

## بررسی تأثیر اورانیوم روی اندام‌های حیاتی بدن

کیان یوسفی پور<sup>۱</sup>، سیمین جانی تبار درزی<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده مواد و سوخت هسته‌ای، صندوق پستی: ۸۳۶-۱۴۳۹۵، تهران، ایران.

Email: sjanitabar@aeoi.org.ir

### چکیده

آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مواد رادیواکتیو که از فرآوری کانسارهای حاوی اورانیوم، فرآیندهای تولید سوخت اورانیومی و یا نشت از راکتورهای هسته‌ای به وجود می‌آیند، یک تهدید جدی برای محیط زیست محسوب می‌شوند. ورود اورانیوم به زنجیره غذایی و یا تشعشعات زیان‌آور آن از نظر زیستی می‌تواند خطرناک باشد. اورانیوم و ترکیبات آن بعنوان یک آلاینده محیطی در حال ظهور می‌تواند بر بدن افرادی که به طور مستقیم با آن در تماس هستند تأثیر بگذارد. تأثیرهای زیان‌آور اورانیوم بر بدن به دو صورت شیمیایی و مواجهه پرتویی ایجاد می‌شوند. از مهمترین گروه‌های تأثیرپذیر، پرسنل شاغل در فرآیند استحصال اورانیوم، خانواده‌های ساکن در نزدیکی معادن اورانیوم و سربازانی هستند که در فعالیتهای نظامی احتمال تأثیر از آن را دارند. به واسطه محدود بودن افراد درگیر و محدودیت‌های احتمالی تحقیق، پژوهش‌های زیادی روی اثرات جانبی اورانیوم بر سلامت اندام‌های مختلف افراد صورت نگرفته است. چگونگی و مدت زمان قرار گرفتن در معرض این ماده، غلظت اورانیوم، سابقه بیماری و ژنتیک از مهمترین عوامل تأثیر گذار بر سلامت افراد درگیر هستند. در این مقاله مروری، اثرات جانبی اورانیوم بر روی اندام‌های حیاتی بدن شامل کلیه، ریه، سیستم عصبی، تولید مثل، قلب و عروق، چشم و دستگاه گوارش مورد بررسی قرار گرفته است. در مواردی از جمله دستگاه گوارش خوشبختانه اثرات جانبی خاصی مشاهده نشده ولی برای پیشگیری از بیماری‌های کلیوی و قلبی و عروقی نیاز به توجه و مراقبت‌های بیشتری است.

واژگان کلیدی: اورانیوم، اثرهای جانبی، اندام‌های حیاتی بدن، سمیت

# Investigation of Uranium effects on Body Vital Organs

K. Yousefipour<sup>1</sup>, S. Janitabar darzi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> *Nuclear Science & Technology Research Institute, Materials and Nuclear Fuel Research School, 14395-836, Tehran, Iran*

\* *Email: [sjanitabar@aeoi.org.ir](mailto:sjanitabar@aeoi.org.ir)*

## **Abstract:**

Environmental pollutions of radioactive materials which arise from the operations of uranium ore deposits, uranium fuel production process and nuclear reactors leaks are considered as a serious threat to the environment. The entry of uranium into the food chain or its harmful radiation can be biologically dangerous. Uranium and its compounds as an emerging environmental pollutant can affect the body of people who are in direct contact with it. The harmful effects of uranium on the body are caused by both chemical and radiation exposure. The most influential groups which are affected from uranium harmful effects are workers in the uranium mining process, families living near uranium mines, and soldiers who are affected by military activities. Due to the small number of people involved and the possible limitations of the researches, a few researches has been done on the side effects of uranium on the health of various organs. How and how long uranium exposure, uranium concentration, disease history and genetics are the most important factors affecting the health of the people involved. This review paper examines the side effects of uranium on vital organs including the kidneys, lungs, nervous system, reproduction, cardiovascular system, eyes and gastrointestinal tract. Fortunately, there are no specific side effects in case of the gastrointestinal tract, but more attentions and cares are needed to prevent kidney and cardiovascular diseases.

