonlarda farklılıklar olmasına rağmen, iki örnekte de yer alan silisyum dioksit (SiO₂) kristalinin baskınlığından ileri geldiği söylenebilir. Ayrıca obsidyen cevherlerinin EABF ve EBF değerlerinin gelen foton enerjisinin ve nüfuz etme derinliğinin değişimiyle önemli bir şekilde değiştiği bulunmuştur. Bu değişimler, farklı enerji bölgelerinde farklı foton etkileşim süreçlerinin hâkimiyeti nedeniyle. Bu çalışmada sunulan sonuçların, doğal siyah obsidyen cevherlerinde soğurulan radyasyon dozunun değerlendirilmesinde yararlı olacağı beklenilmektedir.

Anahtar kelimeler

Yığılma faktörü; Gama-ışını; G-P fit yaklaşımı; Obsidyen

Determination of Build-up Factors for Natural Black Obsidian Ores

Abstract

Natural black obsidian ores extracted from Artvin and Van were used in this study. The chemical compositions of both obsidian ore were determined using an energy-separated X-ray fluorescence spectrometer (EDXRF) with a wavelength-separated X-ray fluorescence spectrometer (WDXRF), respectively. The gamma-ray energy absorption buildup factors (EABF) and dose buildup factors (EBF) of these natural samples were calculated for 16 types of penetration depths in 0,5-40 mfp depth region and the photon energy range of 0,015-15 MeV. The five-parameter geometric progression (G-P) fitting approximation and the ANSI/ANS-6.4.3-1991 (American National Standard) standard data archive were used to calculate EABF and EBF values. The EABF and EBF values were examined as a function of incident photon energy and penetration depth. The results obtained for the two samples were found to be consistent with each other. This compatibility can be said to be due to the dominance of the silicon dioxide (SiO₂) crystals in both samples, although there are differences in the chemical composition. It has also been found that the EABF and EBF values of obsidian ores vary significantly with the change of the incident photon energy and the penetration depth. These changes are due to the dominance of different photon interaction processes in different energy regions. The results presented in this study are expected to be useful in assessing the radiation dose absorbed in natural black obsidian ores.

Keywords

Build-up factor; Gamma-ray; G-P fitting approximation; Obsidian

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Volkan camı olarak bilinen ve yanardağların ani şekilde soğuması ile doğal bir şekilde meydana gelen volkanik kayaç türüne obsidyen ya da obsidiyen adı verilir. Volkanik kökenli yarı değerli bir doğal taş olan obsidyen, insanın atom numarasına en uygun taş

olması ve içerdiği zengin mineraller nedeniyle sağlık merkezleri tarafından tercih edilir. Günümüzde alternatif tıp, yardımcı tedavi, spa, kozmetik ve mücevherat alanlarında da yoğun bir kullanım potansiyeline sahiptir. Bazı obsidyenlerin dozimetri için iyi bir fosfor olduğu kanıtlanmıştır. Dozimetreler

olarak ve laboratuvar kaynaklarının kalibrasyonunda kullanılmaları önerilmiştir (Göksu *et al.* 1988).

Obsidyenlerin kompozisyonunda değişiklik olmasına rağmen, içeriğinin yaklaşık % 80'lik kısmını SiO₂ oluşturur. Obsidyen kayacı, genellikle siyah bir renge sahiptir, cam parlaklığında ve yarısaydam görünümündedir. Kayaçlar geçirdikleri evreler sonucunda renk değiştirebilirler; gri (külrengi), yeşil, kahverengi, kırmızı, mavi ve altın sarısı gibi renklere dönüşebilirler. Ancak bazı obsidyenler, flaşörden çıkan ışık renkleri gibi yanardöner bir görünümünde olup, bu sarı-mavi-yeşil-kırmızı renk karışımına sahip olanlarına gökkuşağı obsidyeni adı verilir. Bunun dışında kahverengi-kırmızı karışımı renkte olan ve üzerinde siyah lekeler bulunan cinsine maun/akaju obsidyeni; siyah veya koyu yeşil zemin üzerine kar yağmış görünüme sahip olanlarına kar tanesi obsidyeni adları verilmiştir. Ülkemizde siyah obsidyen Erciş-Van ve Artvin; yeşil obsidyen Nemrut Dağı-Tatvan, kırmızı obsidyen İkizdere-Rize civarında çıkartılmaktadır. Hasan Dağı'nda çıkartılan obsidyen cevherinde yoğun demir minerallerine rastlanmıştır. İkizdere'de çıkarılan obsidyen cevherinde ise altın mineralleri tespit edilmiştir. Bunun dışında ülkemizde; Kars, Ağrı Dağı ve civarı, Pasinler bölgesinde de obsidyen cevherlerine rastlanmıştır. Dolayısıyla Türkiye obsidyen cevheri rezervi açısından oldukça zengin bir ülkedir.

