

Farklı Yoğunluktaki Malzemelerin Nötron Zayıflatma Özelliklerinin İncelenmesi

Demet Sariyer^{1,*}, Rahmi Küçer²

¹Celal Bayar Üniversitesi, Turgutlu Meslek Yüksekokulu, 45400, Turgutlu, Manisa, Türkiye

²Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 45140, Manisa, Türkiye

*Yazışılan yazar e-posta: demet.sariyer@cbu.edu.tr

Alınış: 08 Ekim 2014, Kabul: 13 Kasım 2014

Özet: Yüksek yoğunluklu radyasyon alanlarının oluştuğu hızlandırıcılarda, radyasyon seviyesini izin verilen doz değerlerine zayıflatmak için zırh tasarımı yapılır. Zırhın belirlenmesinde, radyasyon zayıflatma özellikleriyle birlikte kalınlığı, ağırlığı, kurulum ve bakım maliyeti gibi faktörler de göz önünde bulundurulur. Proton hızlandırıcılarında, zırhlama için etkin olan radyasyon nötronlardır ve zırh tasarımı nötronlara göre yapılır. Zırh maddesi olarak genellikle beton, toprak ve çelik kullanılır.

Bu çalışmada, hızlandırıcı zırh tasarımında gerekli minimum yan duvar zırh kalınlıklarını belirlemek için farklı yoğunluklarda (toprak, standart beton, demir) zırh maddeleri seçildi. Zırh kalınlıkları, FLUKA Monte Carlo kodu ile belirlendi.

Anahtar kelimeler: Proton hızlandırıcı, zırh tasarımı, FLUKA, demir

Investigation of Neutron Attenuation Properties for the Different Density Materials

Abstract: The generation of high-intensity radiation fields in the accelerators, shield design is made to attenuation permissible levels of radiation dose. For determination of shield material, thicknesses, weight, installation and maintenance costs as well as radiation attenuation properties are taken into consideration such factors. Effective radiation for shielding is neutrons in proton accelerators and shield design is made for neutrons. Concrete, soil and iron are widely used as a shield material.

In this paper, the different density of the shielding materials (soil, standard concrete, iron) were selected to determine for the minimum thickness of the side wall for shielding design of proton accelerator. The thickness of the shielding is obtained by a simulation with the Monte Carlo Code FLUKA.

Key words: Proton accelerator, shield design, FLUKA, iron.

1. Giriş

Nükleer reaktörler ve parçacık hızlandırıcıları gibi yüksek enerjili ve yoğunluklu radyasyonlu alanların bulunduğu tesislerde, çalışanları ve çevre halkı radyasyondan korumak için zırhlama yapılır. Zırhlama, radyasyonlu alan ile belirlenen konum arasına uygun kalınlıkta soğurucu madde yerleştirilmesi ile yapılır. Zırh dışında izin verilen maksimum doz değerlerine göre zırh maddesi ve kalınlığı belirlenir. Zırh maddesinin radyasyon tutuculuğunun yüksek, etkileşme ile oluşan ikincil parçacık enerjilerinin ise düşük olması önemlidir [1,2].

Zırh maddesinin belirlenmesinde radyasyon tutuculuğu ile birlikte; kolay işlenmesi, uzun ömürlü ve ucuz olması gibi durumlar da göz önünde bulundurulur. Bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda; toprak, beton ve demir geniş kullanım alanları olan zırh maddeleridir [3].

Hızlı nötronların esnek ve esnek olmayan çarpışmalar ile enerji kaybetmesini sağlayan elementler içeren beton ve toprak, düşük maliyetli, kolay kullanımlı zırh maddeleridir. Özellikle, standart beton (veya ağır beton) temel yapı maddesi olduğundan reaktör, parçacık hızlandırıcısı gibi yüksek radyasyon içeren tesislerde yaygın olarak kullanılır [4,5]. Yüksek enerjili nötronların esnek olmayan çarpışmalar ile yavaşlatılmalarında kullanılan demir, 1 MeV' den düşük enerjili nötronlar için önemli nötron yakalama tepkimeleri olmadığından geçirengendir. Düşük enerjili nötronlar için zırh maddesi olarak tercih edilmez [6].

Parçacık taşınım problemlerini hesaplamak için temel araç konum ve zamanın bir fonksiyonu olarak, radyasyon alanını oluşturan çeşitli tür ve enerjili radyasyonların açısız akı verimlerini tanımlayan Boltzmann denklemleridir. Boltzmann denklemleri ile radyasyon miktarını belirlemek için bazı analitik metotlar kullanılabilir gibi bilgisayara dayalı metotlar da kullanılabilir [7].