**Keywords:** Uranium, Side effects, Body organs, Toxicity

## مقدمه

اورانیوم یکی از عناصر شیمیایی است با عدد اتمی ۹۲ و نشانه شیمیایی U که در جدول تناوبی جزو آکتینیدها قرار می‌گیرد. ایزوتوپ  $^{235}\text{U}$  آن در نیروگاه‌های هسته‌ای به عنوان سوخت و در سلاح‌های هسته‌ای به عنوان ماده منفجره استفاده می‌شود. اورانیوم، به طور طبیعی فلزی سخت، سنگین، نقره‌ای رنگ و پرتوزا است. این فلز کمی نرم‌تر از فولاد بوده و تا حدی قابل انعطاف است. اورانیوم فلزی به صورت خالص از نظر شیمیایی فعال است و خواص مکانیکی بسیار ضعیفی دارد و یکی از چگال‌ترین فلزات پرتوزا است که در طبیعت یافت می‌شود. چگالی آن ۶۵٪ بیشتر از سرب و کمی کمتر از طلا است. سال‌ها از اورانیوم به عنوان رنگ‌دهنده لعاب سفال یا برای تهیه رنگ‌های اولیه در عکاسی استفاده می‌شد. خاصیت پرتوزایی آن تا سال ۱۸۶۶ ناشناخته ماند و قابلیت آن برای استفاده به عنوان منبع انرژی تا اواسط قرن بیستم کشف نشده بود [۱]. این عنصر از نظر فراوانی در میان عناصر طبیعی پوسته زمین در رده ۴۸ قرار دارد. اورانیوم در طبیعت بصورت اکسید و یا نمک‌های مخلوط در مواد معدنی (مانند اورانیت یا کارونیت) یافت می‌شود. اورانیوم طبیعی سنگین‌ترین (به بیان دقیقتر چگال‌ترین) عنصری است که در طبیعت یافت می‌شود و فلز خالص آن نیز به شدت آتش‌گیر است. اورانیوم خالص حدود ۱۸/۷ بار از آب چگال‌تر است و همانند بسیاری از دیگر مواد پرتوزا در طبیعت بصورت ایزوتوپ یافت می‌شود [۱، ۲].

اورانیوم ممکن است که از طریق تنفس یا بلع و یا در موارد استثنایی از طریق شکاف موجود روی پوست وارد بدن شود. اورانیوم توسط پوست جذب نمی‌شود و ذرات آلفای ساطع شده از این عنصر نمی‌توانند به پوست نفوذ کنند. بنابراین اورانیومی که خارج از بدن باشد نمی‌تواند به اندازه اورانیوم داخل بدن مضر و خطرناک باشد. اگر اورانیوم به بدن وارد شود ممکن است موجب سرطان شده یا به کلیه‌ها آسیب برساند.

تمام ترکیبات اورانیوم سمی و رادیواکتیو هستند و منجر به صدمات جبران‌ناپذیر کلیوی شده و در موارد حاد موجب از کار افتادگی کلیه و در نهایت مرگ موجود زنده می‌شوند. در تحقیقی که به تازگی انجام شده معدن چیان مرتبط با استخراج اورانیوم بیشتر از دیگران در معرض سرطان ریه و خون قرار دارند [۳]. تنفس غبار اورانیوم در هوا یا خوردن و آشامیدن آن با آب یا غذا منجر به ورود این عنصر به بدن فرد می‌شود. البته بیشتر ورود این یون از طریق خوردن آب و غذا صورت می‌گیرد. در صورتی که ترکیبات اورانیوم از طریق تنفس وارد بدن شوند در ریه‌ها رسوب می‌کنند و سپس تجزیه شده و از طریق جریان خون به کلیه‌ها می‌رسند [۴]. چندین اثر احتمالی بر سلامتی انسان با قرار گرفتن در معرض تشعشعات اورانیوم وجود دارد. از آنجا که تمام ایزوتوپ‌های اورانیوم بیشتر ذرات آلفا را با توانایی نفوذ کم منتشر می‌کنند، بنابراین خطر اصلی تشعشعات اورانیوم هنگام بلع یا استنشاق ترکیبات آن اتفاق می‌افتد. با این حال، کارگران در معرض مقادیر بالای اورانیوم در انبار یا در یک واحد فرآوری نیز در معرض تشعشعات اندک محصولات و ضایعات اورانیوم قرار دارند. افرادی که در مجاورت اورانیوم هستند احتمال بالای ابتلا به سرطان را در طول زندگی دارند. موارد سرطان ناشی از پرتو به طور کلی از دیگر سرطان‌های "طبیعی" قابل تشخیص نیست و سال‌ها پس از قرار گرفتن در معرض آن رخ می‌دهد. احتمال بروز سرطان ناشی از تشعشعات با افزایش مجاورت با اورانیوم افزایش می‌یابد. مقدار مجاز اورانیوم طبق استانداردهای WHO<sup>۱</sup> در حدود ۰/۶ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در هر روز است. همچنین بیشترین میزان اورانیوم مجاز در آب آشامیدنی از طرف WHO کمتر از ۹/۲ میلی‌گرم در هر لیتر اعلام شده است [۵]. در تحقیق پیش رو سعی بر آن است که نتایج تحقیقات انجام شده بر اساس

<sup>۱</sup> World Health Organization

سمیت اورانیوم و اثرات جانبی آن بر روی اندام‌های حیاتی بدن تشریح و بررسی شود.

