Passive Defence
Vol. 17, No.1, Spring 2026, Serial No. 65
ISSN: 2980-8030 , E-ISSN: 2008-6849

Radioactive Contamination Management in Pasture and Forest Ecosystems with Nuclear Defense Approach

Morteza Kordi[1], Mojtaba Saadati[2*]

[1]Correspondence: Assistant Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran. Email Address: M.kordi@yu.ac.ir

[2]Professor, Department of Biology, Faculty and Research Institute of Basic Sciences, Imam Hossein (AS) University, Tehran, Iran. Email Address: saadati1_m@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 5 June 2025

Received in revised form: 26 August 2025

Accepted: 17 December 2025

Available online: 20 May 2026

Keywords:

Passive Defense

Forest

Nuclear Accident

Radionuclide

Radioactive Materials

ABSTRACT

This study was conducted to investigate and identify methods and defensive strategies for removing contamination from radioactive materials after a nuclear accident in forest ecosystems. For this purpose, published results of experimental methods on how to remove contamination from the forest environment after various nuclear accidents that occurred around the world, especially the Chernobyl accident (1986), were studied. It was found that with the deposition of radioactive materials in the forest environment in a short period of time, within a few months, the concentration of contamination in forest food products such as mushrooms and berries increases sharply, and forest animals also become contaminated by eating them. One of the ways in which radioactive contamination is transferred from the forest ecosystem to the human food chain is through the consumption of forest food or hunting animals from contaminated forests. After one year, soil becomes the main source of radionuclide contamination in the forest. Also, by removing contaminated wood from the forest and using it, the routes of transmission of contamination to people who are not normally directly exposed to radioactive radiation in the forest increase. There are various countermeasures to eliminate or reduce radioactive contamination through the forest environment. However, only those measures that have a high feasibility and are effective in eliminating or reducing contamination should be used to eliminate or reduce contamination. It seems that the rate of transmission of radioactive contamination to humans through forest ecosystems can be minimized by implementing measures such as; limiting access to forests, preventing forest fires, chemically modifying forest soil, processing raw forest products, changing hunting times in the forest, and avoiding collecting forest food products.

Cite this article: M. Kordi and M. Saadati, "Radioactive Contamination Management in Pasture and Forest Ecosystems with Nuclear Defense Approach," Journal of Passive Defence, vol. 17, no. 1, pp. 37-52, 2026.
DOI: https://doi.org/10.47176/pd.2026.1545

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights

Publisher: Imam Hossein University.

Introduction

After a nuclear accident, radioactive materials are dispersed into the surrounding environment, resulting in contamination of the environment, including forests and rangelands. Contamination of rangelands and forests with radioactive materials can significantly lead to contamination of forest foods, such as mushrooms and berries, as well as grazing livestock in contaminated areas. The consumption of milk and meat from animals grazing in contaminated areas has been identified as one of the main pathways of radioactive contamination of the human food chain after a nuclear accident. Animals typically receive radionuclides through the ingestion of contaminated forage and feed or through the direct ingestion of contaminated soil. Although the uptake of radionuclides in animals may also occur through the skin and lungs. Contamination of livestock products by radionuclides depends on the animal's behavior within the plant–soil system, the uptake rate and metabolic pathways of radionuclides in the animal, as well as the extent to which these substances are eliminated from the body, mainly through urine, feces, and milk.

In Iran, approximately 25% of red meat production is carried out within the nomadic system, which is highly dependent on livestock grazing in rangelands. In the Chernobyl accident, contaminated milk and meat were the main sources of internal radiation exposure in humans; in the short term (up to two months after the accident), they caused the transfer of iodine-131, and over the long term, they led to the transfer of radiocesium into the human body. Under such conditions, it is essential to implement effective measures as quickly as possible to reduce the transfer of radioactive contamination into the food chain.
Therefore, the objective of this study was to examine appropriate methods for decontaminating forest ecosystems from radioactive pollution and to use this information to design and classify suitable protective strategies and methods for the prevention, reduction, or remediation of radioactive contamination in the environment.

Methodology

This study adopts a research-based approach to identify the pathways of radiological contamination transfer, assess their impacts on forest ecosystems, and examine strategies for radiological decontamination. To achieve this objective, existing scientific resources including books, peer-reviewed articles, and documented reports available in databases such as ScienceDirect, Scopus, Web of Science, SID, and ISC, were reviewed, along with the experiences of various countries regarding nuclear incidents worldwide, particularly the Chernobyl (1986) and Fukushima (2011) accidents. Ultimately, the findings of these sources were summarized and presented in the form of this article.

Results and Discussion

Measures for decontaminating forest areas affected by radioactive materials should be designed to be practically acceptable to forest landowners or residents in those areas, meaning that actions compatible with conventional forest management practices are likely to be applicable. For successful implementation, these measures must also be acceptable to the general public. Just as decontamination efforts in forests require labor and are costly, it must also be recognized that these actions are not

performed rapidly but require careful planning. These are likely to be long-term activities, and a considerable amount of time is needed for their beneficial effects to materialize. Based on experiences from the Chernobyl nuclear accident and other global nuclear incidents, it is evident that the most effective approach often involves a broad spectrum of chemical, biological, and management methods. While complete decontamination of forest ecosystems may be impossible, implementing effective management practices to combat contamination, especially when long half-life radionuclides have deposited, is essential. The selection of the most appropriate decontamination method depends on the primary pathway of radiation exposure in a specific situation, making the prioritization of actions appear challenging. A wide range of measures can prevent the transfer of radioactive materials to humans through the food chain. Countermeasures vary in their efficiency, effectiveness, economic feasibility, and environmental and social impacts. Some countermeasures are highly practical, while others are less so. Since various types of forest-derived food products may be produced in a contaminated area, the adopted strategies must be chosen to prevent the largest volume of contamination in the shortest possible time. Therefore, various methods and practical, operational measures that can be generally used to reduce nuclear contamination in rangelands and forest ecosystems and have higher implement ability include: restricting access to forests, preventing forest fires through specific management and restrictive measures, chemical soil amendments (e.g., liming, fertilizers) to reduce the transfer of radioactive materials to forest plants, processing raw timber into less contaminated products, changing the land use or forest management practices, avoiding the collection of highly contaminated wild food products, adjusting hunting seasons to reduce contamination levels in harvested animal meat, clearing forests along the edges of farmlands, and restoring and reforesting low-productivity forest areas.

Conclusion

Given the advancements in nuclear technologies in Iran, as well as the potential threats and risks the country may face, addressing environmental aspects, managing and mitigating nuclear contamination resulting from possible incidents, and developing an environmental defense and rapid-response system for emergency conditions holds significant strategic importance. In general, a wide range of interventions can be employed to remove or decrease contamination in forest environments and prevent the transmission of radionuclides to humans through the food chain. It is crucial to prioritize actions that are both highly feasible and demonstrably effective in reducing or eliminating contamination. Measures such as restricting access to forests, preventing forest fires, applying chemical soil amendments, processing raw forest products, adjusting hunting periods, and avoiding the collection of wild edible products may significantly reduce the transfer of radioactive pollutants to humans through contaminated forest ecosystems. Furthermore, in implementing environmental decontamination measures, the capacities of community-based volunteer groups working under the supervision of specialized teams and with proper training can be effectively utilized. In this context, public education for all segments of society can play a highly impactful role in reducing overall damages.

پدافند غیرعامل

سال هفدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، (پیاپی ۶۵): صص ۵۲-۳۷

شاپای چاپی: ۶۹۴۹-۲۰۰۸ | **شاپای الکترونیکی:** ۸۰۳۰-۲۹۸۰

مدیریت آلودگی رادیواکتیویته در مراتع و اکوسیستم‌های جنگلی با رویکرد پدافند هسته‌ای

مرتضی کردی[1*]، مجتبی سعادتی[2]

[1] استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. (نویسنده مسئول). رایانامه: M.Kordi@yu.ac.ir

[2] استاد گروه زیست شناسی، دانشکده و پژوهشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران. رایانامه: saadati1_m@yahoo.com

چکیده

پس از بروز یک حادثه هسته‌ای، مواد پرتوزا در محیط اطراف پراکنده شده و باعث آلودگی محیط زیست، از جمله جنگل‌ها و مراتع می‌گردند. با چرای دام‌ها از مراتع آلوده، مواد رادیواکتیو می‌توانند از مسیر شیر و گوشت آلوده وارد زنجیرهٔ غذایی انسان شوند، که مصرف این مواد غذایی آلوده یکی از مسیرهای اصلی آلودگی زنجیرهٔ غذایی انسان بعد از یک حادثه هسته‌ای به شمار می‌آید. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی و شناسایی روش‌ها و راهکارهای پدافندی رفع آلودگی مواد پرتوزا بعد از یک حادثهٔ هسته‌ای در اکوسیستم‌های جنگلی انجام شده است. بدین منظور در این پژوهش نتایج منتشر شده از روش‌های آزمایشی مبنی بر چگونگی رفع آلودگی از محیط‌زیست جنگلی بعد از حوادث گوناگون هسته‌ای وقوع یافته در سراسر جهان، خصوصاً حادثهٔ چرنوبیل (۱۹۸۶)، موردبررسی و مطالعه قرار گرفتند. مشخص شد که با نشست مواد پرتوزا در محیط‌زیست جنگلی در مدت زمانی کوتاه و در حد چند ماه، غلظت آلودگی در محصولات غذایی جنگلی مانند؛ قارچ‌ها و توت‌ها به‌شدت افزایش می‌یابد و حیوانات جنگلی نیز با خوردن آن‌ها آلوده می‌شوند. یکی از راه‌های انتقال آلودگی‌های پرتوزا از اکوسیستم جنگلی به زنجیرهٔ غذایی انسان نیز مصرف مواد غذایی جنگلی و یا شکار حیوانات از جنگل‌های آلوده است. پس از گذشت یک سال، خاک به منبع اصلی آلودگی رادیونوکلوئیدی در جنگل تبدیل می‌شود. همچنین با خروج چوب‌های آلوده از جنگل و استفاده از آن‌ها، مسیرهای انتقال آلودگی به افرادی که به‌طور معمول خودشان بطور مستقیم در جنگل در معرض تابش‌های پرتوزا قرار نمی‌گیرند، افزایش می‌یابد. اقدامات متقابل متنوعی برای رفع و یا کاهش آلودگی‌های پرتوی از طریق محیط‌زیست جنگلی وجود دارد. اما تنها اقداماتی را که دارای قابلیت اجرایی بالایی بوده و بطور مؤثری در رفع یا کاهش آلودگی اثربخش هستند، باید در راستای رفع و یا کاهش آلودگی‌ها بکار گرفت. به‌نظر می‌رسد می‌توان با اجرای اقداماتی مانند؛ محدودکردن دسترسی به جنگل‌ها، جلوگیری از آتش‌سوزی در جنگل، اصلاح شیمیایی خاک جنگل‌ها، فراوری محصولات خام جنگلی، تغییر زمان شکار در جنگل و پرهیز از جمع‌آوری محصولات غذایی جنگلی، میزان انتقال آلودگی‌های پرتوزا به انسان را از طریق اکوسیستم‌های جنگلی به حداقل رسانید.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: علمی پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۵

