Journal of North Khorasan University of Medical Sciences
No 66, Volume 17, Issue 2

Check for updates

Original Article

Assessment of Radiation Dose Received by Orthopedic and Spine Operating Room Personnel during C-Arm Use Using Experimental Methods and Monte Carlo Simulation

Mohammadreza Zamani[1], Hossein Khosravi[2*], Behzad Imani[3], Roya Najafi Vosoogh[4], Alireza Abdi[1]

[1] MSc Student of Operating Room, Student Research Committee, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
[2] Associate Professor, Department of Radiology, Faculty of Paramedicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
[3] Associate Professor, Department of Operating Room, Faculty of Paramedicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
[4] Assistant Professor, Health Sciences Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

*Corresponding author: Hossein Khosravi, Department of Radiology, Faculty of Paramedicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. E-mail: hkhosravi55@gmail.com

DOI: 10.32592/nkums.17.2.75

How to Cite this Article:
Zamani M, Khosravi H, Imani B, Najafi Vosoogh R, Abdi A. Assessment of Radiation Dose Received by Orthopedic and Spine Operating Room Personnel during C-Arm Use Using Experimental Methods and Monte Carlo Simulation. J North Khorasan Univ Med Sci. 2025;17(2):75-82. DOI: 10.32592/nkums.17.2.75

Received: 02 November 2024
Accepted: 31 December 2024

Keywords:
Fluoroscopy
Monte Carlo Method
Orthopedics
Neurosurgery
Radiation

Abstract

Introduction: Due to increasing use of C-arm in surgeries, personnel are exposed to a greater risk of radiation. Accurate assessment of the dose received during various surgeries is one of the most important measures to prevent radiation-related complications. This study aimed to evaluate the dose received by operating room staff in orthopedic and spinal surgeries while using the C-arm device utilizing experimental methods and Monte Carlo simulation.

Method: This cross-sectional study was conducted from September to February 2023. To record the absorbed dose, TLD 100 dosimeters were used, and instead of humans, phantoms were utilized. The dosimeter was placed on the thyroid of the phantom. The phantoms were positioned both behind and in front of a lead wall at three locations: right, center, and left. The C-arm device was used to simulate orthopedic and neurosurgery procedures in both anteroposterior and lateral positions. Data analysis was performed using SPSS software (version 24), with a significance level set at 0.05 for the tests.

Results: The absorbed dose for the phantoms positioned behind the lead wall was significantly lower than that in front of the wall ($P<0.05$). When the phantom was in front of the wall, it received a higher dose in the lateral position of the C-arm, compared to the anteroposterior position ($P<0.05$). Additionally, when the phantom was placed behind the lead wall in the center and left positions, it received a higher dose in the anteroposterior position of the C-arm, compared to the lateral position ($P<0.05$).

Conclusion: The results of this study indicated a significant impact of the C-arm device's position, as well as the use of protective equipment on the dose received by operating room personnel during orthopedic and neurosurgical procedures. It emphasizes the importance of using appropriate shields when working with the C-arm.

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-04]

Copyright © 2025 The Author(s); Published by Journal of North Khorasan University of Medical Sciences. This is an open access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses /by-nc/4.0/) which permits others to copy and redistribute material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی
دوره ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

ارزیابی میزان دوز دریافتی پرسنل اتاق عمل‌های ارتوپدی و ستون فقرات حین استفاده از دستگاه C-arm با استفاده از روش‌های تجربی و شبیه‌سازی مونت کارلو

محمدرضا زمانی[۱]، حسین خسروی[۲*]، بهزاد ایمنی[۳]، رؤیا نجفی وثوق[۴]، علیرضا عبدی[۱]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد اتاق عمل، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۲] دانشیار، گروه رادیولوژی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۳] دانشیار، گروه اتاق عمل، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۴] استادیار، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[*]نویسنده مسئول: حسین خسروی، گروه رادیولوژی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. ایمیل: hkhosravi55@gmail.com

DOI: 10.32592/nkums.17.2.75

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱

واژگان کلیدی:
تشعشع
ارتوپدی
نوروسرجری
فلوروسکوپی
روش مونت کارلو

چکیده

مقدمه: با گسترش استفاده از C-arm در جراحی‌ها، کارکنان بیشتر در معرض خطر اشعه هستند. ارزیابی دقیق میزان دوز دریافتی در جراحی‌های مختلف یکی از اقدامات مهم برای پیشگیری از عوارض پرتوها است. این مطالعه با هدف ارزیابی میزان دوز دریافتی پرسنل اتاق عمل‌های ارتوپدی و ستون فقرات حین استفاده از دستگاه C-arm، با بهره‌گیری از روش‌های تجربی و شبیه‌سازی مونت کارلو انجام شد.

روش کار: این مطالعه، مطالعه‌ای مقطعی است که از مهر تا اسفند ۱۴۰۲ انجام شد. برای ثبت دوز جذبی از دوزیمتر TLD 100 و به جای انسان از مولاژ استفاده شد. دوزیمتر روی تیروئید مولاژ قرار گرفت. مولاژها، هم در پشت و هم در جلوی دیوار سربی در سه سمت راست، وسط و چپ قرار گرفتند و دستگاه C-arm برای شبیه‌سازی جراحی‌های ارتوپدی و نوروسرجری در دو وضعیت قدامی-خلفی و لترال قرار گرفت. تحلیل داده‌ها با استفاده از اس‌پی‌اس‌اس ۲۴ انجام شد. سطح معناداری آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: به‌طورکلی، دوز جذبی مولاژها در وضعیت پشت دیوار سربی به‌طور معناداری کمتر از وضعیت جلوی دیوار بود ($P<0/05$). هنگامی که مولاژ جلوی دیوار باشد، دوز بیشتری در حالت لترال C-arm نسبت به قدامی-خلفی دریافت می‌کند ($P<0/05$). همچنین، هنگامی که مولاژ پشت دیوار سربی در سمت وسط و چپ باشد، دوز بیشتری در حالت قدامی-خلفی C-arm نسبت به لترال دریافت می‌کند ($P<0/05$).

