نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال دوازدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، (پیاپی ۴۵): صص ۳۴-۲۱

علمی- ترویجی

پدافند هسته‌ای و تأثیر آن بر کاهش آلودگی مواد پرتوزا در حیوانات مزرعه‌ای و محصولات دامی

مرتضی کردی[1*]، مجتبی سعادتی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵

چکیده

پس از هر حادثه هسته‌ای مواد پرتوزا در محیط پخش می‌شوند که باعث آلودگی محیط زیست، دام ها و محصولات دامی می‌گردند. این مواد می‌توانند در چرخه طبیعت از طریق زنجیرهٔ غذایی وارد بدن انسان گردند که باید نسبت به رفع آلودگی آن‌ها اقدام نمود. بدین منظور در این مطالعه ضمن بررسی نحوه انتشار مواد هسته‌ای و نحوه آلوده شدن حیوانات مزرعه‌ای و محصولات دامی، نسبت به بررسی روش‌های جلوگیری و یا رفع آلودگی آن‌ها بعد از حوادث هسته‌ای وقوع یافته در جهان، خصوصاً حادثهٔ چرنوبیل (۱۹۸۶) و فوکوشیما (۲۰۱۱) اقدام گردید. به دلیل اهمیت سه رادیونوکلوئید رادیوئُد، رادیوسزیم و رادیواسترانسیوم چرخه آن‌ها در طبیعت مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه کیفی و بر اساس بُعد زمانی گذشته‌نگر و بر اساس هدف کاربردی می‌باشد. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که حیوانات پس از در معرض قرار گرفتن مواد رادیواکتیو، می‌توانند عوارضی همچون نقص سامانه ایمنی، کاهش درجه حرارت بدن، نارسایی‌های قلبی، آتروفی جزئی یا نابودی کامل غدهٔ تیروئید، تخریب کبد و درنهایت مرگ را بروز دهند. هنگام بروز وقایع هسته‌ای ضروری است تا در کوتاه‌ترین زمان ممکن اقدامات مؤثری در جهت کاهش انتقال آلودگی‌های رادیواکتیو به زنجیرهٔ غذایی به اجرا گذاشته شوند. نظارت و بررسی رادیولوژیکی محصولات دامی، ممنوعیت استفاده از مواد غذایی آلوده در تغذیه دام و طیور، و فرآروی مواد خوراکی تهیه شده از فرآورده‌های دامی، از جمله روش‌های پدافندی هستند که می‌توان به منظور کاهش انتقال مواد پرتوزا از محصولات دامی به انسان مورد استفاده قرار گیرند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که با شناخت مسیرهای انتقال رادیونوکلئیدها به حیوانات مزرعه‌ای و محصولات آن‌ها می‌توان اقدامات متقابل پدافندی را طراحی کرد که از نظر کارآیی دارای بالاترین درجه از قابلیت اجرایی هستند و می‌توان با به‌کارگیری آن‌ها در کوتاه‌ترین زمان، از بیشترین حجم آلودگی جلوگیری نمود.

کلید واژه‌ها: پدافند غیرعامل، آلودگی‌های هسته‌ای، مواد پرتوزا، رادیوئُد، رادیوسزیم، رادیواسترانسیوم

---

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

[2] استاد گروه زیست شناسی، دانشکده و پژوهشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران

۱- مقدمه

یکی از خطراتی که در پی حوادث هسته‌ای کمتر به آن توجه شده آلودگی‌هایی است که ممکن است از طریق دام و یا محصولات حاصله از آن‌ها به انسان منتقل گردد، که با اجرای پروتکل‌های سازمان پدافند باید نسبت به رفع این آلودگی‌های زیست محیطی اقدام نمود. در این میان با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در ایران در بحث فناوری‌های هسته‌ای و به تبع آن خطرات احتمالی که ممکن است کشور را از نظر آلودگی‌های هسته‌ای مورد تهدید قرار دهند، پرداختن به جوانب زیست محیطی، کنترل آلودگی‌های هسته‌ای ناشی از حوادث احتمالی در سایت‌های هسته‌ای و تدوین سامانه پدافند و پاسخ سریع زیست‌محیطی در شرایط اضطراری هسته‌ای در کشور دارای اهمیّت راهبردی بالایی می‌باشد. با توجه به این که محیط‌های کشاورزی از این نظرکه هم در کوتاه مدت و هم در بلند مدت با تأمین مواد غذایی مورد نیاز مردم، با سلامت عمومی جامعه در ارتباط می‌باشند، از درجهٔ بالاتری از اهمیّت برخوردار هستند [۱- ۳].

بررسی‌ها نشان می‌دهند که به احتمال زیاد، آلودگی حیوانات و محصولات دامی یکی از مسیرهای اصلی انتقال مواد پرتوزا از طریق زنجیرهٔ غذایی در زمان بروز حوادث هسته‌ای می‌باشد و ممکن است منجر به نگرانی‌های عمومی قابل توجهی در جامعه شود [۴]. به‌خصوص این موضوع در محیط‌های روستایی و مناطقی که مواد غذایی کشاورزی و دامی را بدون فرآوری خاصی مورد مصرف قرار می‌دهند، بیشتر ظهور می‌یابد. برای مثال بعد از وقوع حادثه هسته‌ای چرنوبیل (۱۹۸۶)، آلوده شدن از طریق مصرف شیر آلوده یکی از مسیرهای اصلی انتقال رادیونوکلئیدها به انسان گزارش شده است [۱].

مصرف غذاهای آلوده به مواد پرتوزا، سبب افزایش میزان رادیواکتیویته درون یک فرد شده و میزان قرار گرفتن فرد در معرض دوزهای داخلی تابش‌های هسته‌ای را افزایش می‌دهد. برای مثال، یک بچهٔ یک ساله با مصرف ۰/۵ لیتر شیر آلوده با ۱۰۰۰ (بکرل/لیتر) یُد، در معرض ۰/۰۰۹ میلی سیورت تابش رادیواکتیویته قرار می‌گیرد. این موارد می‌تواند خطرات بهداشتی در انسان را افزایش داده و خطر ابتلا به بیماری‌های مختلف را بالا ببرد [۵].

میزان آسیب به سلامتی انسان بسته به نوع رادیونوکلئیدها، میزان مصرف آن‌ها و مدت زمان قرار گرفتن در معرض این مواد پرتوزا متفاوت است (۵). شواهد و اطّلاعات به‌دست آمده از بحران هسته‌ای فوکوشیما نشان می‌دهند که قرار گرفتن در معرض تابش تشعشعات هسته‌ای خطر ابتلا به اختلالات استرسی، افسردگی، و اضطراب را در افراد جامعه افزایش داده است [۶، ۷]. یکی از شایع‌ترین بیماری‌های که در اثر تشعشعات هسته‌ای شیوع می‌یابد، بیماری سرطان می‌باشد که سرطان تیروئید از مهم‌ترین آن‌ها خواهد بود. یُد-۱۳۱، یکی از رادیوایزوتوپ‌های یُد موجود در شکافت هسته‌ای است که وقتی انسان در معرض آن قرار می‌گیرد می‌تواند به سرعت در غدهٔ تیروئید تجمع یابد و از این طریق از ورود یُد مفید به غدهٔ تیروئید ممانعت کند و به‌طور پایداری جایگزین یُدِ مفید در غدهٔ تیروئید خواهد شد. از این‌رو یُد-۱۳۱ با ایجاد اختلال در عملکرد غدهٔ تیروئید، بر روی عملکرد هورمون‌های تیروئیدی، وزن بدن، و تأمین سطح انرژی در بدن اثر منفی می‌گذارد. علاوه بر این، این ایزوتوپ یُد می‌تواند باعث بروز سرطان تیروئید وکم کاری تیروئید نیز شود. حوادث هسته‌ای، به ویژه چرنوبیل، هیروشیما، و فوکوشیما به‌طور قابل توجهی ابتلا به سرطان‌های تیروئید را افزایش دادند [۸، ۹].

تجمع برخی از رادیونوکلئیدهای مهم در بافت‌ها و اندام‌های خاص در حیوانات و سطح جذب آن‌ها از طریق دستگاه گوارش می‌تواند سلامت عمومی جامعه را تحت تأثیر قرار دهد. از این‌رو، قرار گرفتن حیوانات اهلی در معرض تابش‌های یونیزان می‌تواند به‌طور قابل توجهی انسان‌های مصرف کننده از محصولات دامی آلوده را در معرض تابش‌های هسته‌ای قرار بدهد. این امر در نتیجهٔ تغذیهٔ دام‌های اهلی از مواد خوراکی آلوده به مواد پرتوزا رخ می‌دهد. مسیرهای متعدد انتقال مواد پرتوزا به غذای انسان از طریق زنجیرهٔ غذایی از قبیل شیر، تخم مرغ، گوشت و ماهی می‌باشد. برای مثال، برخی از رادیونوکلئیدهای مهم مانند سزیم-۱۳۷، یُد-۱۳۱ و استرانسیوم-۹۰ به آسانی از خوراک دام به شیر منتقل می‌شوند. علاوه بر این، سزیم-۱۳۷ معمولاً به همراه پتاسیم به بافت‌های نرم و خصوصاً عضلات منتقل می‌شوند. از سوی دیگر، یُد به‌طور کامل در دستگاه گوارش حیوانات جذب می‌شود و در غدهٔ تیروئید تجمع می‌یابد و به‌طور قابل توجهی به شیر و تخم مرغ منتقل می‌شود [۵].

طی مدت کوتاهی بعد از وقوع حادثهٔ چرنوبیل، حیوانات اهلی‌ای که در محدودهٔ ۳۰ km اطراف محل حادثه قرار داشتند در معرض سطوح بالایی از رادیویُدها قرار گرفتند و در نتیجه، دوزهای زیادی از اشعه‌های گاما و بتای ساطع شده از این مواد پرتوزا را جذب کردند. این رادیویُدها شامل؛ یُد-۱۳۱ با نیمه عمر ۸ روز و یُد-۱۳۳ با نیمه عمر ۲۱ ساعت بودند [۳].

