مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد
دوره بیست و ششم، شماره دو، اردیبهشت ۱۳۹۷
تاریخ دریافت:۱۳۹۶/۴/۲۶
تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۸/۱۱

ارزیابی و اعتبارسنجی کد EGSnrc در شبیه سازی دستگاه شتاب دهنده Siemens Oncor® با انرژی ۱۸ مگاولتاژ

میلاد نجف زاده[۱]، ابوالفضل نیک فرجام*[۱و۲]، کیوان جباری[۳]

مقاله پژوهشی

مقدمه: هدف از این مطالعه ارزیابی و اعتبار سنجی کد EGSnrc در شبیه سازی دستگاه شتاب دهنده خطی Simens Oncor® با انرژی ۱۸ مگا ولتاژ بود.

روش بررسی: این مطالعه به صورت مقایسه ای و شبیه سازی مبتنی بر تجربه صورت پذیرفت. از کد BEAMnrc برای شبیه سازی سر شتاب دهنده خطی درمانی Oncor® و تولید فایل فضای فاز استفاده شد. فایل فضای فاز در اندازه میدان ۱۰×۱۰ سانتی مترمربع، در انرژی های ۱۴ مگا الکترون ولت تا ۱۴/۸ مگا الکترون ولت و Full Width at Half of Maximum ۰/۱۲ سانتی متر و فاصله چشمه تا سطح ۱۰۰ سانتی متر به دست آمد. سپس از فایل فضای فاز به عنوان ورودی دزیمتری برای انجام دزیمتری ، توسط کد DOSXYZnrc در فانتوم همگن آب به ابعاد $۵۰ \times ۵۰ \times ۵۰ cm^۳$ استفاده شد. سپس از خروجی این کد ، فایل 3ddose. برای به دست آوردن منحنی های دز- عمق و پروفایل دز استفاده گردید. در نهایت از شاخص گاما برای مقایسه بین داده های شبیه سازی و اندازه گیری استفاده شد. آنالیز گاما با استفاده از نرم افزار gnu plot انجام شد.

نتایج: فرآیند تنظیم انرژی نشان داد که بهینه انرژی و FWHM برای مدل شبیه سازی به ترتیب برابر با ۱۴، ۱۴/۲، ۱۴/۴ مگا الکترون ولت و ۰.۱۲ سانتی متر می باشند. مقادیر شاخص گاما برای منحنی های دز- عمق و پروفایل دز کمتر از یک به دست آمد.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه مدل مونت کارلو سر شتاب دهنده خطی درمانی Oncor شبیه سازی شد و نتایج نشان داد که مقدار بهینه انرژی و FWHM توزیع انرژی به ترتیب برابر با ۱۴، ۱۴/۲، ۱۴/۴ مگا الکترون ولت و ۰/۱۲ سانتی متر می باشند.

واژه‌های کلیدی: BEAMnrc، پرتودرمانی ، شتاب دهنده خطی، شاخص گاما

ارجاع: نجف زاده میلاد، نیک فرجام ابوالفضل، جباری کیوان. **ارزیابی و اعتبارسنجی کد EGSnrc در شبیه سازی دستگاه شتاب دهنده Siemens Oncor® با انرژی ۱۸ مگاولتاژ**. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد ۱۳۹۷؛ ۲۶ (۲): ۹۹-۱۸۸.

۱- گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی یزد، ایران
۲- مرکز تحقیقات پرتودرمانی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی بهداشتی شهید صدوقی یزد، ایران
۳- گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی اصفهان، ایران
*(نویسنده مسئول)؛ تلفن: ۰۹۱۵۱۰۸۹۱۰۲ ، پست الکترونیکی: nickfarjam6262@gmail.com کدپستی:8915173149

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

مقدمه

پرتودرمانی خارجی یکی از مهم ترین روش های درمان سرطان می باشد که در آن از چشمه های تابش یونیزان استفاده می شود(۳-۱) . به طور متداول در پرتودرمانی از فوتون ها ، الکترون ها و ذرات باردار سنگین برای درمان تومورها استفاده می شود. انرژی فوتون های مورد استفاده در پرتو درمانی در محدوده ۶ تا ۲۵ مگا الکترون ولت می باشد که به وسیله شتاب دهنده های خطی درمانی تامین می شود. هدف از پرتودرمانی از بین بردن یا کنترل سلول های تومورال می باشد در حالی که عوارض ممکن در بافت های سالم به کمینه مقدار ممکن خود برسد (۱).

بنابراین یکی از مراحل اساسی در پرتو درمانی محاسبه صحیح توزیع دز در طی فرایند طراحی درمان می باشد. به طور معمول محاسبه دز و مانیتور یونیت در سیستم های طراحی درمان با استفاده از کمیت های دزیمتری نسبی به مانند درصد دز عمقی و نسبت بافت فانتوم انجام می شود (۲). برای محاسبه این کمیت ها از اتاقک یونیزاسیون و یا دزیمتر دایود فوتونی و فانتوم های آب استفاده می شود. از آن جایی که بدن انسان از مواد مختلف با دانسیته های متفاوت تشکیل شده است و برای محاسبه دز در سیستم های طراحی درمان از کمیت های دزیمتری نسبی استفاده می شود تفاوت بین این دو داده منجر به ایجاد خطا در سیستم های طراحی درمان می شود.

روش های مونت کارلو به عنوان استاندارد طلایی در محاسبه دز شناخته می شوند و استفاده از آنها در طراحی درمان بالینی خطاهای محاسبه دز را به حداقل مقدار ممکن خود می رساند (۳). الگوریتم های مونت کارلو فرایند های فیزیکی حاکم در برخورد پرتوهای یونیزان با ماده و انتقال انرژی در این برخوردها را شبیه سازی می کنند. شبیه سازی مونت کارلو شتاب دهنده خطی نیازمند داده های هندسی شتاب دهنده خطی می باشد که از کارخانه سازنده به دست می آید.

این اطلاعات تمام پارامترهای مورد نیاز برای شبیه سازی شتاب دهنده خطی را فراهم نمی کند، بنابراین برخی از داده ها مانند انرژی اولیه دسته پرتو الکترونی و اندازه نقطه کانونی می بایست در طی فرایند شبیه سازی به دست می آیند. مطالعات گذشته اثر اندازه نقطه کانونی و انرژی اولیه دسته پرتو الکترونی را بر روی شبیه سازی شتاب دهنده خطی بررسی کرده اند(۷-۴).

