



ارزیابی اثر تخت درمان در محاسبات دزیمتری سیستم طراحی درمان TiGRT

توکلی، محبوبه^(۱) - جباری، ایرج*^(۱) - منادی، شهرام^(۲)

^۱دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، گروه مهندسی هسته‌ای

^۲بیمارستان سیدالشهدا (اصفهان)، بخش پرتودرمانی

چکیده:

در پرتودرمانی خارجی، معمولاً از چندین میدان تابشی برای رسیدن به توزیع دز بهینه استفاده می‌شود. از این رو در برخی زوایا، تخت درمان در مسیر باریکه تابشی قرار می‌گیرد. در اغلب نرم‌افزارهای طراحی درمان، اثر تخت واقع در مسیر پرتو، بر روی توزیع دز بیمار لحاظ نمی‌شود. در این مطالعه، با استفاده از کد MCNPX ابتدا سر درمانی شتاب‌دهنده Siemens-Oncor برای فوتون‌های 6 MV شبیه‌سازی و اعتبارسنجی شد. در گام بعد، تصاویر CT چند بیمار با استفاده از برنامه CT2MCNP به فرمت کد MCNP تبدیل شد و توزیع دز با و بدون حضور تخت، محاسبه و نتایج با سیستم طراحی درمان TiGRT بر اساس شاخص گاما مقایسه شدند. نتایج نشان داد که دز پوست به خصوص در برخی میدان‌ها افزایش قابل توجهی دارد ولی حضور تخت در توزیع دز تأثیر چشم‌گیری ندارد.

کلمات کلیدی: تخت درمان، کد شبیه‌سازی MCNPX، سیستم طراحی درمان TiGRT، شاخص گاما.

Evaluation of the effects of treatment couch in the dosimetric calculations of the TiGRT treatment planning system

Tavakoli, Mahboobeh¹; Jabbari, Iraj*¹; Monadi, Shahram²

¹University of Isfahan, Faculty of Advanced Sciences & Technologies, Department of Nuclear Engineering

² Seyyed Al-Shohada Hospital (Isfahan), Radiation Therapy Department

Abstract:

In external radiation therapy, usually several radiation fields are used to achieve the optimal dose distribution. Hence, at some angles, the treatment couch is placed on the path of the radiation beam. In most of treatment planning systems, the effect of the treatment couch does not considered in the dose distribution calculation. In this study, the Siemens-Oncor linac head was simulated and validated for 6 MV photons by using of the MCNPX code. In the next step, CT images of several patients were converted to MCNP code format by using the CT2MCNP program and the dose distributions with and without couch were calculated and the results were compared with those of the TiGRT treatment planning system based on gamma index. The results showed that skin dose, especially in some fields, has a significant increase. But considering the treatment couch in the calculation has not a significant effect on the dose distributions.

Keywords: Treatment Couch, MCNPX simulation code, TiGRT Treatment Planning System, Gamma Index.



مقدمه:

طبق گزارش کمیسیون بین‌المللی واحدها و اندازه‌گیری‌های تابش (ICRU)؛ ۵٪ عدم قطعیت در کل فرایند پرتودرمانی مجاز است [۱]. محدودیت‌های ابزاری، ناگزیر دقت قابل دستیابی در هر مرحله از درمان را محدود می‌کنند. این عدم دقت می‌تواند ناشی از وجود ناهمگنی‌ها، حرکت بیمار حین درمان، حرکت اندام‌های داخلی، دقت الگوریتم سیستم طراحی درمان و همچنین اجرای درمان و موقعیت‌دهی به بیمار باشد. علاوه بر این، در اغلب سیستم‌های طراحی درمان، اثر تخت بر روی توزیع دز بیمار در نظر گرفته نمی‌شود، حال آن‌که تحقیقات نشان داده است که حضور تخت در مسیر باریکه تابشی، سبب افزایش دز پوست و کاهش دز ناحیه تومورال می‌شود. به همین دلیل، تأثیر تخت در میزان خطای این نرم‌افزارها باید مورد بررسی قرار گیرد تا دز لازم با دقت بالایی به بیمار تحویل داده شود [۲]. ماینِت^۱ و همکارانش نشان دادند تخت فیبر کربنی، بسته به انرژی، ابعاد میدان و هندسه می‌تواند دز محلی را از ۴٪ تا ۱۶٪ کاهش دهد که بیشترین تضعیف برای اندازه میدان کوچک‌تر و انرژی پایین‌تر می‌باشد. همچنین نشان دادند که با احتساب تخت در سیستم طراحی درمان تجاری Theraplan Plus v3.8، خطای دز به کم‌تر از ۱/۴٪ کاهش می‌یابد [۳]. میدانسی^۲ و همکارانش، دریافتند که یک تخت فیبر کربنی برای میدان‌های کوچک (کمتر از $5 \times 5 \text{ cm}^2$) دز سطحی را از ۷/۵٪ به ۶۳٪ و از ۴٪ به ۴۳٪ به ترتیب در انرژی‌های ۶ و ۱۸ مگاولت، افزایش می‌دهد. این افزایش، برای میدان‌های 10×10 و 40×40 سانتی‌متر مربع به ترتیب تقریباً ۵ و ۲ برابر بود. حضور تخت، بسته به زاویه گانتری، در انرژی 6 MV ، دز ایزوستتر را بین ۳٪ تا ۵/۶٪ کاهش می‌دهد [۴]. بررسی انچه^۳ و همکارانش نشان داد که تضعیف فوتون 6 MV توسط تخت BrainLAB از ۴/۹٪ (در زاویه 180°) به ۱۰٪ (در زاویه 120°) برای اندازه میدان $5 \times 5 \text{ cm}^2$ و از ۳/۴٪ (در زاویه 180°) به ۸/۳٪ (در زاویه 120°) برای اندازه میدان $10 \times 10 \text{ cm}^2$ افزایش یافته است [۵]. شیخو^۴ و همکارانش، با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو به بررسی اثرات تخت فیبر کربنی 550 TXT به کار رفته در شتاب‌دهنده Siemens Primus Plus در انرژی 6 MV پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که در حضور تخت فیبر کربنی (تحت زاویه 180°)، دز پوست برای میدان‌های 5×5 ، 10×10 و 20×20 سانتی‌متر مربع به ترتیب حدود ۷، ۵ و ۳ برابر افزایش می‌یابد. حداکثر تغییر ضریب تضعیف در اثر عبور پرتو از تخت، برای میدان $10 \times 10 \text{ cm}^2$ حدود ۵٪ و برای $5 \times 5 \text{ cm}^2$ ، تا بیش از ۱۸٪ افزایش می‌یابد [۶]. در این پژوهش علاوه بر بررسی اثر تخت بر دز پوست، تأثیر آن بر توزیع دز و شاخص گاما نیز بررسی شده است تا ارزیابی از اثر تخت در درمان‌هایی همچون IMRT که ممکن است تخت در مسیر یک یا چند میدان قرار گیرد، حاصل شود. زیرا در درمان IMRT توزیع دز از طریق شاخص گاما ارزیابی می‌شود.

International Commission on Radiation Units and Measurement^۱

Myint^۲

Meydanci^۳

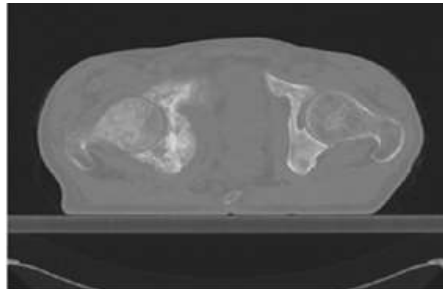
Njeh^۴

Sheykhoo^۵

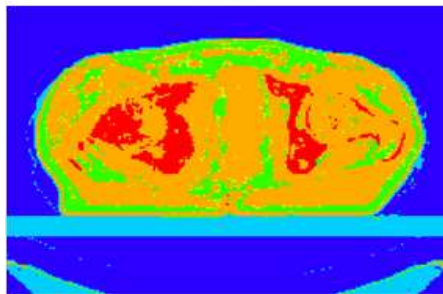


روش کار:

ابتدا با استفاده از کد MCNPX و اطلاعات ارائه شده توسط شرکت زیمنس، سر درمانی شتاب‌دهنده خطی Oncor در انرژی 6 MV، مطابق شکل ۱ شبیه‌سازی شد. چگالی و جنس اجزای شتاب‌دهنده در جدول ۱ گزارش شده است. برای اعتبارسنجی شبیه‌سازی سر دستگاه، درصد دز عمقی و پروفایل‌های دز در یک فانتوم آب با ابعاد $50 \times 50 \times 50 \text{ cm}^3$ در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری از منبع، با استفاده از مش تالی نوع ۳ محاسبه و نتایج با داده‌های تجربی مقایسه شدند. اندازه‌گیری‌های تجربی، در بیمارستان میلاد اصفهان با استفاده از آشکارساز اتاقک یونش مدل PTW 31010 semiflex با شعاع ۲/۷۵ mm انجام شد. در این تحقیق، تمامی محاسبات با استفاده از نسخه موازی کد MCNPX-2.7 بر روی یک کلاستر ۳۲۰ هسته‌ای تحت لینوکس انجام شد. برای کاهش خطای محاسبات علاوه بر پردازش موازی، از روش‌های کاهش واریانس تکثیر/رولت روسی و قطع انرژی استفاده شد. انرژی قطع برای الکترون و فوتون به ترتیب ۱۰۰ keV و ۱۰ keV انتخاب شد. در تمامی محاسبات با توجه به روش‌های کاهش واریانس استفاده شده و شبیه‌سازی ۲/۵ میلیارد ذره، خطای نسبی محاسبات کم‌تر از ۱٪ بوده است. به منظور محاسبه دز، تصاویر CT بیماران و تخت درمان، تهیه و از برنامه CT2MCNP که براساس نرم‌افزار متلب نوشته شده است، برای تبدیل این تصاویر به ورودی کد MCNPX استفاده شد. در نرم‌افزار CT2MCNP، داده‌های مربوط به اجزای مختلف بدن، بر مبنای CT number و از داده‌های فانتوم MIRD گزارش شده توسط ORNL^۱ استفاده شده است. در شکل ۲، تصویر شبیه‌سازی شده یک برش سی‌تی نشان داده شده است. در مرحله بعد، هندسه فانتوم، سر شتاب‌دهنده و تخت درمان در ورودی کد MCNP اضافه و سلول‌های تخت سی‌تی حذف گردید. همچنین از مش تالی نوع ۳ با رزولوشن 256×256 برای محاسبه توزیع دز استفاده شد. برای تصحیح ترابرد الکترون‌ها در کد MCNPX، پارامتر شماره ۱۸ کارت DBCN در ورودی کد MCNPX از عدد صفر به عدد ۱ تغییر داده شد [۷]. توزیع دزها با و بدون حضور تخت در مسیر بیم تابشی، محاسبه و با نتایج حاصل از سیستم طراحی درمان TiGRT مقایسه شد. برای مقایسه توزیع دزها و تعیین شاخص گاما، از نرم‌افزار MapCheck2 استفاده شد. لذا یک برنامه تحت متلب نوشته شد تا داده‌های شبیه‌سازی را به فرمت قابل پذیرش نرم‌افزار MapCheck2 تبدیل کند. همچنین با توجه به رزولوشن مش تالی مورد استفاده، دز پوست در عمق ۰/۸ میلی‌متر تعیین و مقایسه شد.

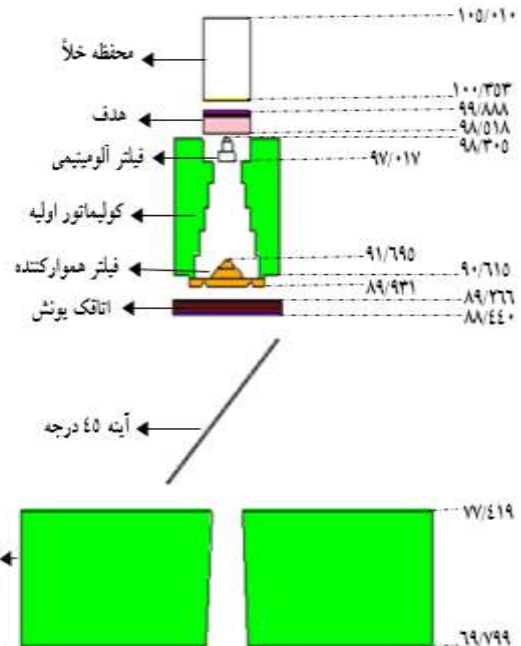


(الف)



(ب)