Monte Carlo metotları, parçacık taşınım problemlerinin çözümü için analog metotların tanımlanması için bilgisayara dayalı bir yapı sağlar. Monte Carlo metotları, analitik metotlar ile modellenemeyen gerçek geometriler için radyolojik tehlikelerin değerlendirilmesi ve analitik çözümü zor olan matematik problemleri için geliştirilmiş istatistiksel bir benzetim tekniğidir. Bu teknikte, Boltzmann denkleminin çözümünü elde etmek ve istatistiksel benzetimleri yapmak için rastgele sayılar dizisi kullanılır [7, 8].

FLUKA (FLUctuating KAskades), parçacık taşınımı ve parçacıkların madde ile etkileşmelerini hesaplamak için geliştirilmiş çok amaçlı bir Monte Carlo kodudur. Fortran programlama dilinde yazılmış olup yaklaşık 680000 satırdan oluşur ve Linux tabanlı çalışır. FLUKA, kozmik ışın fiziği, nötrino fiziği, hızlandırıcı tasarımı, parçacık fiziği, zırh tasarımı, dozimetri ve radyasyon korunumu gibi birçok uygulama alanına sahiptir [8].

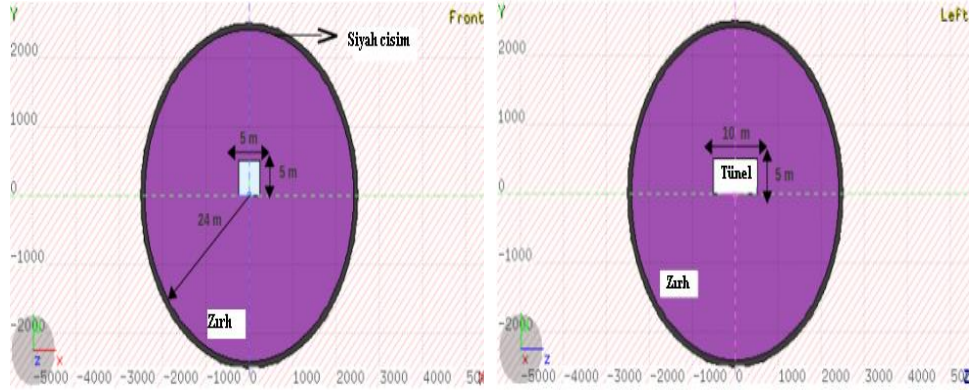
Bu çalışmada, Türk Hızlandırıcı Merkezi bünyesinde kurulması planlanan birkaç GeV' lik proton hızlandırıcı tesisinin 1000 MeV enerji bölgesinin zırh tasarımı için gerekli olan minimum yan duvar kalınlıkları; FLUKA Monte Carlo kodu ile belirlendi. Zırh maddesi olarak toprak, standart beton ve demir kullanıldı.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, anormal çalışma durumunda oluşan nötron radyasyonunun zırhlanması için gerekli olan benzetimler FLUKA Monte Carlo kodunun 2011.2b sürümü ile yapıldı. Zırh tasarımında demet kaybı saniye başına $0,624 \times 10^{11}$ proton alındı [9,10]. Zırh maddelerinin benzetimleri için giriş dosyaları hazırlandı. Bu giriş dosyalarında demet özellikleri, ışınlama geometrisi, madde tanımlaması, fiziksel ayarlamalar ve detektör özellikleri düzenli bir sıra ile girildi.

Benzetimler için $5 \times 5 \times 10 \text{ m}^3$ boyutlarında içi hava dolu bir tünel tasarlandı. Tünelde, demet eksenine yan duvarlara 2,5 m, çatıya 4 m uzaklıkta yerleştirildi. Toprak, standart beton ve demir zırh maddesi olarak kullanıldı. Zırh kalınlık değerlerini belirlemek için

yan duvar ve çatı kalınlıklarının toplam boyutu 24 m olarak alındı. Zırh tasarımı için tanımlanan geometrinin basitleştirilmiş modeli Şekil 1’ de gösterildi



