

## Hızlandırıcılardan Yayınlanan Çatı Radyasyonunun Uzaklı a Ba lı Doz De erleri

Rahmi Küçer<sup>1</sup>, Demet Sarıyer<sup>2</sup>, Nermin Küçer<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 45140 Manisa, Türkiye

<sup>2</sup>Celal Bayar Üniversitesi, Turgutlu Meslek Yüksekokulu, 45400 Turgutlu, Manisa, Türkiye

\*Yazı ilan yazar e-posta: nerminkcr@gmail.com

Alını : 12 Mart 2012, Kabul: 18 Mayıs 2012

**Özet:** Yeterli zırhlama durumlarının ço u yatay do rultuda sa landı ı için, ince çatı zırhı, bazı hızlandırıcılarda u ra ilan önemli bir problemi göstermektedir. Çatı radyasyonu, hareket do rultusu yukarı do ru yer yüzeyine yakın yerlerde olu an ve sonra atmosferdeki moleküller tarafından geri saçılan radyasyon (genellikle nötronlar) için kullanılan bir terimdir. Hızlandırıcı çevresinde ya ayan halk, bu radyasyondan etkilenebilir. Bu etkiyi belirlemek için, nötronların havada yer de i tirme hesapları sık sık kullanılmaktadır. Bu çalı mada, yüksek enerjili hızlandırıcılardan yayınlanan çatı radyasyonunun uzaklı ın bir fonksiyonu olarak doz de erleri hesaplandı.

**Anahtar kelimeler:** Hızlandırıcılar, çatı radyasyonu, doz de erleri.

## Dose Values Dependent on Distance of Skyshine Radiation Produced by Accelerators

**Abstract:** Thin roof shielding has represented a serious problem that plagued a number of accelerators, because in most cases sufficient shielding must be provided in the horizontal direction. Skyshine is the term used for radiation (usually neutrons) that originates near the surface of the earth with an upward velocity and then is scattered back by the molecules in the atmosphere. The public around the accelerator may be irradiated. To estimate this exposure, tabulated solutions of the transport of neutrons through the air are frequently used. In this study, we calculated the dose values as a function of distance of skyshine radiation from high-energy accelerators.

**Key words:** Accelerators, skyshine radiation, dose values.

### 1. Giri

Proton ve elektron hızlandırıcılarında, parçacık demetinin hedef madde ile etkile mesi ile proton, nötron, müon, pion, elektromanyetik ı ın gibi farklı yapılarda ve enerjilerde radyasyonlar olu ur. Ayrıca, bu ikincil radyasyonlar da çevrede bulunan maddeler ile etkile erek yeni radyasyonlara neden olur. Özellikle, parçacık demetinin bulundu u ortamlarda daha fazla olmak üzere hızlandırıcılarda yüksek yo unluklu ve enerjili radyasyon görülür. Hızlandırıcıların normal veya anormal çalı maları durumunda olu an bu radyasyondan çalı anları ve tesis civarında ya ayan halkı korumak için, iç ve dı zırhlama yapılır. Hızlandırıcılarda dı zırhlama, özellikle, yatay düzlemde ve zırh dı nda maksimum müsaade edilen doz de erlerine göre yapılır. Ülkemizde toplum üyesi ki iler için etkin doz yılda 1 mSv'i geçemez. Özel durumlarda; ardı ık be yılın ortalaması 1 mSv olmak üzere yılda 5 mSv'e kadar izin verilir [1]. Genellikle, dü ey düzlemde yeterli zırhlama zorunlu olmadı ndan çatı veya temel yönünde radyasyon kaçabilir ve hızlandırıcı çevresinde do al radyasyon dı nda hızlandırıcı merkezli ilave radyasyon olu ur. Çatıdan (tavandan) kaçan radyasyonlara skyshine [2], temel yönünde kaçan radyasyonlara da groundshine radyasyonu denir [3]. Kaçan radyasyonlarda