شکل ۲. الف) تصویر یک برش CT در ناحیه لگن،
ب) تصویر این برش در کد MCNPX



شکل ۱. نمای دوبعدی از هندسه شبیه‌سازی شده سر شتاب‌دهنده
Oncor در انرژی ۶ MV

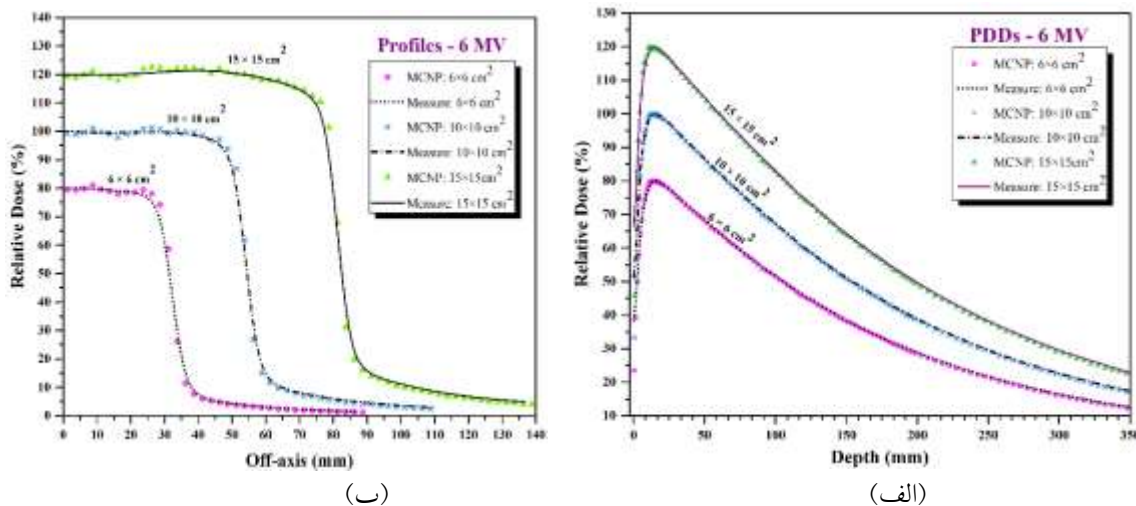
جدول ۱. چگالی و جنس اجزای شتاب‌دهنده زمینس مدل Oncor

جنس و چگالی (g/cm^3)	اجزا	جنس و چگالی (g/cm^3)	اجزا
تنگستن: ۱۹/۲۵	کولیماتور اولیه و ثانویه	دو لایه تیتانیوم: ۴/۵۰۶	محافظه خلأ
آلمینیوم: ۲/۷۳	فیلتر آلومینیومی	یک لایه آب: ۱	
استیل ضد زنگ: ۷/۹۱۶	فیلتر هموارکننده	دو لایه استیل ضد زنگ: ۷/۹۱۶	هدف
استیل ضد زنگ: ۷/۹۱۶	پایه‌ی فیلتر هموارکننده	تنگستن: ۱۹/۲۵	
سرامیک: ۴	آشکارساز اتاقک یونش	مس: ۸/۹۴	
نیتروژن: ۰/۰۰۱۲۵۱		دو لایه نیکورو: ۱۰/۹	
شیشه: ۲/۱۹۶	آینه ۴۵ درجه	گرافیت: ۲/۱	



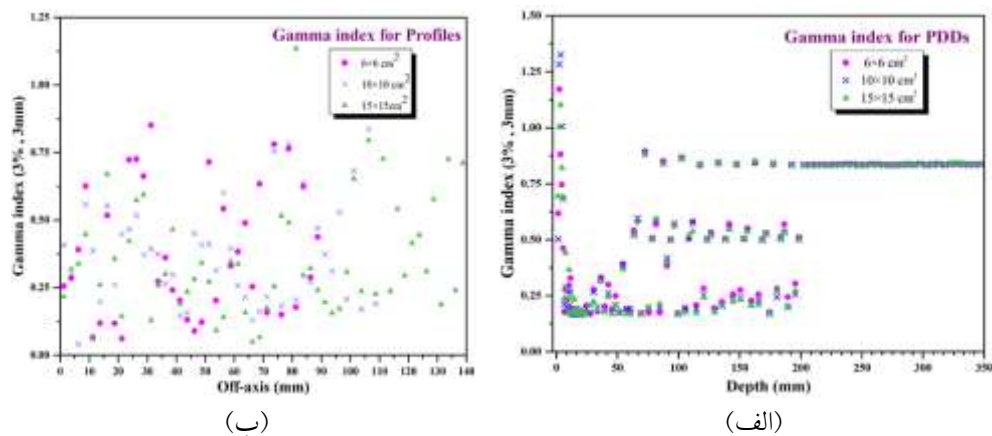
نتایج:

در شکل ۳ منحنی‌های درصد دز عمقی و پروفایل دز فوتون با انرژی ۶ MV حاصل از اندازه‌گیری‌های تجربی و محاسبات شبیه‌سازی، در میدان‌های تابشی ۶×۶، ۱۰×۱۰ و ۱۵×۱۵ سانتی‌متر مربع نشان داده شده است.