Gama-ışını yığılma faktörleri konusu uzun süreden beri çok farklı materyaller üzerinde yaygın bir şekilde araştırılmaktadır. Bu bağlamda camlar (Sayyed *et al.* 2017); barit, manyetit, limonit, hematit ve serpantin gibi çeşitli cevherler (Oto *et al.* 2015); bazalt kaya örnekleri (Karabul *et al.* 2015); dozimetrik malzemeler (Kurudirek, 2014); termolüminesans dozimetrik malzemeler (Manohara *et al.* 2010, Kucuk *et al.* 2013); topraklar (Dhillon *et al.* 2012); seramikler (Singh *et al.* 2013); çözücüler (Singh *et al.* 2008); polimerler (Singh *et al.* 2009); bazı bor bileşikleri (İçelli *et al.* 2013) ve sıva betonları (Singh *et al.* 2010) gibi farklı malzemelerde gama ışını yığılma faktörü ile ilgili başarılı çalışmalara literatürde rastlamak mümkündür. Bu araştırmaların çoğu radyasyon zırh ve koruma açısından yapılmıştır. Yığılma faktörlerinin bilinmesi, zırh tasarımının yanı sıra radyasyon dozimetrisinde de önemlidir. Yığılma faktörü, saçılmış fotonların

katkısını içerecek şekilde çarpışma yapmamış fotonların cevabını düzelten bir çarpım faktördür. Böylece yığılma faktörü, bir ortamda herhangi bir noktada belirli bir radyasyon miktarının toplam değerinin, çarpışma yapmaksızın aynı noktaya ulaşan radyasyondan bu değere katkısının oranı olarak tanımlanır. Yığılma faktörleri, zayıflatıcı ortamının atom numarasına, gama-ışınlarının ortam içindeki ortalama serbest yol (mfp) uzunluklarına, gama-ışınlarının enerjilerine, radyasyon kaynağının ve zırh ortamının geometrik şekline bağlıdır. Genellikle yığılma faktörleri, enerji soğurma yığılma faktörü (EABF) ve doz yığılma faktörü (EBF) olmak üzere iki tiptir. EABF, soğurucu ortamda birim hacimde soğurulan belli bir enerjinin, aynı ortamda saçılma yapmamış radyasyonun soğurulan belli bir enerjisine oranı olarak tanımlanır ve detektör cevap fonksiyonu materyal içinde soğurulanıktır. EBF, enerji soğurma yığılma faktörünün özel bir durumudur. Soğurucu ortam hava alınır ve enerji cevap fonksiyonu havada soğurulanıktır (ANSI/ANS-6.4.3, 1991).

Bu çalışmada, Artvin ve Erciş-Van yörelerinden çıkarılan doğal siyah obsidyen cevherleri kullanılmıştır. Doğal siyah obsidyen cevherlerinin görünüşü Şekil 1'de verilmiştir. Literatürde bu obsidyen örneklerinin gama-ışını yığılma faktörlerine rastlanmamıştır. Soğurulan doz tahminleri için dozimetride obsidyen örneklerinin yığılma faktörlerinin bilinmesi önemlidir. Dolayısıyla, incelenen obsidyen örnekleri için yığılma faktörleri teorik olarak belirlenmiş ve bu makalede sunulmuştur.



Şekil 1. Doğal siyah obsidyen cevherlerinin görünüşü.

2. Materyal ve Metot

2.1. Obsidyenlerin Kimyasal Kompozisyonu

Artvin yöresinden alınan obsidyen (Obsidyen-A) cevherinin kimyasal kompozisyonunu belirlemek

için X-ışını tüpüne sahip SPECTRO (X-LAB 2000) model bir enerji dağılımlı X-ışını floresan (EDXRF) spektrometresi kullanılmıştır. Obsidyen-A cevheri, tungsten bilyeli öğütücüde 100 mikronun altında öğütülmüş, ardından iki adet ölçüm örneği, eritmiş tablet olarak hazırlanmıştır. Bu tabletler EDXRF spektrometresiyle eritmiş yöntemiyle analiz edilmiştir. EDXRF analizleri (ana element kompozisyonları ve eser element analizleri), Bursa Test ve Analiz Laboratuvarı (BUTAL)'nda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Van ili Erciş ilçesi'nde bulunan obsidyen maden yatakları, dünyanın sayılı rezervleri arasında yer almaktadır. Bu çalışma için Van yöresinden alınan obsidyen (Obsidyen-V) cevherinin kimyasal kompozisyonunu belirlemek için Philips PW2404 model XRF spektrometresi kullanılmıştır. Obsidyen-V cevheri, WDXRF yarı-kantitatif element analizi yöntemi ile analiz edilmiştir (Int Kyn. 1). Bu numunelerin kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Obsidyen-A ve Obsidyen-V cevherlerinin kimyasal kompozisyonları

Cevher	Kimyasal kompozisyon
Obsidyen-A	Al ₂ O ₃ : 13,3; CaO: 0,3; Fe ₂ O ₃ : 0,4; K ₂ O: 4,58; MgO: 0,3; MnO: 0,37; Na ₂ O: 3,6; P ₂ O ₅ : 0,3; SiO ₂ : 76,2; TiO ₂ : 0,3; Cr ₂ O ₃ : 0,35
Obsidyen-V	Al ₂ O ₃ : 15,4; BaO: 0,02; CaO: 0,338; Cl: 0,053; CoO: 0,004; Cr ₂ O ₃ : 0,005; Fe ₂ O ₃ : 1,071; Ga ₂ O ₃ : 0,002; K ₂ O: 3,332; MnO ₂ : 0,065; Na ₂ O: 2,149; Nb ₂ O ₃ : 0,003; NiO: 0,005; PbO: 0,004; Rb: 0,014; SO ₃ : 0,008; SiO ₂ : 77,431; SrO: 0,002; TiO ₂ : 0,051; Y ₂ O ₃ : 0,008; ZnO: 0,007; ZrO ₂ : 0,028

Tablo 1'den görüldüğü gibi Obsidyen-A cevherinin içeriğinde %76,2 SiO₂ ve Obsidyen-V içeriğinde ise % 77,431 SiO₂ yer almaktadır. Her iki örnekte SiO₂ içeriği birbirine yakın değerlere sahipken diğer kimyasal içeriğin farklılıklar gösterdiği görülmektedir.