در روش های مونت کارلو شبیه سازی دقیق شتاب دهنده خطی برای به دست آوردن بیش ترین تطابق در منحنی های درصد دز عمقی و پروفایل های دز به دست آمده در طی اندازه گیری، صورت می پذیرد. استفاده از کدهای مونت کارلو برای محاسبه دز در بیمار نیازمند ارزیابی دقیق توزیع بار، انرژی و جهت ذرات باردار در پنجره خروجی شتاب دهنده خطی می باشد.

همه این اطلاعات در فایلی تحت عنوان فایل فضای فاز جمع آوری می شوند. بنابراین هدف از این مطالعه ارزیابی و اعتبارسنجی کد EGSnrc در شبیه سازی دستگاه شتاب دهنده Siemens Oncor® با انرژی ۱۸ مگاولتاژ می باشد. هم چنین از مدل شبیه سازی شده برای رسم منحنی های دز-عمق Depth dose curve و پروفایل های دز Dose profile curves در انرژی های مختلف و اندازه میدان ۱۰ در ۱۰ استفاده می شود.

روش بررسی

شتاب دهنده

این مطالعه به صورت مقایسه ای و شبیه سازی مبتنی بر تجربه صورت پذیرفت. در این مطالعه از شتاب دهنده خطی درمانی**(**Siemens Oncor®(Siemens AG, Germany نصب شده در مرکز پرتودرمانی شهید رمضان زاده یزد استفاده شد (شکل۱). از این شتاب دهنده برای درمان در دو مد فوتونی و الکترونی استفاده می شود. انرژی مورد استفاده در درمان با فوتون ۶ و ۱۸ مگا ولتاژ می باشند. در حالی که درمان با الکترون از انرژی ۶ ،۸ ،۱۰ ،۱۲ ،۱۵ و ۱۸ مگا الکترون استفاده می شود.

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

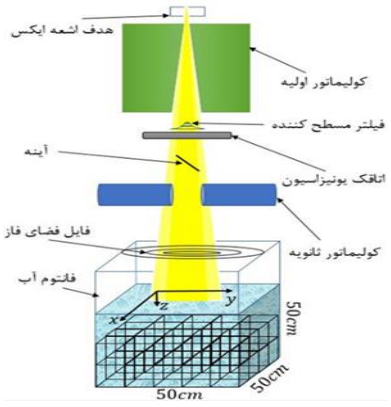


شکل ۱: شتاب دهنده خطی درمانی ® Oncor در مرکز پرتودرمانی شهید رمضان زاده یزد

شبیه سازی مونت کارلو

از کد مونت کارلوی EGSnrc برای شبیه سازی سر شتاب دهنده خطی درمانی ®Oncor و محاسبه دز در فانتوم همگن آب استفاده شد. این کد توسط شورای ملی تحقیقات کانادا توسعه یافته است(۸). در پکیج نرم افزاری EGSnrc از دو کد BEAMnrc و DOSXYZnrc برای شبیه سازی سر شتاب دهنده خطی و محاسبه دز در فضای سه بعد استفاده می شود. کد BEAMnrc از کتاب خانه اشتراکی EGSnrc برای دست یابی به داده های سطح مقطع مواد و فیزیک ترابرد ذرات استفاده می کند(۹) . بعد از این که شبیه سازی هندسه شتاب دهنده خطی توسط کد BEAMnrc کامل شد، کد مذکور فایلی تحت عنوان فضای فاز Phase space file تولید کرد. این فایل در فاصله ۱۰۰ سانتی متری چشمه تا سطح فانتوم ثبت شد. فایل فضای فاز شامل اطلاعاتی درباره مکان ذره، انرژی، بار و جهت ذرات می باشد و دارای فرمت باینری است.

در ادامه از فایل فضای فاز به عنوان چشمه تابشی برای محاسبه دز توسط کد DOXYZnrc استفاده شد. بعد از این که دزیمتری توسط کد DOSXYZnrc در فانتوم و وکسل بندی شده آب (شکل ۲) انجام شد، کد مذکور فایلی تحت عنوان 3ddose تولید کرد. فایل 3ddose. شامل تعداد وکسل ها، مکان هر وکسل، مقادیر دز در هر وکسل و خطای دز می باشد. کد DOSXYZnrc بر اساس کد EGSnrc نوشته شده است و برای محاسبه دز در فضای سه بعدی استفاده می شود. این کد ترابرد ذرات را در حجم کارتزینی شبیه سازی می کند و دز واگذار شده در هر وکسل را در فایلی تحت عنوان 3ddose گزارش می کند(۱۰) . در نهایت منحنی های درصد دز عمقی و پروفایل دز با استفاده از نرم افزار متلب از فایل 3ddose استخراج شده و مقایسه این منحنی ها با منحنی های به دست آمده در شرایط اندازه گیری صورت پذیرفت.



شکل ۲: قسمت های مختلف سر شتاب دهنده خطی درمانی ® Oncor به همراه مکان ثبت فایل فضای فاز

مطابق با گزارش کارگروه شماره ۱۰۵ انجمن فیزیک پزشکی آمریکا شبیه سازی مونت کارلو می بایست در شرایط مشابه با اندازه گیری انجام شود (۱۱). بنابراین پارامترهای مورد نیاز **برای شبیه سازی کد BEAMnrc در مطالعه حال حاضر به قرار زیر بود:** دسته پرتوهای تک انرژی در محدوده انرژی ۱۴ مگاولتاژ تا ۱۴/۸ مگا الکترون ولت در اندازه میدان ۱۰در ۱۰ سانتی متر