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۴

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۶

ارائه آنلاین: ۱۴۰۵/۰۲/۳۰

کلیدواژه‌ها:

پدافند غیرعامل

جنگل

حادثه هسته‌ای

رادیونوکلوئید

مواد پرتوزا

استناد: کردی، مرتضی، سعادتی، مجتبی، " مدیریت آلودگی رادیواکتیویته در مراتع و اکوسیستم‌های جنگلی با رویکرد پدافند هسته‌ای"، نشریه پدافند غیرعامل، دوره ۱۷، شماره ۱، صفحات ۵۲-۳۷، ۱۴۰۵. DOI: https://doi.org/10.47176/pd.2026.1545

© نویسنده(گان) حق نشر و حقوق کامل انتشار را برای خود محفوظ می‌دارند.

OPEN ACCESS

ناشر: دانشگاه جام امام حسین(ع).

۱- مقدمه

جنگل‌ها منابع طبیعی وسیعی هستند که در بسیاری از کشورها جزء منابع اقتصادی، تغذیه‌ای و تفریحی به‌حساب می‌آیند. پس از بروز یک حادثه هسته‌ای، مواد پرتوزا در محیط اطراف پراکنده شده و باعث آلودگی محیط‌زیست، از جمله جنگل‌ها و مراتع می گردند. آلودگی مراتع و جنگل‌ها با مواد رادیواکتیو می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی موجب آلودگی غذاهای جنگلی (قارچ‌ها و انواع توت) و دام‌های چراکننده در مناطق آلوده شوند. مصرف شیر و گوشت آلودهٔ حیوانات چراکننده در مناطق آلوده، یکی از مسیرهای اصلی آلودگی زنجیرهٔ غذایی انسان بعد از حادثه چرنوبیل بیان شده است [۱]. حیوانات معمولاً با مصرف علوفه و خوراک‌های آلوده و یا مصرف مستقیم خاک‌آلوده، مواد پرتوزا را دریافت می‌کنند. هر چند جذب مواد پرتوزا در حیوانات می‌تواند از طریق پوست و شش‌ها (استنشاق) نیز صورت بگیرد. آلودگی محصولات دامی توسط مواد پرتوزا، به رفتار حیوان در سامانه گیاه-خاک، نرخ جذب و مسیرهای سوخت‌وساز مواد پرتوزا در حیوان و همچنین میزان دفع این مواد از بدن حیوان (عمدتاً ادرار، مدفوع و شیر) بستگی دارد [۱ و ۲].

در ایران، حدود ۲۵ درصد از تولیدات گوشت قرمز در سامانه عشایری تولید می‌شود، که به شدت وابسته به چرای دام در مراتع می‌باشند. در حادثهٔ چرنوبیل، شیر و گوشت آلوده به مواد پرتوزا، منبع اصلی انتقال تشعشعات به داخل بدن انسان بودند که در دورهٔ کوتاه مدت (تا دو ماه بعد از حادثه) سبب انتقال یُد-۱۳۱ و در طی دوران بلند مدت موجب انتقال رادیوسزیم به بدن انسان شده‌اند [۱]. در این شرایط ضروری است تا در کوتاه‌ترین زمان ممکن، اقدامات مؤثری در جهت کاهش انتقال آلودگی‌های رادیواکتیو به زنجیرهٔ غذایی بکارگیری شوند.

پرداختن به پدافند محیط‌زیستی در شرایط اضطراری هسته‌ای، به‌ویژه در کشورهایی که دارای تأسیسات هسته‌ای فعال هستند، از اهمیت بالایی برخوردار است. در ایران، طرح ملی مدیریت شرایط اضطراری پرتوی تدوین شده است که شامل؛ برنامه‌هایی برای مقابله با حوادث هسته‌ای و کاهش اثرات محیط‌زیستی آن‌ها است. یکی از جنبه‌های مهم این موضوع، حفاظت از اکوسیستم‌های جنگلی است که در صورت وقوع حادثه هسته‌ای، ممکن است دچار آلودگی شوند. پدافند غیرعامل در این زمینه شامل اقداماتی مانند پایش مستمر محیطی، استفاده از فناوری‌های نوین برای کاهش آلودگی و آموزش نیروهای متخصص برای مدیریت بحران است. همچنین، تهدیدات زیستی و راهبردهای پدافندی در برابر آن‌ها نیز موردتوجه قرار گرفته‌اند، زیرا آلودگی‌های ناشی از حوادث هسته‌ای می‌توانند تأثیرات بلندمدتی بر محیط‌زیست و سلامت عمومی داشته باشند. بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی روش‌های مناسب برای رفع آلودگی پرتوی از اکوسیستم‌های جنگلی و استفاده از این اطلاعات برای طراحی و طبقه‌بندی راهکارها و روش‌های پدافندی مناسب برای پیشگیری، کاهش یا رفع آلودگی‌های پرتوی در محیط‌زیست بوده است.

۲- پیشینه پژوهش

حوادث هسته‌ای می‌توانند تأثیرات گسترده‌ای بر اکوسیستم‌های جنگلی داشته باشند. آلودگی پرتوی ناشی از این حوادث ممکن است باعث تغییرات ژنتیکی در گیاهان و جانوران شوند، رشد گیاهان را مختل کنند و موجب کاهش تنوع زیستی گردند. رسوب مواد رادیواکتیو در خاک جنگل‌ها می‌تواند چرخه‌های زیستی را دچار اختلال نماید و بر زنجیرهٔ غذایی تأثیر بگذارد. همچنین، آلودگی منابع آبی در مناطق جنگلی ممکن است باعث آسیب به گونه‌های آبزی و کاهش کیفیت آب شود. علاوه‌برآن، گونه‌های مختلف دامی که برای چرا از مراتع به جنگل‌ها می‌روند نیز، می‌توانند آلوده شده و از این طریق آلودگی‌های پرتوی وارد زنجیرهٔ غذایی انسان می‌شود. از سوی دیگر، تخریب پوشش‌های گیاهی در اثر آلودگی هسته‌ای می‌تواند موجب کاهش جذب دی‌اکسیدکربن و افزایش اثرات تغییرات اقلیمی شود. برخی مطالعات نشان داده‌اند که جنگل‌های آلوده به مواد رادیواکتیو ممکن است دچار کاهش رشد و تغییر در ترکیب گونه‌های گیاهی شوند. این تغییرات می‌توانند تأثیرات بلندمدتی بر پایداری اکوسیستم‌های جنگلی داشته باشند. برای کاهش این اثرات، پایش مستمر محیطی، استفاده از فناوری‌های پاک‌سازی آلودگی و تدوین برنامه‌های حفاظتی برای مناطق جنگلی آلوده ضروری است [۱ و ۳].

مناطق جنگلی توسط انسان‌ها برای جنگل‌داری، چرای دام، تفریح و به‌عنوان منابع غذاهای وحشی (مانند حیوانات شکاری، قارچ و انواع توت) استفاده می‌شوند. مسیرهای انتقال آلودگی از طریق جنگل‌ها ممکن است شامل قرارگرفتن در معرض دوزهای خارجی از درختان جنگلی و آلوده، جابه‌جایی مواد جنگلی آلوده

و تولیدات صنعتی با استفاده از چوب‌های آلوده باشد. قرارگرفتن در معرض دوزهای داخلی می‌تواند از استنشاق رادیونوکلئیدها پس از آتش‌سوزی جنگل یا احتراق چوب آلوده [۴ و ۵] ناشی شود، اما بیشتر به دلیل مصرف غذاهای جنگلی (مانند حیوانات شکاری، قارچ و انواع توت) است [۳]. برخی از محققان تغذیه از قارچ‌ها را مسیر اصلی آلودگی نشخوارکنندگان چراکننده در مناطق جنگلی نروژ، به رادیوسزیم عنوان کردند [۶]. هر چند سزیم-۱۳۷ خسارات کمی را بطور مستقیم به جنگل‌ها وارد می‌کند، ولی چرخهٔ رادیوسزیم در محیط‌زیست جنگلی یک فرایند دینامیک و پویا است که در آن انتقال رادیوسزیم به‌صورت فصلی یا بلندمدت و بطور دوجانبه بین اجزای زنده و غیرزندهٔ این اکوسیستم رخ می‌دهد. به‌منظور تسهیل در مدیریت مناسب و طولانی‌مدت جنگل، درک صحیح از این فرایندهای تبادلی، امری ضروری به نظر می‌رسد [۱].