منابع احتمالی ساطع کننده تابش‌های یونیزان که ممکن است دام‌های اهلی را تحت تأثیر قرار بدهند یا در ورود مواد پرتوزا به زنجیرهٔ غذایی انسانی شرکت کنند، شامل بروز حوادث هسته‌ای در راکتورها، نیروگاه‌های فرآوری سوخت هسته‌ای،

انفجار بخاری‌های هسته‌ای، انفجار یک بمب هسته‌ای و همچنین دفع نامناسب زباله‌های هسته‌ای در محیط می‌باشند [۱۰]. مواد پرتوزایی که بعد از وقوع یک حادثهٔ هسته‌ای در محیط انتشار می‌یابند، سرانجام پس از گردش در بیوسفر (زیست کره)، درنهایت وارد هوا، آب آشامیدنی، سبزیجات و یا علوفه‌ها می‌شوند. بنابراین، حیوانات از طریق آلودگی‌های زیست محیطی و تغذیه از مواد خوراکی و یا آب آشامیدنی آلوده در معرض مواد رادیواکتیو قرار خواهند گرفت [۵]. در بین حیوانات اهلی گاوها بیشترین حساسیت را نسبت به مواد پرتوزای بلعیده شده و راه یافته به بدن دارند و مرغ‌ها نسبت به پستانداران در برابر تشعشعات تابش گاما دو برابر مقاومت بیشتری را از خود نشان می‌دهند [۱۰].

دام‌های اهلی غربالگرهای خوبی در برابر عناصر نامطلوب بر رژیم غذایی انسان‌ها هستند، و به غیر از رادیوئِد در شیر، انتظار می‌رود که تنها مقادیر بسیار کمی از محصولات رادیواکتیو حاصل از شکافت هسته‌ای از طریق محصولات دامی وارد زنجیره غذایی شوند [۱۰]. باید توجه داشت که اجرای اقدامات رفع آلودگی در بخش کشاورزی محدودیت‌های جدی‌ای را در آزادی اختیارات کشاورزان در رابطه با حیوانات و زمین‌هایشان ایجاد می‌کند. این موضوع را باید در نظر داشت که مزرعه و زمین کشاورزی کل زندگی و دارایی یک کشاورز است، بنابراین ضمن انجام اقدامات متقابل برای کاهش و یا رفع آلودگی‌های هسته‌ای، باید ملاحظات اخلاقی و اجتماعی را نیز به‌طور جدی مد نظر قرار داد. این نکته بسیار حائز اهمیّت است که در این موقعیت‌ها، کشاورزان برای حفظ رفاه حیوان خود مضطرب خواهند بود، بنابراین اقدامات متقابل برای رفع آلودگی محیط زیست باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که علاوه بر داشتن قابلیت اجرایی، از طرف مردم جامعه نیز قابل پذیرش باشند [۱۱].

از جمله ابزارهای کارآمد در دفاع هسته‌ای پدافند غیرعامل است. پدافند غیرعامل هسته‌ای نقطه مقابل تهدیدات هسته‌ای است. در واقع محیط زیست یکی از مباحث جدید در پدافند غیرعامل است که در این میان، محیط زیست کشاورزی و دامپروری بنا بر اهمیت آن‌ها در حوزهٔ تأمین مواد غذایی مورد نیاز انسان باید بیشتر مورد توجه قرار بگیرند.

پدافند غیرعامل به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌شود که نیازمند به‌کارگیری جنگ افزار نیست و با اجرای آن می‌توان از وارد شدن خسارات مالی به محیط زیست، تجهیزات و تاسیسات حیاتی و حساس و تلفات انسانی جلوگیری کرده و یا میزان این خسارات و تلفات را به حداقل ممکن کاهش داد. از این‌رو، وظیفه قرارگاه پدافند غیرعامل هسته‌ای، رصد و پایش این نوع تهدیدات و کنترل این تهدیدات در مواقع ضروری است.

بنابراین برای مقابله با آلودگی‌های هسته‌ای در مواقع لزوم باید روش‌های مختلف پدافندی با توجه به موقعیت و ظرفیت‌های مناطقی از کشور که در معرض تهدیدات هسته‌ای هستند طراحی و تدوین گردند.

هدف از این مطالعه شناسایی مسیرهای انتقال آلودگی‌های پرتوی و اثرات آنها بر حیوانات مزرعه‌ای و محصولات دامی و استفاده از این اطلاعات برای طراحی و طبقه‌بندی راهکارهای و روش‌های پدافندی مناسب برای پیشگیری، کاهش یا رفع آلودگی‌های هسته‌ای در حیوانات مزرعه‌ای و محصولات حاصل از آن‌ها بوده است، تا در مواقع لزوم بتوان میزان انتقال این مواد به زنجیره غذایی را با واکنش سریع پس از وقوع یک حادثهٔ هسته‌ای، به حداقل رساند.

۲- انتقال مواد پرتوزا به حیوانات مزرعه‌ای

حیوانات معمولاً با مصرف علوفه و خوراک‌های آلوده و یا مصرف مستقیم خاک آلوده، 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 سیستم 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 [۳-۱]. در حادثهٔ چرنوبیل، شیر و گوشت 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 [۳].

انتقال مواد پرتوزا به محصولات دامی اغلب به‌صورت ضرایب انتقال تعریف شده‌ای به عنوان نسبت تعادل بین فعالیّت رادیونوکلوئیدی در شیر، گوشت و تخم مرغ تقسیم بر مصرف روزانه رادیونوکلوئید توسط حیوان توصیف می‌شود [۳]. برای مثال ضریب انتقال رادیوسزیم (Fm) از خوراک به شیر گاوها طبق فرمول (۱) محاسبه می‌شود [۱۲].

$$Fm(\text{روز}/\text{لیتر}) = \frac{\text{غلظت رادیوسزیم در شیر}(\text{Bq/L})}{\text{غلظت رادیوسزیم در خوراک}(\frac{\text{Bq}}{\text{روز}/\text{گاو}})} \quad (۱)$$

بیشتر مواد مغذی در شکمبه یا رودهٔ کوچک حیوان با نرخ‌های مختلفی جذب می‌شوند که تفاوت در نرخ جذب آن‌ها بسیار ناچیز است. در مورد اَکتینیدها، ۱۰۰ درصد رادیوئِد و بسته

به فرم شیمیایی ۱۰۰-۶۰ درصد رادیوسزیم در شکمبه و یا روده کوچک جذب می‌شوند. بعد از جذب، مادهٔ پرتوزا در خون به گردش درمی‌آید. برخی از این مواد پرتوزا در اندام‌های خاصی تجمع می‌یابند، برای مثال رادیویُد در تیروئید و بسیاری از فلزات شامل سریوم-۱۴۴، روتنیوم-۱۰۶ و نقره-۱۱۰ در کبد تجمع می‌یابند. اَکتینیدها و خصوصاً رادیواسترانسیوم تمایل دارند تا در استخوان تجمع یابند، در حالیکه رادیوسزیم در سرتاسر بافت‌های نرم توزیع می‌شود [۳].

معمولاً ضرایب انتقال رادیویُد، رادیوسزیم و رادیواسترانسیوم به شیر و برای رادیوسزیم به گوشت برای حیوانات بزرگ مانند گاو کمتر از حیوانات کوچک مانند گوسفند، بز و مرغ می‌باشد. انتقال رادیوسزیم به گوشت بیشتر از انتقال آن به شیر است. در دراز مدت، روند میزان سطوح آلودگی رادیوسزیم در گوشت و شیر از میزان غلظت مواد پرتوزا در گیاهان موجود در منطقهٔ آلوده تبعیت می‌کند. نرخ انتقال سزیم-۱۳۷ به شیر در نواحی دارای انواع خاک‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. مطالعات صورت گرفته در نواحی آلودهٔ چرنوبیل نشان داد که، هم دینامیک غلظت فعالیت سزیم-۱۳۷ در شیر و هم وابستگی آن به نوع خاک، شبیه به دینامیک غلظت فعالیّت این ماده پرتوزا در نمونه‌های علوفه‌های مرتعی نواحی‌ای است که گاوها در آن چرا کرده بودند [۳-۱].

محققان میانگین ضریب انتقال یُد-۱۳۱ را برای گاوهای شیری، ۱-۰/۵ درصد میزان مصرف روزانهٔ این مادهٔ پرتوزا در هر لیتر شیر تعیین نمودند که این تخمین در شرایط آزمایشگاهی انجام شده بود. همچنین با بررسی آزمایشات مزرعه‌ای، محدودهٔ ضریب انتقال یُد-۱۳۱ بین ۰/۱۲-۲/۴ درصد میزان مصرف روزانه بوده است که در این حالت خصوصیات فیزیکی نشست مواد پرتوزا و شرایط فیزیولوژیک حیوان در نظر گرفته شده است و واریانس موجود در محدودهٔ تعیین شده نیز به همین علّت می‌باشد [۱۳].

میزان ضریب انتقال سزیم-۱۳۷ به شیر گاو بین ۰/۲۵-۱/۲ تعیین شده است که در این محدوده، مقدار پایین ۰/۲۵ در نتیجهٔ باند شدن سزیم-۱۳۷ با ذرات رُسی همراه علوفه و یا جذب سطحی این مادهٔ پرتوزا توسط محتویات شکمبه بوده است [۱۳].

ضریب انتقال رادیواسترانسیوم به شیر گاو در شرایط آزمایشگاهی ۰/۰۸ تخمین زده شده است، در حالی که این ضریب در آزمایشات مزرعه‌ای بین ۰/۰۵-۰/۲۲ تعیین شد. واریانس بالای موجود در این محدودهٔ تعیین شده به این علّت است که عواملی چون غلظت کلسیم جیره و به‌طور دقیق‌تر به نسبت استرانسیوم به کلسیم در جیره و شیر وابسته می‌باشد [۱۳].

میزان انتقال یُد-۱۳۱ به گوشت، بر اساس میزان مصرف روزانهٔ این مادهٔ پرتوزا و غلظت آن در هر کیلوگرم گوشت برای گاوها ۰/۱۵ درصد و برای گوشت گوسفند ۳ درصد تعیین شده است. میزان انتقال سزیم-۱۳۷ نیز برای گاوها ٪۴، گوسفند ٪۸، بز ٪۲۰ و خوک ٪۲۶ تخمین زده شد [۱۳].

۳- اثر تابش‌های هسته‌ای بر حیوانات مزرعه‌ای

نشخوارکنندگان اهلی (گاو گوسفند و بز) و وحشی (گوزن و آهو) معمولاً در محیط‌های آلوده دوزهای بالایی از آلودگی‌های رادیواکتیویته را دریافت می‌کنند، زیرا این حیوانات مقادیر زیادی از پوشش گیاهی را به همراه مواد پرتوزای تجمع یافته در بافت‌های آن‌ها مصرف می‌کنند [۱۴]. برای مثال، یک گاو در هر روز ۳۰ درصد علوفه‌های یک ناحیه به مساحت $150\ m^2$ را مصرف می‌کند [۳].

قرار گرفتن حیوان در معرض تشعشات یونیزان سبب آسیب به اندام‌های مختلف شده و در صورت بالا بودن شدت تابش‌های پرتوزا، معمولاً پس از یک ماه حیوان می‌میرد. زمانی که حیوان دوز تابشی بین ۱۰-۲ گری را جذب می‌کند، آسیب به مغز استخوان عامل اصلی مرگ آن خواهد بود. این عارضه غالباً به عنوان سندرم هماتوپوئیتیک شناخته می‌شود. حیوانات کوچک در طی ۴ هفته و حیوانات بزرگ قبل از ۸-۶ هفته پس از ابتلا به این سندرم از بین می‌روند. آسیب به اپیتلیوم روده‌ای، به‌عنوان سندرم دستگاه گوارش شناخته می‌شود. این سندرم عامل اصلی مرگ در حیواناتی است که دوز تابشی ۸۰-۱۰ گری را جذب کرده باشند. آسیب‌های سامانه عصبی مرکزی (CNS) توسط تابش‌های یونیزان، سندرم CNS نامیده می‌شود که اولین عامل مرگ‌ومیر در حیواناتی است که دوزهای تابشی ۱۰۰-۸۰ گری را جذب می‌کنند. حیوانات دقایقی پس از جذب دوزهای تابشی ۱۰۰۰ گری از بین می‌روند، ولی با جذب دوز تابشی ۱۰۰-۱۰ گری بین ۵-۳ روز زنده می‌مانند و در اثر جذب دوز تابشی ۱۰-۲ گری برای بیشتر از ۳۰ تا ۶۰ روز زنده خواهند ماند. اگر دوز تابشی جذب شده توسط کل بدن کمتر از ۲ گری باشد، مغز استخوان قادر به بازسازی بوده و حیوان زنده خواهد ماند. عوارض جانبی‌ای که دارای عواقب بیولوژیک بوده و مدت‌های طولانی پس از جذب تشعشعات بروز می‌کنند شامل؛ بیماری‌های بدخیم (سرطان خون)، کوتاه شدن طول عمر، اختلال در باروری و آب

مروارید می‌باشند. این عوارض و بیماری‌ها، رخدادهای پایانی طولانی مدتی هستند که طی فرآیندهای چند مرحله‌ای بیولوژیک و به‌صورت کُند بروز می‌کنند [۱۵].

۳-۱- اثرات حاد تشعشعات خارجی یونیزان

بعد از قرار گرفتن حیوانات در معرض تابش‌های یونیزان و جذب دوزهای ۱۰۰ گری و بالاتر، بیشتر حیوانات در اثر ابتلا به سندرم CNS در طی زمان ۴۸ ساعت از بین می‌روند. نشانه‌های تحریک‌پذیری، پاسخ‌های شدید نسبت به محرک‌ها، بروز انواع نشانه‌های بیماریِ صرع مانند تشنج و کُما، با آسیب به سلول‌های عصبی و رگ‌های خونی در ارتباط می‌باشند [۱۵].

قرار گرفتن در معرض تابش‌های خارجی باعث تحریک تغییرات سریع در عروق شده که این امر منجر به تغییر فوری در تعادل مایع و الکترولیت‌های خونی در مغز می‌گردد. از دست رفتن مایع در رگ‌های خونی موجب افزایش فشار خون در داخل مغز می‌شود. ممکن است این تغییرات در فشار مایع و ترکیب الکترولیت‌ها علّت تغییرات عصبی باشد. قرار گرفتن بدن حیوان در معرض تشعشعات یونیزان و جذب دوزهای تابشی ۱۰۰-۱۰ گری به علّت آسیب سلول‌های سامانه نوسازی‌کنندهٔ روده، منجر به مرگ حیوان می‌شود. آسیب اپیتلیوم رودهٔ کوچک در اثر ابتلا به عفونت حاصل از فلور روده، علّت اصلی سندرم دستگاه گوارش می‌باشد. یکی دیگر از جنبه‌های دخیل در سندرم دستگاه گوارش، آسیب به سلول‌های مغز استخوان است. بدنبال جذب دوزهای تابشی ۱۰ گری و بالاتر، تقسیمات سلول‌های بنیادی تقریباً در طول یک دورهٔ ۴ روزه از سندرم روده متوقف می‌شود، و هر چند سلول‌های خونی بر اساس نرخ نرمالشان در جریان خون می‌میرند و از بین می‌روند، ولی سلول‌های جدیدی از آن‌ها تولید نخواهند شد [۱۶- ۱۵].

مرگ حیوانات در مدت ۵- ۳ روز بعد از جذب دوزهای تابشی بین ۱۰۰- ۱۰ گری، در درجه اوّل با آسیب به اپیتلیوم دستگاه گوارش و در مرحلهٔ بعد سامانه نوسازی‌کنندهٔ سلول‌های مغز استخوان در ارتباط می‌باشد. آسیب به این سامانه‌ها باعث اختلالات تغذیه‌ای، از دست رفتن مایعات و الکترولیت‌ها و عفونت خواهد شد. هر چند آسیب به سلول‌های مغز استخوان بخش قابل توجهی از علّت سندرم دستگاه گوارش می‌باشد، ولی مرگ در ۵-۳ روز بعد از پرتوگیری و در اثر آسیب به سلول‌های مغز استخوان خیلی زود می‌باشد. در دوزهای بین ۱۰-۲ گری توانایی احیاکنندگی سلول‌های کریپت در دستگاه گوارش برای حفظ حیوان از مرگ ناشی از سندرم دستگاه گوارش به اندازهٔ لازم، کافی می‌باشد. در هر حال، حیواناتی که دوزهای تابشی بین ۱۰-۲ گری را جذب کرده باشند، در طی ۳۰ روز و در اثر سندرم مغز استخوان یا سندرم هموپوئیتیک از بین خواهند رفت. در طی چند ساعت پس از جذب دوز تابشی بین ۱۰-۲ گری، ساختار عروق مغز استخوان از بین می‌رود و تعداد سلول‌های مغز استخوانی که دارای هسته بودند، کاهش می‌یابد. در ابتدای دورهٔ سندرم مغز استخوان، حیوانات نشانه‌هایی مانند اسهال و استفراغ را از خود بروز می‌دهند. این علائم زود ناپدید می‌شوند، به‌طوریکه در طی ۲ روز پس از قرار گرفتن در معرض تابش، حیوانات هیچ علائمی را از خود نشان نخواهند داد. در طول این مرحلهٔ کُمون، تخریب سلول‌های مغز استخوان و در نتیجه کاهش سلول‌های خونی در حال گردش رخ می‌دهد. در پی کاهش گرانولوسیت‌ها، پلاکت‌ها و گلبول‌های قرمز عوارضی چون عفونت، خونریزی و کم‌خونی اتفاق می‌اُفتد. این دورهٔ کُمون با اسهال شدید همراه است. عدم تعادل مایعات، همراه با خونریزی و عفونت اندام‌های مختلف از علل مرگ در حیوانات می‌باشند. هر چند سندرم‌های ناشی از تابش‌های یونیزان در تمام گونه‌های پستانداران کاملاً یکسان هستند ولی برخی تفاوت‌های بین گونه‌ای در پاسخ به تشعشعات هسته‌ای وجود دارد که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهد شد [۱۵].

۳-۱-۱- گاوهای بالغ

از بین حیوانات اهلی، گاوها نسبت به سایر حیوانات در برابر تشعشات هسته‌ای، واکنش‌های هماتولوژیک حاد را با تأخیر بیشتری از خود بروز می‌دهند. این تأخیر بعد از جذب دوزهای تابشی ۱/۵، ۲، ۲/۷۵ و ۳/۵ گری گزارش شده است. کمترین تعداد نوتروفیل‌ها در گاوها، در پایان هفته سومِ پس از پرتوگیری مشاهده می‌شود. این امر می‌تواند تأخیر در فاز واکنش اصلی سندرم حاد را ۴-۳ هفته بعد از جذب تشعشعات توضیح دهد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که بین شدیدترین حالت نوتروپنی (نارسایی ایمنی ناشی از نقص نوتروفیل) و آغاز علائم بالینی مرحلهٔ واکنش اصلی و همچنین مرگ حیوان، یک رابطه وجود دارد. بعد از قرار گرفتن بدن حیوان در معرض دوزهای تابشی ۱/۵، ۲ و۲/۷۵ گری، غلظت لنفوسیت‌ها، ماکروفاژها و گرانولوسیت‌ها در شیر گاوها در کل دورهٔ مرحلهٔ اولیه و مرحلهٔ اصلی افزایش می‌یابد. فرض می‌شود که اوّلین افزایش در تعداد سلول‌های موجود در شیر (خصوصاً گرانولوسیت‌ها) در نتیجهٔ افزایش گلوکوکورتیکواستروئیدها در خون و آسیب ناشی از تشعشعات به مویرگ‌ها رخ بدهد. همچنین نتیجه‌گیری می‌شود که دوّمین افزایش سلولی (غالباً نوتروفیل‌ها و ماکروفاژها) در شیر

نیز به علّت تحریک غدد پستانی و به دنبال باکتریمی (وجود باکتری در خون) و مسمومیت ایجاد می‌شود. در پنجمین هفته بعد از قرار گرفتن در معرض تشعشعات، تعداد سلول‌ها در شیر به حالت نرمال باز می‌گردد [۱۵- ۱].