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

مربع انتخاب شدند، تعداد تاریخچه ذراتHistory برای ثبت فایل فیز اسپیس ۶×۱۰^{۷} بود، انرژی قطع برای الکترون ها (ECUT) Electron cut-off energy و فوتون ها (PCUT) Photon cut-off energy به ترتیب ۰/۵۲۱ مگا الکترون ولت و ۰/۰۱ مگا الکترون ولت تنظیم شدند، AE و AP که آستانه کم انرژی برای تولید فوتون های برمشترالنگ و برخورد الکترون ها می باشد به ترتیب ۰/۵۲۱ مگا الکترون ولت و ۰/۰۱ مگا الکترون ولت انتخاب شدند، هم چنین از داده های ۰/۵۲۱، icru.pegs4dat برای شبیه سازی استفاده شد و فایل فضای فاز در فاصله ۱۰۰ سانتی از چشمه بر روی سطح فانتوم آب ثبتrecord شد. هم چنین از داده های مورد نیاز زیر برای شبیه سازی کد DOSXYZnrc استفاده شد : فانتوم مکعبی شکل به ابعاد $۵۰\times۵۰\times۵۰cm^{۳}$ در اندازه وکسل $۰/۵\times۰/۵\times۰/۲\ cm^{۳}$ ساخته شد، انرژی قطع برای الکترون ها (ECUT) و فوتون ها (PCUT) به ترتیب ۰/۵۲۱ مگا الکترون ولت و ۰/۰۱ مگا الکترون ولت تنظیم شدند و تعداد تاریخچه ذرات ۵×۱۰^{۹} انتخاب شد.

فرآیند تنظیم انرژی

فرآیند تنظیم انرژی برای راه اندازی کدهای مونت کارلو توسط Seuntjen و Verhagon (۱۲) توصیف شده است. در این فرایند از دسته پرتوهای الکترونی تک انرژی با انرژی های متفاوت در میدان ۱۰ در ۱۰ سانتی متر مربع برای تطابق منحنی دز عمق به دست آمده در شبیه سازی مونت کارلو با منحنی های به دست آمده در اندازه گیری استفاده می شود و بهترین تطابق ممکن زمانی حاصل می شود، که در عمق هایی فراتر از عمق دز ماکزیمم تفاوت های بین مقادیر دز کمتر از ۲ درصد باشد. در ادامه از توزیع شعاعی الکترون ها برای تطابق بین پروفایل های دز در عمق های سطحی برای میدان های بزرگ استفاده می شود. اگر نیازی به به تغییر در انرژی اولیه دسته پرتوهای الکترونی باشد کل فرآیند ذکر شده دوباره تکرار می شود. ذکر این نکته حائز اهمیت است که ارزیابی هندسه، مواد و دانسیته آن ها در مورد فیلتر مسطح کننده و کولیماتور اولیه بخشی از فرایند تطابق منحنی ها نمی باشد. داده های حاصل از این قسمت های شتاب دهنده های خطی می بایست به طور مستقیم از کارخانه سازنده به دست آید.

اندازه گیری تجربی

به طور مشابه اندازه گیری تجربی در انرژی ۱۸ مگا الکترون ولت شتاب دهنده خطی درمانی ®Oncor و در اندازه میدان باز ۱۰در ۱۰ سانتی متر مربع انجام شد. دزیمتری تجربی در فانتوم آب با ابعاد $۵۰\times۵۰\times۵۰cm^{۳}$ و نمودارهای درصد دز عمقی و پروفایل دز با استفاده از دزیمتر دایود فوتونی در راستای محور مرکزی و در راستای خط متقابلCross line به دست آمدند. سپس به منظور اعتبار سنجی شبیه سازی مونت کارلو، نمودارهای درصد دز عمقی و پروفایل دز عمق ۱۰ سانتی متر، با منحنی های به دست آمده در اندازه گیری مقایسه شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

مقایسه داده ها

در این مطالعه مقایسه بین داده های اندازه گیری شده و شبیه سازی با استفاده از شاخص گاما صورت پذیرفت. در این مطالعه معیار های نزدیک ترین فاصله ممکن Distance (DTA) to agreement برای بررسی و اختلاف دزها Dose (DD) difference در این برابر با ۳ میلی متر به ازای هر ۳ درصد در نظر گرفته شد. محاسبه شاخص گاما با استفاده از نرم افزار gnu plot صورت پذیرفت.

ملاحظات اخلاقی

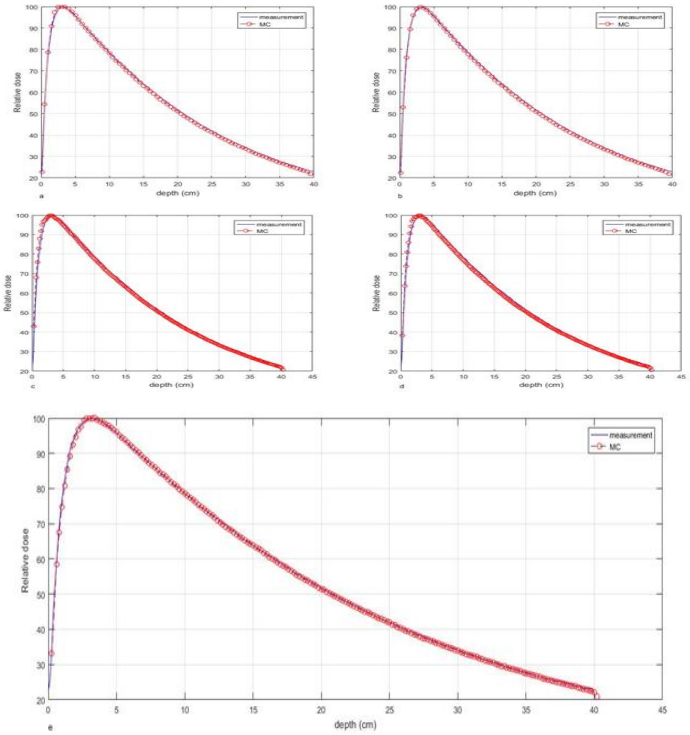
پروپوزال این تحقیق توسط دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد تایید شده است.