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان‌دهنده تأثیر چشمگیر موقعیت دستگاه C-arm و همچنین استفاده از تجهیزات محافظتی بر میزان دوز دریافتی پرسنل اتاق عمل در جراحی‌های ارتوپدی و نوروسرجری است و بر اهمیت استفاده از محافظ‌های مناسب هنگام کار با C-arm تأکید دارد.

مقدمه

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های چشمگیر در تکنولوژی پزشکی و استفاده از تجهیزات تصویربرداری مانند دستگاه فلوروسکوپی یا اشعه ایکس پرتابل در حین جراحی‌ها، به‌ویژه در حوزه‌های ارتوپدی و ستون فقرات، به افزایش دقت و کیفیت درمان‌ها منجر شده است [۱]. از فلوروسکوپی به‌طور گسترده در جراحی ستون فقرات برای ارزیابی دقیق ساختار و سطوح استفاده می‌شود [۲، ۳]. به‌دلیل گسترش تکنیک‌های کم‌تهاجمی در جراحی‌های ارتوپدی، فلوروسکوپی حین عمل بیش‌ازپیش مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴]. لذا، تحقیقات نشان می‌دهند که جراحان ارتوپدی جزء سه تخصص پزشکی به حساب می‌آیند که بیشترین میزان اشعه را دریافت می‌کنند [۵]. دستگاه C-arm نوعی دستگاه فلوروسکوپی است که به جراحان این امکان را می‌دهد تا تصاویر آنی و دقیقی از ناحیه جراحی دریافت کنند و در برخی از جراحی‌های ارتوپدی ازجمله گذاشتن نیل اینترامدولاری شکستگی استخوان‌های بلند، گذاشتن ثابت‌کننده‌های خارجی و بررسی فیکساسیون صحیح شکستگی‌ها استفاده می‌شود [۶، ۷].

اشعه ایکس متناسب با ضریب تضعیف بافت و انرژی پرتو می‌تواند توسط بافت جذب شود یا از درون آن عبور کند [۸]. از هر هزار فوتون تولیدشده توسط C-arm، فقط ۲۰ فوتون به گیرنده تصویر می‌رسد و

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-04]

بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ فوتون به صورت پرتوهای پراکنده در محیط پخش می‌شوند [۴]. میزان پرتوهای پراکنده به نحوه قرارگیری C-arm و میزان انرژی تابشی بستگی دارد [۷]. جراحان و پرسنل اتاق عمل به‌ندرت در معرض مسیر مستقیم اشعه ایکس قرار می‌گیرند و پرتوهای پراکنده یا ثانویه منبع اصلی قرار گرفتن در معرض پرتوهای شغلی هستند [۹]. در سال ۲۰۰۵ ماسترنجلو و همکاران مطالعه‌ای انجام دادند که نشان می‌داد جراحان ارتوپدی در خطر ابتلا به سرطان هستند؛ زیرا این جراحان به دلیل انجام دادن جراحی‌های طولانی‌مدت پرتوهای پراکنده زیادی را دریافت می‌کنند [۱۰].

از بین اندام‌های مختلف، تیروئید و سینه‌ها بیشتر در معرض خطر قرار دارند [۱۱]. ۸۵ درصد از کارسینوم‌های پاپیلاری تیروئید به علت برخورد طولانی با اشعه است [۱۲]. در مطالعه‌ای که والون و همکارانش انجام دادند، افزایش ۲/۹برابری شیوع سرطان سینه در ۵۰۵ جراح ارتوپد زن به دلیل قرار گرفتن در معرض تشعشات در مقایسه با زنان آمریکایی در سن و نژاد مشابه گزارش شده است [۱۳]. عدسی چشم یکی از بافت‌های حساس به پرتوهای یونیزان است و آب‌مروارید یکی از عوارض نخست پرتوهای یونیزان با دوز بالاست [۱۰، ۱۴]. تحقیقات نشان داده‌اند درحالی‌که پزشکان به شکل رایج از فلوروسکوپی بهره می‌برند، عوارض و خطرهای احتمالی این دستگاه به این افراد به‌خوبی آموزش داده نشده است [۱۵]. در یک نظرسنجی از رزیدنت‌های ارتوپدی مشخص شد که رعایت نکات ایمنی در برخورد با اشعه به‌طور صحیح و کامل رعایت نمی‌شود. ۶۵ درصد در دوره‌های آموزشی ایمنی در برابر تشعشات شرکت کردند و ۶۹ درصد از آن‌ها به اصول حداقل ایمنی آگاه بودند. ۹۶ درصد از آن‌ها پیش‌بند سربی استفاده می‌کردند، اما تعداد افرادی که از پیش‌بند تیروئیدی یا دوزیمتر استفاده می‌کردند بسیار کم بود [۱۶].

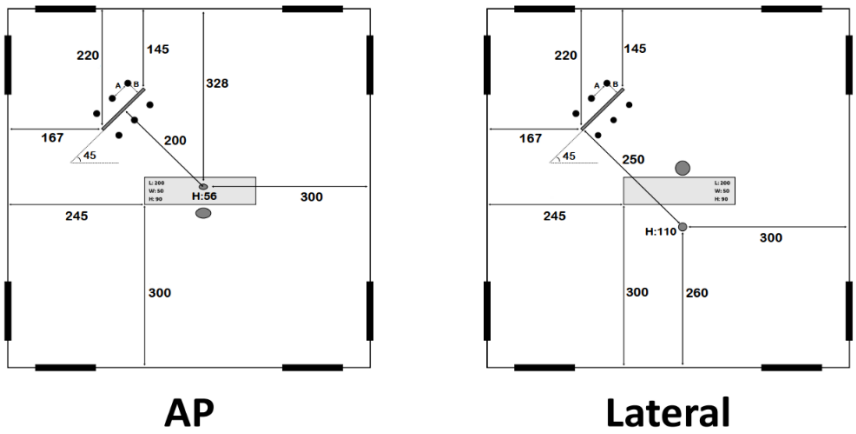
میزان دوز دریافتی پرسنل در اتاق عمل می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی ازجمله نوع جراحی، مدت‌زمان استفاده از دستگاه و فاصله از منبع تابش قرار گیرد. با توجه به گسترش استفاده از دستگاه C-arm میزان دوز دریافتی پرسنل ممکن است از حد مجاز افزایش یابد که این نوعی خطر شغلی است و اگر افزایش دوز دریافتی همراه با عدم استفاده از وسایل حفاظتی مانند دیوار سربی باشد، احتمال وقوع سرطان افزایش خواهد یافت. یکی از اقدامات مهم برای پیشگیری از عوارض پرتوها، ارزیابی مداوم میزان دوز دریافتی است. بنابراین، ارزیابی دقیق و علمی این دوزها ضروری است تا بتوان راهکارهای مناسبی برای کاهش تابش و حفاظت از سلامت پرسنل ارائه داد. در این راستا، استفاده از روش‌های شبیه‌سازی مونت کارلو Monte Carlo به‌عنوان ابزاری قدرتمند و دقیق برای مدل‌سازی و تحلیل تابش‌های یونیزان، می‌تواند به ما کمک کند تا به درک بهتری از توزیع دوز دریافتی در شرایط واقعی دست یابیم. این مطالعه با هدف ارزیابی میزان دوز دریافتی پرسنل اتاق عمل‌های ارتوپدی و ستون فقرات حین استفاده از دستگاه C-arm، با بهره‌گیری از روش‌های تجربی و شبیه‌سازی مونت کارلو انجام شد. نتایج این تحقیق می‌تواند به توسعه راهکارهای حفاظتی مؤثرتر و بهبود ایمنی پرسنل در اتاق عمل منجر شود و به ارتقای استانداردهای سلامت شغلی در محیط‌های پزشکی کمک کند.

