



Original Article

Accuracy Assessment of the SWL-LIAC Software Percentage Depth Dose Calculations for Beveled Applicators in the LIAC-12 MeV Intraoperative Radiotherapy Unit

Sahar Hashemian¹, MSc; Razieh Rashidfar², MSc; Hossein Parsaei¹, PhD; Ahmadreza Azarm³, MSc; Mohammad Amin Mosleh-Shirazi^{2,4*}, PhD

¹Department of Medical Physics and Engineering, School of Medicine, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

²Ionizing and Non-Ionizing Radiation Protection Research Center, School of Paramedical Sciences, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

³Breast Diseases Research Center, Department of Surgery, School of Medicine, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

⁴Radiotherapy Physics Unit, Department of Radiooncology, Namazi Hospital, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

Article Information

Article History:

Received: November 30, 2024

Accepted: August 27, 2025

*Corresponding Author:

Mohammad Amin Mosleh-Shirazi,
PhD;
Ionizing and Non-Ionizing Radiation
Protection Research Center, School
of Paramedical Sciences, Shiraz
University of Medical Sciences, Shiraz,
Iran
Email: mosleh_amin@hotmail.com

Abstract

Introduction: The commissioning and treatment planning of the LIAC 12 MeV intraoperative electron radiotherapy (IOERT) unit rely heavily on the performance of the SWL-LIAC software. This software simulates the relative dosimetric data of the unit based on four percentage depth dose (PDD) curves. This study aimed to evaluate the software's performance by comparing the simulated and experimentally measured PDD curves.

Methods: Percentage depth dose measurements were conducted for various beveled applicators across all available energies (6, 8, 10, 12 MeV), encompassing 24 fields. Measurements were performed using an E-type electron diode in a water phantom, assisted by custom-made positioning tools, and verified via radiochromic film dosimetry. The measured and calculated PDDs were subsequently compared using one-dimensional gamma analysis.

Results: In the comparisons between the measured PDD curves and the software output for the 24 applicators, the mean gamma passing rate was 100% using a 3 mm/3% (global dose difference) acceptance criterion. When applying a stricter 2 mm/2% criterion, the gamma passing rate for the 3 cm diameter, 15° applicator at 12 MeV was 98.7%, resulting in an overall mean gamma passing rate of 99.9% across all fields at this criterion. The maximum absolute dose difference was 2.9%, which was observed in the 3 cm diameter, 15° applicator at 12 MeV and the 30° applicator at 6 MeV.

Conclusion: The SWL-LIAC software demonstrated sufficient accuracy in its percentage depth dose calculations for beveled applicators.

Keywords: Intraoperative electron radiotherapy; Percentage depth dose; Dosimetry; LIAC accelerator

Please cite this article as:

Hashemian S, Rashidfar R, Parsaei H, Azarm AR, Mosleh-Shirazi MA. Accuracy Assessment of the SWL-LIAC Software Percentage Depth Dose Calculations for Beveled Applicators in the LIAC-12 MeV Intraoperative Radiotherapy Unit. Sadra Med. Sci. J. 2026; 14(2): 261-269. doi: 10.30476/smsj.2026.104466.1580.



مقاله پژوهشی

بررسی صحت نرم افزار SWL-LIAC در محاسبه درصد دز عمقی برای اپلیکاتورهای مورب در دستگاه پرتودرمانی حین جراحی «لیاک ۱۲ مگا الکترون ولت»

سحر هاشمیان^۱، راضیه رشیدفر^۲، حسین پارسائی^۱، احمدرضا آرم^۳، محمد امین مصلح شیرازی^۴✉

^۱گروه فیزیک و مهندسی پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
^۲مرکز تحقیقات حفاظت در برابر پرتوهای یون ساز و غیر یون ساز، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
^۳مرکز تحقیقات بیماری های پستان، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
^۴واحد فیزیک رادیوتراپی، گروه رادیوانکولوژی، بیمارستان نمازی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵

نویسنده مسئول:

محمد امین مصلح شیرازی،
 واحد فیزیک رادیوتراپی، گروه رادیوانکولوژی، بیمارستان
 نمازی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
 پست الکترونیکی: mosleh_amin@hotmail.com

مقدمه: مراحل راه اندازی و طراحی درمان در دستگاه «لیاک^۱ ۱۲ مگا الکترون ولت» وابستگی زیادی به عملکرد نرم افزار SWL-LIAC دارد. این نرم افزار با استفاده از چهار منحنی درصد در عمقی (PDD)^۲ سایر اطلاعات دوزیمتری نسبی دستگاه را شبیه سازی می کند. هدف مطالعه حاضر مقایسه منحنی های درصد دز عمقی شبیه سازی شده و اندازه گیری شده جهت بررسی عملکرد نرم افزار است.

مواد و روش ها: منحنی درصد دز عمقی برای تعدادی از اپلیکاتورهای زاویه دار در فانتوم آب و با استفاده از دیود نوع E اندازه گیری شد. اسکن های مورد نظر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده پس از آماده سازی با استفاده از شاخص با یکدیگر مقایسه شدند.

یافته ها: در مقایسه های انجام شده میان منحنی های درصد دز عمقی اندازه گیری شده و خروجی نرم افزار (برای ۲۴ اپلیکاتور)، با در نظر گرفتن معیار پذیرش ۳ میلی متر/ ۳ درصد، میانگین شاخص های گاما ۱۰۰ درصد بود. به دلیل اینکه شاخص گاما حاصل از مقایسه منحنی های درصد دز عمقی اپلیکاتور ۳ سانتی متر ۱۵ درجه در انرژی ۱۲ مگا الکترون ولت با معیار ۲ میلی متر/ ۲ درصد، ۹۸/۹ درصد گزارش شد، میانگین کل شاخص های گاما در این معیار ۹۹/۹ درصد به دست آمد. حداکثر میزان قدمطلق تفاوت دز، ۲/۹ درصد در اپلیکاتور ۳ سانتی متر ۱۵ درجه در انرژی ۱۲ مگا الکترون ولت و ۳۰ درجه در انرژی ۶ مگا الکترون ولت بود.