۳-۱-۲- گوساله‌ها

سندرم تشعشع حاد در گوساله‌ها به دلیل خصوصیات خاص سن آن‌ها برای متابولیسم، فلور میکروبی طبیعی و بطور کلی حساسیت بالاتر افراد جوان نسبت به افراد بالغ در برابر تشعشعات یونیزان، در مقایسه با گاوهای بالغ متفاوت می‌باشد. در مرحلهٔ واکنش اصلی، سه فرآیند می‌تواند در گوساله‌ها شدیدتر باشد که شامل عفونت‌های تنفسی، اسهال و خونریزی هستند. گوساله‌ها علائم بالینی از پنومونی شدید، برونکوپنومونی و پلوروپنومونی را از خود نشان می‌دهند، در حالی‌که گاوها این علائم بیماری را از خود نشان نخواهند داد. هر چند در گوساله‌ها ترشح خون از بینی و مقعد نشانه‌های معمول خونریزی است، امّا در گاوها خونریزی از بینی تنها یک مشکل موقتی بوده و در مدفوع نیز مقادیر کمی از خون در اثر تشعشعات مشاهده شده است. علائم بالینی آسیب‌های شدید ناشی از تشعشعات در گوساله شامل شروع شدن اسهال آبکی در طی ۲۴-۱۲ ساعت پس از تابش و تداوم آن تا زمان مرگ حیوان می‌باشد، در حالیکه در گاو این قبیل نشانه‌ها در تعداد کمی از حیوانات و تنها در مدت کوتاهی قبل از مرگ آن‌ها مشاهده شده است [۱۵].

نشانه‌های بالینی سندرم تشعشع حاد در پاسخ به دوزهای تابشی بین ۴-۲ گری بطور واضح به‌صورت مرحله‌ای بوده و مرگ حیوان در بین هفته سوم و انتهای هفتهٔ چهارم بعد از تابش تشعشعات هسته‌ای اتفاق می‌أفتد [۱۶-۱۵].

۳-۱-۳- گوسفند و بز

بر خلاف گاوها، گوسفند و بز معمولاً در ابتدا و بین ۱۴- ۳ روز پس از پرتوگیری و با نشانه‌هایی چون بی‌حسی، بی اشتهایی، ورم غشاء مخاطی بینی (رینیت) و اسهال خونی از بین خواهند رفت. با این حال، در گوسفندان و بزها مرگ ناگهانی پس از جذب تشعشعات هسته‌ای نیز مشاهده شده است. برخی از محققان بیان کردند که زمانیکه گوسفند و بز در معرض تابش‌های $LD_{50/30}$ قرار بگیرند، خونریزی در آنها مشاهده می‌شود. امّا در گوسفند بیشتر خونریزی دستگاه گوارش مد نظر می‌باشد، در حالیکه در بزها غالباً نشانه‌های تنفسی مشاهده می‌شود. در گوسفند ریزش پشم‌های ناحیهٔ گردن و شانه‌ها در اثر تابش تشعشعات هسته‌ای گزارش شده است. همچنین در برخی از بزها، ریزش موها بعد از ۱۰ روز پس از پرتوگیری مشاهده شده است، امّا این رویداد به ندرت در حیواناتی که زنده می‌مانند مشاهده می‌شود [۱۵].

۳-۱-۴- اسب

در اسب‌ها، آسیب‌های ناشی از پرتوهای هسته‌ای منجر به پریشانی حال عمومی در این حیوانات، اِدم، لکوپنی، ترومبوسیتوپنی، ائوزینوفیلی و مایلوسیتوزیس (سرطان مغز استخوان) خواهد شد. پس از حادثهٔ چرنوبیل، در هفتاد درصد اسب‌های قرار گرفته در معرض پرتوهای هسته‌ای، غلظت هورمون‌های تیروئیدی در سرم خون پایین‌تر از سطح تشخیص روش‌های اندازه‌گیری بوده است [۳].

۳-۱-۵- مرغ

مرغ‌ها از مقاوم‌ترین گونه‌ها در بین حیوانات اهلی نسبت به تشعشعات هسته‌ای می‌باشند. دوز کشندهٔ $LD_{50/60}$ برای مرغ‌هایی که در معرض تشعشعات گاما قرار می‌گیرند حدود ۹ گری می‌باشد، در حالی‌که این دوز برای گوسفند ۴ گری، برای گاوها ۵ گری و برای خوک ۶/۴ گری بوده است. در پرنده‌هایی که در معرض تشعشعات LD_{50} قرار می‌گیرند، ۲۰ روز بعد از پرتوگیری می‌میرند، امّا بیشتر پرنده‌هایی که در دوزهای بالاتر از آن قرار می‌گیرند زودتر از بین می‌روند (۸ روز پس از قرار گرفتن در معرض دوز ۱۶ گری). دوزهای LD_{50} برای پرنده‌های جوان، معمولاً ۷۵-۵۰ درصد این دوزها برای پرندگان بالغ می‌باشد. مرغ‌هایی که تحت تأثیر دوزهای تابشی قرار می‌گیرند، پس از چند روز دچار افسردگی شدید شده و لرزش‌های قابل توجه‌ای در سر آنها مشاهده می‌شود. این پرندگان اغلب برای ساعت‌ها بی‌حرکت در جایشان می‌نشینند [۱۵- ۱].

با گذشت زمان، تاج و ریش مرغ‌ها متورم شده و مشکلات تنفسی همراه با ترشحات سروزی از منقار آنها آشکار می‌شوند و با نزدیک شدن به زمان مرگ، مدفوع پرنده سبز رنگ می‌شود. در پرندگانی که زنده می‌مانند، در آنها پرریزی و از دست دادن پرها مشاهده خواهد شد. بعد از قرار گرفتن در معرض دوزهای تابشی ۱، ۳ و ۵ گری تولید تخم مرغ به مدت ۳۱-۱۸ روز متوقف می‌شود. بعد از این دوره تولید تخم مرغ تا ۱۲ ماه به حالت نرمال بر می‌گردد و مجدداً برای ۷- ۶ ماه متوقف خواهد شد [۱۵].

۳-۲- اثرات حاد تشعشعات خارجی یونیزان

عوارض جانبی بلند مدتی که بعد از قرار گرفتن در معرض تشعشعات هسته‌ای می‌توانند در حیوانات بروز کنند، شامل تحریک و القاء سرطان، القاء آب مروارید لنز چشم، فیبروز و آسیب عروق خونی، کوتاه شدن طول عمر و اختلال در باروری

می‌باشند. به‌طور حتم، اثرات ژنتیکی را می‌توان در دستهٔ اثرات بلند مدت طبقه‌بندی نمود، زیرا این اثرات تنها در بین فرزندان نسل بعدی حیواناتی که در معرض تابش‌ها قرار گرفتند ظاهر می‌شوند [۱۶-۱۵-۱].

اثرات بلند مدت تشعشعات بر روی پوست شامل انقباض و آتروفی منطقهٔ تحت تابش، از دست دادن قابلیت ارتجاعی، از دست دادن عملکرد غدد عرقی و فولیکول‌های مو، فیبروز پوستی و به تعویق افتادن التیام پوست می‌باشند. این آسیب‌های بلند مدت به احتمال زیاد در اثر عوارضی چون نقص‌های سلولی، آسیب عروق خونی و اختلال در عملکرد فیبروسیت‌ها که منجر به فیبروز می‌شود، ایجاد می‌شوند. فیبروز پوستی شامل جایگزینی الیاف همبند با تراکم عادی با یک تودهٔ نسبتاً یکنواخت سلولی کلاژن می‌باشد. این نوع از فیبروز ثانویه همچنین در اغلب بافت‌هایی مانند ریه‌ها، کلیه‌ها و کبد که تحت تأثیر تابش‌های شدید قرار بگیرند، ایجاد خواهد شد. پیشنهاد شده است که این بافت‌های فیبروزی به علّت آسیب‌های عروقی ایجاد می‌شوند که ممکن است سبب به‌وجود آمدن نواحی ایسکمی (کم رسیدن خون به اندام یا ناحیه‌ای از بدن) در بدن حیوان شوند. از طرف دیگر، از دست دادن آهستهٔ فیبروبلاست‌های مسئول ترشح و جذب مداوم کلاژن‌ها و سایر الیاف می‌تواند به پیری زودرس کلاژن موجود منجر شود [۱۵- ۱].