## ۱. سمیت اورانیوم

### ۱-۱. اورانیوم تضعیف شده (DU)<sup>۲</sup>

اورانیوم طبیعی ترکیبی از سه ایزوتوپ  $^{234}\text{U}$ ،  $^{235}\text{U}$  و  $^{238}\text{U}$  است که از نظر رفتار شیمیایی مشابه هم هستند. اورانیوم تضعیف شده یک محصول جانبی اورانیوم غنی شده است که بیشتر ایزوتوپ شکافت پذیر  $^{235}\text{U}$  از آن خارج شده است. در این مطالعه جذب اورانیوم تضعیف شده در اندام‌های بدن مورد بررسی قرار می‌گیرد. اورانیوم در بدن به شکل محلول چهار ظرفیتی و شش ظرفیتی و همچنین همراه با یون‌های کربنات و پروتئین یافت می‌شود [۶]. جذب، توزیع، متابولیسم و حذف ترکیبات اورانیومی بستگی به مشخصات شیمیایی و فیزیکی آن دارد. پتانسیل سمیت این ترکیب در درجه اول به انحلال-پذیری آن بستگی دارد زیرا درجه حلالیت روی دوز دریافتی توسط بافت‌های مختلف اثر می‌گذارد.

### ۱-۲. جذب اورانیوم در اندام‌های بدن

جدول ۱ اطلاعات مربوط به جذب ترکیبات اورانیومی را براساس انحلال‌پذیری و نوع در معرض قرار گرفتن نمایش می‌دهد. در حالت کلی جذب ترکیبات اورانیومی همواره کم است بجز در مواردی که ذرات محلول وارد ریه شوند. جذب اورانیوم استنشاق شده توسط قطر آئرودینامیکی<sup>۳</sup> و حلالیت ذرات تعیین می‌شود. ذراتی که قطر آئرودینامیکی-شان بزرگتر از ۱۰ میکرومتر باشد در هنگام بازدم بیرون می‌آیند یا ممکن است در مجاری قدامی بینی بنشینند.

جدول ۱- جذب بر اساس نوع در معرض قرار گرفتن [۷]

نوع در معرض	جذب ترکیبات محلول (درصد)	جذب ترکیبات نامحلول (درصد)
استنشاق	۵ یا بیشتر	کمتر از ۱
گوارش	۰/۱-۲	۰/۰۱-۰/۲
تماس پوستی	کمتر از ۱	کمتر از ۱

این ذرات رسوب کرده در مجاری بینی که توسط تجهیزات مکانیکی هم از بین نمی‌روند، ممکن است به مجاری عقبی بینی جایی که عمل بلع اتفاق می‌افتد منتقل شوند. بخش کوچکی از ذرات استنشاق شده که در نایژه‌ها<sup>۴</sup> قرار می‌گیرند توسط مایع مخاطی که آن‌ها را از آنجا به حلق منتقل می‌کند، حرکت کرده و از آنجا وارد دستگاه گوارش می‌شوند. ذرات کوچکتر با اندازه کوچکتر از ۱۰ میکرومتر، به طور معمول در انتهای نایژه‌ها قرار می‌گیرند. ذرات محلول در ریه‌ها و غدد لنفاوی نایژه در طی چند روز به سیستم گردش خون بدن منتقل می‌شوند. ذرات کمتر محلول، به مدت هفته‌ها در بافت ریه و غدد لنفاوی باقی می‌مانند. ترکیبات نامحلول کمتر وارد سیستم گردش خون می‌شوند و ممکن است در غدد لنفاوی ریه و نایژه به مدت چند سال یا چند دهه باقی بمانند [۷]. بیشترین هواپخش<sup>۵</sup> اورانیوم استنشاقی از طریق دستگاه گوارش از دستگاه تنفسی پاک می‌شود، اما بخشی از آن به مایعات بدن جذب شده و در بدن پخش می‌شود. حلالیت در مایعات بدن مهمترین عامل در تعیین میزان جذب اورانیوم است. کمیسیون بین المللی حفاظت رادیولوژیک<sup>۶</sup> (ICPR) هواپخش‌های استنشاق شده را از نظر میزان جذب آنها در

<sup>۶</sup> International Commission on Radiological Protection

<sup>۲</sup> Depleted Uranium (DU)

<sup>۳</sup> Aerodynamic

<sup>۴</sup> Tracheobronchial

<sup>۵</sup> AEROSOL

بدن به سه نوع: سریع (F)، متوسط (M) و کند (S) طبقه‌بندی می‌کند.