روش کار

این مطالعه نوعی مطالعه مشاهده‌ای-مقطعی است که از مهر تا اسفند ۱۴۰۲ در بیمارستان بعثت همدان انجام شده است. تمام گروه‌ها و حالت‌های شیوه تجربی به روش مونت کارلو شبیه‌سازی شدند. برای تحلیل فرض‌های مربوطه از آزمون T-Test مستقل و نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس ۲۴ استفاده شد. سطح معناداری آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد [۱۷]. به منظور رعایت اخلاق در پژوهش و امکان دریافت اشعه مضر، به جای انسان از مولاژ در این مطالعه استفاده شد.

تمام مولاژها دارای ظاهری یکسان بودند و هریک ۱۰۰ سانتی‌متر ارتفاع داشتند که فاصله بین دو چشم آن‌ها ۵ سانتی‌متر و فاصله تیروئید با چشم‌ها ۲۶ سانتی‌متر بود. برای شبیه‌سازی تقریبی قد پرسنل، مولاژها روی صندلی‌های پلاستیکی با ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر قرار گرفتند. در این مطالعه، از دستگاه C-arm مدل Genoray Oscar classic C-ARM (ساخت کره) استفاده شد. دیوار سربی استفاده‌شده در این مطالعه دارای ۱۰۶ سانتی‌متر طول و ۱۸۵ سانتی‌متر ارتفاع است که ضخامت سرب مورداستفاده در آن ۲ میلی‌متر بود. اتاق عملی که تحقیق در آن انجام شد، ابعادی به طول ۶/۵ متر، عرض ۶/۶ متر و ارتفاع ۳/۳ متر داشت که جزئیات دقیق‌تر آن را در شکل ۱، که طرح شماتیکی از اتاق است، مشاهده می‌کنید (شکل ۱). تخت جراحی در اتاق عمل دارای طول ۲۰۰ سانتی‌متر و عرض ۵۰ سانتی‌متر بود که ارتفاع آن از سطح زمین ۹۰ سانتی‌متر برای همه نمونه‌ها در نظر گرفته شد. مولاژها، هم در پشت و هم جلوی دیوار سربی با فاصله بیست‌سانتی‌متری از آن و در سه سمت راست، وسط و چپ دیوار با فاصله ۲۸سانتی‌متری از یکدیگر قرار گرفتند که درنتیجه سه حالت برای هر گروه به دست آمد که شامل سمت راست، وسط و چپ دیوار است. مولاژها برای شبیه‌سازی شرایط هیچ‌گونه محافظ سربی نداشتند. دستگاه C-arm برای شبیه‌سازی جراحی‌های ارتوپدی و نوروسرجری در دو وضعیت قدامی-خلفی و لترال قرار داده شد و هریک از سه حالت گفته‌شده یک بار در وضعیت قدامی-خلفی و یک بار در وضعیت لترال اندازه‌گیری شدند که درمجموع ۱۲ حالت مختلف به دست آمد.

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-04]



شکل ۱: طرح شماتیکی از اتاق عمل و مختصات قرارگیری دستگاه، دیوار، مولاژها و تخت جراحی که تمام اعداد برحسب سانتی‌متر است. تخت جراحی ۲۰۰ سانتی‌متر طول، ۵۰ سانتی‌متر عرض و ۹۰ سانتی‌متر ارتفاع از سطح زمین دارد. A: فاصله دو مولاژ از یکدیگر که برابر است با ۲۸ سانتی‌متر. B: فاصله مولاژ از دیوار سربی که برابر است با ۲۰ سانتی‌متر. H: فاصله منبع تولید اشعه دستگاه C-arm از سطح زمین.

این آزمایش دو بار و به فاصله یک ماه از یکدیگر برای اطمینان از نتایج انجام شد. زاویه قرارگیری دیوار سربی نسبت به تخت جراحی ۴۵ درجه بود. هنگامی که دستگاه C-arm در وضعیت قدامی-خلفی قرار داشت، فاصله منبع تولید اشعه از دیوار سربی ۲۰۰ سانتی‌متر و هنگامی که دستگاه C-arm در وضعیت لترال قرار داشت، فاصله منبع تولید اشعه از دیوار سربی ۲۵۰ سانتی‌متر بود که جزئیات بیشتر و مختصات قرارگیری دیوار سربی و دستگاه C-arm در اتاق در شکل ۱ مشخص است. همچنین، تمام این اندازه‌ها و پارامترها در شبیه‌سازی مونت کارلو نیز مورد استفاده قرار گرفتند.

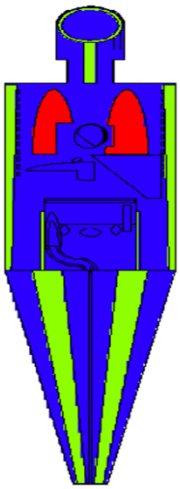
به منظور اندازه‌گیری دوز دریافتی توسط مولاژ از دوزیمتر (TLD (Thermoluminescent Dosimeter)Bicron STI/Harshaw, (Solon, Ohio) که روی تیروئید هر مولاژ قرار دادیم استفاده شد. تراشه‌های TLD پس از دو مرحله کالیبراسیون و به دست آوردن ضرایب تصحیح تراشه‌ها (ECF Element Correction Factor) و ضرایب کالیبراسیون دستگاه قرائت‌کننده تراشه‌ها (RCF) Reader Calibration Factor و اعمال این دو ضریب در مقادیر خوانده‌شده توسط TLD ها مورد استفاده قرار گرفتند.

در هر کدام از وضعیت‌های قدامی-خلفی و لترال دستگاه C-arm تعداد سه عدد مولاژ در جلو و سه عدد دیگر در پشت دیوار سربی با فواصل و مختصات ذکرشده قرار داده شد که روی هریک TLDهای کدگزاری‌شده نصب شد. در هر وضعیت ۷ بار پدال اشعه فشرده شد که در تمام حالت‌ها تنظیمات دستگاه ثابت و همچنین از میزان جریان و ولتاژ یکسان (۰.۸ mA, 47 kvp) برای همه استفاده شد. پس از هر بار آزمایش در هر دو وضعیت قدامی-خلفی و لترال، TLDها سریعا از اتاق عمل خارج و در مکانی ایمن قرار داده می‌شدند. TLDها برای خوانش و کالیبراسیون، ۴۸ ساعت پس از انجام دادن آزمایش به مرکز مربوطه ارسال می‌شدند. پس از به دست آمدن نتایج حاصل از خوانش TLDها در مرکز مربوطه، TLDها مجدد کالیبره می‌شدند و در اختیار پژوهشگر قرار می‌گرفتند تا به وسیله همان TLDها این آزمایش بار دیگر تکرارشود. تمام اعداد به دست آمده از خوانش TLDها وارد نرم افزار SPSS 24 شدند و از آزمون T-Test مستقل در سطح معناداری 0.05 جهت تحلیل آماری آن‌ها استفاده شد.

در این مطالعه توجه شد که هر بار آزمایش هنگامی انجام شود که اتاق عمل غیر فعال بوده و هیچ جراحی که همزمان از اشعه استفاده کنند وجود نداشته باشد تا نتایج این مطالعه را مخدوش‌کرده یا تحت تأثیر قرار دهد. همچنین از نظر اخلاقی در طول انجام تحقیق و کار با دستگاه C-arm هنگام تابش اشعه هیچ انسانی اعم از بیماران و کادر درمان در اتاق حضور نداشته باشند و پس از اطمینان از این موضوع روند تحقیق طی می‌شد.

در کد مونت کارلو برای شبیه‌سازی ۳ مرحله باید طی شود که شامل: تعریف مواد، تعریف ذرات و اعتبارسنجی دستگاه شتاب‌دهنده خطی می‌باشد. برای شبیه‌سازی مونت‌کارلو، از مدل‌های آناتومیک کامل بدن انسان (کد MCNPX) شامل فانتوم‌های استاندارد زن و مرد (ORNL Phantom - Female & Male) استفاده شد[۱۸]. این فانتوم‌ها با دقت بالا تمام اندام‌های حیاتی، ترکیبات شیمیایی و چگالی‌های اختصاصی هر بافت را شبیه‌سازی می‌کنند (شکل ۲) [۱۹].

میزان خطا در شبیه‌سازی انجام‌شده در این مطالعه ۰/۰۱۷ است که این میزان خطا قابل قبول است. همچنین، برای کاهش خطای آماری از تکنیک‌های کاهش واریانس برشی مانند Energycutoff (10 Kev) و روش‌های مبتنی بر کنترل جمعیت آماری مانند رولت روسی استفاده شده است. تعداد ذرات در این شبیه‌سازی حداقل صدمیلیون ترابرد شده است.



شکل ۲: مولاژ شبیه‌سازی‌شده در مونت کارلو

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-04]

یافته‌ها

نتایج و یافته‌های مطالعه در دو بخش یافته‌های توصیفی و یافته‌های مربوط به فرضیه مطالعه ارائه می‌گردد. همان‌طور که گفته شد در این مطالعه با توجه به جایگاه مولاژ (پشت یا جلو دیوار در سه سمت چپ، وسط و راست) ۶ حالت مختلف برای هر کدام از وضعیت‌های قدامی-خلفی و لترال دستگاه C-arm وجود دارد که در مجموع ۱۲ حالت ایجاد می‌کند. تمام ۱۲ حالت ایجاد شده در روش تجربی در کد مونت کارلو شبیه‌سازی شده است و بین روش تجربی و مونت کارلو نیز مقایسه انجام گرفت.

نتایج میانگین و انحراف معیار به‌دست آمده از روش تجربی و شبیه‌سازی مونت کارلو و همچنین نتایج آزمون T-Test جهت مقایسه این دو برای هر کدام از ۱۲ حالت ممکن در جدول ۱ و ۲ گزارش شده است. پس از انجام مطالعه و به‌دست آمدن نتایج آن، این مطالعه دو بار دیگر با شرایط کاملا مشابه تکرار شد که نتایج دو سری بعدی نیز مشابه سری اول بود و تفاوت معناداری در نتایج به‌دست آمده بین دفعه اول با دو سری بعد وجود نداشت ($P>0/05$).

