

## اثرات مخرب سلاح‌های اورانیومی بر محیط زیست

\*دکتر غلامرضا پورحیدری<sup>۱</sup>، فهیمه فلاح<sup>۲</sup>، دکتر نعمت اله جنیدی<sup>۳</sup>

### چکیده

**سابقه و هدف:** اورانیوم ضعیف شده که یکی از فرآورده‌های زائد اورانیوم غنی شده می‌باشد. چندین مورد مصرف نظامی و غیرنظامی دارد. اثرات DU بر محیط زیست بستگی به خصوصیات شیمیایی خاک‌ها و صخره‌ها دارد. اگر محل برخورد ماسه کوارتز باشد، این گلوله به سرعت فرسایش پیدا کرده و آب‌های سطحی را آلوده می‌کنند. در این مقاله ضمن بحث در مورد تولید و استفاده از اورانیوم ضعیف شده و اثرات آن بر محیط زیست، راه‌های آلودگی زدایی و پاکسازی محیط را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهد.

**مواد و روشها:** این تحقیق یک مطالعه مروری است که در مورد مطالب متعدد موجود در خصوص اثرات زیست محیطی سلاح‌های اورانیومی، با جستجوی کتابخانه‌ای و اینترنتی انجام گرفت. با کلمات کلیدی، impact environmental، Depleted uranium (DU)، natural resource در اینترنت در سایت google و rose-net از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۵ جستجوی مقالات و تحقیقات انجام شد. تعداد ۲۰ مقاله به صورت تمام متن بدست آمد و از آنها در تنظیم مقاله استفاده گردید.

**نتیجه‌گیری:** بررسی‌ها نشان می‌دهد که ذرات معلق اکسید اورانیوم که در زمان برخورد DU به هدف ایجاد می‌شوند، دارای درصد بالایی (۹۶-۵۰٪) از ذرات قابل استنشاق می‌باشند و از این مقدار ذرات قابل استنشاق حدود ۵۲-۸۳٪ در مایعات ریوی نامحلول هستند. این ذرات قطری به اندازه ۵ میکرون یا کمتر دارند و به راحتی با تنفس یا غذاخوردن یا غذا خوردن وارد بدن می‌شوند. یکی دیگر از راه‌های انتشار این ذرات پراکنده شدن آنها در آب، هوا و خاک است و پس از آن DU آن قدر در خاک می‌ماند تا توسط عامل دیگری جابجا شده و باعث گسترش آلودگی شود. جهت پیشگیری و کاهش عوارض این سلاح‌ها این موارد توصیه می‌گردد: نمونه‌برداری سالیانه از آب مناطق آلوده؛ پاکسازی محیط؛ اطلاع رسانی؛ حمایت سیاسی از کشورهای درگیر؛ مشارکت سازمان‌های مسئول؛ تحریم تولید این گونه سلاح‌ها.

**کلمات کلیدی:** اثرات زیست محیطی، اورانیوم ضعیف شده، سلاح‌های اورانیومی، منابع طبیعی

### مقدمه

این مواد جانبی که مجموعاً اورانیوم فقیر شده (Depleted Uranium) (DU) نامیده می‌شوند، حاوی حدود ۰/۳٪ اورانیوم ۲۳۵ بوده و باقی‌مانده آن عمدتاً اورانیوم ۲۳۸ می‌باشد و بنابراین، نسبت اورانیوم فقیر شده به اورانیوم غنی شده در آن حداقل ۷ به ۱ است. به عبارت دیگر اگر ۸ کیلوگرم اورانیوم طبیعی وارد فرایند غنی‌سازی گردد، یک کیلوگرم اورانیوم غنی شده و ۷ کیلوگرم اورانیوم فقیر شده بدست می‌آید (۱).

اورانیوم قبل از آنکه به عنوان سوخت سلاح‌ها و یا رکتورهای هسته‌ای به کار گرفته شود، بایستی با روش‌های مختلف غنی‌سازی گردد. مراحل غنی‌سازی اورانیوم مستلزم تبدیل آن به حالت گازی (UF<sub>۶</sub>) است و به دو روش انتشار گاز و سانتریفوژ قابل انجام است. طبیعی است محصول چنین فرآیندی فقط اورانیوم غنی شده (دارای بیش از ۳/۲٪ اورانیوم ۲۳۵) نبوده و مواد جانبی نیز تولید می‌شوند.

۱- دانشیار، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، دانشکده پزشکی، گروه فارماکولوژی و سم‌شناسی، مرکز تحقیقات آسیب‌های شیمیائی (\*نویسنده مسئول)

۲- کارشناس، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)

۳- استادیار، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، پژوهشکده طب نظامی، مرکز تحقیقات بهداشت نظامی

## یافته‌ها

گذشت قرن‌های متمادی نشان داده است که جنگ‌ها علاوه بر نابودی انسان‌ها باعث تخریب کلی محیط زیست نیز شده است. تخریب محیط زیست به عنوان راهکاری برای پیروزی در نبرد و وسیله‌ای تنبیهی علیه رقیب استفاده شده است. با پیشرفت روز افزون فن‌آوری‌های جنگی و تاثیرات آنها بر محیط زیست شدیدتر گردیده است. استفاده از اورانیوم ضعیف شده در گلوله‌های توپ به صورت آلیاژ است. زیرا نفوذ آن را در هدف میسر می‌سازد. از این رو و چگالی این گلوله‌ها بسیار زیاد بوده و به نحوی که  $\frac{1}{7}$  برابر سرب نیز می‌رسد.