از جمله ابزارهای کارآمد در دفاع هسته‌ای پدافند غیرعامل است. پدافند غیرعامل هسته‌ای نقطه مقابل تهدیدات هسته‌ای است. پدافند غیرعامل به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌شود که نیازمند به‌کارگیری جنگ‌افزار نیست و با اجرای آن می‌توان از واردشدن خسارات مالی به محیط‌زیست، تجهیزات و تأسیسات حیاتی و حساس و تلفات انسانی جلوگیری کرده و یا میزان این خسارات و تلفات را به حداقل ممکن کاهش داد. ازاین‌رو، وظیفه قرارگاه پدافند غیرعامل هسته‌ای، رصد و پایش این نوع تهدیدات و کنترل این تهدیدات در مواقع ضروری است [۷].

ازاین‌رو، برای مقابله با آلودگی‌های هسته‌ای در مواقع لزوم باید روش‌های مختلف پدافندی باتوجه‌به موقعیت و ظرفیت‌های مناطقی از کشور که در معرض تهدیدات هسته‌ای هستند، طراحی و تدوین گردند. درهرحال به علّت عظیم بودن ابعاد حادثه در مقیاس وسیع، در حوادثی چون چرنوبیل (۱۹۸۶) و فوکوشیما (۲۰۱۱)، این حوادث به‌عنوان موارد پژوهشی جامع در زمینه‌های مختلف موردتوجه و مطالعه قرار می‌گیرند و بیشتر اطّلاعات موجود در زمینهٔ اثر مواد پرتوزا بر محیط‌زیست با مطالعهٔ این دو حادثه به دست آمده‌اند که می‌توانند درارابطه‌با شناخت پیامدهای محیط‌زیستی ناشی از تشعشعات هسته‌ای و راه‌های مقابله با آنها، راه‌حل‌های مفیدی را ارائه دهند [۸].

به‌منظور بهینه‌سازی مدیریت جنگل‌ها در طی دوران پس از رسوب مواد پرتوزا می‌توان بر اساس داده‌های پایش غلظت فعالیت رادیونوکلئید در خاک و چوب و همچنین بر اساس خواص خاک جنگل را طبقه‌بندی کرد [۵ و ۹]. به این ترتیب ممکن است قطع درختان مناطقی با دوزهای خارجی کم و مناطقی با غلظت فعالیت رادیونوکلئید کمتر در چوب، در اولویت قرار گیرند. همین رویکرد را می‌توان برای سایر محصولات جنگلی نیز استفاده کرد [۴]. توصیه‌هایی در مورد قطع درختان و جمع‌آوری قارچ یا انواع توت در مناطقی از اتحاد جماهیر شوروی سابق که تحت تأثیر حادثه چرنوبیل قرار گرفته‌اند، عمدتاً بر اساس چنین رویکردی بوده است و منجر به دوزهای خارجی کمتر برای جنگل‌بانان یا سایر افرادی که در جنگل غذا جمع‌آوری می‌کنند، و همچنین کاهش قابل توجه دوز داخلی به دلیل رادیوسزیم شده است [۳].

۲-۱- توزیع آلودگی‌های رادیواکتیو طی فاز اولیه بعد از وقوع حادثه

به‌منظور درک و شناسایی نحوهٔ انتشار آلودگی‌های رادیواکتیو در اکوسیستم‌های جنگلی، حادثه هسته‌ای چرنوبیل (۱۹۸۶) مورد مطالعه قرار گرفت. پژوهش‌ها نشان دادند که تاج‌پوششی درختان، بخصوص در جنگل‌ها، فیلترهای کارآمدی در برابر همهٔ انواع آلودگی‌ها به‌حساب می‌آیند. مکانیسم اولیهٔ آلودگی درختان پس از حادثهٔ چرنوبیل، جلوگیری مستقیم از نشست مواد پرتوزا بر روی زمین بوده است که حدود ۹۰-۶۰ درصد از نشست اولیهٔ مواد پرتوزا بر روی زمین جلوگیری کردند. این امر تا شعاع ۷ کیلومتری از رآکتور هسته‌ای چرنوبیل، سبب آلودگی بسیار بالای تاج‌پوششی درختان کاج شد که در نتیجهٔ سبب شد تا این درختان دوزهای کشنده‌ای را از طریق مخلوطی از مواد پرتوزای دارای نیمه‌عمر کوتاه و بلند دریافت کنند [۳ و ۱۰].

آلودگی تاج‌پوششی درختان به‌سرعت و در طی یک دورهٔ چندهفته‌ای تا چندماهه و در اثر شستشو با آب باران و فرایندهای طبیعی ریزش برگ‌ها، کاهش یافت. همچنین، رادیوسزیم توسط سطوح برگ‌ها نیز جذب شدند. در طی تابستان سال ۱۹۸۶، تقریباً ۱۵ درصد از میزان مواد اولیهٔ رادیوسزیم بر روی تاج‌پوششی درختان کاج باقی مانده بودند و تا تابستان ۱۹۸۷، میزان رادیوسزیم باقی مانده بر روی تاج‌پوششی درختان به ۵ درصد کاهش یافت. در نتیجه در طی یک دورهٔ یکساله، بخش عمده‌ای از مواد پرتوزا از تاج‌پوششی درختان کاج به لایه-های زیرزمینی خاک منتقل شدند [۱ و ۹].

در طول تابستان سال ۱۹۸۶، غلظت آلودگی‌ها در محصولات طبیعی جنگلی مانند قارچ‌ها و توت‌ها افزایش یافت که این امر

منجر به آلوده شدن حیوانات جنگلی مانند آهو، گوزن و گرازها شد [۹].

۲-۲- دینامیک رفتاری مواد پرتوزا در اکوسیستم جنگلی در درازمدت

بعد از بروز بحران هسته‌ای چرنوبیل، تقریباً یک سال پس از نشست اولیهٔ مواد پرتوزا در محیط‌زیست جنگلی، خاک به منبع اصلی آلودگی رادیوسزیم در جنگل تبدیل شد. همچنان که رادیوسزیم به لایه‌های زیر خاک مهاجرت کرده بود، بخشی از آن توسط ریشهٔ درختان و پوشش‌های گیاهی جنگلی جذب شده بودند. همانند مادهٔ مغذی شبیه به رادیوسزیم (پتاسیم)، نرخ چرخهٔ تبادلات رادیوسزیم در جنگل سریع بوده و چند سال پس از نشست و رسوب آن از طریق هوا، توزیع آن در محیط‌زیست جنگلی به یک حالت نیمه متوازن می‌رسد [۱۰ و ۱۱]. لایه‌های بالایی غنی از مواد آلی خاک در جنگل به‌عنوان محلی برای ته‌نشینی بلندمدت رادیوسزیم عمل می‌کنند. امّا همچنین به‌عنوان یک منبع اصلی برای آلودگی پوشش‌های گیاهی جنگلی با رادیوسزیم به‌حساب می‌آیند [۳].

معمولاً میزان خروج رادیوسزیم از این سامانه به‌واسطهٔ آب زهکشی محدود است. زیرا رادیوسزیم توسط مواد معدنی میکایی خاک به‌صورت بی‌حرکت و ثابت می‌شوند. نقش عمدهٔ گیاهان جنگلی در چرخهٔ رادیوسزیم، ذخیره‌سازی جزئی و ناپایدار رادیوسزیم است، خصوصاً که این عمل در اجزای چوبی دائمی درخت مانند؛ تنهٔ درختان و شاخه‌های بزرگ‌تر بیشتر است. یک بخش از رادیوسزیم توسط گیاهان جنگلی از خاک برداشت می‌شود، امّا هرساله از طریق شستشو و ریزش برگ‌ها دوباره به خاک بر می‌گردند و موجب ماندگاری بلندمدت و بیولوژیک رادیوسزیم در خاک سطحی خواهند شد. ذخیرهٔ رادیوسزیم در زیست‌تودهٔ برافراشته و ایستاده در جنگل حدود ۵ درصد کل فعالیت آن در اکوسیستم جنگل استوایی است و بیشترین میزان آن در درختان است [۱ و ۱۰].

در نتیجهٔ چرخهٔ بیولوژیکی و ذخیرهٔ رادیوسزیم، مهاجرت آن در خاک‌های جنگلی محدود است و بیشترین آلودگی‌ها در قسمت بالاییِ دارای مواد آلی خاک باقی می‌ماند. بااین‌حال، مهاجرت آرام و رو به پائین رادیوسزیم در خاک ادامه خواهد یافت، هر چند نرخ مهاجرت باتوجه‌به نوع خاک و آب‌وهوا به میزان زیادی تغییر می‌کند. خصوصیات هیدرولوژیک خاک‌های جنگلی عاملی مهم در کنترل انتقال مواد پرتوزا در اکوسیستم‌های جنگلی هستند. بسته به خصوصیات هیدرولوژیکی خاک، ضریب انتقال رادیوسزیم به درختان، قارچ‌ها، توت‌ها و درختچه‌ها، می‌تواند به اندازهٔ ۱۰۰۰ برابر تغییر کند. حداقل ضریب انتقال رادیوسزیم برای جنگل‌های خشک (اتومورفیک) و خاک‌هایی است که بر روی دامنه‌های صاف و هموار و در شرایط بدون سطوح زه‌آب، ایجاد شده‌اند. مقادیر حداکثر ضریب انتقال رادیوسزیم، مربوط به جنگل‌های هیدرومورفیک و پرآبی است که بر اثر رکود و ایستایی بلند مدت بر روی آب‌های سطحی ایجاد شده باشند. از بین سایر عواملی که بر روی انتقال مواد پرتوزا در محیط‌زیست جنگلی اثر دارند، توزیع سامانه‌های ریشه (میسلیا) در لایه‌های خاک و ظرفیت گیاهان مختلف برای تجمع رادیوسزیم، از مهمترین آنها هستند [۱۰ و ۱۲].