2.2. Hesaplama Prosedürü

Obsidyen cevherlerinin gama-ışını EABF ve EBF değerlerini hesaplamak için 0,015–15 MeV foton enerji aralığı seçilmiş ve 0,5–40 mfp derinlik bölgesinde 16 çeşit nüfuz etme derinliği ele alınmıştır. Hesaplamalar için beş-parametrelilik geometrik dizi (G-P) yaklaşımı ve ANSI/ANS-6.4.3-

1991 standart veri arşivi kullanılmıştır. Hesaplama prosedürü, aşağıda alt başlıklarda belirtildiği gibi üç aşamada gerçekleştirilmiştir:

2.2.1. Eşdeğer Atom Numarası Hesabı

Eşdeğer atom numarası (Z_{eq}), madde ile radyasyon etkileşimini temsil eder ve soğurulan doz, yiğilma faktörü, enerji soğurma hesabında ve radyasyon zırh tasarımında göz önünde bulundurulması gereken yararlı bir parametredir. Ortam içinde fotonların yiğilmesi, Compton saçılması ile çoklu saçılma olaylarından kaynaklanmaktadır. Böylece Z_{eq} , Compton saçılma işleminden türetilir. Belirli bir materyal için Z_{eq} 'nin değeri, foton enerjisine bağlıdır. Z_{eq} hesabında, ilk olarak Compton kısmi kütle zayıflama katsayı değerleri $(\mu/\rho)_{Compton}$ ile toplam kütle zayıflama katsayı değerleri $(\mu/\rho)_{Toplam}$, $Z=4$ 'den $Z=40$ 'a kadar olan elementler, Obsidyen-A ve Obsidyen-V cevherleri için 0,015–15 MeV foton enerji aralığında, WinXcom programı (Gerward *et al.* 2004) kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra $(\mu/\rho)_{Compton}/(\mu/\rho)_{Toplam}$ oranı, tüm elementler ve iki doğal siyah obsidyen cevheri için belirlenmiştir. Obsidyenler için Z_{eq} değerleri, seçilmiş bir enerjide belirlenen cevherin $(\mu/\rho)_{Compton}/(\mu/\rho)_{Toplam}$ oranı, aynı enerjide bir elementin karşılık gelen oranı ile eşleştirilerek hesaplanmıştır. Bulunan oran, bilinen elementler için iki oran arasında ise bu durumlar için Z_{eq} , aşağıdaki ara-değer-bulma formülü kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Z_{eq} = \frac{Z_1 (\log R_2 - \log R) + Z_2 (\log R - \log R_1)}{\log R_2 - \log R_1} \quad (1)$$

Burada Z_1 ve Z_2 , sırasıyla R_1 ve R_2 oranlarına karşılık gelen elementlerin atom numaralarıdır. R , belli bir enerjide obsidyen cevheri için orandır. Örneğin Obsidyen-A cevherini ele alalım ve gelen foton enerjisini 2 MeV olarak düşünelim. Obsidyen-A için $(\mu/\rho)_{Compton}/(\mu/\rho)_{Toplam}$ oranı 0,9856 değerinde hesaplanır. Bu değer sırasıyla $Z_1=11$ ve $Z_2=12$ elementlerine karşılık gelen 0,9862 ve 0,9846 oranları arasında kalır. Bu değerler, Denklem (1)'de kullanılarak $Z_{eq}=11,389$ bulunur. Bu yöntemle Z_{eq}

değerleri, foton enerjisine bağlı olarak Obsidyen-A ve Obsidyen-V cevherleri için hesaplanmıştır.

2.2.2. GP Fit Parametre Hesabı

Obsidyen-A ve Obsidyen-V cevherlerine ait G-P fit parametreleri (yani a, b, c, d ve X_k), belirlenen Z_{eq} değerleri ve aşağıda verilen interpolasyon formülü kullanılarak hesaplanmıştır:

$$P = \frac{P_1 (\log Z_2 - \log Z_{eq}) + P_2 (\log Z_{eq} - \log Z_1)}{\log Z_2 - \log Z_1} \quad (2)$$

Burada Z_1 ve Z_2 , ele alınan enerjide obsidyen cevherinin Z_{eq} değerinin aralarında bulunduğu elementlerin atom numaralarıdır. P_1 ve P_2 , ele alınan enerjide sırasıyla Z_1 ve Z_2 atom numaralarına karşılık gelen G-P fit parametre değerleridir.