۳-۲-۱- اثرات سلولی و ژنتیکی تابش‌های پرتوزا بر حیوانات

واپاشیِ رادیواکتیویتهٔ مواد پرتوزا از طریق استنشاق یا بلعیدن موجب در معرض قرار گرفتن بافت‌های داخلی حیوانی در برابر تابش‌های هسته‌ای می‌شود. در هر حال، ماده پرتوزا از هر طریقی که به بدن حیوان راه یابد، این پتانسیل را دارد تا اثرات مضری را بر جای بگذارد و باعث سرطان در سلول‌های سوماتیکی و یا جهش‌های ژنتیکی در سطح سلول‌های جنینی را سبب شود. این موارد با تغییر سلولی DNA یا آسیب و تداخل در مسیرهای متابولیکی اتفاق می‌افتد [۵]. آسیب‌های ناشی از تابش‌های هسته‌ای در نتیجهٔ انتقال انرژی از ذرات آلفا و بتا یا اشعهٔ گامای ساطع شده از هستهٔ اتم‌های رادیواکتیو به سلول‌های هدف ایجاد می‌شود. مولکول‌ها در سلول‌های هدف این انرژی را جذب کرده و یونیزه یا برانگیخته می‌شوند. یونیزاسیون می‌تواند موجب تولید رادیکال‌های آزاد شود که از لحاظ شیمیایی بسیار فعال می‌باشند. در سطح مولکولی، یونیزاسیون می‌تواند ماکرومولکول‌هایی از قبیل آنزیم‌ها، RNA و DNA را از طریق مسیرهای متابولیکی دچار آسیب نماید. این امر به نوبهٔ خود می‌تواند سبب ایجاد آسیب به غشاهای سلولیِ اطراف هستهٔ میتوکندری و لیپوزوم‌ها گردد. در سطح سلولی این امر می‌تواند منجر به مهار تقسیم سلولی، مرگ سلولی و دگرگونی به حالت بدخیم شود. در نتیجهٔ این رخدادها، بروز اختلال در سامانه عصبی مرکزی، مغز استخوان و دستگاه گوارش ممکن است سبب مرگ حیوان شوند. جثه، وضعیت فیزیولوژیکی و سن حیوان از جمله فاکتورهایی هستند که می‌توانند بر میزان درجه آسیب‌های ناشی از تشعشعات هسته‌ای مؤثر باشند (Morris, 1988). آسیب‌هاب مختلفی که ممکن است توسط تابش‌های هسته‌ای در DNA بروز کنند شامل شکستگی‌های تک رشته‌ای DNA ، شکستگی‌های دوتایی در DNA، تغییر قند یا باز و اتصال‌های عرضی (هم ارز) پروتئین-DNA می‌باشد. معمولاً سه مکانیسم در آسیب DNA نقش دارند که عبارتند از؛ ناپایداری ژنومی، یونیزاسیون غیرمستقیم DNA با گونه‌های اکسیژن فعال و یونیزاسیون مستقیم DNA با تغییر شیمیایی ثانویهٔ بازها به مولکولهایی که دیگر به عنوان سیگنال‌های رمزگذاری تشخیص داده نمی‌شوند [۵-۱].

۴- روش‌های پدافندی کاهش انتقال آلودگی‌های هسته‌ای به حیوانات مزرعه‌ای و محصولات دامی

روش‌های پدافندی کاهش یا رفع آلودگی مواد پرتوزا در حیوانات مزرعه‌ای و محصولات تولید آنها معمولاً شامل مواردی همچون؛ رفع آلودگی زمین‌های مورد استفاده برای پرورش محصولات زراعی مصرفی در تغذیه دام و یا زمین‌هایی که دام در آنها چرا می‌کنند، تغییر مدیریت رژیم غذایی حیوانات، استفاده از موادی که خاصیت باندکنندگی با مواد پرتوزا دارند و به تأخیر انداختن کشتار و ذبح دام‌های آلوده به مواد پرتوزا تا زمان مناسب برای کشتار آنها، می‌باشند [۵].

در زیر روش‌های گوناگون و برخی اقدامات کاربردی و عملیاتی‌ای که به‌صورت عمومی می‌توان از آنها در جهت کاهش آلودگی‌های رادیواکتیو دام‌ها و محصولات دامی استفاده کرد بیان می‌شوند که میزان قابلیت اجرایی آن‌ها به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:

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

۴-۱- اقدامات عمومی در بخش دامی

الف- خروج حیوانات از مراتع یا نواحی آلوده و تأمین خوراک غیرآلوده برای آن‌ها.

- **روش:** تأمین خوراک غیرآلوده برای حیوانات یا انتقال آن‌ها به مکان غیرآلوده و جلوگیری از چریدن آن‌ها در نواحی آلوده با نگهداری آن‌ها در اصطبل‌ها و مکان‌های محصور شده.

- **قابلیت اجرایی: A/B**

- **ملاحظات:** جایگزین کردن خوراک غیرآلوده برای حیوانات در سامانه‌های صنعتی و نیمه‌صنعتی از لحاظ اجرایی کاری ساده می‌باشد، زیرا در سامانه‌های پرورشی که به‌طور معمول حیوانات در فضای بستهٔ اصطبل‌ها پرورش و تغذیه می‌شوند، معمولاً خوراک به اندازهٔ کافی در دسترس می‌باشد [۱۱-۱].

ب- کشت محصولات علوفه‌ای که تمایل کمتری برای آلوده شدن دارند.

- **قابلیت اجرایی: A/B**

- **ملاحظات:** علوفه‌های چندساله و گیاهان لگومینه (یونجه، شبدر و ...) نسبت به غلات (ذرت، سورگوم، جو و ...)، گیاهان غده‌ای (سیب‌زمینی و ...) و ریشه‌ای (چغندر و شلغم علوفه‌ای) تمایل بیشتری نسبت به آلوده شدن دارند. بنابراین کشت غلات و گیاهان غده‌ای و ریشه‌ای می‌تواند میزان انتقال مواد پرتوزا را از خاک به حیوانات ۱۰-۵ برابر کاهش دهد [۱۱-۱].

ج- اختصاص زمین‌های آلوده به حیوانات غیر شیری و یا حیوانات پرواری که قرار نیست در کوتاه مدت به کشتارگاه بروند.

- **قابلیت اجرایی: B**

- **ملاحظات:** در مناطقی که زمین‌های مرتعی آلوده شده‌اند و فراهم کردن خوارک غیرآلوده با محدودیت‌هایی روبرو است، تغذیه علوفهٔ تمیز به‌صورت مداوم به گاوهای شیری می‌تواند بهترین اثر را برای تولید شیر تمیز و بهداشتی بدنبال داشته باشد. همچنین می‌توان از این روش برای تغذیه گاوهای پرواری در مرحلهٔ آخر پرواربندی و قبل از کشتار استفاده نمود [۱].

د- تغییر گونهٔ حیوانات پرورشی

- **قابلیت اجرایی: B**

- **روش:** جایگزین کردن پرورش گوسفند و بز با گاو، گاومیش و یا شتر

- **ملاحظات:** میزان تأثیرگذاری این روش متغییر بوده و می‌تواند تا ۵ برابر میزان آلودگی را در محصولات دامی کاهش دهد [۱].

تجمع رادیونوکلئیدها در نشخوارکنندگان کوچک مانند گوسفند و بز نسبت به گاو، زمانی که هر دو گروه از یک مرتع آلوده مشابه تغذیه کنند، بیشتر خواهد بود. برای مثال ممکن است سطح رادیوسزیم در شیر و گوشت گوسفند و بز ۵-۲ برابر بالاتر از شیر و گوشت گاو باشد [۱۷].

و- تغییر کاربری زمین از کشت محصولات زراعی به چرای گاوهای گوشتی

- **قابلیت اجرایی: B**

- **ملاحظات:** اثر بخشی این روش متغییر بوده و میزان کاهش آلودگی در محصولات با توجه به شاخص‌های مورد استفاده می‌تواند از کمتر از ۱۰۰-۱۰ برابر تغییر کند [۱].

می‌توان از زمین‌های آلوده برای چرای گاوهای پرواری استفاده کرد، البته از لحاظ مدت زمان، باید نیمه عمر بیولوژیکی مواد پرتوزا در بدن این حیوانات نیز در نظر گرفته شود، به‌طوری که مطمئن باشیم که با یک دورهٔ تغذیه این حیوانات با خوراک‌های غیرآلوده در زمان قبل از کشتار، بیشتر آلودگی‌ها از گوشت این حیوانات دفع می‌شوند[۱۷-۱].

ز- تغییر مصرف محصولات دامی از مصارف انسانی به استفاده در تغذیه دام

- **قابلیت اجرایی: B**

- **ملاحظات:** می‌توان از شیر و گوشت دام‌های آلوده در تولید شیر خشک جایگزین برای تغذیه گوساله‌ها و یا پودر گوشت به عنوان منبع پروتئینی در تغذیه دام‌های پرواری که قرار نیست در طی مدت زمان کوتاهی پس از مصرف این اقلام خوراکی به کشتارگاه بروند، استفاده کرد [۱].

ح- فرآوری محصولات دامی آلوده

- قابلیت اجرایی: A

- ملاحظات: یکی از روش‌های مؤثر در کاهش غلظت آلودگی‌های رادیواکتیویته از محصولات دامی آلوده، فرآوری این محصولات می‌باشد. روش‌های گوناگونی برای فرآوری شیر به کره و محصولات لبنی وجود دارند. بسته به روش فرآروی، غلظت فعالیّت سزیم -۱۳۷ و استرانسیوم -۹۰ در محصول غذایی نهایی تولید شده می‌تواند ۱۰-۷ برابر در مقایسه با محصول اولیه کاهش یابد [۱۸-۱۱].

ط- انهدام محصولات دامی آلوده

- قابلیت اجرایی: A/D

- ملاحظات: این روش به عنوان یک اقدام در جهت رفع آلودگی به‌صورت جدی مورد تأکید نمی‌باشد، ولی ممکن است در برخی شرایط مورد توجه قرار بگیرد. درواقع انهدام محصولات دامی روشی افراطی و غیرکارشناسی به‌نظر می‌رسد و شاید تنها در شرایط استثنایی مورد استفاده قرار بگیرد [۱].

از سایر روش‌هایی که ممکن است انتقال مواد پرتوزا به انسان را کاهش دهد، تغییر سامانه پرورشی از تولید شیر به تولید گوشت است. علاوه بر این می‌توان سیستم پرورشی را از پرورش حیوانات تولید کننده شیر و گوشت به پرورش حیوانات تولید کنندهٔ مواد غیر خوراکی مانند پشم و پوست تغییر داد [۱۱].