توزیع عمودی رادیوسزیم در خاک، نقش مهمی را بر روی دینامیک جذب این مادهٔ پرتوزا در گیاهان علفی، درختان و قارچها ایفا می‌کند. یکی دیگر از نتایج به دست آمدهٔ حاصل از مطالعهٔ رفتار مواد پرتوزا در محیط‌زیست جنگلی، این است که باگذشت زمان، نرخ دوزهای خارجی گاما در این اکوسیستم کاهش می‌یابد، زیرا با مهاجرت حداکثری آلودگی‌ها به سطوح پائین‌تر خاک، لایه‌های سطحی در برابر تشعشعات مواد پرتوزا در لایه‌های زیرین به‌صورت یک‌لایهٔ محافظتی عمل می‌کنند. قابل‌ذکر است که سریع‌ترین انتقال عمودی و رو به پائین رادیوسزیم، در جنگل‌های هیدرومورفیک و پرآب مشاهده شده است [۱۰ و ۱۱].

هنگامی که جنگل‌ها با رادیوسزیم آلوده می‌شوند، هر گونه توزیع مجدد آلودگی‌ها دچار محدودیت می‌شود. فرایندهایی که در مقیاس کم موجب توزیع مجدد آلودگی در جنگل‌ها می‌شوند، شامل؛ احیاء مجدد جنگل، آتش‌سوزی، فرسایش و رواناب هستند، هر چند به‌احتمال زیاد هیچ‌یک از فرایندها منجر به مهاجرت‌های بعدی قابل‌ملاحظه‌ای برای رادیوسزیم از جایگاه رسوب اولیهٔ آن نمی‌شوند [۳ و ۱۰].

۲-۲-۱- جذب مواد پرتوزا در محصولات خوراکی جنگلی

محصولات خوراکی‌ای که از جنگل تولید می‌شوند شامل؛ قارچها، میوه‌ها و حیوانات شکار شونده هستند. همهٔ این محصولات در اثر حادثهٔ چرنوبیل، تحت‌تأثیر آلودگی قرار گرفتند. بیشترین سطح آلودگی رادیوسزیم در قارچها مشاهده شد که این امر در نتیجهٔ

ظرفیت بالای این محصولات در تجمع برخی مواد معدنی من‌جمله رادیوسزیم است. برخی از گونه‌های قارچ‌ها، از لایه‌های خاصی از خاک برای تغذیهٔ خود استفاده می‌کنند و دینامیک آلودگی این‌گونه‌ها با میزان آلودگی این لایه‌های خاص در ارتباط است. سطح بالای آلودگی‌ها در گونه‌های قارچ، منعکس‌کنندهٔ ضریب انتقال بالای رادیوسزیم از خاک به قارچ است. آلودگی قارچ‌ها در جنگل‌ها، بسیار بیشتر از میوه‌های جنگلی من‌جمله زغال‌اخته است. باتوجه‌به سطوح پایین‌تر رادیوسزیم در توت‌های جنگلی و میزان مصرف کمتر آنها توسط انسان، می‌توان نتیجه گرفت که مصرف توت‌های جنگلی نسبت به قارچ‌ها خسارات بیولوژیک کمتری را برای انسان به دنبال دارند. درهرحال، هر دو محصول جنگلی سهم قابل‌توجهی را در تغذیهٔ حیوانات چراکننده دارا هستند و بنابراین مسیر ثانویه‌ای را از قرارگرفتن انسان در معرض تشعشعات پرتوزا از طریق حیوانات شکار شونده فراهم می‌کنند. غالباً حیوانات چراکننده در این جنگل‌های آلوده و سایر اکوسیستم‌های نیمه‌طبیعی گوشت‌های حاوی غلظت‌های بالایی از رادیوسزیم را تولید می‌کنند. این قبیل حیوانات شامل؛ گراز وحشی، آهو و گوزن هستند، امّا همچنین حیوانات اهلی مانند؛ گاو و گوسفند نیز ممکن است از مکان‌های حاشیهٔ جنگل‌ها برای چرا استفاده کنند و در نواحی آلوده، دچار آلودگی شوند [۲ و ۹].

۲-۲-۲- آلودگی چوب‌های جنگلی

یکی از مهم‌ترین اثرات بالقوهٔ آلودگی‌های رادیواکتیویته در جنگل‌ها، آلودگی‌های محصولات چوبی است. با خروج چوب‌های آلوده از جنگل و فراوری و استفاده از آنها، مسیرهایی که می‌تواند انسان‌ها را در معرض تابش‌های پرتوزا قرار دهند، در خارج از جنگل افزایش می‌یابد که شامل؛ افرادی است که بطور معمول خودشان در جنگل و در معرض تابش‌های پرتوزا قرار نمی‌گیرند. جذب رادیوسزیم از خاک‌های جنگلی و انتقال آن به چوب، پایین است. ازآنجایی‌که چوب برای ساخت مبلمان، دیوارها و کف خانه-ها مورداستفاده قرار می‌گیرد، بعید به نظر می‌رسد انسان‌هایی که از این لوازم استفاده می‌کنند بطور قابل‌توجهی در معرض رادیولوژیک تابش‌های پرتوزا قرار بگیرند. درهرحال، تولید کالاهای مصرفی از قبیل کاغذ، مستلزم تولید ضایعات مایع و جامدی است که می‌توانند بطور قابل‌توجهی با رادیوسزیم آلوده شده باشند. مدیریت این ضایعات توسط کارگران در کارخانه‌های کاغذ می‌تواند موجب افزایش قرارگرفتن آنها در معرض تابش‌های پرتوزا شود. استفاده از سایر اجزای درختان مانند؛ برگ‌ها، پوست و شاخه‌ها برای احتراق ممکن است مشکلات دفع خاکستر چوب‌های آلوده را افزایش دهد. مشکلات ایجاد شده توسط رایوسزیم در خاکستر چوب، بطور ویژه‌ای قابل‌توجه است، زیرا غلظت فعالیّت رادیوسزیم در خاکستر ۱۰۰-۵۰ برابر بیشتر از غلظت آن در چوب اولیه است. برای مصرف‌کنندگان خانگی از هیزیم در مناطق آلوده و ایجاد خاکستر در خانه یا در باغ، ممکن است قرارگرفتن مردم در معرض دوزهای خارجی اشعهٔ گاما را افزایش دهد [۳ و ۱۳].

۳- روش تحقیق

این مطالعه با رویکرد تحقیقی، شناسایی مسیرهای انتقال آلودگی‌های پرتویی و اثرات آنها بر اکوسیستم‌های جنگلی و شناخت راهکارهای رفع آلودگی پرتویی را موردبررسی قرار داده است. برای دستیابی به این هدف، از منابع علمی موجود شامل کتب، مقالات و گزارش‌های مستند در پایگاه‌های علمی Science direct، Scopus، Web of science، SID و یا ISC و تجارب کشورهای مختلف در خصوص حوادث هسته‌ای در سراسر جهان، خصوصاً حادثهٔ چرنوبیل (۱۹۸۶) و فوکوشیما (۲۰۱۱)، استفاده شده است. در نهایت نتایج این مطالعات جمع‌بندی و در قالب این مقاله ارائه شدند.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- روش‌های پدافندی رفع آلودگی‌های هسته‌ای در اکوسیتم‌های جنگلی

اقدامات لازم برای رفع آلودگی مناطق جنگلی آلوده‌شده به مواد پرتوزا باید به‌گونه‌ای باشد که توسط مالکان زمین‌ها در مناطق جنگلی یا افرادی که در آن نواحی زندگی می‌کنند، از لحاظ جنبهٔ عملی قابل‌پذیرش باشد، یعنی اقداماتی که ممکن است با شیوه‌های معمول مدیریت جنگل سازگار باشد، دارای قابلیت اجرایی است. برای‌آنکه این اقدامات به‌صورت موفق قابل‌اجرا باشند، باید توسط عموم مردم نیز قابل‌پذیرش باشد. همان‌گونه که اقدامات لازم رفع آلودگی در جنگل‌ها نیازمند به نیروی کار بوده و پرهزینه است، این نکته نیز باید موردتوجه قرار گیرد که این اقدامات به‌سرعت انجام نمی‌شوند، امّا باید بادقت مورد برنامه-ریزی قرار بگیرند. به‌احتمال زیاد این اقدامات، فعالیت‌هایی

طولانی‌مدت هستند و برای‌آنکه اثرات مفید آن‌ها تحقق یابند، نیازمند به سپری‌شدن مدت‌زمان زیادی هستند [۱۰ و ۱۲].

تاج‌پوششی گیاهان می‌توانند از رسوب مقادیر قابل‌توجهی از مواد پرتوزا، خصوصاً رسوبات خشک بر روی زمین جلوگیری کنند. ازآنجایی‌که جریان بارندگی‌ها از طریق برگ‌ها و ساقهٔ درختان هدایت می‌شود، رسوب مرطوب و موضعی مواد پرتوزا در اطراف ساقه‌ها افزایش می‌یابد. انواع مکانیسم‌های مختلف باعث افزایش سطح غلظت مواد پرتوزا در ترکیبات جنگل می‌شود، به‌طوری‌که نیمه‌عمر محیط‌زیستی مؤثر مواد پرتوزا در محیط‌زیست جنگلی، طولانی‌تر از آن چیزی است که در سیستم‌های کشاورزی دیده می‌شود. انتقال مواد پرتوزا از خاک به گیاه در بسیاری از اکوسیستم‌های جنگلی که دارای سطح بالایی از مواد آلی هستند، بالا است و گیاهان چندساله مواد پرتوزا را در اندام‌های ذخیره‌ای خود نگهداری می‌کنند. گل‌سنگ‌ها، خزه‌ها و قارچ‌ها که می‌توانند سطوح بالایی از رادیوسزیم را در خود جذب کنند، بطور معمول در بسیاری از مناطق جنگلی وجود دارند. همانند بسیاری از اکوسیستم‌های نیمه‌طبیعی، جنگل‌ها از نظر نوع خاک، آب‌وهوا، توپوگرافی و ترکیب درختان و سایر گیاهان و جانوران متنوع و متفاوت هستند، بنابراین ماهیّت و میزان آلودگی مناطق جنگلی با مواد پرتوزا بطور قابل‌توجهی متفاوت است. از طرف دیگر، جنگل‌ها برای فعالیّت‌های متنوعی از جمله تولید چوب و مقاصد تفریحی مورداستفاده قرار می‌گیرند. چنین تنوعی بر انتخاب نوع اقدام متقابل برای رفع آلودگی به جهت استفاده در هر منطقهٔ جنگلی، اثر می‌گذارد. اقداماتی که در ادامه موردبحث قرار می‌گیرند شامل؛ شیوه‌های کاهش دوز تابشی برای افرادی است که از مناطق جنگلی استفاده می‌کنند و همچنین اقداماتی برای کاهش میزان آلودگی‌ها در محصولات جنگلی و یا روش‌های عمومی رفع آلودگی هستند [۱ و ۱۳ و ۱۴].