نتایج

این مطالعه به صورت مقایسه ای و شبیه سازی مبتنی بر تجربه صورت پذیرفت. شکل ۳، مقایسه بین منحنی های دز-عمق را در انرژی ۱۸ مگاولتاژ و در اندازه میدان باز ۱۰ در ۱۰ سانتی متر مربع نشان می دهد. در انرژی ۱۸ مگا ولتاژ بیش ترین تطابق بین منحنی های اندازه گیری شده و شبیه سازی در انرژی ۱۴/۲ مگا الکترون ولت با توزیع انرژی گوسی (FWHM) Full width at half maximum ۰/۱۲ سانتی متر به دست آمد. مقادیر اندازه گیری شده و شبیه سازی شده دز-عمق بسیار نزدیک به

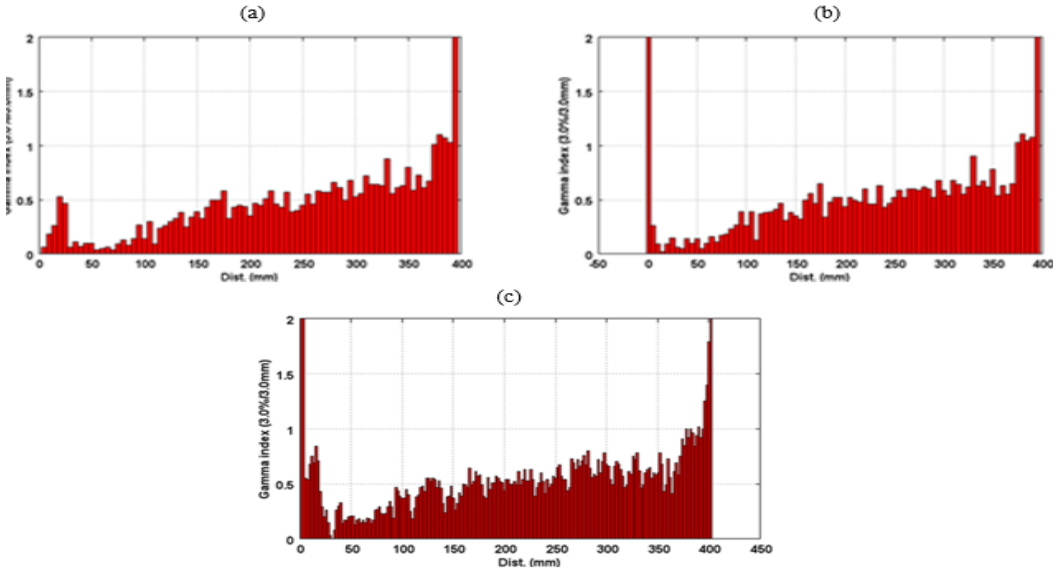
[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

هم بودند و اختلاف نسبی در دزها حدود ۱ درصد برای عمق های کمتر از عمق دز ماکزیمم و عمق های فراتر از عمق دز ماکزیمم ثبت شد. هم چنین شبیه سازی های دیگری در شرایط مشابه با انرژی ۱۴.۲ مگا الکترون ولت ولی در انرژی های ۱۴ ،۱۴/۴،۱۴/۶ و ۱۴/۸ مگا الکترون ولت انجام شد. شکل ۴ مقایسه بین منحنی های دز- عمق در انرژی های مختلف و دز-عمق اندازه گیری شده را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود، بیش ترین تطابق بین منحنی های دز- عمق شبیه سازی شده و اندازه گیری شده در انرژی های ۱۴ مگا الکترون ولت تا ۱۴/۸ مگا الکترون ولت است و مقدار شاخص گاما به دست آمده برای این رنج انرژی در تمامی عمق ها (به استثنای عمق های بیشتر از ۴۰ سانتی متر) کمتر از یک به دست آمد (شکل۴).نتایج ناشی از شبیه سازی نشان داد که انرژی ۱۴ مگا الکترون ولت تا ۱۴/۸ مگا الکترون ولت بیش ترین تطابق را در منحنی های دز- عمق با منحنی های دز- عمق اندازه گیری شده نشان می دهد (شکل۵). هم چنین عدم قطعیت آماری به دست آمده در طی شبیه سازی مونت کارلو برای منحنی های دز- عمق کمتر از ۱/۴۲ درصد بود. هم چنین در شکل۵، منحنی های دز پروفایل به دست آمده در فانتوم آب برای اندازه میدان ۱۰ در ۱۰ سانتی متر مربع و انرژی های ۱۴ مگا الکترون ولت تا ۱۴/۸ مگا الکترون ولت در عمق ۱۰ سانتی متر ، نشان داده شده است. همان گونه که در شکل دیده می شود بیش ترین تطابق بین منحنی های پروفایل دز شبیه سازی و اندازه گیری در FWHM ۰/۱۲ سانتی متر و در انرژی های ۱۴ مگا الکترون ولت تا ۱۴/۴ مگا الکترون ولت می باشد. هم چنین معیار شاخص گاما برای این انرژی ها ۳ ٪ به ازای هر ۳ میلی متر بود و در نتیجه مقدار این شاخص کمتر از یک به دست آمد. هم چنین بیش ترین تفاوت بین منحنی های پروفایل دز در انرژی ۱۴/۸ مگا الکترون ولت به دست آمد جایی که شاخص گاما مطابق با معیار ذکر شده بیش تر از یک به دست آمد (شکل ۶). عدم قطعیت آماری در طی شبیه سازی مونت کارلو برای به دست آوردن پروفایل دز کمتر از ۱ درصد ثبت شد.

