



## Effects of gamma irradiation on the mortality of *Echinococcus granulosus* protoscoleces *in vitro* conditions

Elnaz Rahbary<sup>1</sup> , Nasser Hajipour<sup>2</sup>   and Parviz Hassanzadeh<sup>3</sup> 

1. Department of Food Hygiene and Aquatic, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tabriz, Iran. E-mail: [elnazrahbary676@tabrizu.ac.ir](mailto:elnazrahbary676@tabrizu.ac.ir)
2. Corresponding author, Department of Food Hygiene and Aquatic, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tabriz, Iran. E-mail: [n.hajipour@tabrizu.ac.ir](mailto:n.hajipour@tabrizu.ac.ir)
3. Department of Food Hygiene and Aquatic, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tabriz, Iran. E-mail: [p.hassanzadeh@tabrizu.ac.ir](mailto:p.hassanzadeh@tabrizu.ac.ir)

Article Info	ABSTRACT
<b>Article type:</b> Research Article	The hydatid cyst is a larval-stage structure of <i>Echinococcus granulosus</i> , the parasite responsible for causing hydatidosis in humans and animals. Protoscoleces within the cyst play a crucial role in completing the parasite's life cycle, and their inactivation could help interrupt transmission. Gamma irradiation, with its high penetration power, has been proposed as a potential approach for protoscoleces inactivation. This study aimed to evaluate the effects of different gamma irradiation doses on the viability of hydatid cyst protoscoleces under <i>in vitro</i> conditions. Hydatid cysts were collected from the lungs of infected sheep, and after confirming fertility, protoscoleces were placed in sterile microtubes containing phosphate-buffered solution. The samples were irradiated using a Cobalt-60 gamma source at the Northwest Research Complex (Bonab, Iran) for 1.5 to 5 min at doses of 0.5, 0.75, 1, 1.5, and 2 kGy at 25 °C, with three replicates for each dose. Viability was assessed using 1% eosin staining. Sodium chloride 5% was used as a positive control, and non-irradiated hydatid cyst fluid served as the negative control. Data were analyzed using One-way ANOVA followed by Duncan's test. Results showed that protoscoleces mortality was dose-dependent; the highest mortality was observed at 2 kGy (98.5%), while the lowest mortality among irradiated groups was observed at 1 kGy (49%). The negative control group had the lowest mortality rate. In conclusion, gamma irradiation, with increasing doses, effectively inactivates hydatid protoscoleces and may be considered a novel and safe strategy for controlling hydatidosis and reducing the risk of transmission to humans and animals.
<b>Article history:</b> Received: 28 September 2025 Received in revised form: 29 November 2025 Accepted: 8 December 2025 Published online: Summer 2026	
<b>Keywords:</b> <i>Hydatid cyst,</i> <i>Echinococcus granulosus,</i> <i>gamma irradiation,</i> <i>inactivation,</i> <i>protoscoleces.</i>	

**Cite this article:** Kazemi, E., Rezaei, M. & Kazemi-Fard, M. (2026). Effects of gamma irradiation on the mortality of *Echinococcus granulosus* protoscoleces *in vitro* conditions. *Iranian Journal of Animal Science*, 57 (2), 303-313. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.403112.654097>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.403112.654097>

**Publisher:** The University of Tehran Press.

## Extended Abstract

### Introduction

Cystic echinococcosis (CE), caused by the larval stage of *Echinococcus granulosus*, is a neglected zoonotic disease with global public health and economic importance. The hydatid cyst develops mainly in the liver and lungs of intermediate hosts, including domestic ruminants and humans. Protoscoleces contained in fertile cysts are of particular epidemiological significance, as ingestion by carnivores enables the continuation of the parasite's life cycle. Consequently, inactivation of protoscoleces is crucial in controlling disease transmission. Conventional protoscolicidal agents, such as hypertonic saline and ethanol, have shown efficacy but may present toxicity risks and are unsuitable for large-scale applications. Gamma irradiation, a physical method with high penetration capacity and no chemical residues, has been proposed as a promising alternative for parasite inactivation. This study was designed to evaluate the protoscolicidal efficacy of different gamma irradiation doses on hydatid cyst protoscoleces under *in vitro* conditions.

### Materials and Methods

Fertile hydatid cysts were collected from the lungs of naturally infected sheep slaughtered at the Tabriz abattoir between November 2022 and December 2023. Protoscoleces were aspirated aseptically and washed three times with sterile phosphate-buffered saline (PBS). Viability was initially assessed microscopically using 1% eosin staining. Only samples with  $\geq 90\%$  viability were included. Aliquots of approximately 5,000 protoscoleces in 1 mL PBS were transferred into sterile microtubes. Experimental groups were exposed to cobalt-60 gamma irradiation at doses of 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, and 2.0 kGy for 1.5 to 5 min using the facilities of the Northwest Research Complex (Bonab, Iran). Positive controls consisted of 5% sodium chloride, while negative controls contained non-irradiated cyst fluid. Following irradiation, samples were incubated at 37 °C for 24 hours, and viability was reassessed using the eosin exclusion test. Data were analyzed by One-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test, with significance set at  $p < 0.05$ .