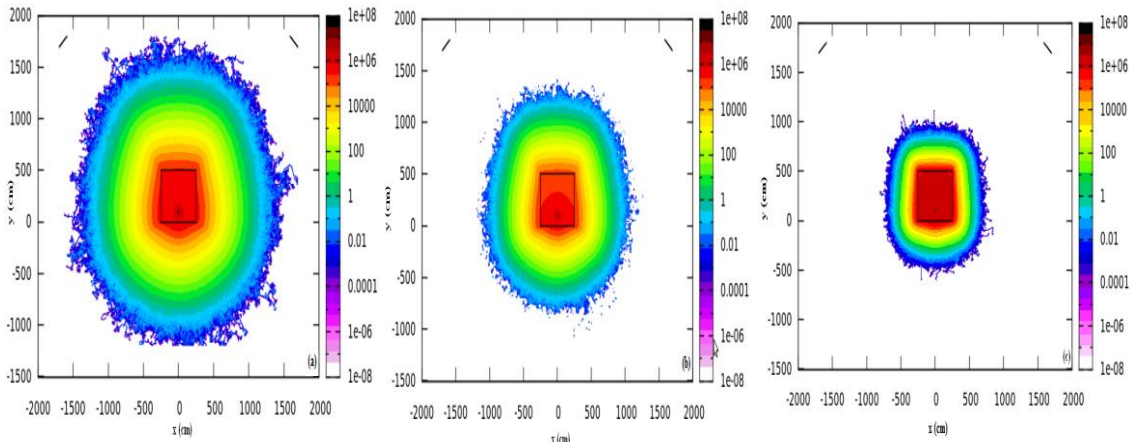
Şekil 1. Zırh tasarımı için oluşturulan tünel benzetim geometrisinin enine kesiti (solda) ve yandan görünüşü (sağda). x yatay eksen ve z dikey eksen doğrudur.

Proton hızlandırıcılarında zırh tasarımı nötronlara göre yapıldığından nötron kaynağı olarak genellikle bakır veya demir kullanılır. Bu nedenle; zırh tasarımı yapılırken, nötron kaynağı olarak boyutları 5 x 5 x 5 cm³ olan bakır hedef madde olarak seçildi ve protonların kalın bakır hedefe çarptığı varsayıldı.

Zırh tasarımı için benzetimler Monte Carlo metoduna uygun olan farklı rastgele sayılar ile 5 çevrim olarak 6E+8 birincil parçacık için yapıldı. Benzetim sonuçları, FLUKA çıkış dosyaları ile okundu. Her bir zırh maddesinin kalınlığını belirlemek için gerekli olan doz dağılımları için USRBIN detektörü kullanıldı. Detektörün boyutları x, y ve z eksenleri için 3400, 3000 ve 1900 cm olarak belirlendi. 1000 MeV enerjili protonlar için doz dağılımları FLUKA kodunun FLAIR ara yüzü kullanılarak elde edildi.

3. Bulgular

1000 MeV enerjili protonlar için USRBIN detektöründen elde edilen doz dağılımları toprak, standart beton ve demir zırh maddeleri için sırasıyla Şekil 2 (a, b, c)’ de verildi. Şekillerde, x-y skalası santimetre (cm), renkli skala mikroSievert/saat ($\mu\text{Sv/h}$)’ tir.



Şekil 2 (a, b, c). 1000 MeV enerjili protonlar için a) toprak, b) beton, c) demir zırhta oluşan doz dağılımının XY grafiği

Zırh maddeleri için minimum yan duvar kalınlıkları halk için izin verilen doz limitleri (0,1 $\mu\text{Sv/h}$) olan kontrolsüz alanlar için belirlendi. Toprak, standart beton ve demir zırh maddeleri için yoğunluğa bağlı kalınlık değerleri Tablo 1’ de gösterildi.

Tablo 1. 1000 MeV enerjili protonlar için yoğunluğa bağlı toprak, beton ve demir zırh kalınlıkları

| Zırh maddesi | Yoğunluk (gr/cm^3) | Zırh kalınlığı (cm) |
|----------------|-------------------------------|---------------------|
| Toprak | 1,9 | 892,8 |
| Standart beton | 2,34 | 646,332 |
| Demir | 7,874 | 326,136 |

Şekil 2 (a, b, c)’ den de görüldüğü gibi doz dağılımları arasında büyük farklılık gözlenmektedir. Zırhlama için düşük yoğunluklu zırh maddeleri kullanıldığında, yapılar için tercih edilmeyen büyük kalınlık değerlerine ihtiyaç duyulur. Zırh maddelerinin yoğunlukları ile kalınlıkları arasında ters orantılı olduğu Tablo 1’ den de görülmektedir.

Toprak, standart beton ve demir için belirlemiş olduğumuz zırh kalınlık değerleri benzer çalışmalar ile karşılaştırıldı. Magistris ve Silari [11] ve Agosteo vd. [12] tarafından yapılmış çalışmalar ile uyumlu olduğu görüldü.