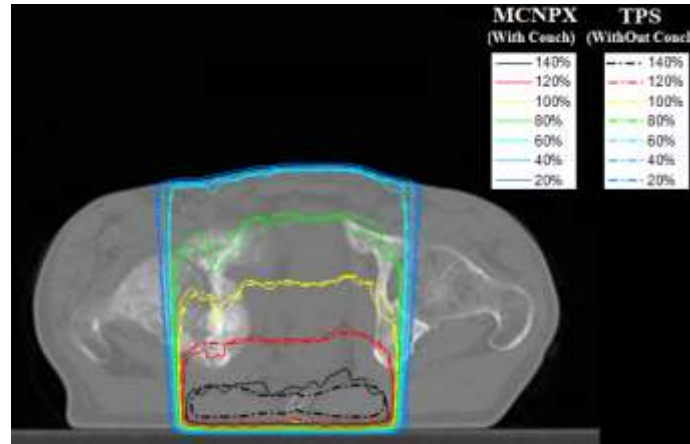
شکل ۳. منحنی‌های الف) درصد دز عمقی نرمال شده به ماکزیمم دز، ب) پروفایل دز نرمال شده به نقطه روی محور مرکزی پرتو برای میدان‌های مختلف در انرژی نامی ۶ MV (برای تفکیک منحنی‌ها، مقادیر میدان‌های ۶×۶، ۱۰×۱۰، ۱۵×۱۵ به ترتیب در ۰/۸، ۱، ۱/۲ ضرب شده‌اند)

مطابق شکل ۴ منحنی‌های محاسباتی به خوبی با مقادیر تجربی توافق داشت تا جایی که شاخص گاما با معیار اختلاف دز ۳٪ و فاصله تا توافق ۳ mm برای ۹۸ درصد نقاط قابل قبول بود.



شکل ۴. شاخص گاما برای الف) منحنی‌های درصد دز عمقی ب) پروفایل‌های دز

توزیع دزهای حاصل از شبیه‌سازی با حضور تخت و سیستم طراحی درمان TiGRT (بدون در نظر گرفتن تخت) بر روی تصویر سی تی بیمار، در اندازه میدان $15 \times 15 \text{ cm}^2$ تحت زاویه 180° ، در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. توزیع دزهای حاصل از سیستم طراحی درمان TiGRT و شبیه‌سازی مونت کارلو در حضور تخت در ناحیه لگن (تابش نرمال خلفی در میدان $15 \times 15 \text{ cm}^2$ با شتاب‌دهنده زیمنس مدل Oncor با انرژی ۶ MV)

نتایج حاصل از مقایسه توزیع‌های نسبی دز دو بعدی حاصل از شبیه‌سازی (در دو حالت با و بدون حضور تخت) و سیستم طراحی درمان TiGRT برای دو بیمار در نواحی همگن و ناهمگن تحت تابش انرژی ۶ MV در زاویه 180° و میدان‌های مختلف، در جدول ۲ گزارش شده است. این مقایسه توسط نرم‌افزار MapCheck2 و بر اساس شاخص گاما $3 \text{ mm} / 3\%$ انجام شده است. میزان افزایش دز پوست و درصد تضعیف نیز به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ گزارش شده است.

جدول ۲. درصد توافق توزیع دز نرمال شده به دز ایزوستر حاصل از شبیه‌سازی مونت کارلو (با و بدون حضور تخت) و سیستم طراحی درمان TiGRT تحت درمان با فوتون ۶ MV در زاویه 180° و در سه میدان

درصد توافق بر اساس شاخص گاما (۳/۳) و ۳ mm		ابعاد میدان	
ناحیه شکم	ناحیه لگن		
٪ ۹۸/۸	٪ ۹۹/۶	بدون تخت	$6 \times 6 \text{ cm}^2$
٪ ۹۳/۳	٪ ۹۵/۱	با تخت	
٪ ۹۵/۰	٪ ۹۷/۵	بدون تخت	$10 \times 10 \text{ cm}^2$
٪ ۸۸/۵	٪ ۹۳/۷	با تخت	
٪ ۸۹/۶	٪ ۹۱/۴	بدون تخت	$15 \times 15 \text{ cm}^2$
٪ ۸۳/۱	٪ ۸۷/۰	با تخت	



جدول ۳. درصد دز پوست محاسبه شده توسط شبیه‌سازی MCNPX با و بدون در نظر گرفتن تخت تحت درمان با فوتون 6 MV در زاویه 180° و در سه میدان