### Results

Gamma irradiation induced a dose-dependent reduction in protoscoleces viability. The highest mortality rate was observed at 2.0 kGy (98.5%), indicating almost complete inactivation of protoscoleces. Doses of 1.5, 1.0, 0.75, and 0.5 kGy produced mortality rates of 85.38%, 73.61%, 61.73%, and 82.5%, respectively. Interestingly, the 0.5 kGy dose produced higher mortality than 1.0 kGy, which may reflect experimental variability or differential sensitivity of protoscoleces to low-dose radiation. In contrast, the negative control group exhibited minimal mortality, confirming the intrinsic viability of untreated parasites. The positive control (5% NaCl) produced near-complete mortality, consistent with its well-known protoscolicidal properties. Statistical analysis revealed significant differences between irradiated groups and the negative control ( $p < 0.05$ ), as well as among irradiation doses.

### Conclusion

The present study demonstrates that gamma irradiation exerts a strong protoscolicidal effect on hydatid cyst protoscoleces under *in vitro* conditions, with efficacy increasing in a dose-dependent manner. Doses of 1.5 and 2.0 kGy were particularly effective, achieving mortality rates above 85% and 98%, respectively. These findings suggest that gamma irradiation may serve as a safe, residue-free, and innovative approach for controlling CE by inactivating the larval stage of *E. granulosus*. The potential application of this method in sterilizing infected organs or animal by-products prior to disposal could significantly reduce transmission risks to definitive hosts and, consequently, to humans. However, further *in vivo* studies are necessary to validate the safety and practicality of this approach, optimize irradiation doses, and explore its integration into control programs for cystic echinococcosis.

### Author Contributions

Conceptualization, writing—original draft preparation, writing—review and editing, visualization, supervision, formal analysis, investigation, project administration, Nasser Hajipour; methodology, Elnaz Rahbani; visualization, supervision, Parviz Hassanzadeh. Authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

### Data Availability Statement

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

***Ethical considerations***

Hydatid cyst samples were collected from sheep slaughtered at a licensed abattoir. No live animals were used or harmed specifically for this study. The research procedures were conducted in accordance with institutional and national ethical guidelines.

***Conflict of interest***

The author declares no conflict of interest.

## اثرات اشعه گاما بر روی میزان مرگ و میر پروتواسکولکس اکینو کوکوس گرانولوزوس در شرایط برون تنی

الناز رهبری<sup>۱</sup> | ناصر حاجی پور<sup>۲</sup> | پرویز حسن زاده<sup>۳</sup>۱. گروه بهداشت مواد غذایی و آبیان، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: [elnazrahbari676@tabrizu.ac.ir](mailto:elnazrahbari676@tabrizu.ac.ir)۲. نویسنده مسئول، گروه بهداشت مواد غذایی و آبیان، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: [n.hajipour@tabrizu.ac.ir](mailto:n.hajipour@tabrizu.ac.ir)۳. گروه بهداشت مواد غذایی و آبیان، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: [p.hassanzadeh@tabrizu.ac.ir](mailto:p.hassanzadeh@tabrizu.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	کیست هیداتید ساختاری از مرحله لاروی اکینو کوکوس گرانولوزوس بوده که این انگل عامل بیماری هیداتیدوزیس در انسان و دام است. پروتواسکولکس‌های موجود در کیست نقش کلیدی در تکمیل چرخه زندگی انگل دارند و غیرفعال سازی آن‌ها می‌تواند راهبردی مؤثر برای کنترل بیماری باشد. تابش گاما با قدرت نفوذ بالا، به‌عنوان روشی نوین برای غیرفعال سازی پروتواسکولکس‌ها مطرح است. هدف این مطالعه بررسی اثر دوزهای مختلف اشعه گاما بر زنده‌مانی پروتواسکولکس‌های کیست هیداتید در شرایط برون تنی بود. بدین منظور کیست‌های هیداتید از ریه گوسفندان آلوده جمع‌آوری و پس از تأیید باروری، پروتواسکولکس‌ها در میکروتیوپ‌های استریل حاوی بافر فسفات قرار داده شدند. نمونه‌ها توسط منبع گامای کبالت-۶۰ در مجتمع پژوهشی شمال غرب (بناب، ایران) به مدت ۱/۵ تا ۵ دقیقه تحت دوزهای ۰/۵ کیلوگری، ۰/۷۵ کیلوگری، ۱ کیلوگری، ۱/۵ کیلوگری و ۲ کیلوگری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با سه بار تکرار پرتودهی شدند. زنده‌مانی با رنگ‌آمیزی اتوزین ۱ درصد بررسی شد. کلرید سدیم ۵ درصد به‌عنوان کنترل مثبت و مایع کیست هیداتید بدون تابش به‌عنوان کنترل منفی استفاده گردید. تحلیل آماری با آزمون One-way ANOVA و دانکن انجام شد. نتایج نشان داد که مرگ‌ومیر پروتواسکولکس‌ها وابسته به دوز تابش است؛ بیشترین میزان در دوز ۲ کیلوگری (۹۸/۵ درصد) و کمترین در دوز ۱ کیلوگری (۴۹ درصد) مشاهده شد. در گروه کنترل منفی پایین‌ترین مرگ‌ومیر ثبت گردید. بر اساس یافته‌ها، اشعه گاما با افزایش دوز می‌تواند به‌طور مؤثر پروتواسکولکس‌ها را غیرفعال سازد و به‌عنوان یک رویکرد نوین و ایمن برای کنترل هیداتیدوزیس و کاهش انتقال بیماری به انسان و دام پیشنهاد می‌شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۷ تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۵	
کلیدواژه‌ها: کیست هیداتید، اکینو کوکوس گرانولوزوس، اشعه گاما، غیر فعال سازی، پروتواسکولکس	

استناد: رهبری، الناز؛ حاجی پور، ناصر و حسن زاده، پرویز (۱۴۰۵). اثرات اشعه گاما بر روی میزان مرگ و میر پروتواسکولکس اکینو کوکوس گرانولوزوس در شرایط برون تنی.

نشریه علوم دامی ایران، ۵۷ (۲)، ۳۰۳-۳۱۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.403112.654097>

© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.403112.654097>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## مقدمه

اکتینوکوکوس گرانولوزوس انگلی از رده سستودها و خانواده تنی ایده است که چرخه زندگی آن غیرمستقیم بوده و میزبان‌های متعددی را درگیر می‌سازد. مرحله بالغ انگل در روده باریک سگ و سایر سگ‌سانان به‌عنوان میزبان‌های نهایی زندگی می‌کند و قادر است روزانه تعداد زیادی بند بارور تولید کند. این بندها همراه با مدفوع دفع شده و تخم‌های انگل در محیط پراکنده می‌شوند (Soulsby, 1982). نشخوارکنندگان اهلی و وحشی و همچنین انسان به‌عنوان میزبان‌های واسطه، از طریق مصرف علوفه، سبزیجات و آب آشامیدنی آلوده به تخم حاوی انکوسفر، به انگل آلوده می‌گردند. پس از آزاد شدن انکوسفر در دستگاه گوارش میزبان واسطه، مرحله لاروی یا متاستودی انگل که به نام کیست هیداتید شناخته می‌شود، در اندام‌های مختلفی مانند کبد و ریه و گاهی در سایر بافت‌ها شکل می‌گیرد. این کیست‌ها حاوی تعداد زیادی پروتواسکولکس بارور هستند که در صورت خورده شدن توسط سگ یا سایر گوشتخواران، چرخه زندگی انگل را تکمیل می‌کنند (Soulsby, 1982).

هیداتیدوزیس یکی از مهم‌ترین و خطرناک‌ترین بیماری‌های مشترک بین انسان و حیوان است که پراکندگی جهانی داشته و از جنبه‌های پزشکی، بهداشتی و دامپزشکی اهمیت ویژه‌ای دارد (Parija & Chaudhury, 2022). در انسان، مرحله متاستودی انگل می‌تواند اندام‌های حیاتی نظیر کبد، ریه، مغز، قلب، کلیه و طحال را درگیر کند. درمان دارویی این بیماری معمولاً محدود و ناکارآمد است و در اغلب موارد، تنها روش درمان قطعی جراحی می‌باشد. با این حال، جراحی نیز با چالش‌هایی از جمله هزینه‌های بالا، احتمال عود بیماری به علت پارگی کیست و انتشار پروتواسکولکس‌ها و در نتیجه تشکیل کیست‌های ثانویه در محل جراحی همراه است (Alzoubi et al., 2025).

پروتواسکولکس‌ها، به‌عنوان مرحله عفونی برای میزبان نهایی، نقش کلیدی در تداوم چرخه زندگی انگل ایفا می‌کنند. از این رو، غیرفعال‌سازی آنها می‌تواند راهکاری مؤثر در کنترل بیماری و قطع چرخه انتقال باشد (Gérard et al., 2019). در سال‌های اخیر، توجه پژوهشگران به فناوری‌های نوین مانند اشعه گاما برای غیرفعال‌سازی انگل‌ها جلب شده است. اشعه گاما با قدرت نفوذ بالا، از طریق ایجاد آسیب‌های گسترده در DNA، پروتئین‌ها و غشاهای سلولی، توانایی تکثیر و حیات موجودات میکروسکوپی از جمله پروتواسکولکس‌های کیست هیداتید را به شدت کاهش می‌دهد. ویژگی مهم دیگر آن، عدم ایجاد باقی‌مانده شیمیایی در بافت‌ها است که این روش را نسبت به برخی ترکیبات ضدانگلی متداول، ایمن‌تر و کارآمدتر می‌سازد. افزون بر این، کاربرد اشعه گاما در فرآوری گوشت و فرآورده‌های دامی می‌تواند از انتقال بیماری به انسان نیز جلوگیری کند (Mao, et al., 2017a). با وجود این مزایا، مطالعات محدودی در مورد اثر مستقیم اشعه گاما بر پروتواسکولکس‌های اکتینوکوکوس گرانولوزوس انجام گرفته است (Alam-Eldin & Badawy, 2015; Ismail et al., 2020; Yuan et al., 2016; Zhao et al., 2019; Zhou et al., 2013). بنابراین، هدف از تحقیق حاضر بررسی اثرات پروتواسکولکس‌سیدال اشعه گاما بر پروتواسکولکس‌های کیست هیداتید در شرایط برون‌تنی است تا امکان‌سنجی این روش به‌عنوان یک رویکرد نوین در کنترل هیداتیدوزیس مورد ارزیابی قرار گیرد.