گلوله با اصابت به هدف و سوخته و اکسید اورانیوم را به هوا رها می‌کند. استنشاق اورانیوم مسموم کننده بوده و بنابر این رادیواکتیو موجود در آن فوق‌العاده خطرناک است. زباله‌های سمی حاصل از تسلیحات نظامی تهدید بزرگی برای سلامت و محیط زیست مردم محسوب میشوند. میزان مواد سمی بر جای مانده از ساخت انبار و آزمایش جنگ افزارهای شیمیایی، بیولوژیکی و سلاح‌های مرسوم، میلیون‌ها کیلومتر مربع زمین را اشغال کرده اند که باعث آلودگی محیط زیست می‌شوند. چنین فجایع اکولوژیکی علاوه بر اثرات لحظه‌ای بر انسان، حیات گیاهان و جانوران را تهدید می‌کند و باید گفت هیچ شیئی از اثرات مخرب این سلاح در امان نخواهد بود و بدیهی است که این عوامل سبب اختلال در زندگی انسان بطور مستقیم و یا غیر مستقیم خواهند شد (۴).

### سلاح‌های اورانیوم فقیر شده

سلاح‌های DU مؤثرترین سلاح‌های جدیدی هستند که در جنگ دوم خلیج فارس علیه اهداف زرهی عراق مورد استفاده قرار گرفته‌اند. میزان DU استفاده شده در این جنگ به حدود ۱۶۵۰۰۰۰ - ۱۴۷۴۰۰۰ کیلوگرم می‌رسد که ۱۴٪ آن توسط نیروهای زمینی و بقیه توسط هواپیماها و هلی‌کوپترها شلیک شده‌اند که فعالیت کلی آن‌ها حدود ۳۶۰-۳۲۰ کوری و فعالیت آلفای آن‌ها نیز ۱۲۰-۱۳۰ کوری بوده است (۵).

در زمان برخورد به هدف ۷۰-۲۰ درصد گلوله DU می‌سوزد و یک توده غبار معلق و سمی و مواد رادیواکتیو تولید می‌کند که باعث آلودگی خاک و هوا در محدوده ۵۰ متری هدف می‌شود. تشعشع ناشی از ذرات معلق رادیواکتیو یک گلوله تانک پنج برابر مقادیر این

آزمایش‌های ارتش آمریکا نشان داده است که حدود ۷۰-۱۸٪ یک گلوله اورانیوم فقیر شده در اثر انفجار سوخته و به اکسید تبدیل می‌شود که به صورت ذرات بسیار ریزی در محل اصابت به هدف پراکنده می‌گردد (۲).

یکی دیگر از راه‌های انتشار این ذرات پراکنده شدن آن‌ها در آب است. آن دسته از ذراتی که می‌توانند در آب‌های سطحی یا زیرزمینی پراکنده شوند، از طریق نوشیدن یا هنگام استفاده از چنین آب‌های آلوده‌ای برای شستشو و یا حتی استفاده‌های دیگر باعث انتشار آلودگی می‌شوند. نتیجه نهایی آلودگی آب یا هوا با DU، باقی‌مانده DU در خاک خواهد بود. پس از آن، DU آن قدر در خاک می‌ماند تا توسط عامل دیگری جابجا شده و باعث گسترش آلودگی شود. با توجه به نیمه‌های بالای DU (حدود ۴/۵ میلیارد سال)، حذف طبیعی DU از محیط غیرممکن است. لازم به ذکر است که هیچ گونه پروژه آلودگی‌زدایی در عراق یا کویت انجام نشده است (۳).

اورانیوم فقیر شده که به عنوان یک محصول فرعی غنی‌سازی اورانیوم تولید می‌گردد باید یک زباله رادیواکتیو و سمی به حساب آمده و تحت مراقبت‌های خاصی جمع‌آوری و دفع گردد. با توجه به خصوصیات شیمیایی متفاوت خاک‌ها و صخره‌ها، در محیط‌های مختلف، اثرات DU متفاوت خواهد بود. گلوله‌هایی که به زمین‌های رسی برخورد می‌کنند معمولاً دست نخورده باقی می‌ماند و اثرات ناچیزی روی خاک‌ها و محیط اطراف و آب‌های سطح زمین دارند، در صورتی که اگر محل برخورد ماسه کوارتز باشد این گلوله‌ها به سرعت فرسایش پیدا کرده آب‌های سطحی را آلوده می‌کنند.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه بر مطالب متعدد موجود در خصوص اثرات زیست محیطی سلاح‌های اورانیومی جستجوی کتابخانه‌ای و اینترنتی انجام گرفت. با کلمات کلیدی (DU) Depleted Uranium ، Impact ، natural resource ، environmental در اینترنت در سایت rose-net ، google از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۵ جستجوی مقالات و تحقیقات انجام شد. تعداد ۲۰ مقاله به صورت full text بدست آمد و از آنها در تنظیم مقاله استفاده گردید.