ترکیبات اورانیوم نوع F شامل اورانیوم هگزا فلوراید، اورانیل فلوراید و اورانیل نیترات است. در اینجا از کسری که از طریق دستگاه گوارش دفع نمی‌شود، به طور معمول ۱۰۰٪ آن با نیمه عمر ۱۰ دقیقه جذب می‌شود. ترکیبات اورانیوم نوع M شامل اورانیوم تری‌اکسید، اورانیوم تترافلوراید، اورانیوم تتراکلرید و تری‌اورانیوم اکتاکسید است (دومی ممکن است تحت برخی شرایط مانند یک ترکیب نوع S رفتار کند، به خصوص اگر در دمای بالا تولید شود). در اینجا از کسری که از طریق دستگاه گوارش دفع نمی‌شود، ۱۰٪ با نیمه عمر ۱۰ دقیقه جذب می‌شود و ۹۰٪ باقیمانده با نیمه عمر ۱۴۰ روز جذب می‌شود. ترکیبات اورانیوم نوع S شامل اورانیوم دی‌اکسید (و همان‌طور که به آن اشاره شد، تری‌اورانیوم اکتاکسید تحت برخی شرایط) بوده و جذب آن‌ها بسیار کم و آهسته است. بیشتر هواپخش نامحلول به سرعت از طریق دستگاه گوارش دفع می‌شود و از مابقی آن، ۹۹/۹٪ با نیمه عمر ۷۰۰۰ روز (حدود ۱۹ سال) از دستگاه تنفسی جذب می‌شود. از بین ذرات معلق پاک شده از دستگاه تنفسی از طریق دستگاه گوارش، فقط ۰/۲٪ از ترکیبات نوع S یا ۲٪ از ترکیبات نوع F و M جذب می‌شوند [۸].

اورانیوم ممکن است از طریق خوردن غذا و آب وارد بدن شود. جذب اورانیوم در روده ضعیف است و فقط بخش کوچکی از اورانیوم بلعیده شده در روده جذب می‌شود. مشاهده‌های متعدد در انسان نشان داده است که کسر جذب اورانیوم محلول حدود ۱-۲٪ است و از اکسید نامحلول به طور تقریبی ۰/۱ آن جذب می‌شود [۹]. تا کنون جذب پوستی ترکیبات اورانیوم در انسان تحقیق نشده است، اما مطالعات حیوانی نشان می‌دهند که این ترکیبات می‌توانند به پوست نفوذ کنند. مقایسه نتایج مطالعه دشوار است زیرا از ترکیبات متفاوت استفاده شده است. گزارش شده است که مقادیر زیادی از

اورانیل نیترات، اورانیل فلوراید، اورانیوم پنتاکلرید، اورانیوم تری‌اکسید، سدیم دیورانات و آمونیوم دیورانات از طریق پوست جذب شده و باعث مسمومیت و مرگ در حیوانات می‌شوند. با این حال، اکسیدهای نامحلول اورانیوم دی‌اکسید، اورانیوم تتروکسید و تری‌اورانیوم اکتاکسید سمی نبودند. مطالعه بعدی اثر حلالیت آب در سمیت پوستی را تأیید کرد. در تحقیقی [۱۰] مشخص شد اورانیل نیترات و آمونیوم اورانیل تری‌کربنات از نظر کشندگی از اورانیل استات و آمونیوم دیانورات سمی‌تر هستند و با انجام روش‌های میکروآنالیز پرتو ایکس و SEM، حرکت اورانیل نیترات را از طریق پوست بررسی کردند. در این تحقیق، مناطق متراکم الکترون را می‌توان در قسمت بیرونی پوست ۱۵ دقیقه پس از عملیات مشاهده کرد و موادی که تراکم تجمع الکترون دارند را می‌توان در سلول‌های مویرگی ