بررسی اثر انرژی منبع پرتودهی نوترونی به منظور کاربرد در BNCT و اهداف تشخیصی

جمال امیری*، سیامک درخشان، شهین امیری

چکیده

مقدمه و هدف: از برهم‌کنش نوترون‌ها با عناصر سبک در فعال‌سازی نوترونی (NAA)، نوترون تراپی (BNCT) و... استفاده می‌شود. جهت استفاده بهینه از نوترون‌ها، باید طیف انرژی آنها را متناسب اهداف کاربردی شکل‌دهی نمود. هنگامیکه نوترون‌تراپی انجام می‌شود، عناصر سبکی که در محل درمان قرار دارند فعال شده و پرتو گامای آنی حاصل، برای هر یک از عناصر دارای مقدار مشخصی می‌باشد که با استفاده از آن مقدار کمی عنصر در محل قابل اندازه‌گیری است. در این مقاله، اثر طیف انرژی بر روی فعال‌سازی نوترونی که در نوترون تراپی استفاده می‌شود مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روشها: از نرم‌افزار MCNP جهت شبیه‌سازی استفاده شد. ابتدا انواع طیف‌های نوترونی موجود مانند نوترون‌ژنراتور (۱۴MeV) و طیف حاصل از راکتور و چشمه‌های ایزوتوپی بررسی شدند. طیف حاصل از این چشمه‌ها با استفاده نرم‌افزارMCNP شبیه‌سازی شد. با توجه به قابلیت این نرم‌افزار در ترابرد نوترون و سایر ذرات و اندازه‌گیری شار گامای حاصل از آنها، بهینه‌ترین طیف انرژی نوترونی که بهترین طیف گاما برای شناسایی عناصر ئیدروژن، کربن، اکسیژن و ... داشته باشد معرفی گردید.

یافته‌ها: بهترین طیف انرژی جهت شناسایی عناصر سبک در محدوده انرژی BNCT، (۱-۱۰KeV) طیف انرژی است که دارای نوترون‌های حرارتی و کند بیشتر و تند کمتر (طیف شبیه ماکسولی) می‌باشد. ئیدروژن سطح مقطع خوبی برای برهمکنش با نوترون‌های حرارتی دارد. اکسیژن و کربن دارای سطح مقطع خوبی با نوترون‌های تند می‌باشد. استفاده از منبع نوترونی ۱۴MeV مربوط به نوترون‌ژنراتور، پیک انرژی ئیدروژن نسبت به زمانی که از منبع با طیف انرژی شبیه ماکسولی استفاده می‌شود پایین‌تر و پیک اکسیژن و کربن بالاتر است.

نتیجه‌گیری: پس برای اهداف درمانی، آشکارسازی و تحلیل عناصر سبک طیف شبیه ماکسولی(راکتور یا چشمه‌های ایزوتوپی) بهره خروجی بهتر می‌باشند ولی اگر نسبت اکسیژن به کربن سنجیده شود از منبع تک‌انرژی MeV ۱۴ استفاده شود بهره بهتر می‌باشد.

کلید واژه‌ها: انرژی منبع پرتودهی، کندساز مناسب، طیف انرژی نوترون

جمال امیری*
مربی ،گروه رادیوتراپی و پزشکی هسته‌ای، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران (نویسنده مسئول)amirijamal123@yahoo.cm

دکتر سیامک درخشان
استادیار،گروه رادیوتراپی و پزشکی هسته‌ای، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج،ایران

شهین امیری
گروه زیست شناسی، اداره آموزش و پرورش ایوان، ایلام، ایران

دریافت: ۹۵/۱/۲۰
پذیرش: ۹۵/۶/۱۶

[Downloaded from sjnmp.muk.ac.ir on 2025-07-02]

مقدمه

نوترون‌تراپی بوسیله گیراندزی نوترون با بور ^{10}B (BNCT[1]) یکی از روش‌های درمانی برای تومورهای مغزی و کبدی می‌باشد. بور ^{10}B سطح مقطع خوبی برای برهمکنش با نوترون دارد چون تجمع بور در بدن و در تومورها زیاد نیست بنابراین بور را با استفاده از تزریق به محل تومور تقویت می‌کنند و بور توسط سلول سرطانی جذب می‌شود و در ساختمان بافت تومور قرار می‌گیرد سپس با بمباران تومور توسط نوترون، ایزوتوب بور ^{10}B طی فرآیند $^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$ ذره آلفا تولید می‌نماید و ذرات آلفای تولیدی باعث از بین رفتن تومور می‌شوند. ذره آلفا به دلیل داشتن بار و جرم زیاد به هنگام گسیل به بافتهای مجاور خود را از بین خواهد برد (۷- ۱). نوترون‌ها معمولاً از سه منبع رآکتورهای اتمی، چشمه‌های ایزوتوپی و شتابدهنده‌ها تولید می‌شوند. نوترون‌ها در رآکتور در نتیجه فرآیند شکافت تولید می‌شود و دارای طیف گسترده و شار مناسب انرژی جهت درمان در BNCT می‌باشد (۱۰- ۸). نوترون‌ها در ابتدا به صورت نوترون‌های سریع تولید می‌شوند و توسط کندسازها انرژیی آنها تقلیل می‌یابد.طیف نوترونی حاصل از چشمه‌های مختلف در پژوهش‌های فراوانی که در این زمینه انجام شده است شکل‌دهی شده تا به حد انرژی مطلوب مورد استفاده در BNCT محدوده (۱۰KeV-۱)رسیده است. برای کندسازی نوترون‌ها از کندسازهای مختلف مانند پارافین، آب، کربن و سایر ترکیبات پلیمری استفاده می‌شود (۱۶- ۱۰). تحلیل کمی و کیفی عناصر سبک مانند ئیدروژن، اکسیژن و کربن به روش فعال‌سازی نوترونی (NAA[2]) انجام می‌شود و در روش فعال‌سازی نوترونی، نوترون توسط هسته ماده هدف جذب می‌شود و یک پرتو گاما آنی(PGNAA[3]) از هسته حاصل می‌شود، پرتو گاما دارای مقدار مشخصی برای عناصر مختلف است مثلاً در اثر جذب نوترون توسط هسته ئیدروژن گامای آنی با انرژی ۲/۲MeV تابش می‌نماید. (۲۰- ۱۶). در این مطالعه با توجه به اینکه طیف انرژی مورد استفاده در نوترون‌تراپی بوسیله گیراندزی نوترون با بور BNCT توانایی فعال‌سازی عناصر سبک بافت را دارد شکل طیف منابع انرژی پرتودهی مورد مطالعه قرار گرفته است و بهترین طیف انرژی شکل‌دهی شده منبع که بهترین خروجی را داشته باشد معرفی گردیده است.

مواد و روشها

در این پژوهش، از نرم‌افزار MCNP4C جهت شبیه‌ساز استفاده شده است. این نرم‌افزار توانایی ترابرد نوترون،فوتون و الکترون را دارد و بعد از برهمکنش ذره با ماده توانایی اندازه‌گیری شار نوترون، شار فوتون و . . . را روی سطح مختلف و یا در حجم‌های متفاوت و همچنین قابلیت نمایش طیف انرژی برهمکنش را دارد. سپس منابع انرژی پرتودهی رآکتور، منابع ایزوتوپی و نوترون‌ژنراتور مورد مطالعه قرار گرفتند و طیف انرژی پرتودهی این منابع با استفاده قابلیت این نرم‌افزار طراحی شد. با استفاده از کندسازهای مختلف طیف انرژی شکل‌دهی شد. طیف‌های انرژی مختلفی با استفاده از کندسازهای مختلف بدست آمد و از میان این طیف‌ها دو طیف انرژی، یکی طیف نوترونی، که دارای نوترون حرارتی بیشتری است و شکل طیف انرژی آن در شکل (۱) داده شده است و دیگری طیف انرژی نوترون‌ژنراتور ۱۴ MeV که طیف انرژی آن در

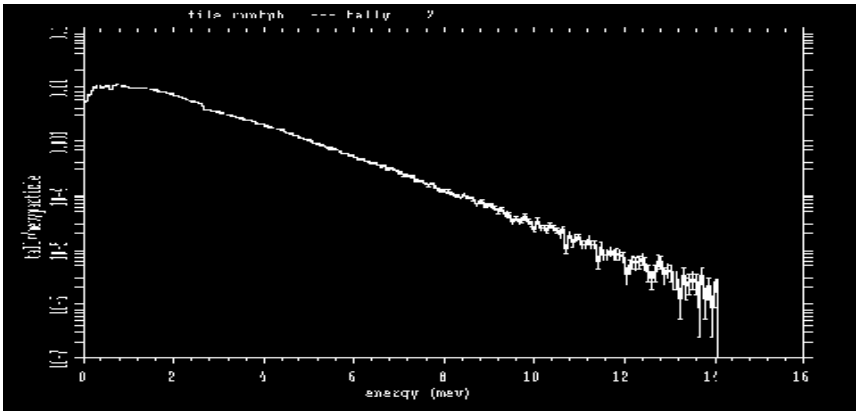
1- Boron neutron capture therapy

2- Neutron activation analysis

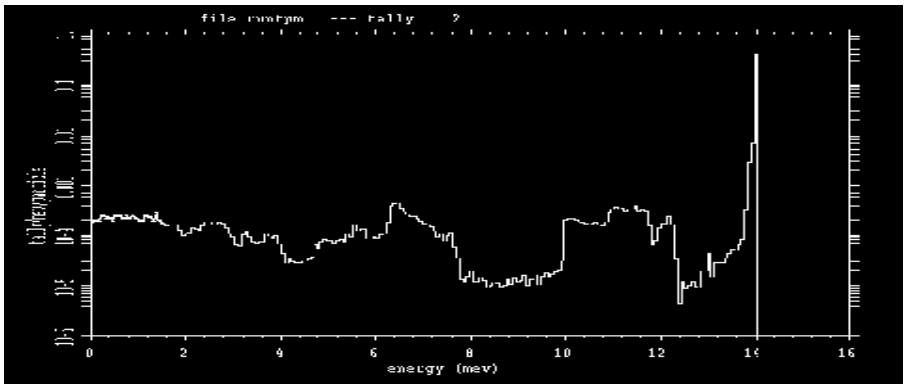
3- Prompt gamma neutron activation analysis

[Downloaded from sjnmp.muk.ac.ir on 2025-07-02]

شکل (۲) آورده شده است، دارای ویژگی‌های برجسته‌ای در برهمکنش با هسته ئیدروژن، اکسیژن و کربن هستند؛ جهت تحلیل استفاده شدند.



شکل (۱): طیف انرژی که دارای نوترون‌های حرارتی بیشتری استفاده شده است

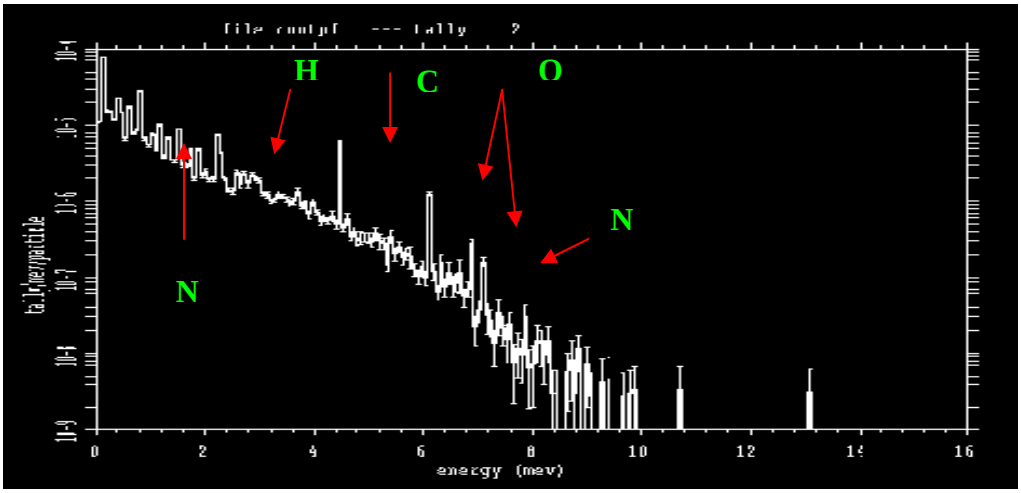


شکل(۲): طیف انرژی نوترون‌ژنراتور MeV ۱۴ که دارای نوترون‌های تند بیشتری است

یافته‌ها

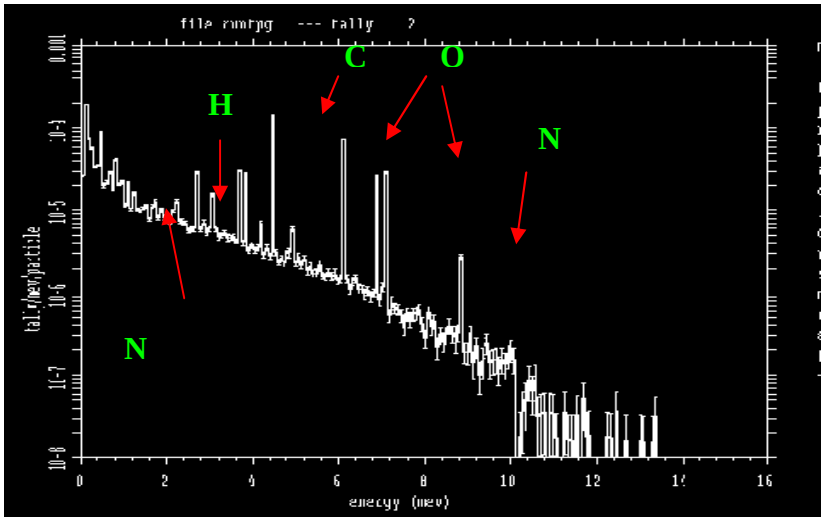
با استفاده از اعمال طیف انرژی نوترونی شکل (۱) که دارای نوترون‌های حرارتی بیشتری است در برهم‌کنش این طیف به فانتوم عناصر سبک شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شار فوتونی بدست آمده روی سطح دتکتورها با استفاده از تالی F_8، طیف انرژی فوتونی گاما مطابق شکل (۳) حاصل می‌گردد. در این طیف انرژی فوتونی گاما پیک انرژی مربوط به ئیدروژن، اکسیژن، کربن و نیتروژن به طور واضح دیده می‌شود. مثلاً انرژی گامای ناشی از فعال‌سازی ئیدروژن ۲/۲MeV و انرژی گامای ناشی از کربن MeV ۴/۴ می‌باشد.

[Downloaded from sjnmp.muk.ac.ir on 2025-07-02]



شکل (۳): طیف انرژی گامای حاصل از فعال‌سازی با منبع طیف شبیه ماکسولی(رآکتور)

اگر از طیف انرژی منبع پرتودهی نوترون‌ژنراتور MeV ۱۴ طیفی مانند شکل (۳) استفاده شود طیف گامای حاصل به صورت شکل (۴) است و این نمودار با استفاده از تالی F_8 روی سطح دتکتورها بدست آمده است.



شکل (۴): طیف انرژی گامای حاصل از فعال‌سازی بامنبع نوترون ژنراتور

بحث و نتیجه‌گیری

با استفاده از کندسازهای مختلف می‌توان طیف انرژی نوترون‌ها را شکل‌دهی کرد و به انرژی مناسب جهت برهم‌کنش با عناصر مختلف رساند (۱۲-۱). در این پژوهش، طیف انرژی نوترونی مورد استفاده در BNCT که محدوه انرژی آن (۱۰KeV – ۱) می‌باشد چنانچه از طیف انرژی شامل نوترون‌های فوق‌حرارتی، حرارتی، کند و تند باشند به دلیل اینکه ئیدروژن دارای سطح مقطع خوبی با نوترون‌های کند می‌باشد و پیک مربوط به عنصر ئیدروژن با انرژی گامای ۲/۲KeV

[Downloaded from sjnmp.muk.ac.ir on 2025-07-02]

مناسب است همچنین در این طیف پیک انرژی گامای عناصر اکسیژن و کربن هم به دلیل برهم‌کنش با نوتون‌های سریع هم دارای پیک انرژی مناسب هستند و طیف انرژی شکل (۳) که دارای یک پیک در ناحیه نوتروتون‌های حرارتی و کند است بهترین طیف انرژی نوترونی جهت BNCT می‌باشد. چنانچه از منبع انرژی نوترونی سریع مانند نوترون ژنراتور (۱۴ MeV) استفاده شود به دلیل اینکه اکسیژن و کربن دارای سطح مقطع برخورد بالایی با نوترون‌های تند هستند اگرچه پیک انرژی گامای بالاتری دارند؛ اما این طیف به دلیل اینکه هرچه هم از کندسازهای مناسب و بهینه شده استفاده شود، باز هم دارای نوتون‌های سریع (۱۴ MeV) در طیف خود خواهند بود و این باعث آلودگی و افزایش دز بیشتر به بیمار خواهد شد. اگر چنانچه در مطالعه یا تحلیلی نیاز باشد نسبت میزان کربن به اکسیژن (C/O) سنجیده شود، استفاده از طیف نوترونی سریع نوترون ژنراتور مناسب‌تر خواهد بود.

References

1. Roger H, Jacek C, Annika M . Boron neutron capture therapy (BNCT) for glioblastoma multiform. Radiotherapy and Oncology 2008; 88: 183-191.
2. Kotiluoto P, Auterinen I. MCNP study for epithermal neutron irradiation of an isolated liver at the Finnish BNCT facility. Applied Radiation and Isotopes 2004; 61: 781-785.
3. Sadat Rasouli F, Masoudi SF. Simulation of the BNCT of Brain Tumors Using MCNP Code: Beam Designing and Dose valuation. Iranian Journal of Medical Physics 2012; 9(3): 183-192.
4. Capoulat ME, Herrera MS, Minsky DM. B-based neutron sources for BNCT. Applied Radiation and Isotopes 2014; 88: 190-194.
5. Kageji T , Mizobuchi Y, Nagahiro S, Nakagawa Y. Clinical results of boron neutron capture therapy (BNCT) for glioblastoma. Applied Radiation and Isotopes 2011; 69: 1823-1825.
6. Yamamotoa T, Matsumura A, Nakaia K, Shibata Y, Endo K. Current clinical results of the Tsukuba BNCT trial. Applied Radiation and Isotopes 2004; 61: 1089–1093.
7. Yoshinobu N, Teruyoshi K, Yoshifumi M. Clinical results of BNCT for malignant brain tumors in children. Applied Radiation and Isotopes 2009; 67: S27-S30.
8. Koivunoroa K, Bleuela DL, Nastasib U, Loua TP, Reijonena J, Leung KN. BNCT dose distribution in liver with epithermal D–D and D–T fusion-based neutron beams. Applied Radiation and Isotopes 2004; 61: 853-859.
9. Belousov S, Mitev M, Ilieva K, Riley K, Harling H, IRT-Sofia BNCT beam tube optimization study. Applied Radiation and Isotopes 2011; 69: 1936-1939.
10. Kasesaz Y, Khalafi H, Rahmani F, Ezati A . A feasibility study of the Tehran research reactor as a neutron source for BNCT. Applied Radiation and Isotopes 2014; 96: 132-137.
11. Burlon AA, Girola S, Valda AA, Minsky DM, Kreiner AJ. Design of a beam shaping assembly and preliminary modelling of a treatment room for accelerator-based BNCT at CNEA. Applied Radiation and Isotopes 2011; 69 :1688-1691.
12. Burlona AA, Kreinera,AJ, Valdaa AA, Minsky DM. An optimized neutron-beam shaping assembly for accelerator-based BNCT. Applied Radiation and Isotopes 2004; 61: 811-815.
13. Herrera MS, González GH, Minsky DM, Kreiner AJ. Evaluation of performance of an accelerator-based BNCT facility for the treatment of different tumor targets. Physica Medica 2013; 1: 1-11.
14. Koivunoroa H, Bleuela DL, Nastasib U, Loua TP, Reijonena J. BNCT dose distribution in liver with epithermal D–D and D–T fusion-based neutron beams. Applied Radiation and Isotopes 2004; 61: 853-859.

[Downloaded from sjnmp.muk.ac.ir on 2025-07-02]

15. Savolainen S, Kortesniemi M, Timonen M, Reijonen V, Kuusela L. Boron neutron capture therapy (BNCT) in Finland: Technological and physical prospects after 20 years. Physica Medica 2013; 29: 233-248.
16. El moussaoui F, El bardouni T, Azahra M, Kamili A, Boukhal H. Monte Carlo calculation for the development of a BNCT neutron source (1 eV–10KeV) using MCNP code. Cancer/ Radiotherapies 2008; 12: 360-364.
17. denas JR, Sergio G. Estimation of the activity generated by neutron activation in control rods of a BWR. Applied Radiation and Isotopes 2010; 69: 905-908.
18. Yican W, Jing S, Huaqing Z, Guangyao S, Lijuan H. CAD-based Monte Carlo program for integrated simulation of nuclear system Super MC. Annals of Nuclear Energy 2014; 5: 1-8.
19. Pejovic A, Arnold ML, McNeill FE. Monte Carlo design study for in vivo bone aluminum measurement using a low energy accelerator beam. Applied Radiation and Isotopes 2000; 21: 657-664.
20. Shtejer-Diaza Z, Zambonib CB, Zahnb GS. Determination of neutron flux distribution in an Am–Be irradiator using the MCNP. Applied Radiation and Isotopes 2003; 59: 263-266.

[Downloaded from sjnmp.muk.ac.ir on 2025-07-02]

Investigate effect of neutron energy source for BNCT and digesting applications

Amiri j*, Derakhshan S, Amiri Sh

Abstract

Introduction and Aim: the interaction of neutrons with light elements is used in neutron activation (NAA), neutron therapy (BNCT) and etc. in order to use the neutrons optimally, their energy spectrum has to be tailored to their practical purposes. When doing neutron therapy, the light elements which are located in the treatment site are activated and the instantaneous gamma ray has a specific value for each element using which the quantity of the lement is measured in the site. In this study, the effect of energy spectrum on the activation of neutron which is used in neutron therapy was studied.

Material and method: MCNP softwere was used to simulate. First, all if the neutron spectra, such as neutron generator (MeV14) and the spectrum of the reactor and isotope sources were evaluated. The resulted spectrums of these sources were simulated by MCNP software. Considering the ability of this software in the transport of nwutrons and ogher particles and gamma flux measurements derived from them, the most optimal neutron energy spectrum of gamma for identifying htdrogen, carbon, and oxyeen elements was introduced.

Findings: the best spectrum of energy in order to identify the light elements in the energy range of BNCT (KeV10-1) is a spectrum of energy which has thermal neutrons (similar to Maxwell spectrum).Hydrogen has a good cross section for interaction with thermal neutrons. Oxygen and carbon has a good cross section with swift neutrons. By using neutron source MeV14 the neutron generator, hydrogen energe peak is less than when the source energy spectrum is similar to Maxwell and has higher oxyen and carbon peak.

Conclusion: Therfore, there is better output for therapeutic purposes, detection and analysis of light lelments like Maxwell (reactor or isotope sources). However, if the ratio of oxygen to carbon is measured and the mono energy sourse MeV14 be used, there is a better output.

Kay words: Energy of source of exposure, suitable moderator, the neutron energy spectrum

Amiri J*
Department of radiotherapy, faculty of paramedical sciences, Kurdistan university of medical sciences, Sanandaj, Iran
Corresponding Author
amirijamal123@yahoo.cm

Derakhshan S,
Department of radiotherapy, faculty of paramedical sciences, Kurdistan university of medical sciences, Sanandaj, Iran

Amiri Sh
Department of Biology
Department of Education
Iivan. Ilam, Iran.

[Downloaded from sjnmp.muk.ac.ir on 2025-07-02]