23 element (yani Be, B, C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Ar, K, Ca, Fe, Cu, Mo, Sn, La, Gd, W, Pb ve U) için 0,015–15 MeV foton enerji aralığında, EABF ve EBF'nin G-P fit parametre değerleri, ANSI/ANS-6.4.3 standart referans veri tabanından alınmış ve Obsidyen-A ile Obsidyen-V cevherlerinin G-P fit parametre değerlerini hesaplamak için kullanılmıştır.

2.2.3. EABF ve EBF Hesabı

Ortamlara ait GP fit parametreleri kullanılarak, 25 farklı foton enerjisi, 16 çeşit nüfuz etme derinliği için Obsidyen-A ve Obsidyen-V cevherlerinin EABF ve EBF değerleri, aşağıda verilen formüller yardımıyla hesaplanmıştır (Harima *et al.* 1986; Harima, 1993);

$$K \neq 1 \text{ için } B(E, x) = 1 + \frac{(b-1)(K^x - 1)}{(K-1)}$$

$$K = 1 \text{ için } B(E, x) = 1 + (b-1)x \quad (3)$$

Burada $x \leq 40$ mfp için,

$$K(E, x) = cx^a + d \frac{[\tanh(x/X_k - 2) - \tanh(-2)]}{[1 - \tanh(-2)]} \quad (4)$$

Burada x , kaynaktan olan uzaklıktır ve b , 1 mfp'de yığılma faktörünün değeridir. Parametre $K(E, x)$ 'in değişimi, foton doz çarpımını ve b değerini belirleyen 1 mfp'deki spektrumun şeklindeki değişimi temsil eder. Denklem (4), K 'nin x 'e

bağıllığını gösterir; a , c , d ve X_k , zayıflatıcı ortama ve kaynak enerjisine (E) bağlı fit parametreleridir (ANSI/ANS-6.4.3).

3. Bulgular

Obsidyen-A ve Obsidyen-V cevherlerinin EABF ile EBF değerlerinin hesaplanması için beş-parametrelilik geometrik dizi (G-P) yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yaklaşımda öncelikle obsidyen cevherleri için enerjiye bağlı olarak eşdeğer atom numaraları, Bölüm 2.2.1'de anlatılan prosedüre göre hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 2 ile Tablo 3'te verilmiştir. Daha sonra Obsidyen-A ve Obsidyen-V cevherleri için beş tane G-P fit parametre değerleri, Bölüm 2.2.2'de anlatılan prosedüre göre hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 2 ile Tablo 3'te verilmiştir. Son olarak Obsidyen-A ve Obsidyen-V cevherleri için EABF ile EBF değerleri, Bölüm 2.2.3'te anlatılan prosedüre göre hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar foton enerjisine ve ayrıca nüfuz etme derinliğine göre incelenmiştir. Bunun için Obsidyen-A ile Obsidyen-V cevherleri için 0,015–15 MeV enerji aralığında ve 0,5–40 mfp derinlik bölgesinde, EABF ve EBF değerlerinin foton enerjisiyle değişimi Şekil 2'de çizilmiştir. Bu şekilden açıkça görülmektedir ki, EABF ile EBF değerlerinin foton enerjisine karşı eğilimi benzerdir ve 10^0 mertebesinde 10^3 mertebesine kadar değerlere ulaşır. EABF ve EBF değerleri, önce artan foton enerjisiyle artar ve orta foton enerjilerinde maksimum değere ulaşır, sonra artan foton enerjisiyle tekrar azalmaya başlar. Çok düşük foton enerjilerinde yığılma faktörü değerlerinin oldukça küçük olduğu görülür. Bu durum, obsidyen cevheri içinde düşük enerjili fotonların fotoelektrik yapma olasılığının daha baskın olduğu şeklinde yorumlanabilir. Çünkü düşük enerjili fotonlar ortam içine tüm enerjilerini aktararak soğurulurlar. Compton saçılması, orta enerji bölgesinde ana foton etkileşme işlemidir. Bu süreçte fotonlar tamamen yok olmaz, sadece enerjileri azalır. Yani bu süreç, daha çok sayıda saçılmış fotonlar ile sonuçlanır. Bu durum obsidyen cevheri içinde fotonların yığılmasında artışa neden olur. Böylece EABF ve EBF değerleri, orta enerjilerde büyük değerlere ulaşır. Çünkü yığılma faktörünü belirleyen etkileşme Compton saçılmasıdır. Buradan saçılma yapmış fotonların enerji spektrumuna katkısının orta enerji bölgesinde oldukça büyük olduğu sonucuna varılabilir. Fotoelektrik olayına benzer şekilde yüksek foton enerjilerinde yığılma faktörü değerleri küçülür. Çünkü yüksek enerjili fotonların ortam