## روش شناسی پژوهش

### جمع آوری کیست هیداتید و بررسی بارور یا عقیم بودن پروتواسکولکس‌های آن

این تحقیق در فاصله زمانی آبان ماه ۱۴۰۱ تا آذرماه ۱۴۰۲ در تبریز انجام گرفت که برای این منظور با مراجعه به کشتارگاه تعدادی از ریه گوسفندانی که به مرحله متاستودی اکتینوکوکوس گرانولوزوس آلوده بودند جمع آوری و به آزمایشگاه بهداشت مواد غذایی و آبزیان دانشکده دامپزشکی دانشگاه تبریز ارسال شد.

جهت بررسی بارور یا عقیم بودن پروتواسکولکس‌های کیست‌های هیداتید، با استفاده از یک سرنگ استریل، مایع کیست هیداتید از ریه‌های آلوده آسپیره و در یک ظرف تمیزی ریخته شد تا پروتواسکولکس‌ها در ته ظرف ته‌نشین شود. عقیم یا بارور بودن کیست‌ها از روی شفافیت و یا کدر بودن مایع کیست هیداتید و وجود و یا عدم وجود پروتواسکولکس‌ها تشخیص داده شد (Karpisheh et al., 2023). در صورت کدر بودن مایع کیست و وجود پروتواسکولکس در آنها، به‌عنوان کیست هیداتید بارور انتخاب شدند و کیست‌های عقیم که فاقد پروتواسکولکس بوده و مایع کیست هیداتید به رنگ شفاف بود، از ادامه مطالعه کنار گذاشته شدند. برای تشخیص زنده مانده پروتواسکولکس‌ها یک یا دو قطره از مایع حاوی پروتواسکولکس را روی لام ریخته و

یک لامل روی نمونه گذاشته و حرکت و فعالیت سلول‌های شعله پروتواسکولکس‌ها در زیر میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی  $40\times$  مشاهده شد. همچنین برای اطمینان از زنده بودن پروتواسکولکس‌های کیست هیداتید، دو یا سه قطره از مایع غیرشفاف و حاوی پروتواسکولکس روی لام ریخته و یک قطره اتوزین ۱ درصد اضافه شد. سپس رنگ پذیری و یا عدم رنگ پذیری پروتواسکولکس‌ها در زیر میکروسکوپ با بزرگنمایی ۴۰ بررسی شد (Karpishev et al., 2023). پروتواسکولکس مرده بعلت از دست دادن نفوذپذیری غشای خود به رنگ قرمز درآمدند. و پروتواسکولکس‌های زنده بعلت عدم نفوذپذیری رنگ اتوزین، آنها به رنگ خاکستری مایل به سبز درآمدند (شکل ۱) (Zhang et al., 2017).

### تیمار پروتواسکولکس کیست هیداتید با دوزهای مختلف اشعه گاما

برای هر دوز ۴ میکروتیوپ استریل انتخاب کرده و به هر لوله  $0/5$  میلی لیتر از محلول بافر فسفات حاوی حدوداً ۱۰۰۰ پروتواسکولکس انگل ریخته شد. نمونه‌ها توسط منبع گامای کبالت-۶۰ در مجتمع پژوهشی شمال غرب (بناب، ایران) به مدت  $1/5$  تا ۵ دقیقه تحت دوزهای  $0/5$  کیلوگری،  $0/75$  کیلوگری، ۱ کیلوگری،  $1/5$  کیلوگری و ۲ کیلوگری در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد با سه بار تکرار پرتودهی شدند. نمونه‌ها بلافاصله بعد از پرتودهی در دمای ۴ درجه سانتی گراد به آزمایشگاه بهداشت مواد غذایی و آزیان دانشکده دامپزشکی دانشگاه تبریز انتقال داده شد. با استفاده از رنگ آمیزی اتوزین ۱ درصد، میزان زنده مانی و تاثیر دوزهای مختلف پرتوگاما بر روی پروتواسکولکس‌های انگل بررسی شد (Moazeni & Rakhshandehroo, 2012). کلرید سدیم با غلظت ۵ درصد به عنوان کنترل مثبت و مایع کیست هیداتید حاوی پروتواسکولکس‌های زنده که تحت پرتودهی قرار نگرفته بودند، به عنوان کنترل منفی در نظر گرفته شد (Rufener et al., 2018).

### آنالیز آماری

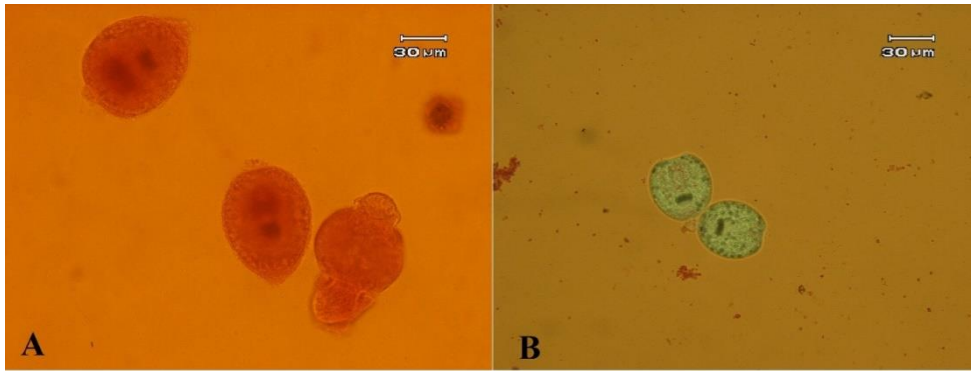
داده‌ها با آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و پس‌آزمون چنددامنه‌ای دانکن توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ تحلیل شدند و سطح معنی‌داری  $p < 0.05$  در نظر گرفته شد.

### نتایج

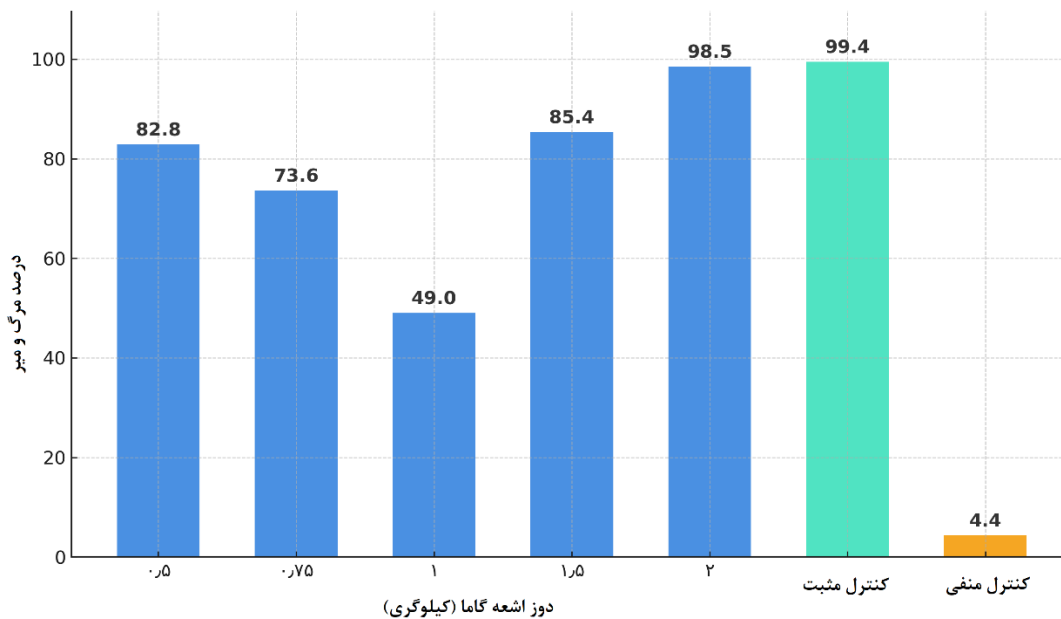
نتایج مطالعه نشان داد که بیشترین مرگ و میر پروتواسکولکس‌های کیست هیداتید در دوز ۲ کیلوگری با مرگ و میر  $98/5$  درصد بود. کمترین دوز اشعه گاما که باعث مرگ و میر پروتواسکولکس‌ها گردید مربوط به دوز ۱ کیلوگری بود (جدول ۱). همچنین در دوز  $0/5$  کیلوگری  $82/85$  درصد، دوز  $0/75$  کیلوگری  $73/61$  درصد، دوز ۱ کیلوگری  $85/38$  درصد از پروتواسکولکس‌های کیست هیداتید را از بین می‌برند (شکل ۲). گروه کنترل منفی (مایع کیست هیداتید) دارای پایین‌ترین میزان مرگ و میر بود که نشان‌دهنده سلامت پروتواسکولکس‌ها در شرایط طبیعی بدون تابش است. این نتایج نشان می‌دهند که تابش گاما اثر قابل توجهی بر غیرفعال‌سازی پروتواسکولکس‌ها دارد و میزان این اثر وابسته به دوز تابش می‌باشد.

جدول ۱. میزان مرگ و میر پروتواسکولکس‌های کیست هیداتید در دوزهای مختلف اشعه گاما (میانگین  $\pm$  خطای معیار میانگین)

دوز	میانگین مرگ و میر $\pm$ خطای معیار میانگین
۰/۵	$82/85 \pm 3/60$
۰/۷۵	$73/61 \pm 3/61$
۱	$49/01 \pm 9/98$
۱/۵	$85/38 \pm 9/49$
۲	$98/50 \pm 0/76$
مایع کیست هیداتید (کنترل منفی)	$4/36 \pm 0/80$
کلرید سدیم (کنترل مثبت)	$99/44 \pm 0/56$



شکل ۱. پروتواسکولکس های زنده و مرده پس از رنگ آمیزی با ائوزین ۱ درصد: A: پروتواسکولکس مرده با بزرگنمایی ۴۰× و B: پروتواسکولکس های زنده با بزرگنمایی ۴×