می‌تواند باعث پرتوگیری موضعی بدن شود، همچنین آب‌های منابع آب محلی (چشمه‌ها و چاه‌ها) که آلوده به DU شده‌اند، می‌توانند باعث آلودگی داخلی وسیعی شوند. بچه‌های کوچک که در محیط خاک آلوده به بازی می‌پردازند، چون بیشترین احتمال آلودگی را دارد، باید نکات بهداشتی رعایت شود.

قسمت عمده اطلاعات در زمینه DU با توجه به وضعیت مناطق آموزشی و تست سلاح در ایالات متحده به دست آمده که البته وضعیت این مناطق با آنچه در عراق یا کوزوو وجود دارد کاملاً متفاوت است، چون میزان DU مورد استفاده در این مناطق در حدود ۷۰-۱۵۰ تن در هر منطقه بوده است. در صورتی که در جنگ خلیج فارس بیش از ۳۰۰-۴۰۰ تن بوده و در کوزوو مقدار DU استفاده شده در منطقه هدف تا اندازه‌ای کمتر بوده است (این تخمین بر مبنای اطلاعات ناتو در مورد جنگ خلیج فارس و بالکان ارائه شده ولی تأیید نشده است). DU نظیر هر نوع اورانیوم دیگری، در محیط پراکنده می‌شود با این تفاوت که افزودن ۰/۷۵٪ تیتانیوم به آن احتمالاً باعث کاهش میزان اکسیداسیون آن تا حدود ۱/۱۶ برابر می‌شود (۹).

پس از حمله‌ای که در آن از مهمات DU استفاده شده، این ماده به صورت قطعات فلزی، ذرات ریز، غبار و نیز ذرات اکسید اورانیوم در سطح زمین قرار می‌گیرد. بیشتر گلوله‌هایی که به زمین نرم ماسه‌ای یا خاک رس برخورد می‌کنند، احتمالاً حدود ۵۰ سانتی‌متر در زمین فرو رفته و برای مدتی طولانی در آن جا باقی می‌مانند.

گلوله‌هایی که به اهداف زرهی یا زمین‌های سخت و سنگی برخورد می‌کنند، در محل برخورد متلاشی می‌شوند. قطعات و تکه‌های بزرگتر DU در سطح زمین دست نخورده باقی می‌مانند ولی ذرات ریزتر و غبار DU به تدریج توسط آب، حشرات و حتی کرم‌ها به قسمت‌های زیرین سطح خاک منتقل می‌شوند. باد، آب باران یا آب‌های جاری در سطح زمین ممکن است ذرات ریز DU را جابجا کنند. قسمتی از این ذرات ریز به سطح ذرات خاک خصوصاً ذرات رس و مواد آلی می‌چسبند و در نتیجه امکان جابجایی کمتری پیدا می‌کنند.

با توجه به خصوصیات شیمیایی متفاوت خاک‌ها و صخره‌ها، در محیط‌های مختلف، اثرات DU متفاوت خواهد بود. گلوله‌هایی که به زمین‌های رسی برخورد می‌کنند معمولاً دست نخورده باقی می‌ماند و اثرات ناچیزی روی خاک‌های اطراف و آب‌های سطح زمین دارند.

استانداردها است. وقتی که آلودگی توسط هوا جابجا شود حدود ۴۰ هکتار از منطقه غیرقابل سکونت خواهد بود.

ارتش آمریکا طی دستوالعمل‌هایی به سربازان می‌آموزد که چگونه با مجروحین، کشته‌ها و اهداف منهدم شده و آلوده به مواد رادیواکتیو برخورد کنند. به دلیل اینکه در جنگ خلیج فارس نیروهای آمریکایی برای محافظت خود در مقابل آلودگی DU آموزش ندیده بودند. احتمال آلودگی با غبار DU (در نتیجه انفجارات جبهه نبرد و آتش‌سوزی اتفاقی) (۶). در میان حدود ۴۰۰۰ نفر از سربازان آمریکا وجود داشته است. محاسباتی که بر مبنای اثرات شناخته شده سلاح‌های DU انجام شده‌اند، نشان می‌دهند که فقط در طی پنج روز جنگ و یا ۲۰ دقیقه در معرض غبار DU قرار گرفتن، این امکان وجود دارد که تا حد استانداردهای هسته‌ای و در مواردی چندین برابر بیشتر از استانداردهای مربوط به عموم (برای دریافت فلزات سنگین)، اورانیوم در کلیه‌ها تجمع یابد. تماس با گلوله‌های استفاده نشده DU خطر نسبتاً کمی دارد. چون مقادیر جذب اشعه‌های بتا و گامای ساطع شده از اورانیوم و شکست محصولات آن‌ها در خارج از بدن نسبتاً کم هستند (۷).

#### اثرات اکولوژیک (Depleted Uranium) DU

اورانیوم در پوسته زمین در مقایسه قابل ملاحظه‌ای قرار دارد و حتی فراوانی آن از عنصر طلا بیشتر است و بدین ترتیب می‌تواند به صورت ترکیبی با عناصر دیگر وارد چرخه غذایی حیوانات و انسان‌ها شود، حتی آب‌های رودخانه‌ها و چشمه‌ها و چاه‌ها حاوی مقادیر قابل اندازه‌گیری اورانیوم می‌باشند که البته در نقاط مختلف جغرافیایی غلظت‌های کاملاً متفاوتی دارند. انسان‌ها روزانه بسته به نوع رژیم غذایی مقداری اورانیوم وارد بدن خود می‌نمایند و سپس از طریق ادرار دفع می‌شود، با اندازه‌گیری غلظت اورانیوم ادرار می‌توان به برآوردی از میزان اورانیوم مصرف شده دست یافت (۸).

#### متمرکز شدن DU در سطح زمین

پس از توقف درگیرهای نظامی در یک منطقه که طی آن سلاح‌های DU مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به تدریج ساکنین آن به منطقه بازگشته و فعالیت عادی و زندگی معمولی خود را آغاز می‌کنند، زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند و حیوانات اهلی به چرا در مراتع و چراگاه‌ها برده می‌شوند. در این هنگام است که غبار DU می‌تواند استنشاق و یا بلعیده شود، به علاوه قطعات درشت DU

در PHهای بالاتر اورانیوم حل شده به طور عمده به صورت ترکیب کربنات اورانیل وجود دارد. واکنش‌های بین خاک موضعی و آب سطحی ممکن است بر غلظت اورانیوم جابجا شده در آن قسمت از خاک اثر داشته باشند. این واکنش‌ها شامل رسوب مواد معدنی، اورانیوم ثانویه، تعویض یون اورانیوم روی ذرات رس و جذب سطحی مخصوص یون‌های اورانیوم روی سطوح ذرات معدنی هستند. همه انواع واکنش‌های انتقال جرم می‌توانند غلظت اورانیوم را در آب‌های سطحی که در حال گذر از قسمتی از خاک هستند، کاهش دهند (۱۴).

مسئله فرسایش گلوله‌های DU توسط اریکسون و همکارانش در سال ۱۹۹۰ بررسی شد. آن‌ها دریافتند که این گلوله‌ها به اکسیدهای هیدراته اورانیوم، که بسیار در آب محلولند، اکسید می‌شوند. همچنین اریکسون دریافت در خاک اسیدی احتمالاً به علت واکنش‌های جذب سطحی، میزان حرکت مولکول‌های اورانیومی کاهش می‌یابد. آن‌ها در خاک‌های مختلف، ظرفیت‌های جذب را بررسی کرده و دریافتند خاک‌های حاوی کربنات احتمالاً به دلیل تشکیل اورانیل کربنات‌هایی نظیر  $UO_2CO_3$ ،  $UO_2CO_3 \cdot 2H_2O$ ،  $UO_2(CO_3)_2$ ، کمترین ظرفیت نگهداری اورانیوم را دارند.

تحت شرایط هوازی، آهن می‌تواند نقش عمده‌ای در کنترل حرکت اورانیوم در داخل خاک داشته باشد. اورانیوم به بسیاری از مواد معدنی دارای آهن در خاک پیوند می‌شود. این جذب (و تشکیل کمپلکس) توسط ترکیبات آلی، حرکت اورانیوم را درون خاک به میزان چندین برابر کاهش داده تا حدی که ممکن است اورانیوم در خاک ثابت شود.

در محیط‌های مرطوب طول عمر یک کیلوگرم اورانیوم که به قطعات یک گرمی تقسیم شده باشد، حدود ۴۱۰ سال خواهد بود. برای یک گلوله DU که به عنوان مهمات تانک استفاده می‌شود و جرمی معادل ۱/۳۴۵ kg دارد. طول عمر حدود ۲۱۰۰ سال خواهد بود. در هر کدام از این حالات، فقط پس از چند ساعت، میزان  $UO_2$  در حدود چند میکروگرم اورانیوم در هر لیتر آب خواهد بود.

برای شرایط آبی، نظیر آنچه که در شرایط آب‌های سطحی وجود دارد، میزان فرسایش در مقایسه با اکسیداسیون اتمسفری، بیشتر است (۱۵).

در صورتی که اگر محل برخورد، ماسه کوارتز باشد، این گلوله‌ها به سرعت فرسایش پیدا کرده، آب‌های سطحی را آلوده می‌کنند. اگر محل برخورد، سایر انواع خاک‌ها باشد، گلوله‌ها و ذرات DU به نسبت‌های متفاوتی فرسایش پیدا می‌کنند که به نوع سنگ زیر لایه خاک بستگی دارد. اگر خاک از گرانت اکسید شده یا سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تشکیل شده باشد، به دلیل ماهیت اسیدی محیط اطراف ذرات اورانیومی، فرسایش ممکن است فرسایش سریع انجام شود. از طرف دیگر، اگر سنگ زیر لایه خاک آهکی، صخره آذرین یا آتشفشانی قلیایی باشد. DU ممکن است از فرسایش مصون بماند. باران‌های اسیدی نیز فرآیند فرسایش را تسریع می‌کنند (۱۰).