جدول ۱: مقایسه دوز جذبی مولاژ در حالت‌های مختلف

موقعیت مولاژ	تجربی	شبیه‌سازی	مقدار P- T-Test
	انحراف معیار ± میانگین*	انحراف معیار ± میانگین	
حالت ۱: جلو و سمت راست دیوار، C-arm(AP)**	۲/۲۲ ± ۰/۰۴۷	۲/۳۹۰ ± ۰/۰۴۱	۰/۰۰۹
حالت ۲: جلو و سمت وسط دیوار، C-arm(AP)	۲/۵۰ ± ۰/۰۳۵	۲/۶۴۰ ± ۰/۰۴۵	۰/۰۱۶
حالت ۳: جلو و سمت چپ دیوار، C-arm(AP)	۱/۹۰ ± ۰/۰۶۲	۱/۹۷ ± ۰/۰۸۷	۰/۳۲۱
حالت ۴: پشت و سمت راست دیوار، C-arm(AP)	۰/۳۰ ± ۰/۰۴۷	۰/۳۸ ± ۰/۰۳۶	۰/۰۹۹
حالت ۵: پشت و سمت وسط دیوار، C-arm(AP)	۰/۵۳ ± ۰/۰۴۵	۰/۶۱ ± ۰/۰۴۵	۰/۱۱۹
حالت ۶: پشت و سمت چپ دیوار، C-arm(AP)	۰/۴۷ ± ۰/۰۵	۰/۴۸ ± ۰/۰۵۰	۰/۸۲
حالت ۷: جلو و سمت راست دیوار، C-arm(LAT)***	۷/۰۱ ± ۰/۰۹۸	۷/۰۸ ± ۰/۰۵۵	۰/۳۴۴
حالت ۸: جلو و سمت وسط دیوار، C-arm(LAT)	۷/۵۳ ± ۰/۰۵	۷/۶۰ ± ۰/۰۵۵	۰/۲۱۸
حالت ۹: جلو و سمت چپ دیوار، C-arm(LAT)	۷/۳۴ ± ۰/۰۵۱	۷/۰۷ ± ۰/۰۶۱	۰/۰۰۴
حالت ۱۰: پشت و سمت راست دیوار، C-arm(LAT)	۰/۲۲ ± ۰/۰۴	۰/۳۰ ± ۰/۰۳۶	۰/۰۷
حالت ۱۱: پشت و سمت وسط دیوار، C-arm(LAT)	۰/۲۱ ± ۰/۰۳	۰/۴۱ ± ۰/۰۴۵	۰/۰۰۴
حالت ۱۲: پشت و سمت چپ دیوار، C-arm(LAT)	۰/۲۸ ± ۰/۰۲۵	۰/۵۲ ± ۰/۰۴۵	۰/۰۰۲

* میانگین مقدار دوز دریافتی TLDها پس از سه بار آزمایش

**Anteroposterior

***Lateral

جدول ۲: مقایسه میزان دوز جذبی مولاژ در پوزیشن‌های مختلف C-arm

موقعیت مولاژ	قدامی-خلفی	لترال	مقدار P- T-Test
	انحراف معیار ± میانگین	انحراف معیار ± میانگین	
جلو و سمت راست دیوار، روش تجربی	۲/۲۲ ± ۰/۰۴۷	۷/۰۱ ± ۰/۰۹۶	<۰/۰۰۱
جلو و سمت وسط دیوار، روش تجربی	۲/۵۰ ± ۰/۰۳۵	۷/۵۳ ± ۰/۰۵	<۰/۰۰۱
جلو و سمت چپ دیوار، روش تجربی	۱/۹۰ ± ۰/۰۶۲	۷/۳۴ ± ۰/۰۵۱	<۰/۰۰۱
پشت و سمت راست دیوار، روش تجربی	۰/۳۰ ± ۰/۰۴۷	۰/۲۲ ± ۰/۰۴	۰/۰۸۱
پشت و سمت وسط دیوار، روش تجربی	۰/۵۳ ± ۰/۰۴۵	۰/۲۱ ± ۰/۰۳	<۰/۰۰۱
پشت و سمت چپ دیوار، روش تجربی	۰/۴۷ ± ۰/۰۵	۰/۲۸ ± ۰/۰۲۵	۰/۰۰۴
جلو و سمت راست دیوار، روش شبیه‌سازی	۲/۳۹ ± ۰/۰۴۱	۷/۰۸ ± ۰/۰۵۵	<۰/۰۰۱
جلو و سمت وسط دیوار، روش شبیه‌سازی	۲/۶۴ ± ۰/۰۴۵	۷/۶۰ ± ۰/۰۵۵	<۰/۰۰۱
جلو و سمت چپ دیوار، روش شبیه‌سازی	۱/۹۷ ± ۰/۰۸۷	۷/۰۷ ± ۰/۰۶۱	<۰/۰۰۱
پشت و سمت راست دیوار، روش شبیه‌سازی	۰/۳۸ ± ۰/۰۳۶	۰/۳۰ ± ۰/۰۳۶	۰/۰۵۳
پشت و سمت وسط دیوار، روش شبیه‌سازی	۰/۶۱ ± ۰/۰۴۵	۰/۴۱ ± ۰/۰۴۵	۰/۰۰۶
پشت و سمت چپ دیوار، روش شبیه‌سازی	۰/۴۸ ± ۰/۰۵	۰/۵۲ ± ۰/۰۴۵	۰/۴۴۹

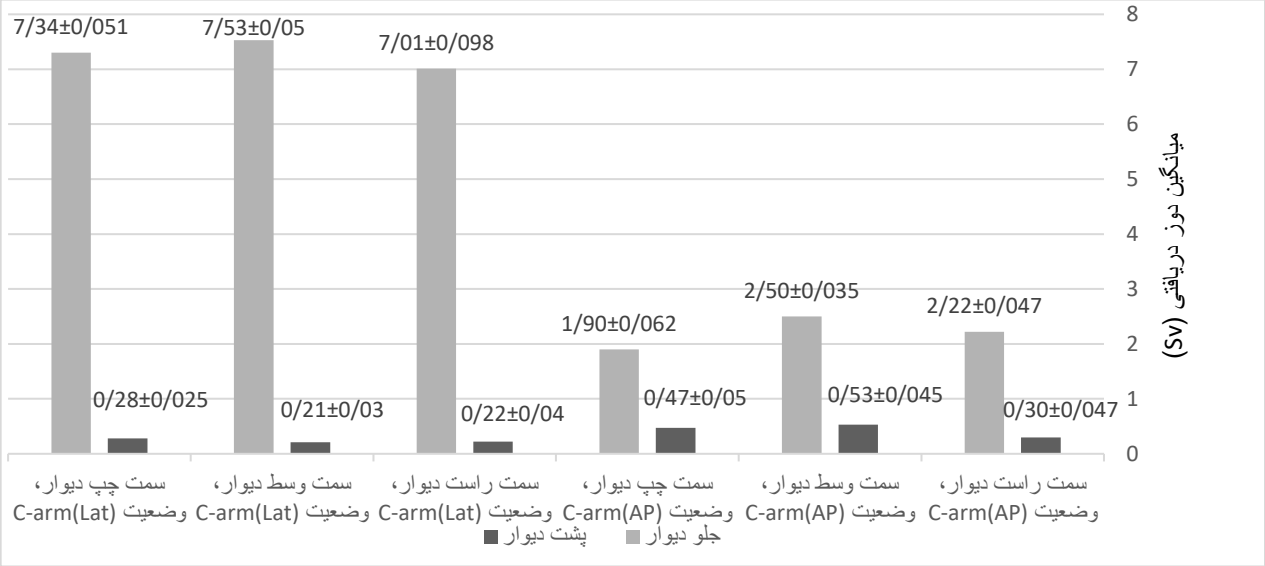
در این مطالعه جهت شبیه‌سازی اتاق ارتوپدی وضعیت قدامی-خلفی دستگاه C-arm در نظر گرفته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در دو حالت جلو سمت راست و جلو سمت وسط دیوار سربی طبق آزمون T-Test تفاوت معناداری بین روش تجربی با روش شبیه‌سازی مونت کارلو وجود دارد، به‌طوری‌که در گروه شبیه‌سازی مقدار دوز دریافتی بیشتر بود اما در چهار حالت دیگر تفاوت معناداری بین روش تجربی با روش شبیه‌سازی مونت کارلو وجود نداشت (جدول ۱).

جهت شبیه‌سازی اتاق نوروسرجری وضعیت لترال دستگاه C-arm در نظر گرفته شد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود در سه حالت جلو و سمت راست دیوار، حالت جلو و سمت وسط دیوار و حالت پشت و سمت راست دیوار تفاوت معناداری طبق آزمون T-Test بین روش تجربی با روش شبیه‌سازی مونت کارلو وجود ندارد. در سه حالت بعدی بین روش تجربی با روش شبیه‌سازی مونت کارلو از لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود دارد؛ به‌طوری که در حالت جلو و سمت چپ دیوار مقدار دوز دریافتی در گروه شبیه‌سازی کمتر است، در حالی که در دو حالت پشت و سمت وسط دیوار و حالت پشت و سمت چپ دیوار مقدار دوز دریافتی در گروه شبیه‌سازی بیشتر می‌باشد.

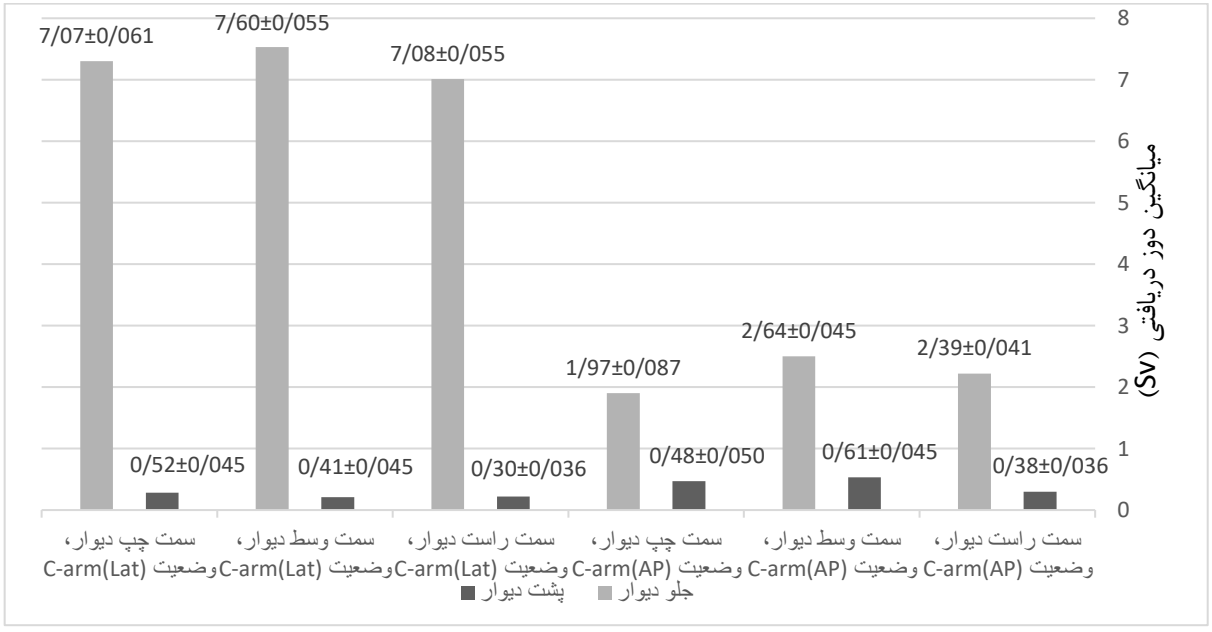
با توجه به نتایج این مطالعه (جدول ۲) مولاژها در جلوی دیوار سربی و

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-04]

در وضعیت لترال دستگاه C-arm به‌طور معناداری میزان دوز جذبی بیشتر نسبت به وضعیت قدامی-خلفی دریافت کردند (در مقابل، هنگامی که مولاژها در پشت دیوار سربی قرار گرفتند، نتایج معکوس شد) که این تفاوت برای دو وضعیت پشت و وسط دیوار و وضعیت پشت و سمت چپ دیوار معنادار بود. مقایسه حالات قدامی-خلفی و لترال در روش شبیه سازی نیز مشابه روش تجربی است؛ با این تفاوت که برخلاف روش تجربی در حالت پشت و سمت چپ دیوار در وضعیت لترال نسبت به وضعیت قدامی-خلفی میزان دوز جذبی دریافتی بیشتر است. در تمام حالت‌ها دوز جذبی مولاژها در وضعیت پشت دیوار سربی به‌طور معناداری کمتر از وضعیت جلوی دیوار بود (P<۰/۰۰۰۱) (نمودار ۱ و ۲).