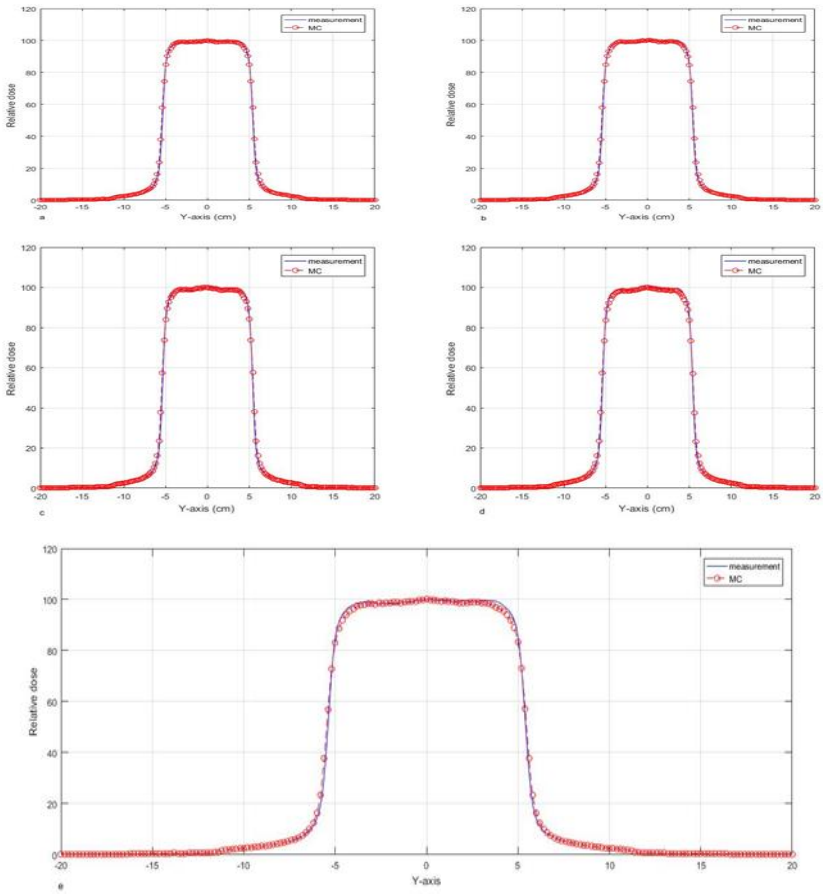


شکل ۳: منحنی های درصد دز عمقی برای دسته پرتوهای با انرژی ۱۸ مگا ولتاژ و اندازه میدان ۱۰×۱۰، (a) انرژی ۱۴ مگا الکترون ولت (b) انرژی ۱۴/۲، (c) انرژی ۱۴/۴ مگا الکترون ولت، (d) انرژی ۱۴/۶ مگا الکترون ولت و (e) انرژی ۱۴/۸ مگا الکترون ولت

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

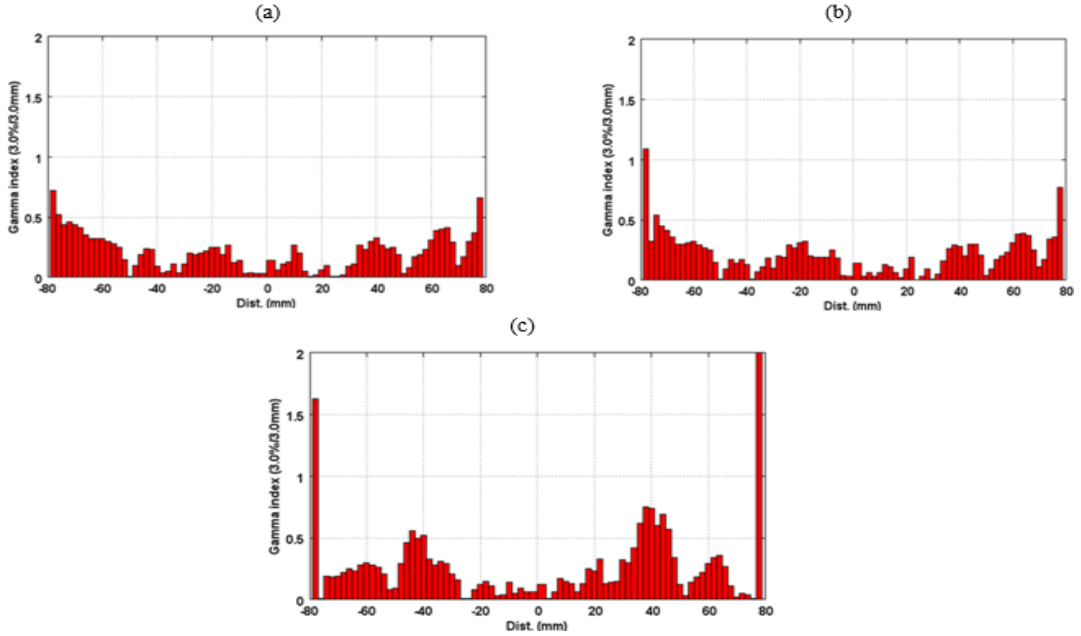


شکل ۴: مقادیر شاخص گاما برای عمق های مختلف در منحنی های درصد دز عمقی برای انرژی های (a) ۱۴ مگا الکترون ولت، (b) ۱۴/۲ مگا الکترون ولت، (c) ۱۴/۸ مگا الکترون ولت



شکل ۵: منحنی های پروفایل دز برای دسته پرتو با انرژی ۱۸ مگا ولتاژ و اندازه میدان ۱۰ در ۱۰ و FWHM ۰/۱۲ (a) انرژی ۱۴ مگاالکترون ولت، (b) ۱۴/۲مگا الکترون ولت، (c) ۱۴/۴ مگا الکترون ولت، (d) ۱۴/۶ مگا الکترون ولت و (e) ۱۴/۸ مگا الکترون ولت

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-26]



شکل ۶ : مقادیر شاخص گاما برای منحنی های پروفایل دز برای انرژی های (a) ۱۴ مگا الکترون ولت، (b) ۱۴/۲ مگا الکترون ولت، (c) ۱۴.۸ مگا الکترون ولت

بحث

پارامترهای ورودی مناسب برای دسته پرتو الکترونی، برای شبیه سازی صحیح شتاب دهنده های خطی به وسیله کدهای مونت کارلو ضروری هستند. این پارامترها به خوبی شناخته شده نیستند و تاثیر به سزایی در توزیع دز دارند. در این مطالعه انرژی اولیه دسته پرتو الکترونی به گونه ای تغییر داده شد تا زمانی که بیش ترین تطابق در منحنی های دز- عمق به دست آید و بعد از آن با تغییر در مقدار FWHM به گونه ای سعی شد که بیش ترین تطابق در منحنی های پروفایل دز به دست آید. بیشترین تطابق در منحنی های درصد دز عمقی و پروفایل دز در انرژی های ۱۴ مگا الکترون ولت تا ۱۴/۴ مگا الکترون ولت و FWHM ۰/۱۲ سانتی متر به دست آمد. در منحنی های پروفایل دز مقدار شاخص گاما در راستای محور مرکزی دسته پرتو کمتر از نیم و در فاصله ۴ سانتی متر از محور مرکزی دسته پرتو کمتر از یک تخمین زده شد.