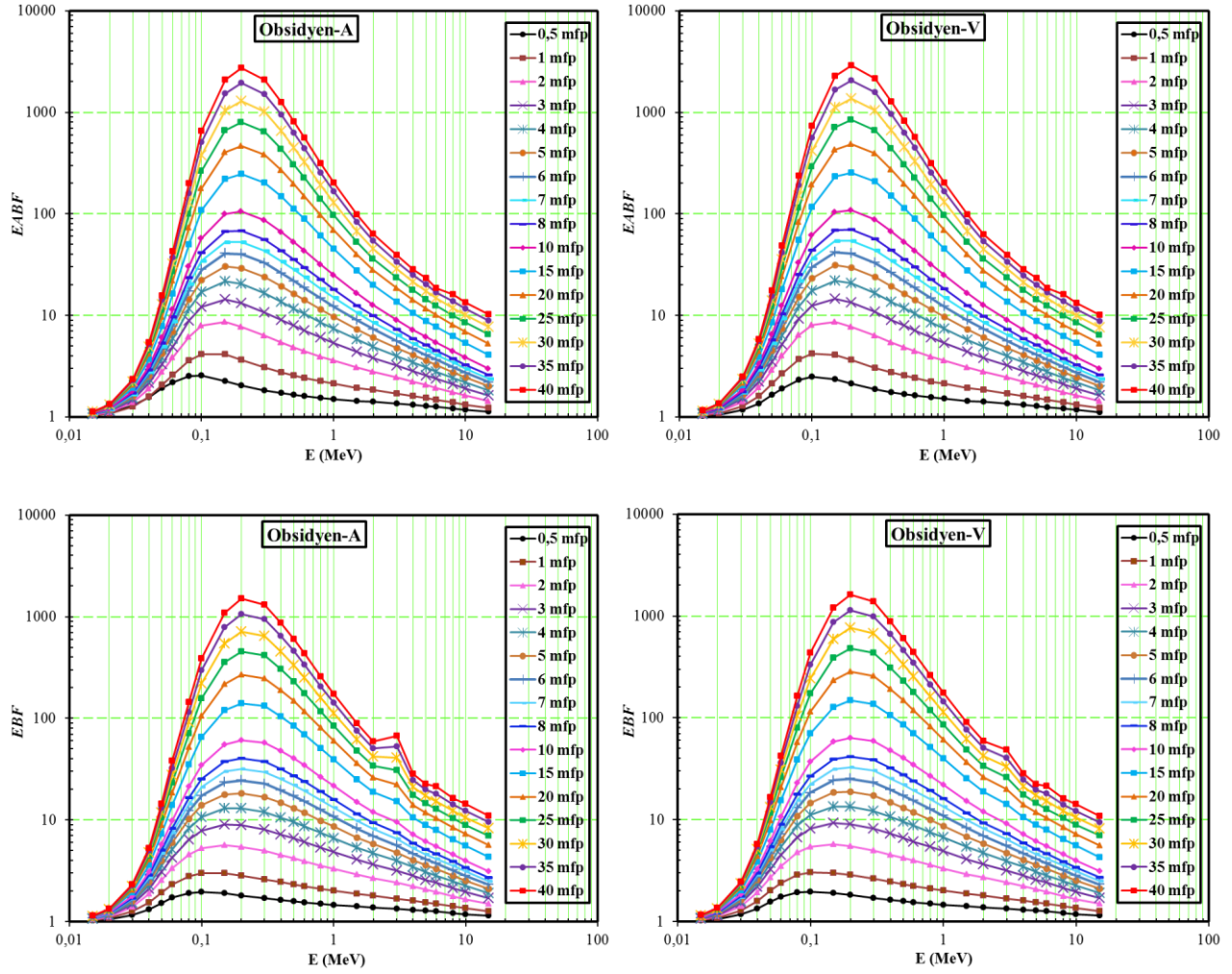
içinde çift oluşum yapma olasılığı daha baskındır. Bu durum fotonların güçlü absorpsiyon işlemiyle sonuçlanır. Dolayısıyla yüksek foton enerji bölgesinde çift oluşum olayının baskınlığı ile yiğilma faktörü değerleri yine azalır.

Tablo 2. Obsidyen-A cevherinin 0,015-15 MeV enerji aralığında, eşdeğer atom numaraları ve EABF ile EBF için G-P fit parametre değerleri