نتیجه گیری: نرم افزار SWL-LIAC از صحت کافی در محاسبات PDD برخوردار است.

کلمات کلیدی: پرتودرمانی حین جراحی با الکترون، دزیمتری، منحنی درصد دز عمقی، شتاب دهنده LIAC

1. LIAC

2. Percentage depth dose (PDD)

لطفاً این مقاله را به این صورت استناد کنید:

هاشمیان س، رشیدفر ر، پارسائی ح، آرم ا، مصلح شیرازی م. بررسی صحت نرم افزار SWL-LIAC در محاسبه درصد دز عمقی برای اپلیکاتورهای مورب در دستگاه پرتودرمانی حین جراحی «لیاک ۱۲ مگا الکترون ولت». مجله علوم پزشکی صدرا، دوره ۱۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، ۲۶۱-۲۶۹.

مقدمه

مگا الکترون ولت به روش مونت کارلو^۸ برای اولین بار انجام شد و نشان داده شد که در این نرم افزار می توان با استفاده از کمترین اطلاعات دزیمتری اندازه گیری شده، سایر اطلاعات دزیمتری دستگاه شبیه سازی شود (۲، ۴). جهت پیش بینی نحوه توزیع دز در درمان، از اطلاعات شبیه سازی شده نرم افزار SWL-LIAC در درمان های پرتودرمانی حین جراحی با استفاده از الکترون شتاب دهنده لیاک، استفاده می شود. مطالعه مصلح شیرازی و همکاران در سال ۲۰۲۱، صحت اطلاعات شبیه سازی شده نرم افزار SWL-LIAC در اپلیکاتورهای صاف و تعدادی از اپلیکاتورهای مورب را بررسی و تأیید کرد (۵، ۶). نرم افزار SWL-LIAC در میدان های بررسی شده در مطالعه از صحت خوبی برخوردار بود. به دلیل نقش کلیدی این نرم افزار در درمان بیماران، هدف مطالعه حاضر بررسی صحت درصد دز عمقی های شبیه سازی شده تمامی اپلیکاتورهای مورب شتاب دهنده لیاک ۱۲ مگا الکترون ولت است.

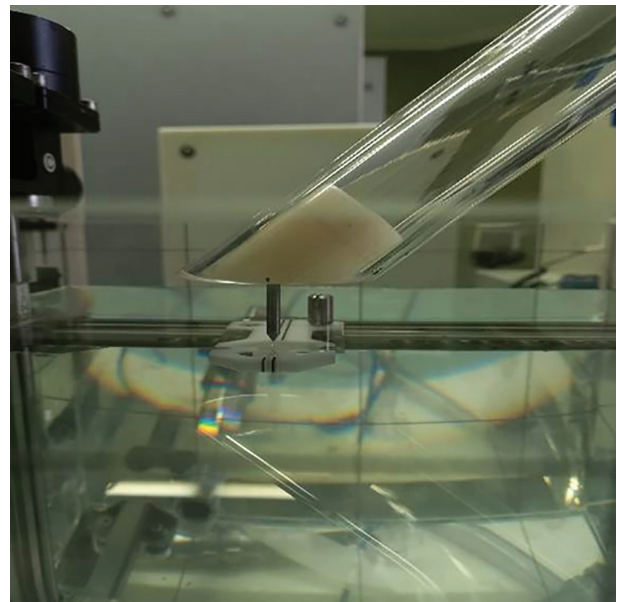
مواد و روش ها

ابزار پژوهش

شتاب دهنده لیاک در دو مدل ۱۰ و ۱۲ مگا الکترون ولت در دسترس است. این دو مدل به ترتیب قابلیت تولید میدان های الکترونی با انرژی های ۴ تا ۱۰ و ۶ تا ۱۲ مگا الکترون ولت را دارند. شتاب دهنده مورد استفاده در این مطالعه از نوع لیاک ۱۲ مگا الکترون ولت بود. این شتاب دهنده سیار، مجهز به بازوی روباتیک است و وزن تقریبی ۴۰۰ کیلوگرم دارد. در این دستگاه به منظور تولید میدان های مختلف پرتویی، از ۲۸ نوع اپلیکاتور مختلف یکپارچه در قطرهای ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۱۰ سانتی متر و با انتهای صاف و زاویه دار در زوایای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه می توان استفاده کرد. اتصال و مماس بودن بخش انتهایی اپلیکاتور با بدن بیمار هنگام استفاده از شتاب دهنده های مخصوص پرتودرمانی حین جراحی با استفاده از الکترون ضروری است. لذا در مناطقی که امکان مماس شدن اپلیکاتور صاف با بدن بیمار وجود ندارد، استفاده از اپلیکاتورهای زاویه دار کمک کننده است. ضخامت دیواره و طول اپلیکاتور به ترتیب ۰/۵ و ۶۰ سانتی متر است. این شتاب دهنده به ورقه ای از جنس آلومینیوم به عنوان ورقه های پخش کننده^۹ با ضخامت ۸۲۰ میکرومتر مجهز است. فاصله ورقه های پخش کننده تا انتهای اپلیکاتور ۷۱/۳ سانتی متر است.

8. Monte Carlo
9. Scattering foil

پرتودرمانی حین جراحی^۱ یکی از روش های خاص در پرتودرمانی است. در این روش درمانی، بلافاصله پس از جراحی و خارج کردن بافت سرطانی میزان دز^۲ پرتو نسبتاً بالایی (۱۰-۲۰ گری^۳) مستقیماً در اتاق عمل به بستر تومور داده می شود (۱). شتاب دهنده لیاک ۱۲ مگا الکترون ولت یکی از شتاب دهنده های مخصوص پرتودرمانی حین جراحی با الکترون است (۲). در این شتاب دهنده از یک هدایت کننده یا اپلیکاتور^۴ در فاصله بین سر دستگاه و بدن بیمار استفاده می شود که ذرات پراکنده شده را جذب می نماید (شکل ۱). این شتاب دهنده اپلیکاتورهای صاف و مورب (۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه) با قطرهای مختلف (۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۱۰ سانتی متری) دارد.