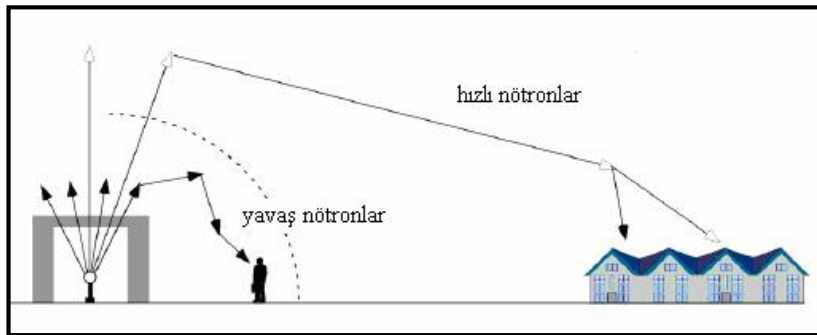
nötronların etkisi önemlidir. Özellikle, ani radyasyon de i ikliklerinde çatıdan kaçan radyasyon (genellikle nötronlar) hızlandırıcının çevresindeki geniş bir alanda önemli radyasyon kirliliğine neden olabilir. Temel yönünde ise, toprak aynı zamanda iyi bir zırh maddesi olduğundan, bu yönde kaçan radyasyonların erişim uzaklığı fazla olmadığı için etkisi de daha küçük bir alanda görülür.

Çatıdan kaçan radyasyonun varlığı ve düzeyi hızlandırıcı çevresine yerleştirilen alan monitörleri ile algılanabilir [4]. Ayrıca, hızlandırıcı verileri ile benzetim programları veya deneye dayalı ölçümler kullanılarak önceden tahmini olarak kaçan radyasyon belirlenebilir.

Çatıdan kaçan radyasyon dozu, demet kaybında etkili olan faktörlere (demet parçacığı, enerji, güç, hedef), zırlama durumlarına (özellikle, çatı maddesi ve kalınlığına) ve demet kayıp noktası ile çatı arasındaki uzaklığa da bağlıdır. Bu çalışmada, çatıdaki başlangıç doz değerleri ve varsayılan 1-5000 MeV aralığında nötronların, belirli uzaklıklarda oluşturdukları doz değerleri, Stapleton deneye dayalı ölçümü ile belirlendi [5].

## 2. Materyal ve Metot

Yüksek enerjili hızlandırıcıların çatısından kaçan nötronlar, havada bulunan elementlerle çarpışarak yönlerini değiştirir ve hızlandırıcı çevresinde belirli mesafelerde etkili olur. Genel olarak, havada bulunan elementlerin nötronlarla çekirdek reaksiyonları yapmaları için nötronların enerjisi 20 MeV veya daha büyük olmalıdır, daha düşük enerjili nötronlar yalnızca elastik saçılma yapabilir [6]. Bu çalışmada, düşük enerjili nötronların da havadaki doz değerlerini belirlemek için, en düşük nötron enerjisi 1 MeV alındı. Havanın yoğunluğu düşük ( $1,2 \times 10^{-3} \text{ gr/cm}^3$ ) olduğundan, hızlı nötronların havada bulunan  $O_2$  ve  $N_2$  ile etkilemeleri birkaç yüz metrede olabilir [6]. Zayıf etkileme olasılıkları nedeniyle yüksek enerjili nötronlar oldukça uzak mesafelere ulaşabilir. Nötronun kütlesi ile oksijen ve azotun kütleleri arasındaki fark nedeniyle, yüksek enerjili nötronların yavaşlaması için birçok çarpışma yapması gerekir. Elastik saçılma yapan düşük enerjili nötronlar ise, kısa mesafelere ulaşmaktadır. Şekil 1'de her iki enerji grubundaki nötronların olası erişim uzaklıkları görülmektedir.



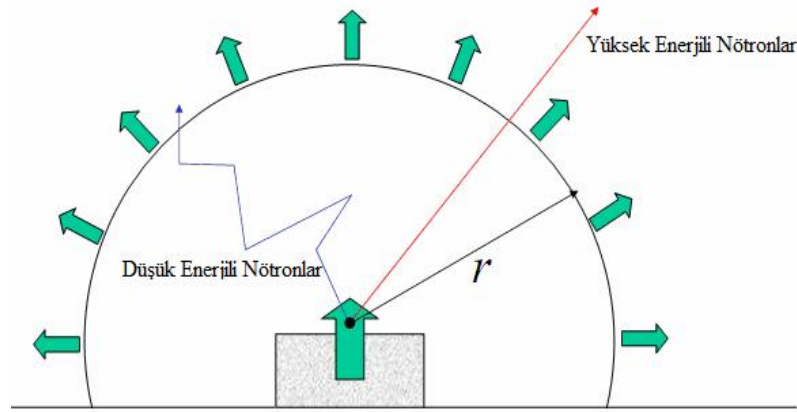
Şekil 1. Çatıdan kaçan yavaş ve hızlı nötronların erişim uzaklıkları [7].

Nötronların hava içinde saçılmaları ihmal edildiğinde, hava molekülleri ile etkilemeleri saçılma ekinde olacağından, ortamdaki parçacık sayısı sabit kalır.

Yalnız geometrik konum göz önüne alındığında çatıdan kaçan nötronların çatı çevresinde olu turaca ı doz,

$$H = \frac{h_a A}{2fr^2} \quad (1)$$

e itli i ile ifade edilir ( ekil 2) .



ekil 2. Çatıdan kaçan radyasyonun yalnız geometrik konuma göre dağılımı [8].

Nötronların saçılması sonucu olu an doz dağılımını veren (1) e itli inde, çatıdan büyük mesafelerde uzakla ıldı ında, nötronların hava içindeki so urulmaları da göz önüne alınmalıdır. So urmanın katkısı ile birlikte doz de eri;

$$H = \frac{h_a A}{2fr^2} e^{-r/\lambda} Er \quad (2)$$

e itli i eklindedir [3, 4, 5]. Burada;

$h_a A$  : Çatının A alanındaki ortalama doz de eri

$r$  : Kaynak ile istenilen nokta arasındaki uzaklık

$\lambda$  : So urma katsayısıdır.

Çatıdan kaçan nötronların belli bir uzaklıkta olu turdu u dozu belirlemek için kullanılan analitik yöntemlerden biri Stapleton tarafından geliştirilen deneye dayalı ba ıntıdır. Bu ba ıntıda radyasyon kayna ı nokta kaynak alındı ında, kaynak ile istenilen uzaklı a ba lı olarak çatıdan kaçan nötron ba ına doz de eri

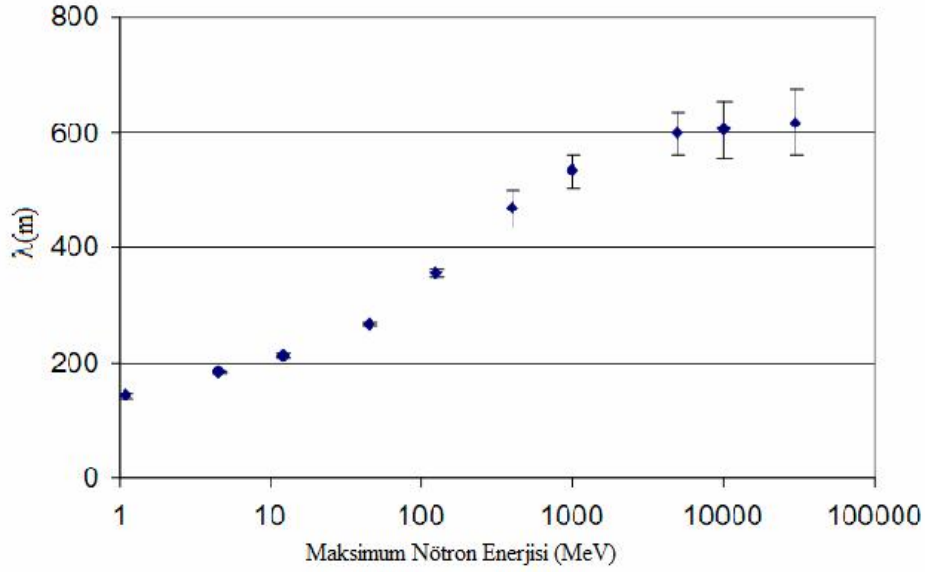
$$H(r) = \frac{a \exp(-r/\lambda)(E_0)}{(b+r)^2} \quad (3)$$

ifadesi ile bulunur [3, 5, 6, 9]. Burada;