قطعات بزرگ DU در صورت تعیین محلشان می‌توانند جمع‌آوری شوند در غیر این صورت تنه‌راهی که ممکن است این قطعات جابجا شوند، از طریق جابجایی تدریجی به وسیله باران و یخ‌های در حال ذوب است. حرکت DU به درون خاک آهسته است، به طوری که در یک منطقه مورد مطالعه مقدار اورانیوم، در پنج سانتی متر فوقانی خاک حدود ۳۰ برابر بیشتر از عمق ۱۰-۵ سانتی متری آن است، در نتیجه ممکن است زمان مدیدی (حدود چند صد سال) لازم باشد، تا آلودگی DU از سطح خاک به طور کامل محو شود (۱۱).

#### فرآیند شیمیایی انتقال DU در زمین

اورانیوم در مقایسه با انواع اکسیدهایش، پایداری کمتری دارد در نتیجه در مجاورت اتمسفر زمین با ظرفیت‌های متفاوتی با اکسیژن هوا ترکیب می‌شود. میزان اکسیداسیون به دمای محیط، اندازه و شکل قطعات، وجود یا عدم وجود لایه حفاظتی و همچنین وجود مواد دیگر در آب و خاک وابسته می‌باشد. ذرات اورانیومی که از قطعات ریز و درشت اورانیوم جدا می‌شوند، درون خاک به صورت یون‌های  $U^{+2}$  در آب جابجا می‌شوند و تحت شرایط احیاء بیشتر اورانیوم جامد و نامحلول می‌باشد (۱۲).

امکان جابجایی اورانیوم در محیط، وابسته به خصوصیات شیمیایی خاک و آب موجود در خلل و فرج آن، همچنین محصولات حاصل از اکسیداسیون DU می‌باشد. میزان جابجایی محصولات اورانیومی حل شده نیز به جنس زمین، PH و حضور لیگاندهای کمپلکس‌ساز، در آب‌های سطحی وابسته می‌باشد. به خاطر تشکیل کمپلکس در محیط آبی که لیگاندهای معمول موجود در آب را در برمی‌گیرند. اورانیوم شش ظرفیتی از اورانیوم چهار ظرفیتی تحرک بیشتری دارد (۱۳).

## نشست به درون آب‌های زیرزمینی

اورانیوم حل شده در آب‌های درون خاک نفوذ کرده و تا رسیدن به آب‌های زیرزمینی حرکت می‌کند. اینکه آیا اثر DU بر آب‌های زیرزمینی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار باشد یا نه بستگی به مقدار اورانیوم افزوده شده به آب زیرزمینی، اندازه مخزن آب زیرزمینی، عمق مخزن و میزان جریان آب در درون این مخزن دارد. معمولاً خاک‌های مختلف، تخلخل ۳۰-۴۵ درصدی دارند. یعنی هر متر مکعب از خاک ظرفیت حدود ۳۰۰-۴۰۰ لیتر آب (در ناحیه آب‌های زیرزمینی) دارد. ضخامت ناحیه خاکی دارای آب در زیرزمین از چند سانتی‌متر تا چندین متر می‌تواند متفاوت باشد. میزان جریان افقی آب در داخل خاک معمولاً بین ۱۰۰-۱ سانتی‌متر در روز و در خاک رس حدود ۰/۰۱ سانتی‌متر در روز است. اما میزان جریان آب در صورت برداشت با پمپ از منبع آب زیرزمینی، افزایش خواهد یافت. از این رو، آلوده‌سازی آب زیرزمینی توسط مولکول‌های اورانیوم که از سطح قطعات اورانیومی موجود در خاک آزاد می‌شوند، بستگی به مقدار اورانیوم آزاد شده، میزان نفوذ، حجم مخزن آب زیرزمینی، جریان آب و حجم آبی که از مخزن پمپ می‌شود، دارد (غلظت اورانیوم در آب‌های زیرزمینی ۱۲-۰/۰۱ mg/l برآورد می‌شود). اگر فرض کنیم ضخامت لایه خاکی دارای آب، سه متر، ناحیه آلوده شده ۱۰۰۰ متر مربع، مقدار کلی DU، ۱۰ کیلوگرم، نشست DU حدود ۱۰٪، محتوای آب آن ناحیه از خاک ۳۰٪ و میزان دریافت آب ۴۰ متر مکعب در سال باشد، آن‌گاه حجم آب موجود برای رقیق‌سازی DU حدود ۹۰۰ متر مکعب و غلظت اورانیوم در آب یک گرم به ازای هر متر مکعب خواهد بود (۱۶).

بارش باران ۵۰۰ میلی‌متر در مدت یکسال باعث افزودن ۵۰۰ متر مکعب به ناحیه مورد نظر می‌شود که باعث تعویض کلی آب منبع می‌شود و لذا می‌توان گفت که غلظت اورانیوم در آب در همین سطح باقی می‌ماند. غلظت یک گرم به ازای هر متر مکعب بسیار بالاتر از استانداردهای بهداشتی قابل قبول بوده است. در این غلظت اثرات سمی آن نمی‌توانند نادیده گرفته شوند. اگر مصرف روزانه یک فرد ۱/۵ لیتر در روز باشد، میزان ۱/۵ گرم اورانیوم در طول یک سال وارد بدن او خواهد شد. صرف نظر از اثرات شیمیایی ورود ۱/۵ گرم اورانیوم به بدن باعث پرتوگیری ۱/۵ میلی‌سیورت در سال می‌شود (۱۷).

## جذب اورانیوم توسط حیوانات

اطلاعات موجود درباره اثرات اورانیوم روی حیوانات موجود در مزارع ناچیزند، به نظر می‌رسد آلودگی خاک‌های سطحی با ترکیبات عمدتاً نامحلول اورانیوم و خوردن خاک توسط حیوانات چرنده از مهمترین فاکتورهای مؤثر می‌باشند. مطالعات زیادی بر روی میزان ورود اورانیوم به بدن حیوانات از طریق اورانیوم جذب شده در بافت گیاهان انجام گرفته است.

روزانه گاوهای در حال چرا حدوداً ۵۰۰ گرم خاک را به همراه علف می‌خورند. اگر فرض کنیم وزن هر گاو ۴۰۰ کیلوگرم باشد، مقدار خاک مصرف شده به ازاء هر کیلوگرم وزن بدن ۱/۲۵ گرم خواهد بود. بزها در چرا کردن بسیار دقیق هستند، به طوری که فقط قسمت‌های بالایی علف‌ها را می‌خورند لذا برای بزها، خوردن خاک قابل اغماض است. اگرچه اطلاعات دقیقی در مورد میزان خوردن خاک در گوسفندان و خوک‌ها وجود ندارد. ولی این طور تصور می‌شود که گوسفندان در مقایسه با گاوها میزان خاک بیشتری را نسبت به وزن خود می‌خورند چون علف‌ها را از قسمت‌های پایین‌تر می‌خورند. به طور متوسط گفته می‌شود که گوسفندان ۴-۲ برابر بیشتر از گاوها (به نسبت وزن بدن خود) خاک می‌خورند برای گوسفندی که ۷۰-۵۰ kg وزن دارد این مقدار حدود ۵۰-۱۲۵ gr خاک در هر روز خواهد بود. خوک‌ها نیز بیش از گاوها هنگام چریدن، خاک می‌خورند. اگر این نسبت دو برابر باشد، برای یک خوک ۲۰۰ کیلوگرمی میزان خاک دریافتی تقریباً ۵۰۰ گرم خواهد بود.

شروع اثرات سوء برای گاو و گوسفند به ترتیب با مصرف روزانه ۴۰۰ میلی‌گرم و ۵۰ میلی‌گرم (که برای یک میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن آن‌هاست) مشاهده می‌شود. این مقداری است که برای سایر گونه‌ها نیز ذکر شده است. اثرات خطرناک شدیدتری ممکن است در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن مشاهده شوند، بنابراین، برای جلوگیری از وقوع این اثرات در گاو، غلظت اورانیوم باید از ۴۰۰ میلی‌گرم اورانیوم در ۵۰۰ میلی‌گرم خاک کمتر باشد و در بدترین حالت برای گوسفندان غلظت اورانیوم در خاک نباید بیش از ۵۰۰ میلی‌گرم در ۵۰۰ گرم یا کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم اورانیوم در هر کیلوگرم خاک باشد. مطالعات دیگر بر روی حیوانات کوچک و بی‌مهرگانی که در مناطق آلوده به

اما متأسفانه پاکسازی محیط توسط طرف پیروز یا طرف مغلوب بعید به نظر می‌رسد زیرا از یک طرف هزینه زیادی را می‌طلبد و از طرف دیگر می‌تواند به تخریب بیشتر محیط زیست منجر شود، چون خاک آلوده باید از روی زمین جمع‌آوری و بسته‌بندی گردد و به عنوان زباله رادیواکتیو با آن رفتار شود، این دستورالعملی است که ایالات متحده در داخل خاک خود در مناطقی که آلوده به DU بوده‌اند به کار می‌بندد و اگر فرض شود منطقه آلوده دارای خاک مرطوب باشد، باید لایه فوقانی خاک تا عمق قابل ملاحظه‌ای جمع‌آوری شود که نتایج وخیمی را به بار خواهد آورد و این کاملاً هویداست به علاوه، هزینه این عملیات سر به ده‌ها میلیارد دلار می‌زند.

### آلودگی زدایی

ضرورت انجام آلودگی زدایی، زمان و چگونگی آن در مناطق آلوده باید در هر مورد به صورت جداگانه بررسی شود و با توجه به شرایط محیطی و چگونگی محافظت افراد در مقابل آلودگی DU نسبت به آن تصمیم‌گیری گردد. اگر آلودگی به آسانی قابل تشخیص باشد (بیانگر میزان بالای آلودگی است) کارگران باید ملبس به لباس‌های محافظتی و ماسک شده و منطقه با روش‌های مناسب آلودگی زدایی شود. دستگاه‌های لازم برای آلودگی زدایی با توجه به نوع منطقه انتخاب شوند و ضمن محافظت کارگران از آلودگی DU، برنامه‌ریزی یعنی برای نگهداری مواد زائد رادیواکتیو پس از آلودگی زدایی ارائه شود (۲۰).