میزان افزایش دز پوست (%)	درصد دز پوست نسبت به ماکزیمم دز در ناحیه لگن		میزان افزایش دز پوست (%)	درصد دز پوست نسبت به ماکزیمم دز در ناحیه شکم		ابعاد میدان
	بدون تخت	با تخت		بدون تخت	با تخت	
۸۰	٪ ۴۶/۷۲	٪ ۸۴/۲۳	۱۱۱	٪ ۳۶/۳۷	٪ ۷۶/۸۹	$6 \times 6\text{ cm}^2$
۸۰	٪ ۴۷/۵۷	٪ ۸۴/۱۶	۱۱۵	٪ ۳۸/۵۴	٪ ۸۲/۹۰	$10 \times 10\text{ cm}^2$
۵۸	٪ ۵۶/۲۹	٪ ۸۸/۹۸	۹۱	٪ ۴۳/۳۱	٪ ۸۲/۵۶	$15 \times 15\text{ cm}^2$

جدول ۴. درصد تضعیف محاسبه شده توسط شبیه‌سازی مونت کارلو

در ایزوستتر در اثر عبور پرتو از تخت فیبر کربنی

درصد تضعیف در ایزوستتر		ابعاد میدان
ناحیه لگن	ناحیه شکم	
٪ ۳/۰۸	٪ ۳/۳۲	$6 \times 6\text{ cm}^2$
٪ ۲/۱۲	٪ ۲/۸۴	$10 \times 10\text{ cm}^2$
٪ ۱/۷۹	٪ ۲/۶۶	$15 \times 15\text{ cm}^2$

بحث و نتیجه گیری:

بر اساس بررسی انجام شده، در پرتودهی خلفی، تخت درمان همانند یک ماده بلوس رفتار می‌کند و باعث افزایش دز در نواحی کم‌عمق می‌شود که بیشترین افزایش دز سطحی در زاویه 180° درجه توسط تخت برای فوتون 6 MV ، 115% به دست آمد. اگرچه دز پوست افزایش قابل توجهی در برخی از فیلدها نشان داد ولی در توزیع دز تأثیر کم‌تری داشت، به طوری که شاخص گاما با معیار 3 mm / 3% حداکثر $6/5\%$ کاهش را نشان داد. اثر تضعیف پرتو توسط تخت درمان نیز سبب کاهش دز دریافتی توسط تومورهای عمقی شده و احتمال کنترل تومور را کاهش می‌دهد. بیشترین تضعیف در اندازه میدان کوچک‌تر رخ می‌دهد. بنابراین چنانچه تخت در سیستم طراحی درمان مدل‌سازی نشود، عوارض جانبی ممکن است افزایش یابد اما در طراحی درمان IMRT نباید انتظار داشت که با وارد کردن تخت درمان در محاسبات نرم افزار طراحی درمان تغییرات چشمگیری در توزیع دزها حاصل شده و شاخص گاما تغییرات زیادی را نشان دهد.



مراجع:

- [1] International Commission on Radiation Unit and measurement (ICRU). Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beam of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedure, ICRU Report24, 67, 1976.
- [2] A.J. Olch, L. Gerig, H. Li, I. Mihaylov, A. Morgan, Dosimetric effects caused by couch tops and immobilization devices: report of AAPM Task Group 176, Medical physics, 41, 061501-061530, 2014.
- [3] W.K. Myint, M. Niedbala, D. Wilkins, L.H. Gerig, Investigating treatment dose error due to beam attenuation by a carbon fiber tabletop, Journal of applied clinical medical physics, 7, 21-27, 2006.
- [4] T.P. Meydanci, G. Kemikler, Effect of a carbon fiber tabletop on the surface dose and attenuation for high-energy photon beams, Radiation medicine, 26, 539-544, 2008.
- [5] C.F. Njeh, T.W. Raines, M.W. Saunders, Determination of the photon beam attenuation by the Brainlab imaging couch: angular and field size dependence, Journal of applied clinical medical physics, 10, 16-27, 2009.
- [6] A. Sheykho, S. Abdollahi, M.H.H. Yazdi, M. Ghorbani, M. Mohammadi, Effects of Siemens TT-D carbon fiber table top on beam attenuation, and build up region of 6 MV photon beam, Reports of Practical Oncology & Radiotherapy, 22, 19-28, 2017.
- [7] V. Šídlková, T. Trojek, Testing Monte Carlo computer codes for simulations of electron transport in matter, Applied Radiation and Isotopes, 68, 961-964, 2010.