شکل ۱. نحوه قرارگیری نشانگر پروفیلی و نشانگر جایگاه دیود در اپلیکاتور ۳ سانتی متر ۴۵ درجه جهت مشخص کردن مرکز میدان

به طور کلی تفاوت این شتاب دهنده با شتاب دهنده های مرسوم در طراحی سر شتاب دهنده ها، میزان فرکانس تکرار پالس^۵ و میزان دز در هر پالس^۶ است (۳). شرکت سازنده این شتاب دهنده، نرم افزار SWL-LIAC را جهت انجام مرحله راه اندازی معرفی کرده است. این نرم افزار بر اساس مطالعه یاکارینو^۷ و همکاران در سال ۲۰۱۳ راه اندازی شد (۴). در این مطالعه شبیه سازی میدان های الکترونی تولید شده شتاب دهنده LIAC ۱۲

1. IORT
2. Dose
3. Gray
4. Applicator
5. PRF
6. DPP
7. Iaccarino

برای اپلیکاتورهای مورد استفاده طراحی و ساخته شد تا با کمک آن‌ها مرکز میدان به‌طور دقیق مشخص شود. این نشانگر مطابق (شکل ۱) در انتهای اپلیکاتورها نصب شدند. در این مرحله بر اساس دستورالعمل شرکت PTW پس از تطبیق مرکز میدان با پایه طراحی شده که نشانگر محل قرارگیری دیود بود، نقطه مؤثر اندازه‌گیری دیود E در محل مناسب در فانتوم آب قرار گرفت. بر اساس کارگروه ۴۸ انجمن فیزیک پزشکی آمریکا^{۱۱}، به‌منظور حذف اثر تغییرات دز خروجی شتاب‌دهنده، دزیمتر مرجع بر روی بدنه خروجی اپلیکاتورها نصب شد (۱۴). پس از انجام مراحل ذکر شده از عمق ۱ تا ۷۹ میلی‌متر با فواصل ۲ میلی‌متر در راستای محور مرکزی بالینی اندازه‌گیری شدند. بر اساس کارگروه شماره ۴۸ انجمن فیزیک پزشکی آمریکا، راستای اسکن درصد دز عمقی همان راستای محور بالینی یعنی عمود بر سطح آب است. در واقع راستای این محور برای اپلیکاتورهای صاف و زاویه‌دار یکسان است (۱۴).

به‌منظور خوانش و ویرایش اسکن‌های انجام شده، از نرم‌افزار PTW Mephysto نسخه MCC3.0 استفاده شد. با توجه به اینکه این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی تمامی فاکتورهای بازده نسبی، درصد دز عمقی و پروفایل‌ها، به درصد دز عمقی میدان‌ها با اپلیکاتورهای ۱۰، ۷ و ۳ سانتی‌متر و بدون اپلیکاتور در تمامی انرژی‌ها به‌عنوان ورودی نرم‌افزار نیاز دارد، ابتدا پس از اندازه‌گیری درصد دز عمقی مورد نظر و واردکردن اطلاعات حاصل از آن‌ها به نرم‌افزار SWL-LIAC تمامی شبیه‌سازی‌ها انجام شد. در ادامه درصد دز عمقی‌های شبیه‌سازی شده به‌وسیله نرم‌افزار و اندازه‌گیری شده اپلیکاتورهای مورب پس از آماده‌سازی با استفاده از شاخص گاما در نرم‌افزار Mephysto نسخه MCC3.0 با یکدیگر مقایسه شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

شاخص گاما با استفاده از میزان DTA^{12} (فاصله تا توافق) و DD^{13} (درصد تفاوت دز) برای هر نقطه از توزیع دز مورد نظر نسبت به نقطه متناظر در توزیع دز مرجع محاسبه شد. در صورتی که فقط یکی از پارامترها (فاصله تا توافق یا درصد تفاوت دز) در محدوده معیار پذیرش قرار داشته باشد، آن نقطه شاخص گاما مساوی یا کمتر از یک خواهد داشت و این نقطه به‌عنوان نقطه‌ای با میزان شاخص گاما قابل قبول در نظر گرفته می‌شود. در نهایت برای هر توزیع

شتاب‌دهنده لیاک ۱۲ مگا الکترون ولت میدان‌هایی با دز بر پالس بالا تولید می‌کند. در این شتاب‌دهنده‌ها دز بر پالس با افزایش انرژی و کاهش قطر اپلیکاتور، افزایش می‌یابد. میزان دز بر پالس این دستگاه در عمق دز بیشینه اپلیکاتور مرجع (۱۰ سانتی‌متر) در انرژی ۱۲ مگا الکترون ولت، ۳۰ میلی‌گری بر پالس است. این میزان در اپلیکاتورهای کوچک تا حدود ۵۵ میلی‌گری بر پالس افزایش می‌یابد (۷، ۸).

جهت انجام آزمون‌های دزیمتری نسبی (اندازه‌گیری پروفایل، درصد دز عمقی و بازده خروجی نسبی) از دزیمترهای متفاوتی می‌توان استفاده کرد. انجام آزمون‌های نسبی از محدودیت‌های کمتری نسبت به دزیمتری مطلق برخوردار است. مطالعاتی در راستای شناسایی دزیمتر مناسب برای دزیمتری‌های نسبی در میدان‌هایی با دز بر پالس بالا انجام شده است. در این مطالعات با توجه به خصوصیات دیود E، این دزیمتر به‌عنوان دزیمتر مناسب برای این نوع اندازه‌گیری‌ها پیشنهاد شده است (۹-۱۲). با توجه به اینکه تمامی آزمون‌های دزیمتری مورد نیاز این مطالعه از نوع نسبی هستند، دیود (PTW-Freiburg, 60017 Germany) به‌عنوان دزیمتر مناسب در نظر گرفته شد (۱۳). همچنین از اتاقک یونیزاسیون Semiflex (TM31010PTW-Freiburg, Germany) به‌عنوان دزیمتر مرجع به‌منظور حذف اثر تغییرات خروجی دستگاه، استفاده شد.