### پاکسازی محیط

برای پاکسازی یک منطقه می‌توان از یک یا چند روش زیر استفاده کرد:

برداشت و جابجایی خاک آلوده، جداسازی فیزیکی، جداسازی شیمیایی و تثبیت آلودگی درمحل. به جزء روش اخیر، سایر روش‌ها نیازمند عملیات بر روی خاک آلوده و جابجایی آن است که خطرات خاص خود را برای کارگران به دنبال خواهد داشت. در جداسازی فیزیکی از خصوصیات فیزیکی مثل وزن حجمی، اندازه و شکل قطعات برای جداسازی از خاک استفاده می‌شود. این روش می‌تواند به ساده‌ترین روش اجرا شود، یعنی کارگران قطعات DU را با دست بردارند یا از تکنولوژی‌های پیچیده استفاده شود. مثل رسوب دادن، سانتریفوژ کردن، از صافی گذراندن و استفاده از روش اسموز معکوس (۲۱).

DU زندگی می‌کنند، محدودند. وین و همکارانش در سال ۱۹۷۹ گزارش کردند که حیوانات نقب‌زننده کوچک که در مرکز آزمایش سلاح در فلوریدا گیر افتاده بودند. در محتویات دستگاه گوارش خود حدود ۲۱۰ ppm، در بافت پوستی حدود ۲۴ ppm و در باقی‌مانده لاشه آن‌ها ۴ ppm، DU وجود داشت (۱۸).

### جذب اورانیوم توسط گیاهان

آلودگی گیاهان می‌تواند از طریق خاک آلوده، آب آلوده یا هوای آلوده رخ دهد. گیاهان با اینکه جذب محدودی برای اورانیوم داشته ولی با غلظت‌های بالای اورانیوم در خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرند. مطالعاتی که روی گندم و علف انجام شده نشان داده است که اورانیوم به ترتیب عمدتاً در ریشه‌ها، شاخه‌ها و نهایتاً دانه‌ها تجمع می‌یابد. گیاهان به نسبت جانوران در مقابل تشعشع مقاومت بیشتری دارند. در مطالعه‌ای که توسط وین و همکاران در سال ۱۹۷۶ انجام شد، اثر اورانیوم بر گیاهانی که در یکی از مراکز آزمایش سلاح‌های DU رشد کرده بودند، بررسی شد. میزان اورانیوم ریشه‌ها بسیار بالا بود، شاید به علت ذرات کوچک موجود در خاک و احتمالاً به خاطر اورانیومی است که به ریشه گیاهان می‌چسبد. علاوه بر این کلونیدهای اورانیوم که دیده نمی‌شود ممکن است به خوبی جذب سطح ریشه‌ها شود. این بدان معنا است که اشخاصی که سبزیجات ریشه‌ای مصرف می‌کنند، در صورت رویش این سبزیجات در زمین‌های آلوده ممکن است مقادیر قابل ملاحظه‌ای اورانیوم را بخورند، بررسی و برآورد دقیق اثرات این خطر به مطالعه و تحقیق بیشتری نیاز دارد. جین و همکاران در سال ۱۹۹۷ گزارش کردند که رشد و محصول دهی گیاه گندم که در زمین آلوده به اورانیوم کشت شده به طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد، تعداد خوشه‌ها، تعداد دانه‌های موجود در خوشه‌ها و نیز وزن دانه‌ها به شدت کمتر از معمول بوده است (۱۹).

### نتیجه‌گیری

در میدان نبرد هر دو طرف متخاصم در معرض دریافت و استنشاق غبار اورانیوم فقیر شده هستند و عوارض آن دامن‌گیر هر دو طرف خواهد شد. خصوصاً نبردهایی که پس از درگیری اولیه وارد منطقه نبرد می‌شوند تا به تثبیت مواضع پیردازند از این مشکل در امان نمی‌باشند.

شیمیایی خاصی را به خاک اضافه نمود تا با اورانیوم ترکیب شود و آنرا در شرایط مختلف محیطی غیرمحلول سازد. ضعف عمده این روش آن است که اورانیوم داخل خاک باقی می ماند و ممکن است در شرایط خاصی که غیرقابل پیش بینی است دوباره به صورت قابل حل درآمده و در محیط جابجا شود(۲۲).