E(MeV)	Z_{eq}	EABF					EBF				
		b	c	a	X_k	d	b	c	a	X_k	d
0,015	12,331	1,034	0,388	0,221	12,35	-0,1458	1,034	0,399	0,209	14,07	-0,1351
0,02	12,410	1,081	0,394	0,209	14,42	-0,1086	1,077	0,416	0,196	14,12	-0,1033
0,03	12,484	1,260	0,430	0,198	14,38	-0,1069	1,256	0,436	0,193	14,74	-0,1031
0,04	12,510	1,571	0,523	0,158	15,47	-0,0850	1,546	0,529	0,155	14,97	-0,0828
0,05	12,524	2,066	0,595	0,140	14,80	-0,0797	1,921	0,651	0,111	15,32	-0,0569
0,06	12,518	2,597	0,729	0,094	14,57	-0,0660	2,320	0,743	0,088	13,85	-0,0572
0,08	12,492	3,588	0,992	0,016	12,89	-0,0239	2,794	0,981	0,020	13,34	-0,0276
0,1	12,450	4,136	1,222	-0,036	13,44	0,0005	2,985	1,174	-0,023	12,61	-0,0106
0,15	12,354	4,114	1,537	-0,093	13,79	0,0299	2,976	1,419	-0,069	17,49	0,0114
0,2	12,289	3,661	1,655	-0,111	13,89	0,0383	2,828	1,513	-0,084	16,30	0,0174
0,3	11,976	3,055	1,705	-0,120	14,16	0,0424	2,600	1,566	-0,094	15,92	0,0229
0,4	12,026	2,752	1,647	-0,113	14,52	0,0375	2,436	1,540	-0,093	15,48	0,0235
0,5	11,968	2,552	1,598	-0,107	14,43	0,0366	2,316	1,506	-0,089	15,97	0,0238
0,6	11,962	2,415	1,545	-0,100	14,58	0,0344	2,222	1,474	-0,086	15,29	0,0247
0,8	11,964	2,238	1,450	-0,086	14,82	0,0300	2,101	1,402	-0,076	15,62	0,0234
1	11,969	2,115	1,378	-0,075	15,11	0,0268	2,005	1,350	-0,069	15,69	0,0235
1,5	11,918	1,940	1,249	-0,053	14,49	0,0202	1,868	1,233	-0,049	14,57	0,0168
2	11,389	1,841	1,158	-0,035	14,62	0,0127	1,792	1,154	-0,034	15,10	0,0116
3	11,264	1,703	1,053	-0,010	11,77	-0,0008	1,681	1,058	-0,004	12,11	0,0001
4	11,274	1,612	0,986	0,008	13,53	-0,0112	1,604	0,993	0,006	12,91	-0,0090
5	11,296	1,544	0,939	0,022	12,78	-0,0188	1,537	0,951	0,018	13,67	-0,0208
6	11,280	1,478	0,929	0,024	15,81	-0,0275	1,491	0,920	0,029	11,56	-0,0231
8	11,273	1,386	0,905	0,033	12,19	-0,0232	1,406	0,902	0,033	13,62	-0,0267
10	11,267	1,320	0,901	0,034	14,11	-0,0276	1,346	0,879	0,042	13,16	-0,0334
15	11,252	1,227	0,880	0,043	14,57	-0,0376	1,260	0,829	0,062	14,32	-0,0549

Tablo 3. Obsidyen-V cevherinin 0,015-15 MeV enerji aralığında, eşdeğer atom numaraları ve EABF ile EBF için G-P fit parametre değerleri