شکل ۲. درصد مرگ و میر پروتواسکولکس های کیست هیداتید در دوزهای مختلف اشعه گاما

## بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تابش گاما دارای اثر قوی و وابسته به دوز بر زنده ماندن پروتواسکولکس های کیست هیداتید است؛ به گونه ای که بیشترین و کمترین میزان مرگ و میر به ترتیب در دوز ۲ کیلوگری (۹۸.۵ درصد) و ۱ کیلوگری (۴۹/۰۱ درصد) مشاهده شد. دوزهای پایین تر مانند ۱ کیلوگری ممکن است باعث آسیب ناقص یا جزئی شوند که اجازه می دهد برخی پروتواسکولکس ها هنوز زنده بمانند یا حتی توان ترمیم آسیب را داشته باشند. این پدیده ناشی از چند عامل اصلی است که نخستین آن اثر آستانه تابش می باشد. برای غیرفعال سازی کامل پروتواسکولکس ها، دوز تابش باید به سطحی برسد که انرژی کافی برای ایجاد شکست های گسترده DNA و تخریب ساختار سلولی فراهم کند، در حالی که دوزهای پایین تر مانند ۱ کیلوگری ممکن است به این آستانه نرسند (Hadj Rabia et al., 2022). عامل دوم توان ترمیم پروتواسکولکس است بطوری که برخی از ارگانیسدها دارای سازوکارهای ترمیمی هستند که پس از تابش با آسیب جزئی قادر به بازیابی عملکرد خود می باشند و دوز پایین تابش ممکن است این توانایی را برای آنها فراهم آورد (Yuan et al., 2016). عامل سوم، توزیع ناهمگام تابش است؛ در شرایط آزمایشگاهی، تابش گاما ممکن است به طور کامل و یکنواخت در تمام نمونه ها توزیع نشود و در دوزهای پایین تر، بخش هایی از نمونه کمتر تحت تابش قرار گیرند که این امر باعث کاهش اثربخشی آن می شود (Mao et al., 2017b). علاوه بر این، پدیده مقاومت

تدریجی نیز نقش مهمی دارد، زیرا برخی از پروتواسکولکس‌ها ممکن است به طور طبیعی نسبت به آسیب تابشی مقاوم‌تر باشند و در دوز پایین‌تر زنده بمانند (Singh & Dhar, 1988).

این نتایج با یافته‌های چندین مطالعه پیشین هم‌راستا است. به عنوان مثال، مطالعه عالم‌الدین و بدوی (۲۰۱۵) نشان داد که تابش گاما منجر به کاهش زنده‌مانی پروتواسکولکس‌ها، آسیب مورفولوژیک و تغییرات فراساختاری مانند تشکیل واکوئل‌ها و تخریب لایه ژرمینال می‌شود، که نشان‌دهنده اثر مستقیم اشعه بر ساختارهای سلولی انگل است (Alam-Eldin & Badawy, 2015). همچنین یوان و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که با افزایش دوز تابش گاما (۱۰-۸۰ گری) نه تنها زنده‌مانی پروتواسکولکس کاهش یافته بلکه تعداد و اندازه کیست‌های ایجاد شده پس از کاشت نیز کاهش می‌یابد. این یافته‌ها نشان‌دهنده یک رابطه‌ی واضح بین دوز تابش و شدت اثر ضدانگلی آن است که با نتایج مطالعه ما مطابقت دارد (Yuan et al., 2016).

از سوی دیگر، برخی مطالعات مانند فالج و همکاران (۲۰۰۴) نتایج کمی متفاوت ارائه دادند؛ به طوری که در برخی شرایط افزایش دوز تابش اثر معناداری بر تعداد کیست‌ها نداشت یا تغییرات قابل توجهی در زنده‌مانی ایجاد نشد. این اختلافات می‌تواند ناشی از تفاوت در طراحی مطالعات، گونه یا منبع پروتواسکولکس، شرایط تابش و روش ارزیابی اثرات باشد. برای مثال، فالج و همکاران از دوزهای نسبتاً پایین‌تر (۵-۲۵ گری) و زمان‌های کوتاه تابش استفاده کردند که ممکن است برای ایجاد تغییرات قابل ملاحظه در پروتواسکولکس‌ها کافی نبوده باشد. همچنین تفاوت در روش‌های ارزیابی (درون‌تنی در مقابل برون‌تنی) می‌تواند اثر تابش را متفاوت جلوه دهد (Faleh et al., 2004).

علاوه بر این، مطالعه سینگ و دار (۱۹۸۸) نشان داد که حتی در دوزهای بالا (۴۰۰-۶۰۰ گری) میزان عفونت‌زایی به طور کامل از بین می‌رود، در حالی که در دوزهای متوسط کاهش قابل ملاحظه‌ای در تعداد و اندازه کیست‌ها رخ می‌دهد. این یافته‌ها نشان‌دهنده آن است که اثر تابش گاما می‌تواند آستانه‌ای باشد؛ یعنی تا یک دوز مشخص اثرات کافی برای از بین بردن پروتواسکولکس وجود دارد و بالاتر از آن، تأثیر افزایش نمی‌یابد یا به حداقل می‌رسد. این موضوع با نتایج ما که بیشترین مرگ‌ومیر در دوز ۲ کیلوگری ثبت شد، همخوانی دارد (Singh & Dhar, 1988).