طیف گسترده‌ای از روش‌های رفع آلودگی وجود دارند که می‌توان از آنها در اکوسیستم‌های جنگلی استفاده کرد. باتوجه‌به تجارب به‌دست‌آمده از حادثهٔ هسته‌ای چرنوبیل و سایر حوادث هسته‌ای در جهان، روشن است که مؤثرترین روش، اغلب طیف وسیعی از هر دو روش شیمیایی و بیولوژیکی و روش‌های مدیریتی را شامل می‌شود. هر چند رفع کامل آلودگی‌ها در اکوسیستم‌های جنگلی غیرممکن است، امّا اعمال شیوه‌های مدیریتی مؤثر در مقابله با آلودگی به‌ویژه زمانی که مواد پرتوزای دارای نیمه‌عمر طولانی رسوب‌کرده باشند، امری ضروری است، انتخاب مناسب‌ترین شیوهٔ رفع آلودگی، به مسیر اصلی قرارگرفتن در معرض دوزهای تابشی در یک موقعیت خاص بستگی دارد، بنابراین اولویت‌بندی اقدامات ذکرشده امری دشوار به نظر می‌رسد [۲ و ۴].

طیف گسترده‌ای از اقدامات وجود دارند که می‌توانند از انتقال مواد پرتوزا به انسان از طریق زنجیرهٔ غذایی جلوگیری کنند. اقدامات متقابل از نظر کارایی و اثربخشی، اقتصادی و اثرات محیط‌زیستی و اجتماعی دارای پیامدهای مختلفی هستند. برخی از اقدامات متقابل دارای قابلیت اجرایی بالایی هستند، ولی برخی دیگر از قابلیت اجرایی کمتری برخوردار هستند. در این قسمت تأکید بر اقدامات متقابلی است که دارای قابلیت اجرایی بالا بوده و از مصرف مواد غذایی آلوده توسط مصرف‌کننده پیشگیری می‌کنند [۳ و ۴].

ازآنجایی‌که ممکن است انواع مختلفی از مواد غذایی با منشأ جنگلی در یک منطقهٔ آلوده شده تولید شوند، لذا استراتژی‌های بکار گرفته شده باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند تا بتوان در کوتاه‌ترین زمان، از بیشترین حجم آلودگی جلوگیری کرد [۱۵ و ۱۶].

مجموعه اقداماتی که در زیر بیان می‌شوند، به‌طورکلی از لحاظ عملیاتی آسان بوده و در برخی موارد ارزان هستند. چنین ملاحظاتی در این مرحله بسیار مهم است، زیرا اطمینان از اینکه مواد پرتوزا در چه مکانی و با چه وسعتی نشست خواهند کرد، امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین، بر اساس تمام اطّلاعات موجود، تصمیم‌گیری‌های سریع، باید صورت بگیرد تا مشخص شود که در این مرحلهٔ خاص از حادثه، باید اقدامی خاص مورداستفاده قرار بگیرد یا بهتر است از اقدامی دیگر بهره گرفت [۲ و ۳].

در زیر روش‌های گوناگون و برخی اقدامات کاربردی و عملیاتی که به‌صورت عمومی می‌توان از آنها در جهت کاهش آلودگی‌های هسته‌ای مراتع و اکوسیستم‌های جنگلی استفاده کرد بیان می‌شوند که میزان قابلیت اجرایی آنها به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:

A: دارای قابلیت اجرایی بالا است؛ **B**: روشی مؤثر است؛ ولی ممکن است منابع موردنیاز در دسترس نباشد؛ **C**: از لحاظ فنی و تکنیکی مؤثر به نظر می‌رسد؛ ولی نیازمند تجهیزات تخصصی است که ممکن است به‌آسانی در دسترس نباشند؛ **D**: روش موردنظر توصیه نمی‌شود (به میزان کافی مورد آزمون قرار نگرفته یا ارزش اجرایی ندارد) [۱ و ۳].

۴-۱-۱- اقدامات محدودکننده

الف- محدودکردن دسترسی به جنگل‌ها

قابلیت اجرایی: A

تأثیرگذاری: تأثیرگذاری این روش بطور بالقوه بالا است، امّا بسته به‌شدت اعمال محدودیت‌ها می‌تواند متغیر باشد.

ملاحظات: محدودکردن دسترسی به جنگل‌های آلوده می‌تواند انتقال دوزهای تابشی به کارگران جنگل و همچنین عموم مردم را کاهش دهد. شاید این قبیل محدودیت‌ها باید فوراً بعد از رسوب مواد پرتوزا اعمال شوند و برای مدت‌های طولانی ادامه یابند، خصوصاً زمانی که مواد پرتوزای دارای نیمه‌عمر طولانی رسوب می‌کنند [۲ و ۳]. برای مثال؛ محدودیت برای جمع‌آوری هیزم توسط مردم به‌منظور جلوگیری از قرارگرفتن در معرض دوزهای خارجی تابش‌های پرتوزا می‌تواند راهکاری مناسب به شمار آید. در منازل و باغ‌ها زمانی که خاکستر چوب‌های سوزانده شده دفع و یا به‌عنوان کود از آنها استفاده می‌شود، این خاکستر حاصل از سوختن چوب‌های آلوده، دارای غلظت بالایی از مواد پرتوزا خصوصاً سزیم-۱۳۷ است [۹].

اگر محدودیت‌ها اعمال شوند، نظارت رادیولوژیک مناطق ممنوعه برای تعیین زمان رفع محدودیت‌ها ضروری است. ممکن است اطمینان از رعایت محدودیت‌ها، به‌ویژه توسط کسانی که قبل از وقوع آلودگی و بطور عادی از جنگل استفاده می‌کردند، امری دشوار باشد [۲].

ب- جلوگیری از آتش‌سوزی در جنگل با اقدامات خاص مدیریتی و محدودکننده

قابلیت اجرایی: A

ملاحظات: پیشگیری از آتش‌سوزی در جنگل یک اقدام طولانی-مدت در جهت کاهش احتمالی آلودگی‌های ثانویه است. زیرا در صورت بروز آتش‌سوزی در جنگل و تولید خاکسترهای آلوده در اثر سوختن گیاهان جنگلی آلوده، این آلودگی‌ها به‌آسانی می‌توانند از طریق عوامل طبیعی به سایر نواحی منتقل شوند. ازاین‌رو، رعایت به‌کارگیری این اقدام به‌ویژه در مناطق بسیار آلوده؛ مانند محدودهٔ ۳۰ کیلومتری چرنوبیل بسیار حائز اهمیت است. در این زمینه برای اقدامات احتیاطی آتش‌سوزی، سرمایه-گذاری‌های اندکی ضروری است [۱۴].

۴-۱-۲- روش‌های رفع آلودگی

الف- جمع‌آوری و دفع برگ‌های آلودهٔ ریخته شده

روش: جمع‌آوری برگ‌های آلوده با دست یا تجهیزات مکانیکی مناسب

قابلیت اجرایی: C/D

تأثیرگذاری: تأثیرگذاری این روش بسته به مدت‌زمان سپری-شده از زمان نشست مواد پرتوزا، میزان نشست مواد پرتوزا بر روی برگ‌ها، فصل و شرایط آب‌وهوایی می‌تواند کم یا زیاد باشد.

ملاحظات: جمع‌آوری و زدودن برگ‌های آلودهٔ افتاده بر روی زمین می‌تواند بطور مؤثری آلودگی را از کف جنگل رفع نماید و باعث کاهش میزان دوزهای خارجی تابش‌های پرتوزا شود. این اقدام می‌تواند زمانی بیشترین تأثیر را داشته باشد که نشست و رسوب مواد پرتوزا قبل از برگ‌ریزان پائیزهٔ درختان برگ‌دار رخ بدهد. ازآنجائی‌که جمع‌آوری برگ‌ها در جنگل‌های بزرگ و دفع آن‌ها امری دشوار است، لذا به‌کارگیری این روش تنها برای مکان‌های نسبتاً کوچک مانند پارک‌های شهری و باغ‌ها عملی به نظر می‌رسد [۲ و ۳].

ب- ریختن برگ‌ها از روی درختان و دفع آنها

قابلیت اجرایی: D

تأثیرگذاری: بسته به فصل، تأثیرگذاری این روش می‌تواند کم یا زیاد باشد.

ملاحظات: این روش شبیه به روش قبل است و فقط در این روش برگ درختان به‌صورت مصنوعی ریخته می‌شود. احتمالاً این روش در بسیاری از جنگل‌ها، گران و غیرعملی است و ممکن است با عوارض جانبی سمّی همراه باشد. همچنین، ممکن است چنین روش تهاجمی دارای اثرات اجتماعی منفی بالایی باشد [۲ و ۳].

ج- بریدن و حذف الوار درختان

روش: درختان با استفاده از روش‌های معمول بریده می‌شوند، امّا اگر میزان آلودگی الوارها زیاد باشد، باید در گودال‌های مناسب دفن شوند.

قابلیت اجرایی: D

تأثیرگذاری: به‌استثنای شرایط خاص، به‌احتمال زیاد زمانی که این روش با حذف لایه‌های سطحی خاک همراه باشد، مؤثر واقع می‌شود.