$r$  : Kaynak ile ilgili nokta arasındaki uzaklık,

$a : 2 \times 10^{-15} \text{ Sv m}^2$  ve  $b : 40 \text{ m}$  [5].

$\lambda(E_0)$ : Kaçan nötronlar için enerji spektrumunun bir fonksiyonu olarak zayıflatma faktörüdür. E itlikteki  $\lambda$  de erleri, nötronların enerjilerine ba lı olarak farklılık gösterir. ekil-3'de maksimum nötron enerjilerine göre de i en zayıflatma faktörleri verilmi tir.



ekil 3. Maksimum nötron enerjilerinin fonksiyonu olarak çatıdan kaçan nötronların zayıflatma faktörü [4, 7].

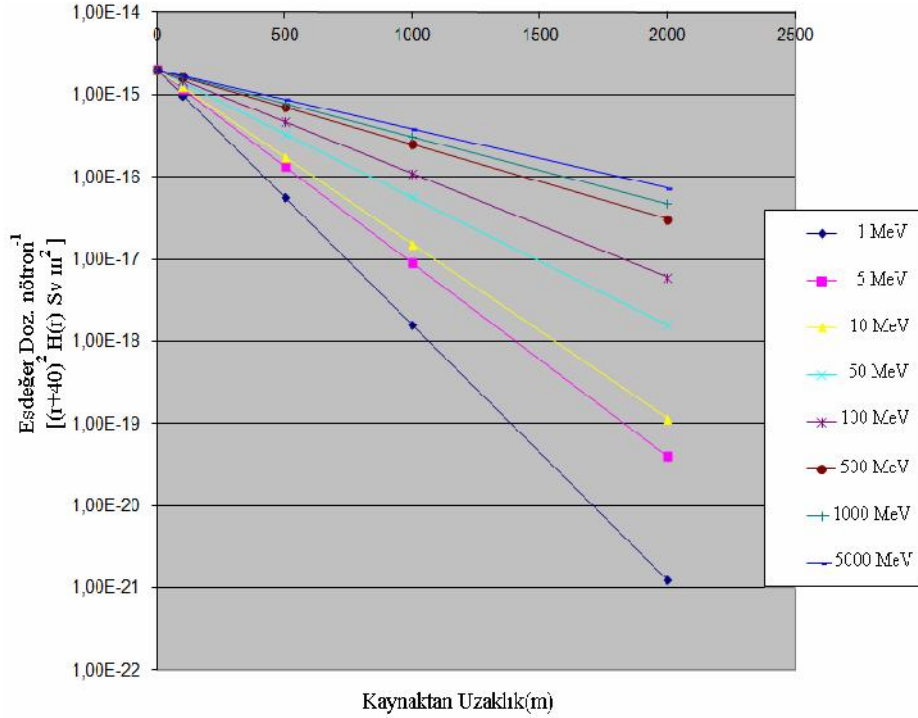
### 3. Bulgular

Hızlandırıcıların çevresinde ya ayan halkın, hızlandırıcının çatısından kaçan radyasyondan etkilenmemesi için dü ey düzlemde zırlama yapılması gerekir. Bu amaçla, 1-5000 MeV enerji aralı ındaki nötronların, çatıdaki ba langıç doz de erleri  $a: 2 \times 10^{-15} \text{ Sv m}^2$  de erine e it varsayılarak, ekil 3 grafi inden belirlenen  $\lambda$  de erleri kullanılarak, çatıdan 100, 500 ve 1000 m uzaklıklarında olu turdu u doz de erleri, Stapleton deneye dayalı ba ıntısı (3) ile hesaplandı ve hesaplama sonuçları Tablo 1 de verildi.