دلایل اصلی اختلاف نتایج مطالعات مختلف را می‌توان در چند عامل مهم جست‌وجو کرد. نخست، تفاوت در منبع و شرایط نمونه‌ها، به این معنا که پروتواسکولکس‌ها از منابع مختلف مانند کبد گوسفند، کیست‌های انسانی یا لاروهای کشت داده‌شده جمع‌آوری شده و میزان حساسیت آن‌ها به تابش گاما متفاوت است. علاوه بر این، شرایط نگهداری و آماده‌سازی نمونه‌ها قبل از تابش می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر نتایج داشته باشد. دوم، تفاوت در دوز تابش و زمان قرارگیری در معرض، زیرا مطالعات پیشین از دامنه وسیعی از دوزها (۵ گری تا ۶۰۰ گری یا حتی کیلوگری) استفاده کرده‌اند که باعث تفاوت در شدت اثر می‌شود. همچنین زمان تابش و فاصله زمانی بین تابش و ارزیابی اثرات نقش مهمی در نتایج دارد. سوم، تفاوت در روش‌های ارزیابی اثرات، به گونه‌ای که برخی مطالعات اثر تابش را بر زنده‌مانی، برخی تغییرات مورفولوژیک و ساختاری و برخی اثرات عملکردی و ایمنی بررسی کرده‌اند که این تفاوت‌ها می‌تواند منجر به تفسیرهای متفاوتی شود. چهارم، مدل‌های آزمایشی متفاوت، از جمله گونه‌های حیوانی مختلف (موش، همستر، خرگوش و غیره)، مسیر و میزان آلوده‌سازی و زمان ارزیابی پس از تابش که همه می‌توانند نتایج را تغییر دهند؛ برای مثال، مطالعه چرمی و همکاران (۱۹۹۰) نشان داد که زمان عفونت و محل کاشت پروتواسکولکس‌ها نقش مهمی در اثر تابش گاما دارد (Charmy et al., 1990). پنجم، عوامل بیولوژیک و محیطی مانند دمای محیط، شرایط کشت، حضور مواد مغذی و شرایط فیزیولوژیک میزبان که می‌توانند اثر تابش گاما را تحت تأثیر قرار دهند. با توجه به نتایج مطالعات پیشین و یافته‌های ما، تابش گاما دارای پتانسیل قابل توجهی در کاهش زنده‌مانی پروتواسکولکس‌ها و کاهش تشکیل کیست هیداتید است، که این اثر وابسته به دوز تابش بوده و احتمالاً ناشی از آسیب مستقیم تابشی به ساختار سلولی، تغییرات در غشاء و DNA انگل و اختلال در متابولیسم آن است.

برخی مطالعات مانند حاج ربیع و همکاران (۲۰۲۲) نشان داده‌اند که پروتواسکولکس‌های ضعیف‌شده با تابش گاما می‌توانند به عنوان یک عامل ایمن‌سازی بالقوه برای پیشگیری از اکینوкокوزیس عمل کنند که افق‌های جدیدی برای کاربردهای درمانی و پیشگیرانه ایجاد می‌کند. با این حال، برای استفاده عملی از تابش گاما در کنترل یا درمان کیست هیداتید نیاز به مطالعات بیشتر وجود دارد تا آستانه دقیق دوز مؤثر و ایمن مشخص شود و اثرات طولانی‌مدت آن بر میزبان و انگل بررسی گردد. همچنین،

تفاوت‌های مشاهده شده در مطالعات مختلف نشان‌دهنده لزوم استانداردسازی روش‌ها و پارامترهای تابش برای دستیابی به نتایج قابل مقایسه و کاربردی است (Hadj Rabia *et al.*, 2022).

### نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه نشان داد که اشعه گاما اثر قوی و وابسته به دوز بر پروتواسکولکس‌های کیست هیداتید اکتینوکوکوس گرانولوزوس دارد. دوزهای پایین‌تر تنها منجر به کاهش نسبی زنده‌مانی شدند، در حالی که دوزهای بالاتر (به‌ویژه ۲ کیلوگری) به‌طور مؤثر موجب غیرفعال‌سازی بیش از ۹۸ درصد پروتواسکولکس‌ها گردید. این نتایج نشان می‌دهد که تابش گاما با تخریب ساختارهای سلولی و ایجاد آسیب‌های غیرقابل ترمیم در DNA، می‌تواند رویکردی نوین، ایمن و غیرشیمیایی برای کنترل مرحله عفونی انگل و در نتیجه قطع چرخه انتقال بیماری باشد. افزون بر این، استفاده از تابش گاما می‌تواند در فرآوری فرآورده‌های دامی و پیشگیری از انتقال هیداتیدوزیس به انسان و حیوانات نقش مؤثری ایفا کند. با این حال، برای تعیین دوز بهینه و ایمن و همچنین بررسی اثرات بلندمدت این روش در شرایط درون‌تنی و کاربری‌های بالینی، انجام مطالعات بیشتر ضروری به نظر می‌رسد.

### سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه تبریز که حمایت مالی این تحقیق را بر عهده داشته است، صمیمانه قدردانی می‌نمایند. همچنین از کلیه همکاران آزمایشگاه بهداشت مواد غذایی و آبزیان دانشکده دامپزشکی که در مراحل مختلف این پژوهش همکاری و همراهی نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

### تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

## REFERENCES

- Alam-Eldin, Y. H., & Badawy, A. F. (2015). Destructive effect of gamma irradiation on *Echinococcus granulosus* metacestodes. *Parasitology Research*, 114, 3145–3150. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4533-9>
- Alzoubi, M., Daradkeh, S., Daradka, K., Shattarat, L. N., Al-Zyoud, A., Al-Qalqili, L. A., Al-Warafi, W. A., Al-Nezaa, I., ElMoubarek, M. N., & Qtaishat, L. (2025). The recurrence rate after primary resection of cystic echinococcosis: A meta-analysis and systematic literature review. *Asian Journal of Surgery*, 48(1), 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2024.09.038>
- Charmy, R. A., El-Gindy, H., Mansour, M., & Gad, H. S. (1990). Effect of gamma irradiation on the rate of cyst development of *Echinococcus granulosus* larvae in Swiss albino mice. *Journal of the Egyptian Society of Parasitology*, 20(1), 297–306.
- Faleh, E. B., Majeed, S. K., & Al-Bayati, A. J. (2004). Study of the pathological changes induced by irradiated protoscolices (from sheep hydatid cysts) after intra peritoneal injection in white male mice. *The Iraqi Journal of Veterinary Medicine*, 28(1), 147–167. <https://doi.org/10.30539/ijvm.v28i1.1074>
- Gérard, C., Franssen, F., La Carbona, S., Monteiro, S., Cozma-Petruț, A., Utaaker, K. S., Jambrak, A. R., Rowan, N., Rodríguez-Lazaro, D., & Nasser, A. (2019). Inactivation of parasite transmission stages: Efficacy of treatments on foods of non-animal origin. *Trends in Food Science Technology*, 91, 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.015>
- Hadj Rabia, S., Debib, A., Mezaguer, M., Yefsah, R., Soufli, I., Hamrioui, B., Touil-Boukoffa, C., Baz, A., Giaimis, J., & Mameri, S. (2022). Treatment of protoscoleces with gamma radiation: potential immunoprotective effect against experimental murine echinococcosis. *Parasite Immunology*, 44(10), e12944. <https://doi.org/10.1111/pim.12944>
- Ismail, E. I. F., Saad, M. B. E. A., Elsadig, A. A., & Almansour, N. M. (2020). Effect of gamma irradiation on the development of hydatid cyst in mice. *Multi-Knowledge Electronic Comprehensive Journal For Education & Science Publications (MECSJ)*, 38.
- Karpisheh, E., Sadjjadi, S. M., Nekooeian, A. A., & Sharifi, Y. (2023). Evaluation of structural changes of *Echinococcus granulosus* protoscoleces following exposure to different protoscolicidal solutions evaluated by differential interference contrast microscopy. *Journal of Parasitic Diseases*, 47(4), 850–858. <https://doi.org/10.1007/s12639-023-01632-4>
- Mao, R., Wu, G., Wang, H., Lu, P., Li, J., Li, H., Ainiwaer, A., Bai, Y., Shu, M., & Bao, Y. (2017a). Effects of X-ray on the metacestodes of *Echinococcus granulosus* in vitro. *BMC Infectious Diseases*, 17(1), 636.
- Mao, R., Zhang, W.-B., Qi, H.-Z., Jiang, T., Wu, G., Lu, P.-F., Ainiwaer, A., Shang, G., Xu, L., & Hao, J. (2017b). Efficacy of radiotherapy for the treatment of cystic echinococcosis in naturally infected sheep. *Infectious Diseases of Poverty*, 6(1), 88. <https://doi.org/10.1186/s12879-017-2741-x>
- Moazeni, M., & Rakhshandehroo, E. (2012). In vitro viability test for the eggs of *Echinococcus granulosus*: a rapid method. *Parasitology Research*, 110(2), 925–930. <https://doi.org/10.1007/s00436-011-2578-y>
- Parija, S. C., & Chaudhury, A. (2022). *Textbook of parasitic zoonoses* (1st ed.). Springer.
- Rufener, R., Ritler, D., Zielinski, J., Dick, L., da Silva, E. T., da Silva Araujo, A., Joekel, D. E., Czock, D., Goepfert, C., Moraes, A. M., de Souza, M. V. N., Müller, J., Mevissen, M., Hemphill, A., & Lundström-Stadelmann, B. (2018). Activity of mefloquine and mefloquine derivatives against *Echinococcus multilocularis*. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*, 8(2), 331–340. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2018.06.004>
- Singh, B. P., & Dhar, D. N. (1988). Effect of gamma irradiation on the protoscoleces of *Echinococcus granulosus* of sheep origin. *International Journal for Parasitology*, 18(4), 557–560. [https://doi.org/10.1016/0020-7519\(88\)90024-0](https://doi.org/10.1016/0020-7519(88)90024-0)
- Soulsby, E. J. L. (1982). *Helminths, arthropods and protozoa of domesticated animals* (Vol. 6). Lea and Febiger.
- Yuan, Q., Li, B., Jiang, S., Zhao, Q., Duo, J., & Huang, X. (2016). Gamma-ray treatment of echinococcus protoscoleces prior to implantation in mice reduces echinococcosis. *BioMed Research International*, 2016(1), 9027489. <https://doi.org/10.1155/2016/9027489>
- Zhang, R.-Q., Chen, X.-H., & Wen, H. (2017). Improved experimental model of hepatic cystic hydatid disease resembling natural infection route with stable growing dynamics and immune reaction.

- World Journal of Gastroenterology*, 23(45), 7989. <https://doi.org/10.3748/wjg.v23.i45.7989>
- Zhao, Y., Gui, W., Zhang, Y., Mo, G., Li, D., & Chong, S. (2019). Inhibitory effect of ionizing radiation on *Echinococcus granulosus* hydatid cyst. *Diseases*, 7(1), 23. <https://doi.org/10.3390/diseases7010023>
- Zhou, X., Zhao, Y., Zhou, R., & Zhang, H. (2013). Suppression of *E. multilocularis* hydatid cysts after ionizing radiation exposure. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 7(10), e2518. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002518>. eCollection 2013