نمودار ۱: میانگین دوز دریافتی Sievert مولاژ پشت و جلو دیوار سربی در روش تجربی



نمودار ۲: میانگین دوز دریافتی (Sv) مولاژ پشت و جلو دیوار سربی در روش شبیه‌سازی

بحث

هنگامی که از فلوروسکوپی در اتاق عمل استفاده شود کل تیم جراحی در معرض پرتوهای پراکنده قرار می‌گیرند. پرتوهای پراکنده از طریق تعامل پرتو اولیه با هر جسم، یعنی بافت انسانی و تجهیزات در اتاق عمل ایجاد می‌شوند. هدف این مطالعه ارزیابی میزان دوز دریافتی اشعه از دستگاه C-arm در دو وضعیت قدامی-خلفی و لترال و مقایسه آن‌ها با حالت شبیه‌سازی‌شان توسط روش مونت کارلو هنگامی که پرسنل پشت و جلو دیوار سربی (در سه سمت راست، وسط و چپ دیوار) قرار می‌گیرند می‌باشد.

یافته‌های این مطالعه نشان داد که میزان دوز جذبی پرسنل اتاق عمل در جراحی‌های نوروسرجری و ارتوپدی زمانی که از حداقل تجهیزات محافظتی مانند دیوار سربی بهره نبرند بسیار خطرناک می‌باشد و دوز

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-04]

جذبی می‌تواند از حد دوز سالانه که کمیسیون ICRP تعیین کرده است بیشتر شود. Dorman و همکاران در سال ۲۰۲۳ در مطالعه خود نشان دادند که جراحان ارتوپدی و کارکنان اتاق عمل اگر از وسایل حفاظتی سربی استفاده نکنند و فاصله مناسبی از منبع تولیدکننده اشعه نداشته باشند به شدت در معرض پرتوهای پراکنده هستند و امکان دارد دوز دریافتی کارکنان از حد دوز مجاز سالانه فراتر رود [۱۹]. براساس نتایج، دوز جذبی در کارکنان اتاق عمل نوروسرجری زمانی که پشت دیوار سربی قرار نگیرند بیشتر از ۲ برابر کارکنان اتاق عمل ارتوپدی در همین وضعیت می‌باشد. در شبیه‌سازی مونت کارلو نیز این میزان تفاوت دیده می‌شود و نتایج تجربی را تأیید می‌کند.

براساس نتایج این مطالعه قرارگیری در پشت حفاظ سربی تأثیر مهمی بر کاهش دریافت پرتوهای پراکنده دارد به‌طوری که می‌تواند به‌طور متوسط کاهشی حداقل ۵۰درصدی در میزان دریافت دوز جذبی داشته باشد. در این راستا، مطالعه Choi و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که حفاظ‌های سربی تأثیر ۲۲ تا ۳۵درصدی بر کاهش میزان دریافت پرتوهای پراکنده دارد [۲۰].

همچنین، نتایج این مطالعه نشان داد که میزان دوز دریافتی هنگامی که کارکنان (مولاژ) پشت دیوار سربی قرار بگیرند و از هیچ تجهیزات محافظتی شخصی استفاده نکنند در اتاق عمل ارتوپدی بیشتر از نوروسرجری می‌باشد. این تفاوت در بعضی از حالت‌ها به بیش از ۲ برابر می‌رسد و این نشان‌دهنده آن است که به واسطه پوزیشن دستگاه ممکن است پرتوهای پراکنده بیشتری به کارکنان اتاق عمل برسد و آن‌ها علاوه‌بر اینکه پشت دیوار سربی قرار می‌گیرند باید در جراحی‌های ارتوپدی از تجهیزات محافظتی بیشتری مانند پیش‌بند سربی و عینک استفاده کنند.

نتایج اکثر مطالعات با موضوع قرارگیری در برابر تشعشعات ناشی از فلوروسکوپی نشان می‌دهد که میزان دوز دریافتی بسیار کمتر از حد سالانه تعیین شده است [۳]، بااین‌حال عوارض قرارگرفتن طولانی‌مدت در برابر سطوح پایینی از تشعشعات را در طولانی‌مدت نمی‌توان دقیق پیش‌بینی نمود [۴] و پرتوهای یونیزان سطح پایین می‌توانند در طولانی‌مدت باعث آسیب حاد سلولی و جهش ژنتیکی شوند [۵].

درنهایت، یافته‌های این مطالعه می‌تواند به عنوان مبنایی برای توسعه راهکارهای حفاظتی مؤثرتر و بهینه‌سازی پروتکل‌های ایمنی در اتاق عمل مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود که مراکز درمانی به منظور حفاظت از سلامت پرسنل، به بررسی و اصلاح روش‌های کاربری دستگاه‌های تصویربرداری و استفاده از تجهیزات حفاظتی مناسب توجه بیشتری داشته باشند. همچنین، انجام مطالعات بیشتر با نمونه‌های بزرگتر و شرایط متنوع‌تر می‌تواند به درک بهتر از دوز دریافتی و راهکارهای حفاظتی کمک کند.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه موقعیت دستگاه C-arm بر میزان دوز دریافتی پرسنل اتاق عمل در جراحی‌های ارتوپدی و نوروسرجری می‌باشد. به‌طوری که در حالت قرارگیری مولاژ جلو دیوار سربی، دوز دریافتی در وضعیت لترال C-arm نسبت به وضعیت قدامی-خلفی به‌طور معناداری بیشتر و در حالت قرارگیری مولاژ پشت دیوار سربی، دوز دریافتی در وضعیت قدامی-خلفی بیشتر از حالت لترال است. این موضوع می‌تواند به دلیل زاویه تابش و توزیع اشعه در این دو وضعیت باشد که نشان‌دهنده اهمیت تنظیم صحیح دستگاه و موقعیت جراحان و پرسنل در اتاق عمل می‌باشد و نیازمند توجه بیشتر در طراحی و اجرای پروتکل‌های حفاظتی است. همچنین، یافته‌ها حاکی از آن است که دیوار سربی منجر به کاهش معنادار دوز جذبی اشعه توسط کارکنان می‌شود که این نتایج تأکید بر اهمیت استفاده از محافظ‌های مناسب در حین جراحی‌ها را دارد.