۴-۲- اقدامات اختصاصی برای رفع یا کاهش آلودگی رادیوسزیم در محصولات دامی

راهکارهای مختلفی را که می‌توان برای رفع آلودگی رادیوسزیم از حیوانات مزرعه‌ای و محصولات دامی برشمریم شامل موارد زیر می‌باشند:

الف- افزایش ارتفاع برش در زمان برداشت منابع مختلف علوفه‌ای (گرامینه‌ها، علوفه‌های سیلویی، لگومینه‌ها و غلات)

- قابلیت اجرایی: A

- ملاحظات: افزایش ارتفاع برش علوفه از سطح زمین، از برداشت قسمت‌های پایین‌تر گیاهان که ممکن است دارای آلودگی بالایی باشند و همچنین از چسبیدن ذرات خاک‌های آلوده به سطوح جلوگیری می‌کند. این روش می‌تواند در اوّلین سال بعد از رسوب مواد پرتوزا بر روی زمین بسیار مفید باشد [۱۱-۱].

ب- نظارت رادیولوژیک حیوانات زنده به منظور جلوگیری از کشتار زودهنگام حیوانات دارای آلودگی بالا

- قابلیت اجرایی: A

- ملاحظات: نظارت رادیولوژیک حیوانات زنده می‌تواند در کشتارگاه‌ها و دامداری‌ها به منظور شناسایی حیواناتی که دارای آلودگی بالا می‌باشند و باید قبل از کشتار یک دوره از خوراک‌های غیرآلوده تغذیه کنند، استفاده شود. این روش اقدامی مؤثر در جهت کاهش آلودگی‌های پرتوی می‌باشد، ولی نیازمند به نیروی کار نیمه ماهر است [۱۷-۱].

ج- تغییر زمان کشتار دام به منظور کاهش سطح آلودگی آن‌ها

روش اوّل: کشتار سریع دام‌ها قبل یا نزدیک به زمان نشست مواد پرتوزا

- ملاحظات: ممکن است کشتار فوری دام‌ها قبل از نشست مواد پرتوزا یا کمی بعد از آن قابل توصیه باشد، زیرا چند هفته بعد از نشست مواد پرتوزا سطح رادیوسزیم در بدن حیوانات افزایش می‌یابد. به منظور جلوگیری از کشتار حیوانات بسیار آلوده باید سطح رادیوسزیم در بدن حیوانات اندازه‌گیری شود [۱۱-۱].

روش دوّم: به تأخیر انداختن کشتار دام‌ها پس از نشست مواد پرتوزا

- ملاحظات: به تأخیر انداختن کشتار دام‌ها این امکان را فراهم می‌کند که با هوازدگی طبیعی و فرآیندهای طبیعی باندکنندهٔ رادیوسزیم، میزان مصرف رادیوسزیم توسط دام کاهش یابد. همچنین در طی این اقدام همراه با رشد محصولات زراعی، فعالیّت رادیوسزیم در این محصولات رقت می‌یابد و بنابراین زمانی که نشست مواد پرتوزا در طی دورهٔ فعال رشد گیاه رخ بدهد، غلظت فعالیّت رادیوسزیم همزمان با رشد گیاه بطور قابل توجهی کاهش خواهد یافت [۱۱-۱].

د- استفاده از یک جاذب شیمیایی برای کاهش جذب رادیوسزیم در دستگاه گوارش حیوانات

روش اول: افزودن Prussian Blue به کنسانترهٔ دامی

- قابلیت اجرایی: A

- ملاحظات: ترکیبات Prussian Blue (پتاسیم و آمونیوم آهن هگزاسیانوفرات ($Fe_7(CN)_{18}$)) با باند شدن به رادیوسزیم در دستگاه گوارش حیوان، به‌طور مؤثری در کاهش جذب رادیوسزیم در دستگاه گوارش دام‌ها مؤثر هستند [۱۸-۱۲-۱]. این ماده می‌تواند ۵- ۳ برابر و در برخی آزمایشات تا ۱۰ برابر غلظت سزیم -۱۳۷ را در محصولات دامی کاهش بدهد. در مناطقی که منابع Prussian blue وجود ندارند و تهیه آن از لحاظ اقتصادی گران تمام می‌شود می‌توان از جاذب‌های معدنی (زئولیت، بنتونیت و ورمیکولیت و ...) استفاده کرد [۱۸].

روش دوم: مکمل‌سازی جیره‌ها با مواد معدنی رُسی یا زئولیت‌ها

- قابلیت اجرایی: B

- ملاحظات: مواد معدنی رُسی متعددی مانند بنتونیت، ورمیکولیت و موردنیت و همچنین زئولیت‌ها مانند کلینوپتیلولیت وجود دارند که می‌توانند با رادیوسزیم در دستگاه گوارش حیوان باند شده و جذب آن را کاهش دهند. با مصرف ۰/۵ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن حیوان در هر روز از این مواد جاذب در تغذیه حیوانات، می‌توان میزان انتقال رادیوسزیم به محصولات دامی را ۵۰ درصد کاهش داد [۱۲-۱۱-۱].

ز- افزایش محتوای فیبر جیره به منظور کاهش جذب رادیوسزیم در دستگاه گوارش حیوانات

- روش: افزایش تغذیهٔ علوفه‌ها یا سیلاژها به حیوانات، خصوصاً در گاوهای شیری که از جیره‌های حاوی سطوح بالایی از کنسانتره تغذیه می‌کنند.

- قابلیت اجرایی: A/D

- ملاحظات: مطالعات نسبتاً کمی در ارتباط با این موضوع انجام شده است. محققان پیشنهاد کردند که با افزایش سطح فیبر جیره، می‌توان سطح سزیم شیر را دو برابر کاهش داد [۱].

ح- تغذیه مواد خوراکی غیر آلوده برای حذف رادیوسزیم از گوشت و شیر

۱- حذف رادیوسزیم از گوشت

- قابلیت اجرایی: A

- ملاحظات: یکی از روش‌های رفع آلودگی در حیوانات آلوده با مواد پرتوزا، به تأخیر انداختن زمان کشتار و تغذیه دام با مواد خوراکی غیرآلوده برای یک دوره قبل از زمان کشتار می‌باشد [۱۸-۱۲].

۲- حذف رادیوسزیم از شیر

- قابلیت اجرایی: A

- ملاحظات: در آزمایشی که گاوها با خوراک عاری از رادیوسزیم برای مدت ۴ هفته تغذیه شده بودند، نتایج نشان داد که بتدریج غلظت رادیوسزیم در شیر گاوها کاهش یافت، به‌طوریکه بعد از ۴ هفته رادیوسزیم از شیر گاوهای تغذیه شده با خوراک غیرآلوده حذف شد [۱۸-۱۲].

۴-۳- اقدامات اختصاصی برای رفع یا کاهش آلودگی رادیواسترانسیوم در محصولات دامی

رادیواسترانسیوم در استخوان‌ها رسوب می‌کند و به کندی از آن آزاد می‌شود. دفع آن عمدتاً از مدفوع انجام می‌شود. و میزان دفع آن از ادرار کم است، ولی شیر یکی از مسیرهای اصلی خروج رادیواسترانسیوم از بدن حیوان می‌باشد [۱].

اقدامات اختصاصی برای رفع آلودگی استرانسیوم در حیوانات مزرعه‌ای و محصولات دامی شامل موارد زیر می‌باشند:

الف- تأمین جیره‌های حاوی کلسیم بالا برای کاهش غلظت استرانسیوم-۸۹ و ۹۰ در شیر

- روش: تغذیهٔ نمک‌های کلسیمی یا مواد خوراکی غنی از کلسیم به دام

- قابلیت اجرایی: A

- ملاحظات: نرخ مصرف کلسیم در جیره بر نرخ انتقال رادیواسترانسیوم به شیر مؤثر است. در واقع به علّت رابطه‌ای که بین کلسیم و رادیواسترانسیوم وجود دارد، انتقال رادیواسترانسیوم به شیر با افزایش مصرف کلسیم کاهش می‌یابد به‌طور کلی، اگر میزان مصرف کلسیم توسط حیوان دو برابر شود، غلظت فعالیّت رادیواسترانسیوم در شیر نصف خواهد شد.

ب- تأمین آلژینات‌ها در جیره به منظور کاهش جذب رادیواسترانسیوم در دستگاه گوارش حیوانات

- قابلیت اجرایی: D

– **ملاحظات:** آلژینات‌ها می‌توانند جذب رادیواسترانسیوم را در دستگاه گوارش تک معده‌ای‌ها و نشخوارکنندگان کاهش دهند. برای مثال، افزودن سدیم آلژینات به جیرهٔ گاوهای شیری جذب استرانسیوم-۹۰ را در دستگاه گوارش ۴-۳ برابر کاهش می‌دهد [۱].

۴-۴- اقدامات اختصاصی برای رفع یا کاهش آلودگی رادیویُد در محصولات دامی

یُد-۱۳۱ یکی از متحرک‌ترین مواد پرتوزا می‌باشد. صرف نظر از این‌که این مادهٔ پرتوزا به فرم عنصر، ارگانیک یا غیرارگانیک وجود داشته باشد، به نظر می‌رسد که به سرعت و به‌طور کامل در روده جذب شده و در غدهٔ تیروئید تجمع می‌یابد و درآنجا با هورمون‌ها ترکیب می‌شود [۴].

بعد از حادثه چرنوبیل، تا ۴۵ روز، یُد-۱۳۱ در شیر حیوانات مشاهده می‌شد. به علّت نرخ بالای انتقال یُد-۱۳۱ به شیر، اقدامات متقابل مناسبی برای جلوگیری یا رفع آلودگی آن باید مد نظر قرار گیرد که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد.