ملاحظات: این روش در کوتاه‌مدت، میزان آلودگی اولیه را در

نواحی متأثر از آلودگی کاهش می‌دهد و از آن در کشورهای جماهیر شوروی بعد از حادثهٔ چرنوبیل و برای حذف درختان جنگل قرمز استفاده شد. درهرحال، این روش اقدامی پر هزینه بوده و می‌تواند سبب انتقال دوزهای بالای تابشی به پرسنل کاری اجراکنندهٔ این اقدام شود. سایر معایب این روش شامل مشکل دفع الوارهای آلوده و آسیب‌های محیط‌زیستی بالقوهٔ شدید، مانند فرسایش خاک هستند. تنها می‌توان در نواحی محدودی از این روش استفاده کرد و به نظر می‌رسد که به جز در مورد جنگل‌های قرمز نواحی چرنوبیل، در جای دیگری از این روش استفاده نشده است [۲ و ۹].

د- شخم‌زدن زمین بعد از بریدن درختان و قبل از درستکاری مجدد

قابلیت اجرایی: D

تأثیرگذاری: تأثیرگذاری این روش ممکن است بر روی خاک‌هایی که دارای ظرفیت بافری بالایی هستند، زیاد باشد.

ملاحظات: شخم‌زدن زمین بعد از بریدن درختان و قبل از درستکاری مجدد می‌تواند با رقیق‌سازی مواد پرتوزا در خاک و اثرات فیزیکی و شیمیایی فرایندهای تثبیت‌کنندهٔ مواد پرتوزا در خاک، قابلیت دسترسی مواد پرتوزا برای گیاهان را کاهش دهد. هر چند این اقدام از لحاظ نظری جذاب به نظر می‌رسد؛ ولی به علّت دارابودن محدودیت‌های فیزیکی مانند توپوگرافی و احتمال فرسایش خاک، معمولاً غیرقابل‌اجرا است. همچنین ممکن است شخم‌زدن سبب افزایش معدنی شدن مواد آلی در خاک‌های جنگلی شود که این امر می‌تواند تحرک مواد پرتوزا را در خاک‌های دارای ظرفیت بافری پائین افزایش دهد [۲ و ۳].

ز- تراشیدن و حذف لایهٔ خاک‌های سطحی برای رفع آلودگی از بستر جنگل

قابلیت اجرایی: C/D

تأثیرگذاری: تأثیرگذاری این روش خیلی بالا بوده و می‌تواند تا ۹۰ درصد موجب رفع آلودگی شود.

ملاحظات: همانند سیستم‌های کشاورزی، تراشیدن لایهٔ بالایی خاک در جنگل‌ها که با سطوح بالایی از مواد پرتوزا آلوده هستند، از لحاظ نظری امکان‌پذیر است. درهرحال بدیهی است که به‌کارگیری این روش در جنگل‌ها موجب آسیب به ریشهٔ درختان می‌شود. مسئلهٔ مهم‌تر آن است که استفاده از وسایل مکانیکی برای پیشبرد این روش، در بین درختان جنگلی کاری بسیار دشوار است. همچنین حذف مواد مغذی موجود در لایه‌های بالایی خاک نیز می‌تواند بطور ویژه‌ای سبب آسیب به خاک‌های جنگلی شود. علاوه‌برآن، این روش بسیار پرهزینه است و همچنین می‌تواند سبب انتقال دوزهای بالای آلودگی به افرادی شود که باید خاک‌های آلوده را برای دفع به مکان‌های دیگری حمل کنند. یکی دیگر از معایب جدی این روش، تولید حجم بالایی از زباله‌های رادیواکتیویته است که نحوهٔ دفع آن خود می‌تواند مشکل‌زا باشد. به‌خاطر همین دلایل، می‌توان این روش را فقط برای مناطق محدودی مانند؛ پارک‌های شهری و یا باغ‌ها توصیه نمود [۲ و ۴].

ح- اسپری مواد شوینده و از بین برندهٔ مواد پرتوزا بر روی تاج‌پوششی درختان، با استفاده از هواپیما

قابلیت اجرایی: D

تأثیرگذاری: تأثیرگذاری این روش پائین بوده و تقریباً ناچیز است.

ملاحظات: اسپری‌کردن مواد شوینده بر روی تاج‌پوششی درختان جنگلی یک روش کوتاه‌مدت است که بطور بالقوه می‌تواند آلودگی اولیه بر روی سطوح و احتمال آلودگی ثانویه از طریق احیاء مجدد را کاهش دهد. درهرحال، داده‌های موجود پیشنهاد می‌کنند که این روش غیرعملی، بی‌تأثیر و پرهزینه است و اجرای آن توصیه نمی‌شود [۲ و ۳].

۴-۱-۳- استفاده از مواد شیمیایی

الف- اصلاح شیمیایی خاک (آهک‌دهی، کودهای شیمیایی و...) به‌منظور کاهش انتقال مواد پرتوزا به گیاهان جنگلی

قابلیت اجرایی: A

تأثیرگذاری: تأثیرگذاری این روش متغیر بوده و به نوع مواد پرتوزا و جنس خاک وابسته است.

ملاحظات: این روش یک اقدام طولانی‌مدت و نسبتاً ساده در جهت رفع آلودگی زمین است، هر چند استفاده از آن در اکوسیستم‌های جنگلی نسبت به زمین‌های زراعی بسیار گران‌تر است [۲ و ۴].

ب- تأمین مکمل‌های معدنی همراه با افزودنی‌های جاذب سدیم برای حیوانات آشکارشونده به‌منظور کاهش غلظت آلودگی‌ها در گوشت این حیوانات

روش: استفاده از مواد شیمیایی جاذب مواد پرتوزا (و آنالوگ‌های

پایدار آنها) به‌صورت سنگ نمک‌های لیسیدنی و یا مکمل کردن در علوفه‌ها

قابلیت اجرایی: B/D

تأثیرگذاری: تأثیرگذاری این روش بسیار تغییر بوده و می‌تواند تا بیش از ۳-۲ برابر غلظت سزیم-۱۳۷ را در گوشت حیوانات جنگلی کاهش دهد.

ملاحظات: این روش در حالتی که از سطوح بالایی از جاذب‌های سزیم استفاده شود، روشی ارزان است. کاهش میزان غلظت رادیوسزیم در گوشت حیوانات بستگی به این دارد که چقدر حیوانات در جنگل سنگ‌های نمک را ببینند و از آنها استفاده کنند. ارزیابی میزان تأثیرگذاری این روش، کاری دشوار است [۱ و ۲].

۴-۱-۴- فراوری محصولات جنگلی خام

الف- تبدیل مواد چوبی خام به محصولات فراوری شده با آلودگی کمتر

روش: فراوری چوب‌های خام به الوارهای بدون پوست، کاغذ و مقوا یا محصولات شیمیایی مانند؛ الکل، قیر و سقز

قابلیت اجرایی: B

تأثیرگذاری: تأثیرگذاری این روش بر اساس نوع تکنولوژی استفاده شده تغییر است. میزان غلظت سزیم-۱۳۷ در چوب با تبدیل چوب خام به محصولات شیمیایی بیش از ۱۰۰۰ برابر و به‌واسطهٔ تولید کاغذ بین ۱۰۰-۵۰ برابر کاهش می‌یابد [۱۴].

ملاحظات: می‌توان با فراوری الوارهای آلوده، محصولات تقریباً پاک و تمیز تولید کرد. شاید درصورتی‌که امکانات تولیدی در دسترس نباشد، سرمایه‌گذاری‌های اولیهٔ بالایی برای به‌کارگیری این روش نیاز باشد، ولی باتوجه‌به منافع اجتماعی و اقتصادی بالا، ممکن است ارزشمند باشد. در ارتباط با به‌کارگیری این روش باید توجه داشت که مشکلات بالقوه‌ای در بازاریابی محصولات تولیدی، دفع زباله‌های رادیواکتیو حاصل از فراوری چوب‌های خام آلوده و همچنین قرارگرفتن کارگران در معرض دوزهای تابشی، وجود دارد [۲ و ۳].

ب- استفاده از چوب به‌عنوان منبع سوخت

قابلیت اجرایی: A/D

تأثیرگذاری: این روش سود اقتصادی قابل‌توجهی را به دنبال دارد.

ملاحظات: در جنگل‌های آلوده‌ای که فرآورده‌های چوبی کمی تولید خواهند کرد، می‌توان از سوزاندن چوب‌ها به‌عنوان منبع سوخت استفاده کرد. بااین‌حال، این روش، خصوصاً زمانی که چوب تنهٔ درختان سوزانده شود، سبب تولید خاکسترهای آلوده به مواد پرتوزا می‌شود [۱ و ۴].

۴-۱-۵- تغییر کاربری یا تغییر مدیریت استفاده از جنگل

الف- پرهیز از جمع‌آوری محصولات غذایی جنگلی دارای آلودگی بالا از قبیل؛ برخی گونه‌های قارچ‌ها و استفاده از روش‌های مناسب آماده‌سازی غذا به‌منظور کاهش سطح آلودگی غذاها

قابلیت اجرایی: A

تأثیرگذاری: این روش می‌تواند بطور بالقوه در کاهش انتقال دوزهای تابشی رادیواکتیویته به انسان‌هایی که بطور معمول از مواد غذایی جنگلی استفاده می‌کنند، بسیار مؤثر باشد.

ملاحظات: این اقدام ممکن است در فصل‌هایی که تولید قارچ بالا است، بسیار مؤثر باشد. در واقع این روش نیازمند به به‌کارگیری افرادی است که دارای اطّلاعات کافی برای تشخیص گونه‌های مختلف گیاهی و قارچ‌ها هستند [۳ و ۴].

ب- تغییر زمان شکار به‌منظور کاهش میزان آلودگی در گوشت حیوانات آشکارشونده

قابلیت اجرایی: A

تأثیرگذاری: بسته به تغییرات فصلی در جیرهٔ غذایی حیوانات جنگلی، این روش می‌تواند ۳-۲ برابر غلظت رادیوسزیم را در گوشت این حیوانات کاهش دهد.