روش جمع‌آوری اطلاعات

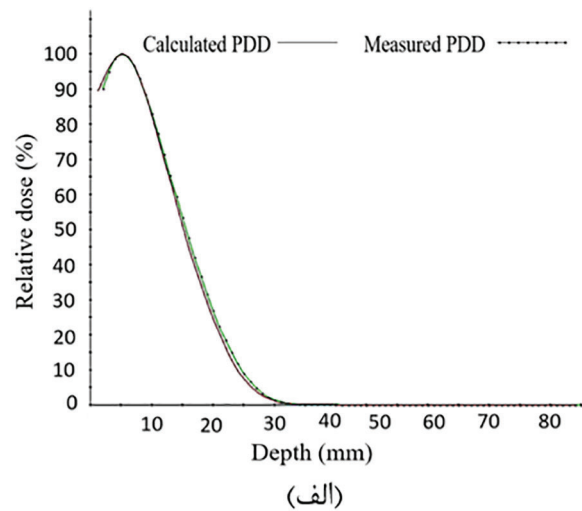
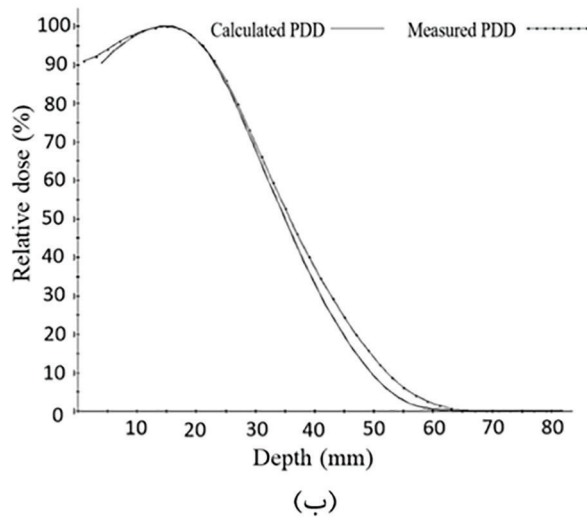
انجام آزمون‌های دزیمتری به‌صورت عملی برای شتاب‌دهنده لیاک بسیار سخت و زمان‌بر است. از طرفی شتاب‌دهنده لیاک بر خلاف شتاب‌دهنده‌های مرسوم، دارای گانتری هم مرکز^{۱۰} و وسایل جانبی مانند نشانگر مرکز میدان نیست. لذا روش تنظیم دزیمتر در فانتوم آب، اپلیکاتور و شتاب‌دهنده با روش‌های موجود و متداول برای اندازه‌گیری در شتاب‌دهنده‌های مرسوم متفاوت است. اسکن‌های مدنظر در این مطالعه شامل درصد دز عمقی اپلیکاتورهای مورب ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه با قطر ۳ سانتی‌متر، اپلیکاتورهای ۳۰ و ۴۵ درجه با قطر ۵ سانتی‌متر و ۳۰ درجه با قطر ۱۰ سانتی‌متر در انرژی‌های ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ مگا الکترون ولت است. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد به دلیل عدم وجود وسیله‌ای جهت مشخص شدن مرکز میدان (اپلیکاتور) در دستگاه، برای این مطالعه نشانگرهایی از جنس پروفیل

11. AAPM

12. Distance to agreement

13. Dose difference

10. Isocentric gantry



شکل ۲. مقایسه درصد دز عمقی‌های شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار SWL-LIAC و اندازه‌گیری شده. (الف) اپلیکاتور مورب (۴۵ درجه) ۵ سانتی‌متر در انرژی ۶ مگا الکترون ولت، (ب) اپلیکاتور مورب (۱۵ درجه) ۳ سانتی‌متر در انرژی ۱۲ مگا الکترون ولت

جدول ۱. آنالیز خطا (عدم قطعیت) برای منحنی‌های درصد دز عمقی اندازه‌گیری شده

منشأ خطا	عدم قطعیت (%)
تکرارپذیری	۰/۳
جایگاه دزیومتر	۰/۳ (۲۷)
ثبات کوتاه‌مدت	۰/۶ (۱۴)
عدم قطعیت کل	۰/۷

در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی شیراز با کد IR.SUMS.REC.1401.154 رسیده است.

یافته‌ها

همان‌طور که در (شکل ۲) مشاهده می‌شود، درصد دز عمقی‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی تطابق بسیار بالایی دارند. میزان عدم قطعیت برای مقادیر اندازه‌گیری شده ۰/۷ درصد محاسبه شد (جدول ۱) در (شکل ۳) مقادیر گاما مربوط به مقایسه درصد دز عمقی دو میدان با در نظر گرفتن معیار پذیرش ۲ میلی متر/۲ درصد نشان داده شده است. با در نظر گرفتن معیار پذیرش ۲ میلی متر/۲ درصد تنها میدانی که تمام نقاط درصد دز عمقی دارای شاخص گاما کمتر یا مساوی یک نبوده است، درصد دز عمقی اپلیکاتور ۳ سانتی‌متر ۱۵ درجه در انرژی ۱۲ مگا الکترون ولت بود. میزان شاخص گاما درصد دز عمقی این میدان با در نظر گرفتن معیار پذیرش ۲ میلی متر/۲ درصد، ۹۸/۱ درصد گزارش شد. به غیر از محاسبه گاما، تفاوت میزان دز در درصد دز عمقی‌های شبیه‌سازی شده نرم‌افزار SWL-LIAC