هم چنین مقدار شاخص گاما در ناحیه نیم سایه بیش تر از یک به دست آمد. مطالعات گذشته روش ارائه شده در این مطالعه را برای اعتبار سنجی شبیه سازی شتاب دهنده خطی تایید می کنند .Almberg و همکاران (۱۳) به منظور اعتبار سنجی شبیه سازی مونت کارلوی شتاب دهنده خطی Elekta در انرژی های ۶ مگا ولتاژ و ۱۵ ولتاژ از کد BEAMnrc استفاده نموده اند. آن ها در ابتدا برای اعتبار سنجی شبیه سازی شتاب دهنده خطی از تغییر در انرژی اولیه دسته پرتو الکترونی استفاده کردند تا زمانی که بیش ترین تطابق در منحنی های دز- عمق به دست آمد و سپس برای تطابق دادن منحنی های پروفایل دز از تغییر در توزیع شعاعی دسته پرتو الکترونی استفاده کردند . بیش ترین تطابق در منحنی های دز- عمق در انرژی های ۶/۴۵ مگا الکترون و ۱۳/۳۵ مگا الکترون ولت به دست آمد و مقدار شاخص گاما برای معیار ۳٪ به ازای ۳ میلی متر در عمق های کمتر از دز ماکزیمم ،کمتر از یک به دست آمد که یافته های حاصل از منحنی درصد دز عمقی به دست آمده در مطالعه حال حاضر را برای انرژی ۱۴ مگاالکترون تا ۱۴/۸ مگا الکترون ولت تایید می کند.

هم چنین بیش ترین تطابق در منحنی پروفایل دز در FWHM ۰/۱ میلی متر برای انرژی ۶ مگا ولتاژ و ۰/ ۵FWHM میلی متر برای انرژی ۱۵ مگا ولتاژ تخمین زده شد و معیار شاخص گاما در راستای محور مرکزی کمتر از یک به دست آمد

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

که تطابق کامل با داده های به دست آمده برای شاخص گاما در شکل ۶ دارد. هم چنین مقدار شاخص گاما در ناحیه نیم سایه نیز کمتر از یک به دست آمد که همان گونه که از شکل ۶ پیداست تطابق کامل با مقدار شاخص گاما در این مطالعه دارد (به استثنای انرژی ۱۴.۸ مگا الکترون ولت). ذکر این نکته ضروری است که پروفایل دز نسبت به منحنی های دز- عمق حساسیت بیش تری نسبت به تغییر انرژی دارا می باشد و این وابستگی پروفایل دز ، به افزایش انرژی در مطالعه حاضر در انرژی های ۱۴/۶ مگا الکترون ولت و ۱۴/۸ مگا الکترون ولت به وضوح مشاهده گردید.

هم چنین Javier Pena و همکاران (۱۴) از کد BEAMnrc برای اعتبار سنجی شبیه سازی مونت کارلو شتاب دهنده های خطی Primus و Varian استفاده کردند. آن ها در مطالعه خود از اندازه میدان های ۲× ۲ ، ۵× ۵ و ۱۰× ۱۰ سانتی مربع و تغییر در پارامترهای انرژی اولیه دسته پرتو الکترونی و توزیع شعاعی اولیه دسته پرتو استفاده نمودند. نتایج مطالعه آن ها نشان داد که برای میدان های بزرگ به استثنای ناحیه نیم سایه نمی توان تفاوتی در تغییر در انرژی اولیه دسته پرتوی و تغییر FWHM برای بیش ترین تطابق در منحنی های دز عمق و پروفایل دز یافت و برای میدان های کوچک تطابق در منحنی های دز- عمق و پروفایل دز در یک FWHM ثابت مستقل از انرژی می باشد. برای تمامی عمق ها در منحنی های دز- عمق مقدار شاخص گاما برای معیار ۱٪ به ازای هر ۱ میلی متر کمتر از یک به دست آمد که مطابق با مقدار شاخص گامای به دست آمده در مطالعه حال حاضر، می باشد. هم چنین در عمق های فراتر از ۴۰ سانتی متر معیار شاخص گاما بیش تر از یک به دست آمد که به دلیل تک انرژی بودن، انرژی اسمی در محاسبات مونت کارلو می باشد در حالی که الکترون های شتاب گرفته در محفظه شتاب دهنده خطی همگی دارای انرژی یکسان نمی باشند بنابراین طیف انرژی دارند.

A. Toutaoui و همکاران (۱۵) از کد / BEAMnrc DOSXYZnrc برای اعتبار سنجی شبیه سازی مونت کارلو در انرژی ۶ مگا ولتاژ شتاب دهنده خطی Elekta® استفاده کردند. در این مطالعه بیش ترین تطابق در منحنی دز- عمق در انرژی ۶ مگا الکترون ولت به دست آمد و هم چنین منحنی های پروفایل دز در FWHM ۰/۳۵ سانتی متر با هم تطابق یافتند. شاخص گامای در این مطالعه ۲ ٪ ۲ میلی متر ، ۳ ٪۲میلی متر و ۱ ٪ ۲ میلی متر در این مطالعه استفاده شد و هم چنین نتایج نشان داد که با افزایش معیار شاخص گاما تعداد نقاطی که معیار شاخص گاما را با موفقیت می گذارنند افزایش می یابد که در مطالعه حال حاضر با افزایش معیار شاخص گاما تعداد نقاطی که این شاخص را قبول می کنند، افزایش یافت. هم چنین برای نقاطی که در قسمت محور مرکزی دسته پرتو بودند این شاخص کمتر از یک بود که مطابق با شکل ۶ داده های حاصل از این مطالعه را نقض می کند. با افزایش فاصله از محور مرکزی دسته پرتو شاخص مد نظر به یک نزدیک شده و درنهایت در ناحیه نیم سایه شاخص گاما بزرگ تر از یک شده که نشان دهنده نیاز به افزایش در معیارهای شاخص گاما است که با توجه به شکل۶ با افزایش فاصله از محور مرکزی (فاصله ۴۰ سانتی متر) مقدار شاخص گاما به یک نزدیک شده و در فاصله ۸۰ سانتی متر از محور مرکزی این مقدار بزرگ تر از یک می باشد، که نیاز به افزایش در معیار شاخص گاما را تایید می کند.