ملاحظات: معمولاً این روش شامل؛ تغییر فصل شکار از پائیز به بهار است. این روش احتمالاً در مناطقی که قارچ‌های پاییزی زیاد رشد می‌کنند، بسیار مؤثر خواهد بود. استفاده از این روش زمانی که فصل شکار مقارن با فصل تولیدمثل حیوانات باشد، قابل‌قبول نمی‌باشد [۱ و ۹].

ج- تغییر کاربری جنگل

قابلیت اجرایی: A/B

تأثیرگذاری: این روش به‌طور بالقوه می‌تواند دارای اثرات محیط‌زیستی و اقتصادی مثبتی باشد.

ملاحظات: می‌توان از مناطق جنگلی به‌جای تولید چوب، به‌عنوان قلمستان استفاده نمود که در نتیجهٔ آن می‌توان درختان

جوان را به زمین‌های دارای آلودگی کمتر انتقال داد. این اقدام یک روش میان‌مدت و بلندمدت است که برای مناطق دارای آلودگی متوسط یا ضعیف توصیه می‌شود. این تغییر کاربری زمین فرصت مجدد استفاده اقتصادی و محیط‌زیستی از زمین‌های آلوده را فراهم می‌کند [۱ و ۲ و ۳].

د- جنگل‌زدایی از حاشیهٔ زمین‌ها و احیای جنگل و جنگل‌کاری مجدد در مناطق جنگلی با بهره‌وری پائین

قابلیت اجرایی: A/B

تأثیرگذاری: تأثیرگذاری این روش تغییر بوده و بسته به طرح خاص کاربری زمین تغییر می‌کند.

ملاحظات: جنگل‌زدایی از حاشیه زمین‌ها و جنگل‌کاری مجدد در مناطق جنگلی دارای بهره‌وری پائین، شرایط را برای تولید اقتصادی محصولات جنگلی در زمین‌های متروکه‌ای که قبلاً کشاورزی در آنجا انجام می‌شد، فراهم می‌سازد. این روش نیازمند به سرمایهٔ اولیهٔ بالایی بوده و ممکن است بهره‌گیری از مزایای آن به چند دهه زمان نیاز داشته باشد [۱ و ۳].

در ارتباط با انتخاب روش‌های رفع آلودگی در محیط‌های جنگلی، باید توجه داشت که تنها نباید کاهش میزان دوزهای تابشی را مدنظر قرار داد، بلکه باید به عواقب اجتماعی و اقتصادی هر روش رفع آلودگی پیشنهادی، به‌ویژه در سال اوّل بعد از نشست مواد پرتوزا توجه داشت. این امر بطور خاصی حائز اهمیّت است، زیرا برخی از اقدامات مقابله با آلودگی شامل؛ تغییرات بنیادین در کاربری‌های معمول و یا روش‌های اصلاحی پرهزینه هستند. به‌طورکلی، در همه یا بیشتر جنگل‌های شدیداً آلوده، احتمالاً اثرات زیان‌بار آلودگی رادیونوکلئیدی، پائین است. بااین‌حال، افرادی که در جنگل کار می‌کنند، به‌ویژه کسانی که از نظر تأمین احتیاجات غذایی به‌شدت وابسته به جنگل هستند، می‌توانند در معرض خطر باشند. به‌عنوان‌مثال؛ برآورد شده است که در سال ۱۹۹۰ در روسیه، کارگرانی که در جنگل‌ها کار می‌کردند، ۳ برابر بیشتر از افرادی که در نواحی مشابه با آنها زندگی می‌کردند، دوزهای تابشی مواد پرتوزا را دریافت کردند. بنابراین، بهترین اقدام عملی و ساده، جلوگیری از ورود انسان‌ها به مناطق جنگلی آلوده است، تا زمانی که فرایندهای طبیعی رفع آلودگی (هوازدگی مواد پرتوزا از سطوح مختلف و ثبات و بی‌حرکتی تدریجی رادیونوکلئیدها در خاک) خطرات بالقوه رادیولوژیک را تا به یک سطح قابل‌قبول کاهش دهند [۲ و ۳].

۴-۲- راهبردهای پدافندی جهت کاهش آلودگی‌های هسته‌ای در محیط‌زیست آبزیان

از جمله اقدامات پدافندی که می‌توان برای کاهش و یا رفع آلودگی‌های محیط‌زیستی به کار گرفت، آموزش نیروهای امدادی مردمی و یا نظامی جهت اجرای اقدامات متقابل ارائه شده است. در راستای اجرای اقدامات رفع آلودگی‌های محیط‌زیستی می‌توان از ظرفیت‌های بسیج مردمی زیر نظر تیم‌های تخصصی با آموزش‌های لازم به‌منظور شناسایی، جمع‌آوری داده و کنترل خسارات ناشی از آسیب‌های هسته‌ای و جلوگیری از انتشار اثرات مخرب آن، به‌خوبی بهره گرفت. بر همین اساس، آموزش عمومی برای آحاد جامعه می‌تواند در کاهش خسارات بسیار مؤثر باشد.

ازاین‌رو، باتوجه‌به روش‌هایی که در بخش قبل ارائه شدند، می‌توان به‌منظور جهت‌دهی و هم‌افزایی فعالیت‌های گروه‌ها و هسته‌های فعال در مناطق بحران‌زده، راهبردهای پدافندی مختلفی را برای اجرایی‌شدن هر چه‌بهتر این روش‌ها طراحی و پیشنهاد کرد. این در حالی است که ممکن است یک روش خاص در دو یا چند راهبرد مختلف به طور مستقیم یا غیرمستقیم کارایی داشته باشد که در ذیل به آنها اشاره خواهد شد [۲ و ۱۷].

۴-۲-۱- ایجاد و انجام برنامه‌های آموزشی و پرورشی برای محققان، کارمندان اداری، جمعیت‌های روستایی و عموم مردم توسط تیم‌های تخصصی ذیصلاح و کنترل عملکرد آنان تحت نظارت سازمان‌های ذیربط در محیط‌زیست به‌منظور کمک به ایجاد و توسعهٔ برنامه‌های اضطراری برای پاسخ به آلودگی‌های گستردهٔ رادیواکتیویته در محیط‌زیست

شیوه‌های اجرای راهبرد:

- تولید سند بالادستی جامع برای هدایت آموزش و تربیت نیروهای مردمی در زمان پیش از بحران
- تشکیل کارگاه‌های آموزشی کوتاه‌مدت در مناطق مستعد تهدیدات
- تشکیل بانک اطلاعاتی جامع از مدرسان و آموزشیاران
- تولید نشریات کاربردی و بولتن‌های آموزشی از دوره‌های مذکور
- نگارش طرح‌های عملیاتی زمان بحران به تفکیک اقدامات لازم

برای اجرا و نصب نسخه‌ها در تمامی دهیاری‌ها، بخشداری‌ها، شهرداری‌ها، فرمانداری‌ها و استانداری‌ها و پایگاه‌های بحران

• ایجاد هسته‌های عملیاتی مردمی در بسیج هر منطقه جهت پاسخ‌گویی به نیازهای ضروری [۱ و ۳].

۴-۲-۲- شناسایی تخصصی محیط آلوده گیاهی به وسیله تیم‌های تخصصی و سنسورهای گیرنده و تشخیص ابعاد آلودگی به‌منظور اعمال محدودیت‌های لازم در دسترسی افراد به محیط آلوده و در درجه دوم محیط مستعد تا زمان رفع آلودگی محیطی به میزان استاندارد

شیوه‌های اجرای راهبرد:

• محدودکردن دسترسی افراد عادی و کارگران به جنگل‌های آلوده

• محدودیت برداشت مواد غذایی مانند؛ توت‌ها و قارچ‌ها از مناطق جنگلی

• در بین موجودات آبزی، ماهی‌ها حساس‌ترین آبزیان نسبت به پرتوهای یونیزان بوده و جنین‌های درحال رشد ماهی‌ها از حساسیت ویژه‌ای نسبت به این تابش‌ها برخوردار هستند

• پرهیز از جمع‌آوری محصولات غذایی جنگلی دارای آلودگی بالا از قبیل؛ گونه‌های مختلف قارچ، توت و زغال‌اخته در محدودهٔ خارج از ۲۰ کیلومتری محل حادثه[۳ و ۴].

۴-۲-۳- کنترل بهره‌برداری از محیط‌های جنگلی به وسیله ناظرین آموزش دیده محلی تحت نظارت ستادهای بحران مستقر در مناطق تا زمان رفع آلودگی محیطی به میزان استاندارد برابر تشخیص مراجع ذیصلاح

شیوه‌های اجرای راهبرد:

• پرهیز از جمع‌آوری محصولات غذایی جنگلی دارای آلودگی بالا از قبیل؛ گونه‌های مختلف قارچ، توت و زغال‌اخته در محدودهٔ خارج از ۲۰ کیلومتری محل حادثه

• محدودیت استفاده از جنگل‌ها به‌منظور اهداف تفریحی و گردشگری

• محدودکردن دسترسی افراد عادی و کارگران به جنگل‌های آلوده

• محدودکردن چرای دام‌ها توسط افراد محلی در جنگل‌ها و زمین‌های اطراف آن

• محدودکردن شکار حیوانات در جنگل‌های آلوده [۱ و ۳ و ۱۷].

۴-۲-۴- رفع آلودگی‌های ناشی از آسیب‌های هسته‌ای در کوتاه‌ترین زمان ممکن (هفته اول آلودگی) در سطح منطقه محدود شده آلوده و در درجه دوم محیط مستعد به وسیله تیم‌های متخصص ذیصلاح به همراه تیم‌های مردمی آموزش دیده همیار در چندین نوبت تا سطح کاهش آلودگی به میزان استاندارد و جلوگیری از انتشار اثرات به محیط‌های سالم و امن اطراف

شیوه‌های اجرای راهبرد:

• جنگل‌زدایی از حاشیهٔ زمین‌ها و احیای جنگل و جنگل‌کاری مجدد در مناطق جنگلی با بهره‌وری پائین

• پیشگیری از آتش‌سوزی در جنگل‌ها به‌منظور جلوگیری از آلودگی ثانویهٔ محیط زیست، خصوصاً در مناطقی که مواد پرتوزا بطور گسترده‌ای در آن مناطق رسوب کردند [۱ و ۲ و ۱۷].