Tablo 1. Farklı enerjilerdeki nötronlar için kaynaktan yatay düzlemde 100, 500 ve 1000 m uzaklıkta belirlenen çatıdan kaçan nötron ba ına doz de erleri.

E(MeV)	λ(m)	H(Sv) 100 m	H(Sv) 500 m	H(Sv) 1000 m
1	140	$5,0 \times 10^{-20}$	$1,9 \times 10^{-22}$	$1,5 \times 10^{-24}$
5	185	$5,9 \times 10^{-20}$	$4,6 \times 10^{-22}$	$8,3 \times 10^{-24}$
10	205	$6,3 \times 10^{-20}$	$5,9 \times 10^{-22}$	$1,4 \times 10^{-23}$
50	280	$7,1 \times 10^{-20}$	$1,2 \times 10^{-21}$	$5,2 \times 10^{-23}$
100	345	$7,6 \times 10^{-20}$	$1,6 \times 10^{-21}$	$1,0 \times 10^{-22}$
500	480	$8,3 \times 10^{-20}$	$2,4 \times 10^{-21}$	$2,3 \times 10^{-22}$
1000	535	$8,5 \times 10^{-20}$	$2,7 \times 10^{-21}$	$2,9 \times 10^{-22}$
5000	605	$8,6 \times 10^{-20}$	$3,0 \times 10^{-21}$	$3,5 \times 10^{-22}$

Çatıdan kaçan nötron doz e de er oranlarının kaynaktan uzakla tıkça azaldı ı Tablo 1 de görülmektedir. Tablo 1 de verilen de erleri kullanarak 1-5000 MeV enerji aralı ındaki nötronların uzaklı a ba lı  $(r+40)^2$ . H(Sv) de i imlerini kullanarak ekil 4 deki grafik elde edildi.



ekil 4. Çatıdan kaçan farklı enerjilerdeki nötronlar için (3) e itli inden belirlenen kaynak ile yatay düzlemin fonksiyonu olarak e de er doz de erleri.

ekil 4'ten de görüldü ü gibi ilk de erleri  $2,00E-15 \text{ Sv m}^2$  olan farklı enerjilerdeki nötronların uzaklık ile de i imleri, enerjilerine göre farklılık göstermektedir.

#### 4. Tartı ma ve Sonuç

Hızlandırıcılarda zırhlama dü ey düzlemde zorunlu olmadı ı için kaynaktan yayınlanan ço u radyasyon (genellikle nötronlar) hızlandırıcının çatısından kaçabilir. Çatıdan kaçan nötronların dü ük enerjilileri sadece elastik saçılma yaptı ından kısa mesafelerde etkili olur. Ancak yüksek enerjili nötronların etkile me olasılıkları zayıf oldu u için uzak mesafelere ula ır. Özellikle hızlandırıcının ani radyasyon de i ikliklerinde çatıdan kaçan yüksek enerjili nötronlar geni alanlara yayılıp radyasyon kirlili ine yol açtı ı için radyolojik etkilere neden olur.

Çatıdan kaçan nötronların doz de erleri nötronların enerjisine ve çatıdan olan uzaklı a ba lıdır. Bu çalı mada Stapleton e itli i kullanılarak hızlandırıcı kayna ından farklı uzaklıklarda farklı enerjilerdeki nötronların doz e de eri hesaplandı ve hesaplama sonuçları Tablo 1'de verildi. Elde edilen sonuçlardan nötronların enerjileri arttıkça doz oranlarının arttı ı, fakat kaynaktan uzaklık arttıkça da çatıdan kaçan nötron doz e de er oranlarının uzaklı ın karesi ile ters orantılı olarak lineer bir ekilde azalma gösterdi i görüldü.