Faddegon و همکاران (۱۶) مطالعه ای گسترده به منظور ارزیابی پارامترهای مختلف تاثیر گذار در شبیه سازی شتاب دهنده های خطی(primus) به وسیله کدهای مونت کارلو(BEAMnrc/DOSXYZnrc) انجام دادند. مهم ترین پارامترهایی که در این مطالعه بررسی شدند، شامل: انرژی اولیه دسته پرتو الکترونی، توزیع انرژی دسته الکترونی(FWHM)، اندازه نقطه کانونی الکترون و زاویه اولیه دسته پرتو الکترونی بودند. بررسی نتایج این مطالعه نشان داد که ۵ درصد تغییر در مقدار اولیه انرژی مرکزی دسته پرتو الکترونی منجر به تغییرات ۱/۵ تا ۴/۳ درصد در قسمت شانه منحنی پروفایل دز می شود که در مطالعه حال حاضر این تغییر چشم گیر در منحنی پروفایل دز به تدریج در افزایش انرژی مشاهده شد و در انرژی ۱۴/۸ مگا الکترون ولت به حداکثر مقدار خود رسید و شانه منحنی پروفایل دز تطابق کمتری با پروفایل دز اندازه گیری نشان داد.

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

هم چنین در اثر این تغییر یکنواختی منحنی پروفایل دز حدود ۱/۸ درصد تغییر می کند. اما تغییر در انرژی مرکزی منجر به تغییر در دز سطحی در حدود ۰/۷± %۲ می شود که وابستگی کمتر منحنی های دز- عمق را به تغییرات انرژی نشان می دهد و منجر به تطابق منحنی های دز- عمق در محدوده ای از انرژی های اسمی می شود و در مطالعه حال حاضر این وابستگی در انرژی های ۱۴ تا ۱۴/۸ مگا الکترون ولت مشاهده شد.

از آن جایی که شتاب دهنده های بالینی اغلب ۵-۱۰ ٪ درگیر تنظیمات انرژی برای تطابق خروجی شان با دیگر شتاب دهند ها می شوند اثرات تغییر در انرژی بر روی پروفایل دز می بایست در نظر گرفته شود. هم چنین در این مطالعه با تغییر در مقدار FWHM تغییر چشم گیری بر روی منحنی پروفایل دز دیده نشد و مقدار تغییر دیده شده حدود ۱ ٪ بود. در این مطالعه پیشنهاد شد که برای اعتبار سنجی صحیح شبیه سازی مونت کارلو سر شتاب دهنده خطی ، در ابتدا انرژی اولیه دسته پرتو الکترونی به گونه ای تغییر داده شود تا زمانی که بیش ترین تطابق در منحنی های دز- عمق به دست آید و سپس با تغییر در مقدار FWHM به گونه ای شود که بیش ترین تطابق در منحنی های پروفایل دز ایجاد شود.

Mohammed و همکاران(۱۷) مطالعه ای به منظور ارزیابی پارامترهای شبیه سازی انرژی ۶ مگا ولتاژ شتاب دهنده خطی Varian clinac 2100 انجام دادند. پارامترهایی که در این مطالعه بررسی شد شامل انرژی اولیه دسته پرتو الکترونی، FWHM و توزیع زاویه ای اولیه دسته پرتو بود. در این مطالعه از آنالیز شاخص گاما برای مقایسه داده ها استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرات کم در انرژی اولیه دسته پرتو باعث اختلاف در شاخص گاما در ناحیه انباشت دز در منحنی های درصد دز عمقی به حدود ۱.۲ ٪ می شود. در نتیجه حساسیت این منحنی ها نسبت به انرژی اولیه دسته پرتو قابل ذکر می باشد. هم چنین در این مطالعه نشان داده شد که منحنی های درصد دز عمقی کمترین حساسیت را به FWHM اولیه دسته پرتو الکترونی دارند و اختلاف در شاخص گاما کمتر از ۱٪ بود. هم چنین منحنی های پروفایل دز به هر سه پارمتر انرژی اولیه دسته پرتو الکترونی، FWHM و توزیع زاویه ای اولیه دسته پرتو حساسیت دارند و تغییرات در این پارامترها باعث تغییرات عمده در منحنی های پروفایل دز و در شاخص گاما می شود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه از کد BEAMnrc/DOSXYZnrc برای اعتبار سنجی شبیه سازی انرژی ۱۸ مگاولتاژ سر شتاب دهنده خطی درمانی Oncor® نصب شده در مرکز پرتودرمانی شهید رمضان زاده یزد استفاده شد. مقدار بهینه برای انرژی اولیه دسته پرتو الکترونی و FWHM توزیع گوسی چشمه ۱۴ مگا الکترون ولت تا ۱۴/۴ مگا الکترون ولت و ۰/۱۲ سانتی متر تخمین زده شد. بیش ترین تطابق بین منحنی های دز - عمق شبیه سازی و اندازه گیری ها در انرژی ۱۴ تا ۱۴/۸ مگا الکترون ولت به دست آمد و مقدار شاخص گاما کمتر یک از ثبت شد.

هم چنین بیش ترین تطابق بین منحنی های پروفایل دز در انرژی های ۱۴ مگا الکترون ولت تا ۱۴/۴ مگا الکترون ولت برآورد شد و مقدار شاخص گاما برای معیار ۳ درصد، ۳ میلی متر کمتر از یک به دست آمد. هم چنین یافته ها نشان داد که تغییر در انرژی اولیه دسته پرتو الکترونی تاثیر بیش تری بر روی منحنی های پروفایل دز و منحنی های دز- عمق نسبت به تغییر در مقدار FWHM دارد و منحنی‌های پروفایل دز حساسیت بیش تری به انرژی اولیه دسته پرتو الکترونی نسبت به منحنی‌های دز- عمق دارند.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان نامه تحقیقاتی میلاد نجف زاده دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد می باشد. از همکاری پرسنل مرکز پرتودرمانی شهید رمضان زاده در این تحقیق سپاسگزاریم.

تعارض در منافع: وجود ندارد

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

References:

1-Podgorsak EB. ***Review of radiation oncology physics: a handbook for teachers and students***. Vienna, Austria: IAE Agency 2003.

2-Khan FM, Gibbons JP. ***Khan's the physics of radiation therapy***. Lippincott Williams & Wilkins; 2014.

3-Chen Z d'Errico F, Nath R. ***Principles and requirements of external beam dosimetry***. Radiation Measurements 2006; 41: S2-21.

4-Andreo P. ***Monte Carlo techniques in medical radiation physics***. Physics in medicine and biology 1991; 36(7): 861.

5-Haedinger U, Krieger T, Flentje M, Wulf J. ***Influence of calculation model on dose distribution in stereotactic radiotherapy for pulmonary targets***. Inter J Radiation Oncology Biology Physic 2005; 61(1): 239-49.

6-Yang J, Li J, Chen L, Price R, McNeeley S, Qin L, Wang L, Xiong W, Ma CM. ***Dosimetric verification of IMRT treatment planning using Monte Carlo simulations for prostate cancer***. Phys med biol 2005; 50(5): 869-78.

7-Munro P, Rawlinson JA, Fenster A. ***Therapy imaging: Source sizes of radiotherapy beams.*** Medical physics 1988; 15(4): 517-24.

8-Lutz WR, Maleki N, Bjärngard BE. ***Evaluation of a beam- spot camera for megavoltage x rays***. Med phys 1988; 15(4): 614-7.

9-Loewenthal E, Loewinger E, Bar-Avraham E, Barnea G. ***Measurement of the source size of a 6 and 18 MV radiotherapy linac***. Med physic 1992; 19(3): 687-90.

10- Kim S. ***Characteristics of elliptical sources in BEAMnrc Monte Carlo system: Implementation and application***. Med phys 2009; 36(4):1046-52.

11- Kawrakow I, Rogers DW. ***EGSnrc user manual***. National Research Center of Canada Report PIRS-701 2001.

12- Rogers DW, Walters B, Kawrakow I. ***BEAMnrc user's manual***. Nrc Report Pirs 2009; 509:12.

13- Walters BR, Kawrakow I, Rogers DW. ***DOSXYZnrc user's manual***. Nrc Report Pirs 2018; 794.

14- Chetty IJ, Curran B, Cygler JE, DeMarco JJ, Ezzell G, Faddegon BA, et al. ***Report of the AAPM Task Group No. 105: Issues associated with clinical implementation of Monte Carlo based photon and electron external beam treatment planning.*** Med phys 2007; 34(12): 4818-53.

15- Verhaegen F, Seuntjens J. ***Monte Carlo modelling of external radiotherapy photon beams***. Physic Med Bio 2003; 48(21): R107– R164.

16- Almberg SS, Frengen J, Kylling A, Lindmo T. ***Monte Carlo linear accelerator simulation of megavoltage photon beams: Independent determination of initial beam parameters***. Med phys 2012; 39(1): 40-7.

17- Pena J, González-Castaño DM, Gómez F, Sánchez-Doblado F, Hartmann GH. ***Automatic determination of primary electron beam parameters in Monte Carlo simulation***. Med phy 2007; 34(3): 1076-84.

18- Toutaoui A, Ait chikh S, Khelassi-Toutaoui N, Hattali B. ***Monte Carlo photon beam modeling and***

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

commissioning for radiotherapy dose calculation algorithm. Phys Med 2014; 30(7): 833-7.

19- Schreiber EC, Faddegon BA. ***Sensitivity of large-field electron beams to variations in a Monte Carlo accelerator model.*** Physics Med bio 2005; 50(5): 769.

20- Mohammed M, El Bardouni T, Chakir E, Boukhal H, Saeed M, Ahmed AA. ***Monte Carlo simulation of Varian Linac for 6MV photon beam with BEAMnrc code***. Radiation PhysicChem 2018; 144: 69-75.

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences
Vol 26| NO 2 | May 2018
Received: 17 July 2017
Accepted: 2 Nov 2017

Evaluation and benchmarking of EGSnrc code in the simulation of 18 MV photon beam produced by Siemens Oncor® linear accelerator

Milad Najafzadeh[1] , Abolfzal Nickfarjam[*1,2] , Keyvan Jabbari[3]

Original Article

Introdution: The aim of this study was to evaluate and benchmark EGSnrc code in the simulation of 18 MV photon beam produced by Siemens Oncor® linear accelerator.

Methods: This study was conducted in a comparative and simulation based on experience method. The Beamnrc code was used to model the accelerator head and generate phase space files. The phase space files were obtained with the following parameters: field size of 10×10 cm^2 , the energy of 14 Mev up to 14.8 Mev, and Full Width at Hall of Maximun of 0.12 cm. The phase space files were then used as input to the Dosexyznrc code to do dosimetry in the homogeneous water phantom with 50×50×50 cm^3 size. Then, the output of DOSXYZnrc code, 3ddose files were used to obtain depth-dose curves and dose profile curves. Finally, Simulations were compared with experimental data by using gamma index.

Results: The energy tuning procedure have shown that the optimum energy and FWHM for the simulation model, were 14 Mev, 14.2 Mev , 14.4 Mev and 0.12 cm, respectively. The gamma index values, for depth-dose curves and dose-profile curve, were obtained less than 1.

Conclusion: In this study, Monte Carlo model of Oncor® linac treatment head was simulated and the results have shown that the optimum nominal energy and FWHM were 14 Mev, 14.2 Mev, 14.4 Mev and 0.12 cm, respectively.

Keywords: BEAMnrc, radiotherapy, linear accelerator, Gamma index

Citation: najafzadeh M, nickfarjam A, jabbari K. **Evaluation and benchmarking of EGSnrc code in the simulation of 18 MV photon beam produced by Siemens Oncor® linear accelerator.** J Shahid Sadoughi Uni Med Sci 2018; 26(2): 188-99.

[1]Department of Medical Physics, Faculty of medicine, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran
[2]Radiotherapy research center, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran
[3] Department of Medical Physics, Faculty of medicine, Esfahan University of Medical Sciences, Esfahan, Iran
***Corresponding author: Tel:** 09151089102, **email:** nickfarjam6262@ gmail.com

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-26]