۱- فرآوری شیرهای آلوده به محصولات لبنی دارای قابلیت انبارمانی

– **روش:** استفاده از شیرهای آلوده به یُد-۱۳۱ برای تولید کره، پودر شیر خشک، گنیر و سایر محصولاتی که امکان ذخیرهٔ آن‌ها وجود دارد تا فرصت کافی برای فروپاشی فیزیکی یُد-۱۳۱ تا قبل از مصرف این محصولات وجود داشته باشد.

– **قابلیت اجرایی: A/B**

– **ملاحظات:** اجرای این روش زمانی که شیر با میزان قابل توجهی از رادیوسزیم، رادیواسترانسیوم یا سایر مواد پرتوزای دارای نیمه عمر بالا آلوده شده باشد، امکان‌پذیر نیست. علاوه بر این، ممکن است صنایع غذایی از پذیرش شیرهای آلوده خودداری نمایند و این موضوع قابلیت اجرایی این اقدام را با محدودیت مواجه می‌کند.

۲- افزودن یُد پایدار به مواد غذایی

– **روش:** تغذیهٔ یُد پایدار به حیوانات به میزان بیش از نیاز طبیعی روزانه

– **قابلیت اجرایی: A/B/D**

– **ملاحظات:** مقدار یُد پایدار، به‌صورت یُدید سدیم یا پتاسیم در رژیم غذایی روزانهٔ حیوان می‌تواند بر میزان رادیویُد ترشح شده به شیر و مقدار جذب رادیویُد توسط غدهٔ تیروئید اثر بگذارد. در برخی موارد نیز ممکن است تغذیهٔ یُد پایدار سبب افزایش غلظت یُد-۱۳۱ در شیر شود. برای به حداکثر رساندن اثر تغذیهٔ یُد پایدار، باید این ماده را در کوتاه‌ترین زمان به جیرهٔ حیوانات وارد کنیم، بنابراین در دسترس بودن منابع یُد پایدار از اهمیّت زیادی برخوردار می‌باشد [۴].

با توجه به همهٔ راه‌های موجود برای کاهش غلظت مواد پرتوزا در محصولات دامی، مؤثرترین راه حل عملی برای کاهش انتقال مواد پرتوزا در این محصولات، تغذیهٔ حیوانات با خوراک‌های غیر آلوده می‌باشد، امّا نکتهٔ حائز اهمیّت در این زمینه دسترسی متفاوت به منابع خوراکی در فصول مختلف سال می‌باشد [۴-۱].

۵- راهبردهای پدافندی جهت کاهش آلودگی‌های هسته‌ای در حیوانات و محصولات دامی

از جمله اقدامات پدافندی که می‌توان برای کاهش و یا رفع آلودگی‌های زیست محیطی به‌کار گرفت آموزش نیروهای امدادی مردمی و یا نظامی جهت اجرای اقدامات متقابل ارائه شده است. در راستای اجرای اقدامات رفع آلودگی‌های زیست محیطی می‌توان از ظرفیت‌های بسیج مردمی زیر نظر تیم‌های تخصصی با آموزش‌های لازم به منظور 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.

از این‌رو، با توجه به روش‌هایی که در بخش قبل ارائه شدند، می‌توان به منظور جهت‌دهی و هم‌افزایی فعالیت‌های گروه‌ها و هسته‌های فعال در مناطق بحران‌زده، راهبردهای پدافندی مختلفی را برای اجرایی شدن هر چه بهتر این روش‌ها طراحی و پیشنهاد کرد. این در حالی است که ممکن است یک روش خاص در دو یا چند راهبرد مختلف به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم کارآیی داشته باشد که در ذیل به آن‌ها اشاره خواهد شد.

۵-۱- طبقه‌بندی، جمع‌آوری و محافظت اساسی از حیوانات مناطق آلوده با کمک متخصصین ذیربط توسط کارگروه‌های بسیج مردمی و برنامه‌ریزی برای رفع آلودگی از آنان در کمترین زمان ممکن بر اساس برنامه‌های علمی مدون.

شیوه‌های اجرای راهبرد:

• در میان حیوانات، پستانداران حساس‌ترین حیوانات نسبت به این پرتوها هستند و به‌دنبال آن‌ها حساسیت پرتوی به‌ترتیب در پرندگان، ماهی‌ها، دوزیستان، خزندگان، سخت‌پوستان، حشرات و نرم‌تنان کاهش می‌یابد.

• خروج حیوانات از مراتع یا نواحی آلوده و تأمین علوفه و خوراک غیرآلوده برای آن‌ها

• محصور کردن حیوانات در مکان‌های بسته و سرپوشیده

• تغییر گونه حیوانات پرورشی (پرورش دام‌های بزرگ به جای دام کوچک)

۵-۲- محدودیت ذبح حیوانات آلوده در مناطق و یا انتقال آنان به مناطق دیگر و اعمال محدودیت برای اختلاط آن‌ها با دیگر حیوانات مناطق غیرآلوده در قالب محصورسازی محیط زیست آنان برای مدت معین تحت نظارت متخصصین.

شیوه‌های اجرای راهبرد:

• چرای انتخابی دام‌ها و چراندن آن‌ها در مراتع غیرآلوده
• به تأخیر انداختن ذبح حیوانات آلوده
• ممنوعیت کشتار دام‌ها در مناطق آلوده
• محصور کردن حیوانات در مکان‌های بسته و سرپوشیده
• جلوگیری از چرای آن‌ها در مراتع و علوفه‌های آلوده و تهیهٔ علوفه‌های غیرآلوده برای آن‌ها

• خروج حیوانات از مراتع یا نواحی آلوده و تأمین خوراک غیرآلوده برای آن‌ها

• اختصاص زمین‌های آلوده به حیوانات غیر شیری و یا حیوانات پرواری که قرار نیست در کوتاه مدت به کشتارگاه بروند.

• انهدام محصولات دامی با آلودگی بسیار بالا

• تغییر زمان کشتار دام به منظور کاهش سطح آلودگی آن‌ها

۵-۳- محدودیت استفاده از محصولات و فرآوردهای دامی و استفاده از فناوری‌های انتقال محصولات جایگزین برای مصرف ساکنین این مناطق تا مدت معین توسط همیاران مردمی زیر نظر کارگروه‌های تخصصی در مناطق آلوده و مرور مستمر میزان آلودگی این محصولات تا زمان رفع آلودگی کامل.

شیوه‌های اجرای راهبرد:

• محدودیت مصرف شیرهای تولید شده توسط دامداران سنتی و خصوصی در سامانه‌های غیر قابل کنترل.

• می‌توان از شیرهای بسته‌بندی که دارای زمان مصرف بالاتری هستند، استفاده نمود

• فرآوری شیرهای حذف شده (تبدیل شیر به فرآورده‌های انبارشدنی مانند کره و پنیر و .....)

• تولید پنیر به روش پنیر مایه؛ این روش موجب می‌شود تا سزیم وارد آب پنیر شود و پنیر تولیدی حاوی سزیم کمی است اما استرانسیوم نسبتاً بالایی دارد.

• تغییر مصرف محصولات دامی از مصارف انسانی به استفاده در تغذیه دام

• فرآوری محصولات دامی آلوده

• انهدام محصولات دامی با آلودگی بسیار بالا

• اجباری نمودن فرآوری شیر

۵-۴- اعمال محدودیت چرا برای حیوانات و تامین علوفه سالم برای دام‌های این مناطق به مدت معین تحت نظارت متخصصین.

شیوه‌های اجرای راهبرد:

• چرای انتخابی دام‌ها و چراندن آن‌ها در مراتع غیرآلوده

• به تأخیر انداختن ذبح حیوانات آلوده

• جلوگیری از تغذیه حیوانات در مراتع آلوده

• حذف شیر حیوانات تغذیه شده با مواد غذایی آلوده و این منابع را باید تا زمانی که از کیفیت آن‌ها اطمینان حاصل شود با منابعی مطمئن جایگزین نمود.

• جلوگیری از مصرف علوفه‌ها و مراتع آلوده توسط حیوانات

• محصور کردن حیوانات در مکان‌های بسته

• جلوگیری از چرای آن‌ها در مراتع و علوفه‌های آلوده و تهیهٔ علوفه‌های غیرآلوده برای آن‌ها

• حیوانات را در محیط‌هایی با نرده‌کشی محصور کرد

• خروج حیوانات از مراتع یا نواحی آلوده و تأمین خوراک غیرآلوده برای آن‌ها

• کشت محصولات علوفه‌ای که تمایل کمتری برای آلوده شدن دارند.

• اختصاص زمین‌های آلوده به حیوانات غیر شیری و یا حیوانات پرواری که قرار نیست در کوتاه مدت به کشتارگاه بروند.

• تغییر کاربری زمین از کشت محصولات زراعی به چرای گاوهای گوشتی

• افزایش ارتفاع برش در زمان برداشت منابع مختلف علوفه‌ای (گرامینه‌ها، علوفه‌های سیلویی، لگومینه‌ها و غلات)

• جلوگیری از تغذیهٔ حیوانات با خوراک های بسیار آلوده

• استفاده از یک جاذب شیمیایی برای کاهش جذب رادیوسزیم در دستگاه گوارش حیوانات

• افزایش محتوای فیبر جیره به منظور کاهش جذب رادیوسزیم در دستگاه گوارش حیوانات

• تغذیه مواد خوراکی غیرآلوده برای حذف رادیوسزیم از گوشت و شیر

• مستقر کردن دائمی دام‌ها در محل‌های سرپوشیده

۵-۵- ممنوعیت شکار در مناطق آلوده تا مدت معین با همکاری همیاران مردمی و تحت نظارت سازمان محیط زیست.