۴-۲-۵- بسیج تیم‌های مردمی همیار و آموزش دیده زیر نظر کارشناسان مرتبط در زدودن سطوح آلوده به عمق لازم و جمع‌آوری مواد آلوده باقیمانده از بارش‌ها و تشعشعات هسته‌ای در مناطق گیاهی مورد نظر و انتقال به نقاط جمع‌آوری مشخص به‌منظور کنترل محیط امن برای آینده منطقه

شیوه‌های اجرای راهبرد:

• استفاده از تیم‌های همیاری تخصصی برای محدودکردن دسترسی افراد عادی و کارگران به جنگل‌های آلوده

• همیاری محیط‌بانان مردمی برای مراقبت و پیشگیری از آتش‌سوزی در جنگل‌ها، خصوصاً در مناطقی که مواد پرتوزا بطور گسترده‌ای در آن مناطق رسوب کردند، به‌منظور جلوگیری از آلودگی ثانویهٔ محیط‌زیست

• استفاده از نیروهای مردمی برای اعمال محدودیت جمع‌آوری محصولات غذایی جنگلی دارای آلودگی بالا از قبیل؛ گونه‌های مختلف قارچ، توت و زغال‌اخته در محدودهٔ خارج از ۲۰ کیلومتری محل حادثه

• مدیریت مراتع با کمک بسیج مردمی و انجمن‌های مردم‌نهاد [۱ و ۳ و ۹].

۴-۲-۶- کنترل بهره‌برداری از محیط‌های جنگلی به وسیله ناظرین آموزش دیده محلی تحت نظارت ستادهای بحران مستقر در مناطق تا زمان رفع آلودگی محیطی به میزان استاندارد برابر تشخیص مراجع ذیصلاح

شیوه‌های اجرای راهبرد:

• در بین گیاهان، گونه‌های چوبی بیشترین حساسیت را نسبت به پرتوهای یونیزان دارا هستند. درخت کاج حساس‌ترین گونه گیاهی نسبت به پرتوهای یونیزان بر روی زمین است. بعد از آن به ترتیب این حساسیت در جنگل درختچه‌های همیشه سبز، جنگل‌های بارانی گرمسیری، توده‌های گیاهی روییده بر روی صخره‌ها و گونه‌های گیاهی روییده در زمین‌های زراعی متروکه بطور فزاینده‌ای کاهش می‌یابد

• گیاهان ساده و ابتدایی از قبیل؛ خزه‌ها و گل‌سنگ‌ها دارای کمترین حساسیت نسبت به پرتوهای یونیزان هستند

• در بین اجزای مختلف گیاه، دانه‌های خشک حداقل حساسیت و مریستم‌های نوک ریشه گیاه دارای بیشترین حساسیت نسبت به پرتوهای یونیزان هستند

• استفاده از قارچها و نیز روش‌های مناسب آماده‌سازی غذا به‌منظور کاهش سطح آلودگی غذاها [۱ و ۳].

۵- نتیجه‌گیری

باتوجه‌به پیشرفت‌های صورت‌گرفته در بحث فناوری‌های هسته‌ای در ایران و همچنین وجود تهدیدات و خطرات احتمالی که کشور با آن مواجه است، پرداختن به جوانب محیط‌زیستی، کنترل و رفع آلودگی‌های هسته‌ای ناشی از حوادث احتمالی و تدوین سامانه پدافندی و پاسخ سریع محیط‌زیستی در شرایط اضطراری در کشور دارای اهمیّت استراتژیک بالایی است. پس از بروز هر حادثه هسته‌ای مواد پرتوزا در محیط اطراف پراکنده شده و باعث آلودگی محیط‌زیست، از جمله جنگل‌ها و منابع طبیعی می‌گردند. در این شرایط ضروری است تا در کوتاه‌ترین زمان ممکن، اقدامات مؤثری در جهت کاهش انتقال آلودگی‌های رادیواکتیو به زنجیرهٔ غذایی انجام شوند. بطور کلی طیف گسترده‌ای از اقدامات وجود دارند که می‌توانند برای رفع و یا کاهش آلودگی از محیط‌زیست جنگلی به‌کارگیری شوند و از انتقال مواد پرتوزا به انسان از طریق زنجیرهٔ غذایی جلوگیری کنند. باید توجه شود تا اقداماتی را که دارای قابلیت اجرایی بالایی بوده و بطور مؤثری در رفع یا کاهش آلودگی اثربخش هستند، استفاده شوند. شاید بتوان با اجرای اقداماتی مانند؛ محدودکردن دسترسی به جنگل‌ها، جلوگیری از آتش‌سوزی در جنگل، اصلاح شیمیایی خاک جنگل‌ها، فراوری محصولات خام جنگلی، تغییر زمان شکار در جنگل و پرهیز از جمع‌آوری محصولات غذایی جنگلی، میزان انتقال آلودگی‌های پرتوزا به انسان را از طریق اکوسیستم‌های جنگلی آلوده به حداقل رسانید. در راستای اجرای اقدامات رفع آلودگی‌های محیط‌زیستی می‌توان از ظرفیت‌های بسیج مردمی زیر نظر تیم‌های تخصصی با آموزش‌های لازم به‌خوبی بهره گرفت. بر همین اساس، آموزش عمومی برای آحاد جامعه می‌تواند در کاهش خسارات بسیار مؤثر باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های دانشگاه یاسوج و دانشگاه جامع امام حسین (ع) برای اجرای این پژوهش کمال تقدیر و تشکر را دارند.

۶- مراجع

[1] L.R. Anspaugh, "Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: Twenty years of experience, " No. IAEA-CN--141/CD, 2005. https://inis.iaea.org/records/m47ek-he475.

[2] IAEA and FAO, "Guidelines for Agricultural Countermeasures Following an Accidental Release of Radionuclides," International Atomic Energy Agency, Vienna, 1994.

[3] S. V. Fesenko and B. J. Howard, "Guidelines for remediation strategies to reduce the radiological consequences of environmental contamination," International Atomic Energy Agency, Vienna, 2012. https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/501111

[4] S. V. Fesenko and J. BROWN, "Review of Countermeasure Options for Semi-Natural Environments: Forests and Natural Meadows," NRPB-M1123, National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, 2000. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/trs475_web.pdf

[5] S. V. Fesenko, V.G. Voigt, S.I. Spiridonov, N.I. Sanzharova, I.A. Gontarenko, M. Belli, and U. Sansone, "Analysis of the contribution of forest pathways to the radiation exposure of different population groups in the Bryansk region of Russia, " Radiat. Environ. Biophys, 39(4), pp. 291-300, 2000. https://doi.org/10.1007/s004110000073

[6] K. Hove, O. Pedersen, T.H. Garmo, H.S. Hansen, and H. Staaland, "Fungi: a major source of radio-cesium contamination of grazing ruminants in Norway, ". Health Physics, 59(2), pp.189-192, 1990.

[7] M. Kordi and M. Saadati, "Nuclear Defense and its Effect on Reducing Contamination of Farm Animals and Livestock Products, " Passive Defense, vol. 12(1), pp. 21-34, 2021. (In Persian). DOR:20.1001.1.20086849.1400.12.1.3.9.

[8] M. Kordi and M. Saadati, "Reduction of radiation pollution in the agricultural environment by using nuclear defense, " Passive

Defense, vol. 15(2), pp. 112-130, 2024. (In Persian). DOR: 20.1001.1.20086849.1403.15.2.8.7.
[9] IAEA, “Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience, ” Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group “Environment”, Radiological Assessment Reports Series No. 8, IAEA, Vienna, 2006.
[10] G. Shaw, “Radionuclides in forest ecosystems, ” Radioactivity in the Environment, vol. 10, pp, 127-155, 2007. DOI: 10.1016/S1569-4860(06)10006-6.
[11] A. I. Shcheglov and O. B. Tsvetnova, “Biogeochemical migration of technogenic radionuclides in forest ecosystems: by the materials of a multiyear study in the areas severely contaminated due to the Chernobyl accident, ” Nauka. 2001.DOI: 10.13140/2.1.3659.4244.
[12] S.V. Fesenko, N.V. Soukhova, N.I. Sanzharova, R. Avila, S.I. Spiridonov, D. Klein, E. Lucot, and P.M. Badot, “Identification of processes governing long-term accumulation of ^{137}Cs by forest trees following the Chernobyl accident, ” Radiat. Environ. Biophys., 40(2), pp.105-113, 2001.DOI: 10.1007/s004110100090.
[13] S.A. Geraskin, S.V. Fesenko, and R.M. Alexakhin, “Effects of non-human species irradiation after the Chernobyl NPP accident, ” Environ. Int., 34(6), pp.880-897, 2008.DOI: 10.1016/j.envint.2007.12.012.
[14] A. Azizi, “Radioactive pollution produced by a nuclear attack in herbal sources, ” J. Mil. Med, vol. 5(1), pp. 47-56, 2021. (In Persian).
[15] M. Brink, B. Lauritzen, and D.P. Directorate, “Agricultural countermeasures in the Nordic countries after a nuclear accident (No. NKS--51), ” Nordisk Kernesikkerhedsforskning, 2001.
[16] A.O, Adeola, K.O, Iwuozor, K.G. Akpomie, K.A. Adegoke, K.O. Oyedotun, J.O. Ighalo, J.F. Amaku, C. Olisah, and J. Conradie, “Advances in the management of radioactive wastes and radionuclide contamination in environmental compartments: a review, ” Environ. Geochem. Health., vol. 45(6), pp. 2663-2689, 2023.DOI: 10.1007/s10653-022-01378-7.
[17] A.F. Nisbet, K.G. Andersson, and T. Duranova, “Demonstration of generic handbooks for assisting in the management of contaminated food production systems and inhabited areas in Europe, ” Radioprotection, 45(5), pp.243-249, 2010.https://doi.org/10.1051/radiopro/2010027.