جداسازی شیمیایی اورانیوم از خاک مشابه روش های جداسازی سایر فلزات سنگین مثل سرب، طلا و نقره در صنعت و معدن کاری است. در این روش یک حلال از داخل خاک عبور داده می شود تا فلز راه حل کند، سپس ترکیب شیمیایی محلول به صورتی تغییر داده می شود که باعث جداسازی و رسوب فلز می شود. در مواردی که لایه کم عمقی از خاک، آلوده شده است، می توان ماده

## References

- 1- Diehl, Peter. Depleted Uranium: a by-product of the Nuclear Chain Laka Foundation May 1999; Available in: <http://www.informationclearinghouse.info/article4406.htm>.
- 2- Dan Fahey. Depleted Uranium Weapons: Lessons from the 1991 Gulf War. Available in: <http://www.informationclearinghouse.info/article4406.htm>
- 3- Durakovic A. Development of Depleted Uranium Training Support Packages: Tier I - General Audience; U.S. Army Chemical School; October, 1995.P: 5-6.
- 4- Bleeise A. Encyclopedia of occupational health and safety;3rd Edition,vol2;1998.P:2238.
- 5- Durante M. environmental exposure report; Depleted uranium in the gulf; office of the special assistant for gulf war illnesses; u.s. department defenece;july31,1998.P:13.
- 6- Federally sponsored research on Persian gulf veterans illness; annual report to congress of the research working group of the Persian gulf veterans coordinating board;April,1997;p.A-64.
- 7- Army Technical Bulletin 9-1300-278: Guidelines for Safe Response to Handling, Storage, and Transportation Accidents Involving Army Tank Munitions or Armor Which Contain Depleted Uranium. Retrieved on July 25, 2006.
- 8- Bem H, Bou-Rabee F. Environmental and health consequences of depleted uranium use in the 1991 Gulf War. Environ Int 2004 Mar;30(1):123-34.
- 9- Miller A C Primary areas of Du expenditure; Map released by u.s. department of defiance. November 19, 1998.
- 10- Brent Hunsberger. Sandia says nearly all uranium-tainted sites cleaned; the Albuquerque (NM) tribune; june10,1995.
- 11- Richard fahlander. Starmet cleanup proceeds on target; the conserd (MA) journal;octobr2,1997.
- 12- Durante M. Summation of ARDEC test data pertaining to the oxidation of depleted uranium during battlefield conditions; u.s. Army armament research, development, and engineering center (ARDEC);8March,1991.p1.
- 13- Melissa Mc Diarmid et al. Health Effects of Depleted Uranium on Exposed Gulf War Veterans. Environmental Research section A. 2000; 82:168-180.
- 14- Bou-Rabee F. u.s. code of federal regulations, standards for protection against radiation,1997.
- ۱۵- مدرسی سید محمد مهدی، پورحیدری غلام رضا. "اورانیوم فقیرشده، آثار و عوارض آن بر انسان و محیط زیست، انتشارات دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، ۱۳۸۳.
- 16- Depleted Uranium. Available in: <http://www.SID.ir>

//www.gulflink.osd.mil/faq\_17apr.htm

17-Depleted Uranium. Available in: [http://www.who.int/ionizing\\_radiation/env/du/en/](http://www.who.int/ionizing_radiation/env/du/en/).

18-J.P.mclaughlin, Public health and environmental aspects of DU, international congress series, 2005; 1276: 137-140.

19-B.Salbu,K.Janssens, O.c.lind, proost, L.gijsels and P.R.danesi,Oidation states of uranium in depleted uranium particles from Kuwait. J of environ Radio 2004; 78(2): 125-135.

20-A.Bleise,P.r.danesiandW.Burkart,Properties,use

and health effects of depleted uranium(DU): a general overview. J of environ radio 2003; 64(2-3): 93-112.

21-B.Salbu,K.Janssens,O.C Lind,Oxidation states of uranium in DU particles from Kosovo. J of environ radio 2003; 64(2-3): 167-173.

22-Umberto Sanson, Pier Roberto Danesi. Radioecological survey at selected sites hit by depleted uranium ammunicions during the 1999 Kosovo conflict. The science of the total environmental 2001;281(1-3):23-35.

Archive of SID



## Environmental effects of Uranium weapons

\*Pourheidary GH; Ph.D<sup>1</sup>, Fallah F; B.Sc<sup>2</sup>, Jonaidi N; MD<sup>3</sup>

### Abstract

**Background:** Depleted uranium (DU), which is one of the residues of enriched uranium, has military and nonmilitary usage. Effects of DU on environment depend on chemical composition of the soil and the rocks. Bullets fallen in the joining part of sand and quartz will erode faster and pollute the superficial waters. This article discusses production and usage of DU and its environmental effects and the means to decontaminate the environment.

**Methods and materials:** This study was a review article. Data and information were collected from libraries and Internet. Search word were, depleted uranium, environmental impact, natural resources in Rose net and google from 1997-2005. Search provided us with 20 full text articles.

**Results:** High percentage (50-96%) of suspended particles of Uranium Oxide that is produced when DU hits the aims are inhale able. Approximately, 52-83% of these particles are insoluble in pulmonary fluids. Particles with the size of 5 micron or lesser can enter the body via air or food. DU particles may contaminate air, water or soil and stay there till it is moved to contaminate other areas.

**Conclusions:** Suggested means to reduce contaminations are annual sampling of water resources, environmental decontamination, public awareness, political support of the involved countries, active participation of the responsible organizations, putting sanction on production of these weapons.

**Keywords:** Depleted Uranium, Environmental effects, Natural resources, Uranium weapons.

---

1- (\*Corresponding author) associated professor, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Faculty of medicine, Department of Pharmacology and toxicology and Research Center for Chemical Injuries

2- Bsc, Baqiyatallah University of Medical Sciences

3- Assistant professor, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Military Health Research Center