شیوه‌های اجرای راهبرد:

• تغییر زمان شکار به منظور کاهش میزان آلودگی در گوشت حیوانات شکار شونده

۵-۶- جابجایی دام‌های آلوده مناطق به مکان امن با رعایت دقیق رفتارهای بهداشتی و سلامتی تحت نظارت کیمته‌های تخصصی و با همکاری بسیج مردمی.

شیوه‌های اجرای راهبرد:

• محصور کردن حیوانات در مکان‌های بسته

• جلوگیری از چرای دام‌ها در مراتع و علوفه های آلوده و تهیهٔ علوفه های غیرآلوده برای آن‌ها

• حیوانات را در محیط‌هایی با نرده‌کشی محصور کرد

• خروج حیوانات از مراتع یا نواحی آلوده و تأمین خوراک غیرآلوده برای آن‌ها

• اختصاص زمین‌های آلوده به حیوانات غیر شیری و یا حیوانات پرواری که قرار نیست در کوتاه مدت به کشتارگاه بروند.

• مستقر کردن دائمی دام‌ها در محل‌های سرپوشیده

۵-۷- تغییر الگوی کشت علوفه به علوفه‌هایی که زمینه دریافت اثرات مخرب هسته‌ای کمتری دارند زیر نظر گروه‌های کارشناسی با همیاری بسیج مردمی برای مدت معین برابر دستورالعمل‌های بالادستی.

شیوه‌های اجرای راهبرد:

• جلوگیری از تغذیه حیوانات در مراتع آلوده و حذف شیر حیوانات تغذیه شده با مواد غذایی آلوده و این منابع را باید تا زمانی که از کیفیت آن‌ها اطمینان حاصل شود با منابعی مطمئن جایگزین نمود.

• کشت محصولات علوفه‌ای که تمایل کمتری برای آلوده شدن دارند.

• تغییر کاربری زمین از کشت محصولات زراعی به چرای گاوهای گوشتی

• افزایش ارتفاع برش در زمان برداشت منابع مختلف علوفه‌ای (گرامینه‌ها، علوفه های سیلویی، لگومینه‌ها و غلات)

۵-۸- تغییر الگوی پرورش دام و طیور برای مدت معین آلودگی محیطی در مناطق آلوده.

شیوه‌های اجرای راهبرد:

• تغییر گونه حیوانات پرورشی

• طولانی شدن مدت زمانی که یک حیوان یک مقدار معین از دوزهای تابشی منتشر شده از تابش های یونیزان را دریافت می‌کند می‌تواند میزان آسیب‌دیدگی آن حیوان را کاهش دهد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مطالعه مشخص شد که استفادهٔ دام‌های اهلی از مواد خوراکیِ آلوده به مواد پرتوزا، مهمترین مسیر برای آلوده شدن آن‌ها بعد از بروز یک حادثهٔ هسته‌ای است. مسیرهای متعدد انتقال مواد پرتوزا به غذای انسان از طریق زنجیرهٔ غذایی از قبیل شیر، تخم مرغ، گوشت و ماهی می‌باشد. برای مثال، برخی از رادیونوکلئیدهای مهم مانند سزیم-۱۳۷، یُد-۱۳۱ و استرانسیوم-۹۰ به آسانی از خوراک دام به شیر منتقل می‌شوند. علاوه بر این، استرانسیوم-۹۰ به همراه کلسیم به استخوان‌ها منتقل می‌شود، در حالی‌که سزیم-۱۳۷ معمولاً به همراه پتاسیم به بافت‌های نرم و خصوصاً عضلات در دام‌ها منتقل می‌گردند. از سوی دیگر، یُد به‌طور کامل در دستگاه گوارش حیوانات جذب می‌شود و در غدهٔ تیروئید تجمع می‌یابد و به‌طور قابل توجهی به شیر و تخم مرغ منتقل می‌شود. همچنین در این مطالعه مشخص شد که با شناخت مسیرهای انتقال رادیونوکلئیدها به حیوانات مزرعه‌ای که محصولات تولیدی آن‌ها توسط انسان مصرف می‌شوند، می‌توان راهکارهای پدافندی مختلفی را طراحی و انتخاب کرد که بتوان در کوتاه‌ترین زمان، از بیشترین حجم آلودگی جلوگیری نمایند. تغذیه حیوانات اهلی با مواد خوراکی غیرآلوده که از قبل در انبار ذخیره شده بودند و یا انتقال آن‌ها به چراگاه‌های غیرآلوده می‌تواند بهترین راه برای محافظت آن‌ها در

برابر آلودگی‌های هسته‌ای و جلوگیری از ورود مواد پرتوزا به زنجیرهٔ غذایی باشد.

۷- مراجع

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

[2] S. A. Geraskin, S. V. Fesenko, and R. M. Alexakhin, "Effects of non-human species irradiation after the Chernobyl NPP accident," Environ. Int., vol. 34(6), pp. 880-897, 2008.

[3] L. R. Anspaugh, "Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: Twenty years of experience," In International Conference: Chernobyl–Looking Back to Go Forward, Towards a United Nations Consensus on the Effects of the Accident and the Future, pp. 6-7, Sep. 2005.

[4] B. J. Howard, N. A. Beresford, and G. Voigt, "Recent advances in animal radioecology and mitigation of animal product contamination after accidents," In: Eurosafe 2002, Berlin, Nov. 2002.

[5] R. Y. Olobatoke and M. Mathuthu, "Radionuclide exposure in animals and the public health implications" Turk. J. Vet. Anim. Sci., vol. 39(4), pp. 381-388, 2015.

[6] J. R. Boice, "Radiation epidemiology: a perspective on Fukushima," J. Radiol. Prot., vol. 32(1), p. 33, 2012.

[7] E. J. Bromet, "Emotional consequences of nuclear power plant disasters," Health phys., vol. 106(2), p. 206, 2014.

[8] L. T. Dilas, I. Bajkin, T. Icin, J. N. Paro, and B. K. Zavisi, "Iodine and thyroid gland with or without nuclear catastrophe," Med. Pregl., vol. 65(11-12), pp. 489-95, 2012.

[9] K. Hayashi and N. Tomita, "Lessons learned from the great East Japan earthquake impact on child and adolescent health," Asia Pac. J. Public. Health, vol. 24(4), pp. 681-688, 2012.

[10] M. C. Bell, "Radiation effects on livestock: physiological effects, dose response," Vet. Hum. Toxicol., vol. 27(3), pp. 200-207, 1985.

[11] M. Brink, B. Lauritzen, and D. P. Directorate, "Agricultural countermeasures in the Nordic countries after a nuclear accident (No. NKS--51)," Nordisk Kernesikkerheds for skning, 2001.

[12] T. M. Nakanishi, "Agricultural implications of the Fukushima nuclear accident," J. Radiat. Res., vol. 57, pp. 47-52, 2016.

[13] National Research Council (US), "Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations and United States, Environmental Protection Agency, Office of Radiation Programs, The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation," vol. 3095, National Academy Press, 1980.

[14] N. Yamaguchi, I. Taniyama, T. Kimura, K. Yoshioka, and M. Saito, "Contamination of agricultural products and soils with radiocesium derived from the accident at TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: monitoring, case studies and countermeasures," Soil. Sci. Plant Nutr., vol. 62(3), pp. 303-314, 2016.

[15] C. Zallinger and K. Tempel, "The physiologic response of domestic animals to ionizing radiation: a review," Vet Radiol Ultrasound, vol. 39(6), pp. 495-503, 1998.

[16] J. A. Morris, "Exposure of animals and their products to radiation, Surveillance, monitoring and control of national and international trade," International Office of Epizootics, vol. 7, pp. 11-23, 1988.

[17] P. Strand, L. Skuterud, and J. Melin, "Reclamation of contaminated urban and rural environments following a severe nuclear accident," (No. NKS--97-18), Nordisk kernesikkerheds for skning, 1997.

[18] S. V. Fesenko, R. M. Alexakhin, M. I. Balonov, I. M. Bogdevitch, B. J. Howard, V. A. Kashparov, N. I. Sanzharova, A.V. Panov, G. Voigt, and Y. M. Zhuchenka, "An extended critical review of twenty years of countermeasures used in agriculture after the Chernobyl accident," Sci. Total Environ., vol. 383(1), pp. 1-24, 2007.

Nuclear Defense and its Effect on Reducing Contamination of Farm Animals and Livestock Products

M. Kordi*, M. Saadati

Abstract

After any nuclear disaster, radioactive materials are released into the environment, polluting the environment, livestock and livestock products. These substances can enter the human body in the natural cycle through the food chain, a process which must be avoided. To this end, in this study, while examining the release of nuclear materials and the contamination of farm animals and livestock products after nuclear accidents in the world, especially the Chernobyl (1986) and Fukushima (2011) disasters, the ways to prevent or eliminate the induced contaminations were also examined. Due to the importance of 3 radionuclides; radio-cesium, radio-iodine and radio- strontium, their cycles in nature were studied. This is a qualitative study based on retrospective time dimension with an applied purpose. Results of this study demonstrated that after exposure to radioactive substances animals have shown side effects such as immune deficiency, lowered body temperature, heart failure, partial atrophy or complete destruction of the thyroid gland, liver damage and eventually death. In the event of a nuclear disaster, it is essential that effective measures be taken as soon as possible to reduce the transmission of radioactive contamination to the food chain. Radiological monitoring of livestock products, prohibition of the use of contaminated food in livestock and poultry feed, and processing of food prepared from livestock products, are among the defense methods that can be used to reduce the transfer of radioactive materials from livestock products to humans. The results of this study also indicated that, exploration of radionuclide transport pathways to farm animals and their products can lead to the design of countermeasures that have the highest degree of efficacy and can be implemented in the shortest possible time to avoid maximum contamination.

Key Words: *Nuclear Contaminants, Passive Defense, Radioactive Material, Radio-Iodine, Radio-Cesium, Radio-Strontium*

* Faculty of Agriculture, Yasuoj University (kordi.3100@gmail.com)-Writer-in-Charge