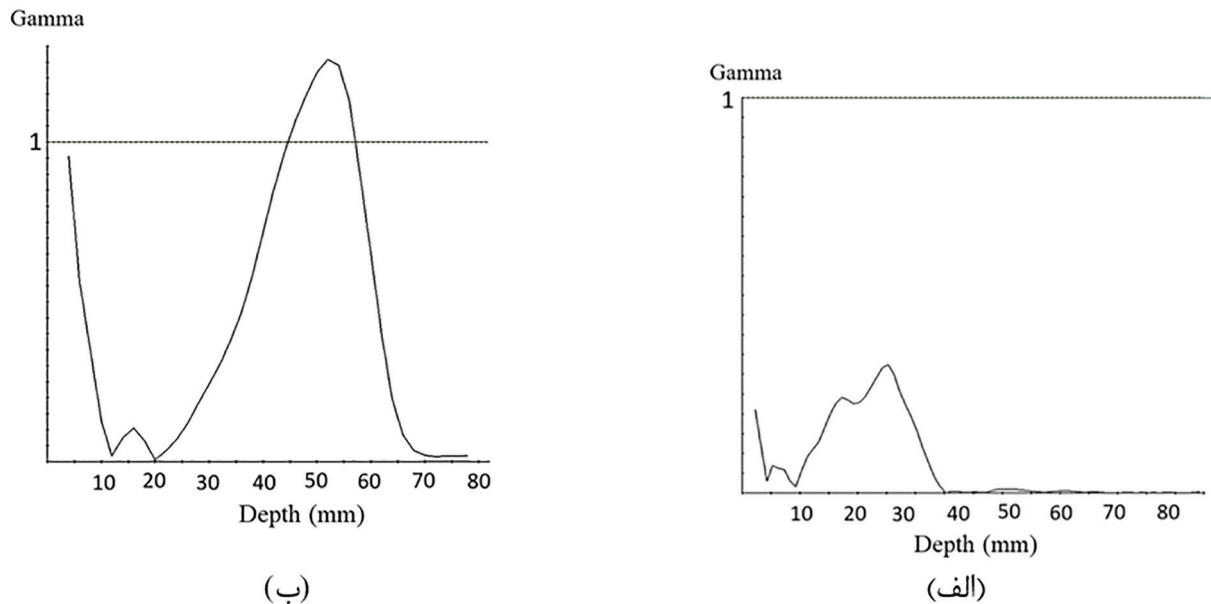
دز درصد نقاطی که شاخص گامای قابل قبول دارند (≥ 1) نسبت به کل نقاط بررسی شده، به‌عنوان میزان پذیرش گاما به درصد گزارش می‌شود (۱۵). بر اساس راهنمای عملی ۵۸. انجمن فیزیک پزشکی آمریکا، معیار پذیرش در میدان‌های الکترونی، ۳ میلی‌متر برای DTA (فاصله تا توافق) و ۳ درصد برای DD% (درصد تفاوت دز) شناخته شده است (۱۶). با این وجود در این مطالعه درصد دز عمقی‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده علاوه بر معیار پذیرش ۳ میلی‌متر/۳ درصد، با معیار پذیرش ۲ میلی‌متر/۲ درصد نیز مقایسه شدند.

جهت محاسبه میزان عدم صحت مقادیر اندازه‌گیری شده، منابع خطا و میزان عدم قطعیت هر یک از موارد با توجه به منابع موجود محاسبه شد (جدول ۱). میزان عدم قطعیت برای فاکتور تکرارپذیری^{۱۴} با استفاده از مقایسه سه اندازه‌گیری مستقل گزارش شده است.

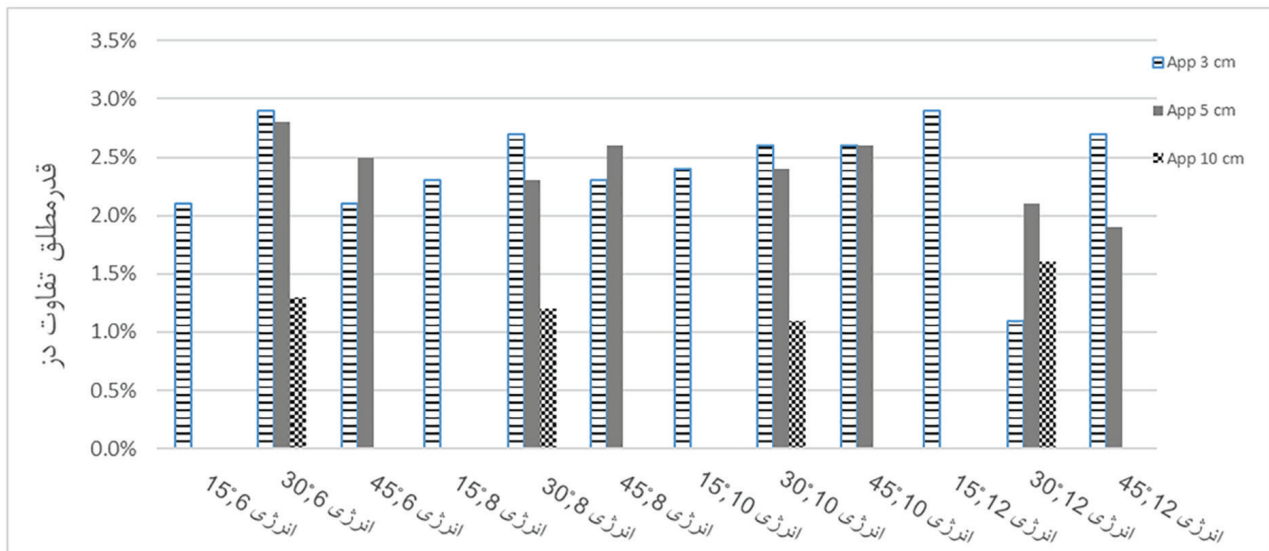
ملاحظات اخلاقی

پروتکل این مطالعه به تصویب کمیته اخلاق

14. Measurement repeatability



شکل ۳. مقادیر گاما با معیار پذیرش ۲ میلی متر/ ۲ درصد (الف) اپلیکاتور مورب (۴۵ درجه) ۵ سانتی متر در انرژی ۶ مگا الکترون ولت (ب) اپلیکاتور مورب (۱۵ درجه) ۳ سانتی متر در انرژی ۱۲ مگا الکترون ولت



شکل ۴. بیشترین میزان قدرمطلق تفاوت دز در کل نواحی درصد دز عمقی‌های شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار SWL-LIAC و اندازه‌گیری شده در ۲۴ میدان مختلف

نظر گرفتن دو معیار پذیرش ۳ میلی متر/ ۳ درصد و ۲ میلی متر/ ۲ درصد، در اکثر میدان‌ها به جز یک میدان (اپلیکاتور ۳ سانتی متر ۱۵ درجه در انرژی ۱۲ مگا الکترون ولت)، درصد گامای تمامی مقادیر درصد دز عمقی ۱۰۰ درصد بود. یا به عبارتی شاخص گامای تمامی نقاط درصد دز عمقی‌ها (به جز چند نقطه از درصد دز عمقی اپلیکاتور ۳ سانتی متر ۱۵ درجه در انرژی ۱۲ مگا الکترون ولت با در نظر گرفتن معیار ۲ میلی متر/ ۲ درصد) کوچک‌تر یا مساوی یک مشاهده شد. پروتکل‌های موجود معیار پذیرش ۳ میلی متر/ ۳ درصد را معیار قابل قبول معرفی کرده‌اند.

و اندازه‌گیری شده برای کل نواحی درصد دز عمقی انجام شد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، حداکثر قدرمطلق تفاوت‌ها نیز کمتر از ۳ درصد گزارش شده است. بیشترین میزان تفاوت به میدان اپلیکاتور ۳ سانتی متر ۱۵ درجه در انرژی ۱۲ مگا الکترون ولت و اپلیکاتور ۳ سانتی متر ۳۰ درجه در انرژی ۶ مگا الکترون ولت است. تمامی درصدهای مشاهده‌شده از ۳ درصد کمتر بود.

نتایج حاصل از مقایسه‌های تمامی درصد دز عمقی‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مدنظر این مطالعه با استفاده از شاخص گاما نشان داد که با در

دزهای بررسی شده فاکتور گاما کمتر از یک مشاهده شد. میانگین اختلاف فاکتور خروجی نسبی اندازه‌گیری شده و به‌دست‌آمده به‌وسیله نرم‌افزار، ۱ درصد بود و بیشترین تفاوت در اپلیکاتور با قطر ۳ سانتی‌متر و زاویه ۳۰ درجه دیده شد. در انتها نتیجه گرفتند که نتایج حاصل از این نرم‌افزار با مقادیر اندازه‌گیری شده همخوانی دارد و می‌توان از این نرم‌افزار در مرحله راه‌اندازی استفاده کرد که باعث کاهش زمان اندازه‌گیری و کوتاه شدن مرحله راه‌اندازی می‌شود (۱۷).

اما تنها مطالعه‌ای که صورت مستقل از شرکت سازنده انجام گرفت، در سال ۲۰۲۱ توسط مصلح شیرازی و همکاران بود (۵). در واقع مطالعه مذکور اولین مطالعه در راستای بررسی میزان صحت اطلاعات شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار SWL-LIAC به‌طور مستقل از شرکت سازنده بود. در آن مطالعه تفاوت‌هایی در پروفایل‌های دو راستا مشاهده گردید؛ اما بیان شد که اختلافات مشاهده‌شده ناشی از خطای اندازه‌گیری نبوده است. شرکت سازنده دستگاه لیاک اختلافات مشاهده‌شده را مورد تأیید قرار دادند. در این مطالعه تمامی نقاط درصد دز عمقی با استفاده از شاخص گاما مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن‌ها نشان داد در معیار پذیرش سخت‌گیرانه‌تر از ۳ میلی‌متر/۳ درصد نیز اختلافات در محدوده قابل قبول است (۵).

در مطالعه حاضر با مقاله قبلی نویسندگان این مطالعه تفاوت‌های قابل توجهی وجود دارد و در واقع مکمل آن محسوب می‌شود. در مقاله ذکر شده، اعتبار سنجی نرم‌افزار عمدتاً برای اپلیکاتورهای صاف شتاب‌دهنده لیاک انجام شده است. این در حالی است که از ۲۸ اپلیکاتورهای این شتاب‌دهنده، فقط ۷ اپلیکاتور صاف است و ۲۱ مورد از اپلیکاتورهای مورب هستند. در درمان‌های پرتودرمانی حین جراحی در مناطقی که امکان مماس شدن اپلیکاتور صاف با بدن بیمار وجود ندارد، از اپلیکاتورهای مورب استفاده می‌شود. به دلیل اهمیت، پیچیدگی و تعداد بالای اپلیکاتورهای مورب، در این مقاله جدید، مطالعه برای اولین بار صرفاً بر روی اپلیکاتورهای مورب انجام شده است. همچنین، در مطالعه حاضر، روش مقایسه درصد دز عمقی‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده گسترده‌تر انجام شده است. در مطالعه حاضر علاوه بر روش مقایسه آنالیز گاما، درصد تفاوت دز تمامی نقاط درصد دز عمقی محاسبه شده است و بالاترین میزان در هر درصد دز عمقی گزارش شده است. در مطالعه حاضر، نتایج حاصل از مقایسه درصد دز

نرم‌افزار SWL-LIAC نقش کلیدی در مرحله راه‌اندازی شتاب‌دهنده لیاک با هدف شبیه‌سازی اطلاعاتی که در مرحله راه‌اندازی شتاب‌دهنده‌های معمولی اندازه‌گیری می‌شود، ایفا می‌کند. بنابراین ارزیابی عملکرد این نرم‌افزار ضروری است. تا به امروز تعدادی مطالعه در قالب مقاله اصیل و خلاصه جهت ارائه در کنگره‌ها ارائه شده است. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، یاکارینو و همکارانش برای اولین بار شبیه‌سازی سر این شتاب‌دهنده را انجام دادند و بیان کردند که شبیه‌سازی انجام شده قابل اعتماد است (۲). آن‌ها در این مطالعه بیان کردند که با استفاده از شبیه‌سازی انجام شده، می‌توان با استفاده از کمترین اطلاعات دزیمتری اندازه‌گیری شده، سایر اطلاعات دزیمتری دستگاه شبیه‌سازی شود. اطلاعات مورد نیاز این نرم‌افزار شامل درصد دز عمقی، پروفایل و فاکتور خروجی نسبی تمامی اپلیکاتورهای (تمامی انرژی‌ها، زوایا و قطرهای مختلف اپلیکاتورها در دو نوع با انتهای صاف و زاویه‌دار) است. همچنین بیان کردند با اندازه‌گیری درصد دز عمقی اپلیکاتورهای ۳، ۷، ۱۰ سانتی‌متر و بدون اپلیکاتور می‌توان سایر اطلاعات نسبی دزیمتری در تمامی اپلیکاتورها، با استفاده از این شبیه‌سازی، پیش‌بینی کرد. میزان اختلاف مقادیر فاکتور خروجی نسبی محاسبه‌شده به روش مونت کارلو و اندازه‌گیری شده در اکثر موارد کمتر از ۲ درصد بود. موافقت درصد دز عمقی و پروفایل‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده با در نظر گرفتن معیار پذیرش ۲ میلی‌متر/۲ درصد قابل قبول گزارش شده است. آن‌ها نتیجه گرفتند که این شبیه‌سازی می‌تواند در مرحله راه‌اندازی دستگاه کمک‌کننده باشد. در سال ۲۰۱۱ نرم‌افزار SWL-LIAC بر اساس یافته‌های مطالعه یاکارینو و همکارانش راه‌اندازی و تجاری‌سازی شد (۲).

دو مطالعه دیگر نیز در قالب خلاصه کنفرانس انجمن فیزیک پزشکی ایتالیا در سال ۲۰۱۳ به‌وسیله اعضای شرکت سازنده دستگاه ارائه شده است که فقط یکی از این مطالعات مربوط به شتاب‌دهنده لیاک ۱۲ مگا الکترون ولت است. این مطالعه با هدف ارزیابی عملکرد نرم‌افزار SWL-LIAC ارائه شد. در آن مطالعه مقادیر فاکتور خروجی نسبی، درصد دز عمقی، پروفایل و توزیع دز به‌دست‌آمده به‌وسیله نرم‌افزار SWL-LIAC که بر اساس شبیه‌سازی مونت کارلو طراحی شده، با مقادیر به‌دست‌آمده‌ای که با استفاده از دیود و فانتوم آب به‌دست‌آمده، مقایسه شد. در ۹۷/۸ درصد از نقاط، توزیع

و زمان بر بودن جلسات اندازه‌گیری اشاره کرد. به دلیل تعداد بالای بیماران تحت درمان در اتاق عمل بیمارستان، امکان دسترسی به شتاب‌دهنده جهت انجام آزمون‌های دزیمتری بسیار محدود بود. به‌علاوه به دلیل زمان بر بودن آزمون‌های دزیمتری، اندازه‌گیری‌ها در جلسات متعددی انجام گرفت و تلاش برای یکسان بودن شرایط اندازه‌گیری با جلسات مشابه دشوار و زمان بر بود.

پیشنهادهای پژوهش

با توجه به میزان دز بالای مورد استفاده در این نوع درمان، پیشنهاد می‌شود که سایر نرم افزارهای کاربردی نیز مورد راستی آزمایی عملی قرار بگیرند. همچنین تلاش بر تهیه نسخه نهایی نرم افزارهای مرتبط با این شتاب دهنده در جهت افزایش صحت و دقت جلسات درمان نیز از اهمیتی بالایی برخوردار است.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نشان داد که عملکرد نرم‌افزار SWL-LIAC در شبیه‌سازی درصد دز عمقی‌های میدان‌های مورب قابل قبول است. پیشنهاد می‌شود جهت تسهیل روش‌های پیچیده و زمان‌بر تنظیم فانتوم و اپلیکاتورهای این شتاب‌دهنده، خصوصاً اپلیکاتورهای مورب، تجهیزات جانبی طراحی و ارائه گردد.

تشکر و قدردانی

از پرسنل محترم بخش اتاق عمل بیمارستان شهید فقیهی دانشگاه علوم پزشکی شیراز که در انجام این پژوهش همکاری نمودند، قدردانی می‌شود. این مقاله از پایان‌نامه سحر هاشمیان، دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد فیزیک پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شیراز، استخراج شده که با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری این دانشگاه (شماره طرح ۲۵۲۰۹) انجام شده است.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تضاد منافع وجود ندارد.

عمقی‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در (شکل ۴) نشان داده شده است. در این شکل بالاترین اختلاف دز محاسبه شده؛ در ۲ میدان پرتویی مشاهده شد. هر دو درصد‌های گزارش شده کمتر از ۳ درصد بود که بر اساس پروتکل‌های بین‌المللی در محدوده قابل قبولی قرار دارند (۱۶، ۱۸). در تمامی موارد با در نظر گرفتن معیار ۳ میلی متر/۳ درصد، تمام نقاط درصد دز عمقی دارای شاخص گامای قابل قبول بودند. با وجود این با در نظر گرفتن معیار ۲ میلی متر/۲ درصد در درصد دز عمقی تولیدی اپلیکاتور ۳ سانتی‌متر ۱۵ درجه در انرژی ۱۲ مگا الکترون ولت، تعدادی از نقاط در ناحیه افت دز میزان گاما بیش از ۱ را نشان دادند (شکل ۳)، نتایج مطالعه ما نشان داد درصد دز عمقی‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده میزان پذیرش گامای قابل قبولی دارند. با توجه به اینکه در این مطالعه هدف بررسی درصد دز عمقی اپلیکاتورهای مورب بود، اختلاف مشاهده‌شده در یکی از میدان‌ها ممکن است در اثر خطای غیر عمدی در روش سخت و پیچیده اندازه‌گیری درصد دز عمقی باشد. از طرفی با وجود اختلافات، میزان شاخص گاما درصد دز عمقی میدان اپلیکاتور ۳ سانتی‌متر ۱۵ درجه در انرژی ۱۲ مگا الکترون ولت نیز بیش از ۹۵ درصد (۹۸/۱ درصد) مشاهده شد. بنابراین با توجه به مطالعات قبلی و مقایسه‌های انجام شده مطالعه حاضر، می‌توان نتیجه گرفت که نرم‌افزار SWL-LIAC از صحت کافی در محاسبات درصد دز عمقی برخوردار است.

یکی از مزایای مطالعه حاضر، روش مقایسه‌ای است که انتخاب شده چراکه روش آنالیز گاما معمولاً به‌عنوان یک روش معتبر و شناخته شده برای مقایسه دو توزیع دز دوبعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما در این مطالعه، استفاده از آنالیز گاما برای مقایسه توزیع دز یک‌بعدی (درصد دز عمقی که در راستای یک خط اندازه‌گیری می‌شوند) استفاده شد، که در واقع مثالی از توسعه موارد کاربرد این روش محسوب می‌شود.

از دیگر مزایای روش انجام این مطالعه، استفاده از دیودهای نوع E جهت انجام دزیمتری است. در مطالعات گذشته، برتری دیود نسبت به سایر دزیمترها جهت اندازه‌گیری‌های نسبی مورد بررسی قرار گرفته است.

محدودیت‌های پژوهش

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به سخت

منابع

1. Beddar AS, Biggs PJ, Chang S, Ezzell GA, Faddegon BA, Hensley FW, et al. Intraoperative radiation therapy using mobile electron linear accelerators: report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 72. *Med Phys*. 2006;33(5):1476-89.
2. Iaccarino G, Strigari L, D'Andrea M, Bellesi L, Felici G, Ciccotelli A, et al. Monte Carlo simulation of electron beams generated by a 12 MeV dedicated mobile IORT accelerator. *Phys Med Biol*. 2011;56(14):4579-96.
3. Gunderson LL, Willett CG, Calvo FA, Harrison LB. Intraoperative irradiation: techniques and results. New York: Springer Science & Business Media; 2011.
4. Sordina. SWL-LIAC Monte Carlo simulation, users manual. Rome: Sordina IORT SpA; 2013.
5. Mosleh-Shirazi MA, Rashidfar R, Karbasi S, Pashnehsaz M, Mahdavi M. Independent validation of a dedicated commissioning software and investigation of the direction dependence of the field symmetry for the LIAC intraoperative electron radiotherapy accelerator. *Radiat Phys Chem*. 2021;186:109529.
6. Mosleh-Shirazi MA, Rashidfar R, Karbasi S, Pashnehsaz M, Mahdavi M. The LIAC 12 MeV intraoperative electron radiotherapy unit: bi-directional assessment of field symmetry and independent evaluation of the SWL-LIAC simulation software. *Med Phys*. 2021;48(Suppl 1):E1-E2.
7. Bjork P, Nilsson P, Knoos T. Dosimetry characteristics of degraded electron beams investigated by Monte Carlo calculations in a setup for intraoperative radiation therapy. *Phys Med Biol*. 2002;47(2):239-56.
8. Pimpinella M, Mihailescu D, Guerra AS, Laitano RF. Dosimetric characteristics of electron beams produced by a mobile accelerator for IORT. *Phys Med Biol*. 2007;52(20):6197-214.
9. Di Venanzio C, Marinelli M, Tonnetti A, Verona-Rinati G, Falco MD, Pimpinella M, et al. Characterization of a microDiamond detector in high-dose-per-pulse electron beams for intraoperative radiation therapy. *Phys Med*. 2015;31(8):897-902.
10. Gungor G, Aydin G, Mustafayev TZ, Ozyar E. Output factors of ionization chambers and solid state detectors for mobile intraoperative radiotherapy (IORT) accelerator electron beams. *J Appl Clin Med Phys*. 2019;20(2):13-23.
11. Andreoli S, Pimpinella M, De Angelis C, Menegotti L, Silvi L, Della Monaca S. Detectors comparison for absorbed dose and output factors determination in high dose per pulse electron beams produced by a mobile linac for intraoperative radiation therapy (IORT). *Phys Med*. 2018;56:102.
12. Mosleh-Shirazi MA, Ketabi A, Karbasi S, Faghihi R. Assessment of an unshielded electron field diode dosimeter for beam scanning in small-to medium-sized 6 MV photon fields. *Iran J Med Phys*. 2013;10(1-2):51.
13. Bjork P, Knoos T, Nilsson P. Comparative dosimetry of diode and diamond detectors in electron beams for intraoperative radiation therapy. *Med Phys*. 2000;27(11):2580-8.
14. Palta JR, Biggs PJ, Hazle JD, Huq MS, Dahl RA, Ochran TG, et al. Intraoperative electron beam radiation therapy: technique, dosimetry, and dose specification: report of task force 48 of the Radiation Therapy Committee, American Association of Physicists in Medicine. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 1995;33(3):725-46.
15. Di Martino F, Giannelli M, Traino A, Lazzeri M. Ion recombination correction for very high dose-per-pulse high-energy electron beams. *Med Phys*. 2005;32(7 Pt 1):2204-10.
16. Smilowitz JB, Das IJ, Feygelman V, Fraass BA, Kry SF, Marshall IR, et al. AAPM Medical Physics Practice Guideline 5.a.: commissioning and QA of treatment planning dose calculations—megavoltage photon and electron beams. *J Appl Clin Med Phys*. 2015;16(5):14-34.
17. Fatis LM, Felici G, Ciccotelli A, Grusio M. Intercomparison between Monte Carlo calculations and measurements for electron beams produced by a dedicated mobile IORT accelerator. *Med Phys Conf Italy*. 2013;71:1-5.
18. Van Dyk J, Barnett RB, Cygler JE, Shragge PC. Commissioning and quality assurance of treatment planning computers. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 1993;26(2):261-73.