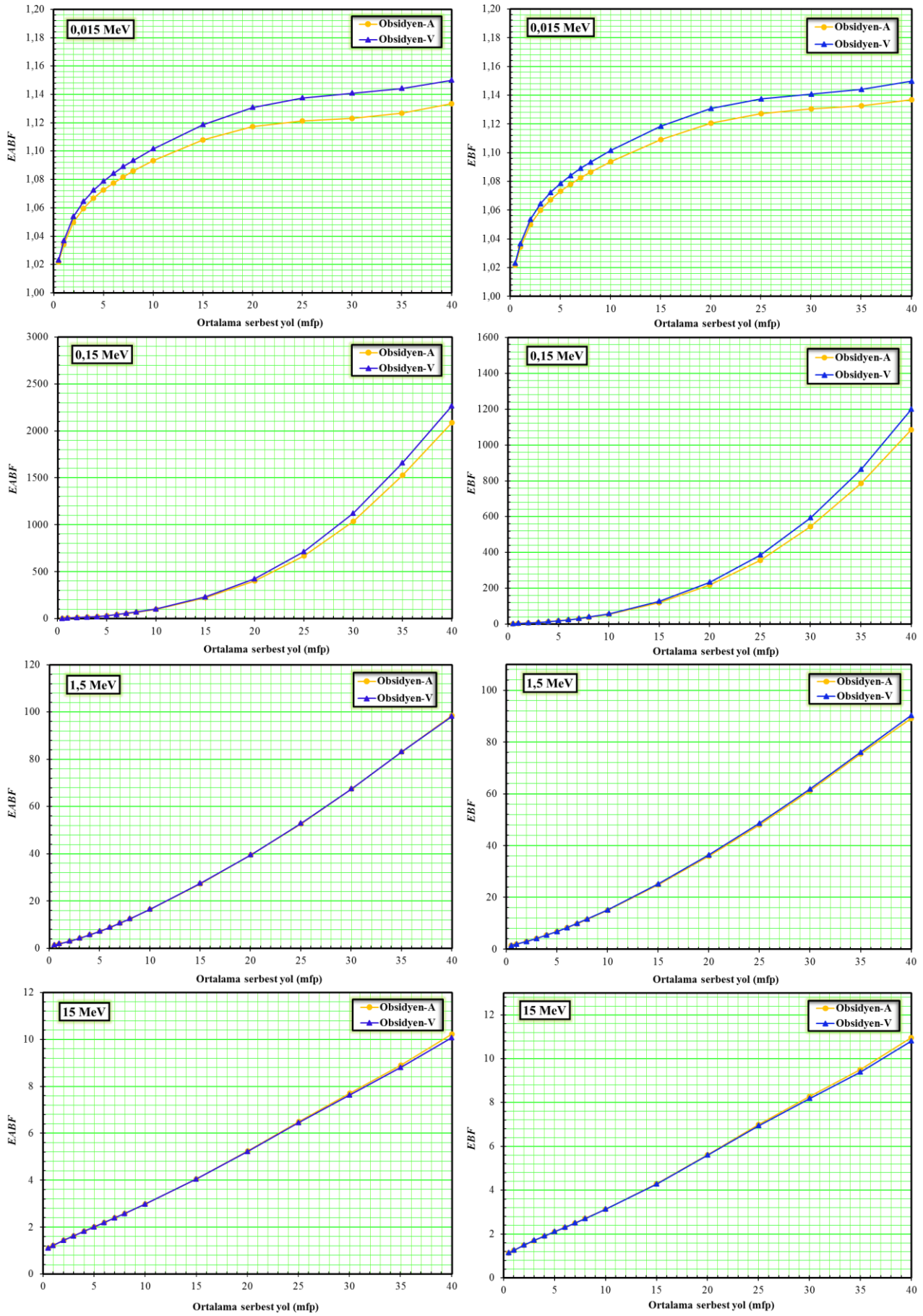
E(MeV)	Z_{eq}	EABF					EBF				
		b	c	a	X_k	d	b	c	a	X_k	d
0,015	12,041	1,037	0,399	0,212	13,36	-0,1348	1,037	0,401	0,211	13,42	-13,34
0,02	12,143	1,085	0,415	0,193	14,46	-0,0995	1,082	0,431	0,184	14,26	-0,0954
0,03	12,212	1,279	0,438	0,194	14,22	-0,1035	1,274	0,443	0,191	14,54	-0,1025
0,04	12,278	1,604	0,538	0,151	15,17	-0,0803	1,578	0,542	0,150	15,06	-0,0796
0,05	12,294	2,131	0,607	0,135	13,91	-0,0751	1,998	0,643	0,117	14,81	-0,0607
0,06	12,292	2,675	0,751	0,087	13,62	-0,0601	2,384	0,765	0,081	14,31	-0,0568
0,08	12,278	3,669	1,020	0,009	14,28	-0,0201	2,861	1,006	0,014	13,50	-0,0244
0,1	12,258	4,188	1,249	-0,041	12,86	0,0037	3,034	1,197	-0,028	12,47	-0,0077
0,15	12,156	4,106	1,567	-0,099	13,44	0,0335	3,007	1,438	-0,072	16,16	0,0127
0,2	12,068	3,652	1,677	-0,115	13,72	0,0404	2,849	1,531	-0,087	16,06	0,0194
0,3	11,752	3,048	1,720	-0,122	14,10	0,0436	2,613	1,581	-0,097	15,52	0,0240
0,4	11,894	2,748	1,654	-0,114	14,47	0,0383	2,441	1,546	-0,094	15,41	0,0241
0,5	11,866	2,550	1,602	-0,108	14,42	0,0371	2,320	1,511	-0,090	15,85	0,0245
0,6	11,786	2,413	1,549	-0,101	14,58	0,0348	2,228	1,478	-0,087	15,31	0,0250
0,8	11,664	2,234	1,456	-0,087	14,83	0,0308	2,106	1,408	-0,077	15,49	0,0239
1	11,583	2,114	1,382	-0,076	15,01	0,0274	2,012	1,352	-0,069	15,69	0,0235
1,5	11,167	1,937	1,252	-0,054	14,32	0,0204	1,877	1,234	-0,049	15,09	0,0168
2	11,239	1,842	1,157	-0,034	14,67	0,0126	1,793	1,154	-0,034	14,84	0,0119
3	11,120	1,705	1,051	-0,009	11,15	-0,0010	1,683	1,057	-0,008	11,22	0,0005
4	11,103	1,613	0,984	0,009	13,30	-0,0117	1,605	0,993	0,006	12,88	-0,0089
5	11,129	1,543	0,943	0,020	12,72	-0,0167	1,536	0,954	0,017	14,53	-0,0206
6	11,123	1,478	0,929	0,024	15,90	-0,0273	1,493	0,917	0,030	11,46	-0,0240
8	11,107	1,387	0,904	0,033	12,24	-0,0233	1,406	0,902	0,033	13,57	-0,0263
10	11,107	1,322	0,897	0,035	14,00	-0,0282	1,346	0,877	0,043	13,18	-0,0335
15	11,090	1,226	0,888	0,040	14,67	-0,0345	1,262	0,825	0,063	14,34	-0,0557



Şekil 2. Obsidyen cevherleri için foton enerjisiyle yığılma faktörlerinin değişimi.

Obsidyen-A ile Obsidyen-V cevherlerinin EABF ve EBF değerlerinin ortalama serbest yola göre değişimi Şekil 3'de çizilmiştir. Bu şekilden açıkça görülmektedir ki, rastgele seçilmiş foton enerjilerinde (yani 0,015 MeV; 0,15 MeV; 1,5 MeV; 15 MeV) ve 0,5–40 mfp derinlik bölgesinde, incelenen obsidyen cevherleri için nüfuz etme derinliği arttıkça yığılma faktörleri artar. Bu durum saçılmış fotonların sayısındaki artış nedeniyledir. Yığılma faktörlerinin maksimum değerleri, en büyük nüfuz etme derinliği olan 40 mfp'de elde edilmiştir.

Sonuç olarak, Obsidyen-A ile Obsidyen-V cevheri için yığılma faktörlerinin, gelen foton enerjisinin ve nüfuz etme derinliğinin değişimiyle önemli bir şekilde değiştiği bulunmuştur. Bu değişimler, örneklerin farklı kimyasal kompozisyonlarıyla birlikte, farklı enerji bölgelerinde farklı foton etkileşim işlemlerinin baskınlığı nedeniyledir. Van yöresinden çıkarılan obsidyen örneğinde fotonların kısmen daha fazla yığıldığı bulunmuştur.