Tablo 1' de verilen de erler kullanılarak farklı enerjilerdeki nötronların uzaklı a ba lı  $(r+40)^2 H(Sv)$  de i imleri ekil 4'teki grafik ile elde edildi. Grafikteki de erler, Stapleton G. B. ile arkada ları ve Mauro E. tarafından yapılan benzer çalı malarda olu turulan grafiklerdeki de erler ile uyumluluk göstermektedir.

Tablo 1 ve ekil 4'te grafikteki de erlerden görüldü ü gibi, çatıdan kaçan nötronların belirli uzaklıklarda olu turdu u doz de erleri çok küçük de erler olmasına ra men, enerjiye ba lı olarak geni alanlarda etkili olabilmektedir. Hızlandırıcı çevresinde ya ayan halkın hızlandırıcının çatısından kaçan radyasyon dozuna hiç maruz kalmaması için dü ey düzlemde de yeterli zırhlamanın yapılması gerekir.

Çatıdan kaçan radyasyon dozunun etkileri demet zırh maddesine, zırh maddesinin kalınlı na, kaynak ile çatı arasındaki uzaklı a ve hızlandırıcının demet özelliklerine (enerji, güç, hedef) ba lı olarak de i iklik gösterdi i için, bu özellikler göz önünde bulundurularak yeterli kalınlıkta zırhlama yapılması gerekir. Yeterli kalınlıkta zırhlamanın yanı sıra hızlandırıcı toprak altına gömülü olarak in a edildi inde çatıdan kaçan radyasyon nedeniyle olu an çevresel etkiler en aza indirilmi olur. Ayrıca, çatıdan kaçan radyasyonun varlı ı ve düzeyi alan monitörleri ile algılanabilece i için hızlandırıcı çevresine alan monitörleri yerle tirilmelidir. Böylece kontrolsüz ı nlanmanın önüne geçilmi olunur.

## **5. Kaynaklar**

- [1] T.A.E.K. Radyasyon Güvenli i Yönetmeli i, 2000. kinci kısım, ikinci bölüm, madde 10-b, (RG-24/3/2000-23999).
- [2] Alsmiller, R. G., Barish, J., Childs, R. L., 1981. Skyshine At Neutron Energies ~400 MeV\* *Particle Accelerators*, II: 131-141.
- [3] Ipe, N. E., Fehrenbacher, G., Gudowska, I., Paganetti, H., Schippers, J. M., Roesler, S., Uwamino, Y., 2010. Shielding Design and Radiation Safety of Charged Particle Therapy Facilities, *PTCOG REPORT 1*, 1-459.
- [4] Bin, W. Q., Biao, W. Q., Jian, M. Z., Jiang, Z. Q., Nan, L., Min, W. J., Jian, L., Gang Z., 2010. Analysis of radiation environmental safety for China's Spallation Neutron Source (CSNS), *Chinese Physics C*, 34(7): 1029-1036.
- [5] Stapleton, G. B., O'Brien, K., Thomas, R. H., 1994. Accelerator Skyshine: Tyger, Tyger, Burning Bright *Particle Accelerators*, 44(1): 1-15.
- [6] Mauro, E., 2009. Radiation Protection Studies for CERN Linac4/SPL Accelerator Complex, Theses No 4463, Director these: Prof. Aurelio Bay, Co-director of these: Dr. Marco Silari, pp 1-199.
- [7] Nema, P. K., 2009. Radiation Safety Aspects of Particle Accelerators, Conference on Accelerator and Low Level Radiation Safety, IUAC New Delhi, pp 1-38.
- [8] Moritz L. E., 2001. Radiation Protection at Low-energy Proton Accelerators, TRIUMF, Erice, October 2-9, pp 1-31.
- [9] Thomas, R. H., 1993. Practical Aspects of Shielding High-Energy Particle Accelerators. 18th Annual Conference of the Australian Radiation Protection Society, Sydney, New South Wales, Australia, pp 1-18.

*Rahmi Küçer e-posta: rkucer@hotmail.com*

*Demet Sariyer e-posta: d.sariyer@hotmail.com*