ملاحظات اخلاقی

این پژوهش در دانشگاه علوم پزشکی همدان بررسی، و با کد اخلاق IR.UMSHA.REC.1402.041 مصوب شد. برای انجام دادن مصاحبه، معرفی‌نامه به بیمارستان بعثت صادر، و پس از اخذ تأییدیه از آن بیمارستان، پژوهش شروع شد.

سپاسگزاری

این مطالعه برگرفته از طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی همدان (۱۴۰۲۰۴۰۶۲۶۳۰) است. بدین‌وسیله از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه به‌دلیل حمایت از این مطالعه تشکر و قدردانی می‌کنیم.

تضاد منافع

تمام نویسندگان این مقاله تأیید می‌کنند که هیچ‌گونه تعارض منافعی اعم از مالی، علمی یا شخصی در انجام دادن این تحقیق وجود نداشته است.

References

1. Rothrock JC. Alexander's care of the patient in surgery. Elsevier Health Sciences; 2022 Jul 1. [Link]
2. Urakov TM. Practical assessment of radiation exposure in spine surgery. World Neurosurg. 2018 ;120:e752-4. [DOI: 10.1016/j.wneu.2018.08.158] [PMID: 30172969]
3. Hong SW, Kim TW, Kim JH. Radiation exposure to the back with different types of aprons. Radiat Prot Dosimetry. 2021;193(3-4):185-9. [DOI: 10.1093/rpd/ncab044] [PMID: 33839791]
4. Hak DJ. Radiation exposure during intramedullary nailing. Injury. 2017;48:S26-9. [DOI: 10.1016/j.injury.2017.04.023] [PMID: 28449852]
5. Ojodu I, Ogunsemoyin A, Hopp S, Pohlemann T, Ige O, Akinola O. C-arm fluoroscopy in orthopaedic surgical practice. Eur J Orthop Surg Traumatol. 2018;28(8):1563-8. [DOI: 10.1007/s00590-018-2234-7] [PMID: 29796825]
6. Al Mohammad B, Gharaibeh M, Al Alakhras M. Knowledge and practice of radiation protection in the operating theater among orthopedic surgeons. J Med Imaging. 2022;9(6):066002. [DOI: 10.1117/1.JMI.9.6.066002] [PMID: 36388141]
7. Phillips N, Hornacky A. Berry & Kohn's operating room technique. Elsevier Health Sciences; 2020 Jun 23. [Link]
8. Daryoush JR, Lancaster AJ, Frandsen JJ, Gililland JM. Occupational hazards to the joint replacement surgeon: radiation exposure. J Arthroplasty 2022;37(8):1464-9. [DOI: 10.1016/j.arth.2022.02.095] [PMID: 35247485]
9. Hayda RA, Hsu RY, DePasse JM, Gil JA. Radiation exposure and

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-04]

health risks for orthopaedic surgeons. J Am Acad Orthop Surg. 2018;26(8):268-77. [DOI: 10.5435/JAAOS-D-16-00342] [PMID: 29570497]
10. Cheriachan D, Hughes AM, du Moulin WS, Williams C, Molnar R. Ionizing radiation doses detected at the eye level of the primary surgeon during orthopaedic procedures. J Orthop Trauma. 2016;30(7):e230-5. [DOI: 10.1097/BOT.0000000000000578] [PMID: 27010182]
11. Sung KH, Jung YJ, Kwon SS, Lee GW, Chung CY, Lee KM, et al. Performances of a protector against scattered radiation during intraoperative use of a C-arm fluoroscope. J Radiol Prot. 2016;36(3):629-40. [DOI: 10.1088/0952-4746/36/3/629] [PMID:27517131]
12. Gowda SR, Mitchell CJ, Abouel-Enin S, Lewis C. Radiation risk amongst orthopaedic surgeons–do we know the risk?. J Perioper Pract. 2019;29(5):115-21. [DOI: 10.1177/1750458918785268] [PMID:29944026]
13. Valone LC, Chambers M, Lattanza L, James MA. Breast radiation exposure in female orthopaedic surgeons. J Bone Joint Surg Am. 2016;98(21):1808-13. [DOI: 10.2106/JBJS.15.01167] [PMID:27807113]
14. Velazquez-Kronen R, Borrego D, Gilbert ES, Miller DL, Moysich KB, Freudenheim JL, et al. Cataract risk in US radiologic technologists assisting with fluoroscopically guided interventional procedures: a retrospective cohort study. Occup Environ Med. 2019;76(5):317-25. [DOI: 10.1136/oemed-2018-105360] [PMID:30890565]
15. Movahedi MM, Mehdizadeh AR, Azadbakht J, Amani S. Evaluation of radiation exposure during fluoroscopy guided orthopaedic surgeries. Sadra Med J. 2017;5(3):141-8. [Link]
16. Kaplan DJ, Patel JN, Liporace FA, Yoon RS. Intraoperative radiation safety in orthopaedics: a review of the ALARA (As low as reasonably achievable) principle. Patient Saf Surg. 2016;10:27. [DOI: 10.1186/s13037-016-0115-8] [PMID:27999617]
17. Hsu RY, Lareau CR, Kim JS, Koruprolu S, Born CT, Schiller JR. The effect of C-arm position on radiation exposure during fixation of pediatric supracondylar fractures of the humerus. J Bone Joint Surg Am. 2014 ;96(15):e129. [DOI: 10.2106/JBJS.M.01076] [PMID:25100782]
18. Eckerman KF, Ryman JC. External exposure to radionuclides in air, water, and soil. Oak Ridge National Lab.; 1996. [Link]
19. Dorman T, Drever B, Plumridge S, Gregory K, Cooper M, Roderick A, et al. Radiation dose to staff from medical X-ray scatter in the orthopaedic theatre. Eur J Orthop Surg Traumatol. 2023;33(7):3059-65. [DOI: 10.1007/s00590-023-03538-6] [PMID:37004602]
20. Choi EJ, Go G, Han WK, Lee PB. Radiation exposure to the eyes and thyroid during C-arm fluoroscopy-guided cervical epidural injections is far below the safety limit. Korean J Pain. 2020;33(1):73-80. [DOI: 10.3344/kjp.2020.33.1.73] [PMID: 31888321]

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-04]