Şekil 3. Seçilmiş foton enerjilerinde yığılma faktörlerinin ortalama serbest yola (mfp) göre değişimi.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Obsidyen-A ve Obsidyen-V cevherlerinin gama-ışını EABF ile EBF değerleri, beş-parametrelili geometrik dizi (G-P) yaklaşımına göre hesaplanmış ve yığılma faktörleri, gelen foton enerjisi ile nüfus etme derinliğinin bir fonksiyonu olarak değerlendirilmiştir. EABF ve EBF değerlerinin gelen foton enerjisinin ve nüfus etme derinliğinin değişimiyle önemli bir şekilde değiştiği bulunmuştur. Bu değişimler, farklı enerji bölgelerinde farklı foton etkileşim süreçlerinin hâkimiyeti nedeniyledir. İki örnek için elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Bu uyumluluk, her ne kadar kimyasal kompozisyonlarda farklılıklar olmasına rağmen, iki örnekte de yer alan silisyum dioksit (SiO₂) kristalinin baskınlığından ileri geldiği söylenebilir. Ayrıca bu çalışmada sunulan sonuçların, doğal siyah obsidyen cevherlerinde soğurulan radyasyon dozunun değerlendirilmesinde yararlı olacağı beklenilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyonu tarafından OUAP(F)-2015/31 numaralı proje kapsamında kısmen desteklenmiştir.

Kaynaklar

- ANSI/ANS-6.4.3. 1991. American Nuclear Society, Gamma-ray attenuation coefficients and build-up factors for engineering materials, La Grange Park, Illinois.
- Dhillon, J.S., Singh, B. and Sidhu, G.S., 2012. Gamma ray photon energy absorption buildup factor study in some soils. *Journal of Applied Physics*, **1**, 6, 14–21.
- Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K.B. and Leving, H., 2004. WinXCom-A program for calculating X-ray attenuation coefficients. *Radiation Physics and Chemistry*, **71**, 653–654.
- Göksu, H.Y., Regulla, D.F., Vogenauer, A. and Wieser, A., 1988. Dose dependent TL fading of obsidians. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, **14**, 143–147.

- Harima, Y., Sakamoto, Y., Tanaka, S., Kawai, M., 1986. Validity of geometric progression formula in approximating gamma-ray buildup factors. *Nuclear Science and Engineering*, **94**, 24–35.
- Harima, Y., 1993. An historical review and current status of buildup factor calculations and applications. *Radiation Physics and Chemistry*, **41**, 631–672.
- İçelli, O., Mann, K.S., Yalçın, Z., Orak, S. and Karakaya, V., 2013. Investigation of shielding properties of some boron compounds. *Annals of Nuclear Energy*, **55**, 341–350.
- Karabul, Y., Susami L.A., İçelli, O. and Eyecioğlu, Ö., 2015. Computation of EABF and EBF for basalt rock samples. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, **797**, 29–36.
- Kucuk, N., Manohara, S.R., Hanagodimath, S.M. and Gerward, L., 2013. Modeling of gamma ray energy-absorption buildup factors for thermoluminescent dosimetric materials using multilayer perceptron neural network: A comparative study. *Radiation Physics and Chemistry*, **86**, 10–22.
- Kurudirek, M., 2014. Photon buildup factors in some dosimetric materials for heterogeneous radiation sources. *Radiation and Environmental Biophysics*, **53**, 175–185.
- Manohara, S.R., Hanagodimath, S.M. and Gerward, L., 2010. Energy absorption buildup factors for thermoluminescent dosimetric materials and their tissue equivalence. *Radiation Physics and Chemistry*, **79**, 575–582.
- Oto, B., Yıldız, N., Akdemir, F. and Kavaz, E., 2015. Investigation of gamma radiation shielding properties of various ores. *Progress in Nuclear Energy*, **85**, 391–403.
- Sayed, M.I., Qashou, S.I. and Khattari, Z.Y., 2017. Radiation shielding competence of newly developed TeO₂-WO₃ glasses. *Journal of Alloys and Compounds*, **696**, 632–638.
- Singh, P.S., Singh, T. and Kaur, P., 2008. Variation of energy absorption buildup factors with incident photon energy and penetration depth for some commonly used solvents. *Annals of Nuclear Energy*, **35**, 1093–1097.

Singh, T., Kumar, N. and Singh, P.S., 2009. Chemical composition dependence of exposure buildup factors for some polymers. *Annals of Nuclear Energy*, **36**, 114–120.

Singh, S., Ghumman, S.S., Singh, C., Thind, K.S. and Mudahar, G.S., 2010. Buildup of gamma ray photons in flyash concretes: A study. *Annals of Nuclear Energy*, **37**, 681–684.

Singh, T., Kaur, G. and Singh P., 2013. Study of gamma ray exposure buildup factor for some ceramics with photon energy, penetration depth and chemical composition. *Journal of Ceramics*, **2013**, 1–6.

İnternet kaynakları

1-<http://www.obsidyen.com.>, (22.03.2017)