4. Tartışma ve Sonuç

Proton hızlandırıcılarından elde edilen farklı enerjilerdeki proton demetlerinin; nükleer fizik, yüksek enerji fiziği, hızlandırıcı güdümlü sistemler, yarı iletkenler, biyolojik ve medikal uygulamalar, radyoizotop üretimi, nötron kaynağı, proton ve nötron terapi gibi yaygın kullanım alanları vardır.

Yüksek enerjili proton hızlandırıcılarında üretilen ikincil parçacıklardan özellikle nötronlar, yüksek oluşum ve etkin girici özellikleri nedeniyle radyasyondan korunmada esas alınır. Radyasyondan korunma uygulamaları için zırhlama yapılır. Zırhlamada amaç, ortamda bulunan birincil ve ikincil radyasyonların tamamının yok edilmesidir.

Bu çalışmada; 1000 MeV enerjili proton hızlandırıcı tesisinin zırh tasarımı için gerekli olan toprak, standart beton ve demir zırh kalınlıkları FLUKA Monte Carlo kodu ile belirlendi. Zırh kalınlıkları, zırh dışında izin verilen maksimum doz hızı değerlerine göre anormal çalışma durumu için tanımlandı.

Yapılan hesaplamalar sonucu 1000 MeV enerjili proton hızlandırıcısı için elde edilen doz dağılımları ve zırh kalınlıklarına göre demirin, toprak ve betona göre daha iyi bir zırh maddesi olduğu görüldü. Demir, özellikle yüksek enerjili proton hızlandırıcılarında kalınlık sınırlaması olan konumlar için iyi bir zırh maddesidir.

Gelecek çalışmalarda, farklı yüzdelerde demir ile katkılandırılmış standart beton için gerekli olan kalınlık değerleri belirlenip demir içeriğine (%) bağlı olarak relatif kalınlık değişimleri incelenecektir. Böylece, tesisin tasarım maliyetinin azaltılması hedeflenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada yer alan tüm nümerik hesaplamalar TÜBİTAK ULAKBİM, Yüksek Başarım ve Grid Hesaplama Merkezi'nde (TRUBA kaynaklarında) gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Gencil O., Brostow W., Ozel C., Filiz M., 2010. An Investigation on the concrete properties containing colemanite, *International Journal of Physical Sciences*, 5 (3): 216-225.
- [2] Singh V. P., Medhat M. E., Badiger N. M., 2014. Utilization of Geant4 Monte Carlo simulation method for studying attenuation of photons in normal and heavy concretes at high energy values, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 300: 325-331.
- [3] Korkut T., Korkut H., Karabulut A., Budak G., 2011. A new radiation shielding material: Amethyst Ore, *Annals of Nuclear Energy*, 38: 56-59.
- [4] Ipe N. E., 2010. PTCOG Publications Sub-Committee Task Group on Shielding Design and Radiation Safety of Charged Particle Therapy Facilities, PTCOG Report 1.
- [5] Biarrotte J., Mueller A. C., Carlucci B., 2004. PDS-XADS Preliminary Design Studies of an Experimental.
- [6] Tesch K., Zazula J. M., 1991. Shielding properties of iron at high energy proton accelerators studied by a Monte Carlo Code, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 300: 179-187.
- [7] Thomas R. H., Casey W. R., Cossairt J. D., O'Brien K., Rohring N., Stapleton G. B., Swanson W. P., Slaback L. A., 2005. Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities, NCRP Report No. 144.
- [8] Battistoni G., et al., 2011. Application of FLUKA Monte Carlo Code for nuclear and accelerator physics, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 269: 2850-2856.
- [9] Sariyer D., Küçer R., 2014. Proton hızlandırıcılarında kontrollü alanlar için gerekli olan zırh kalınlıklarının FLUKA Monte Carlo Kodu ile belirlenmesi, *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 9 (1): 142-149.
- [10] Sariyer D., Küçer R., 2014. 100-250 MeV enerjili proton hızlandırıcıları için beton ve toprak zırh kalınlıklarının FLUKA Monte Carlo Kodu ile belirlenmesi, *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 9 (1): 117-124.
- [11] Magistris M., Silari M., 2005. Shielding Requirements and Induced Radioactivity in the 3.5 GeV, SPL, CERN.
- [12] Agosteo S., Mereghetti A., Magistris M., Silari M., Zajacova Z., 2008. Shielding data for 100-250 MeV proton accelerators: Attenuation of secondary radiation in thick iron and concrete/iron shields, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 266: 3406-3416.

Rahmi Küçer e-posta: rkucer@hotmail.com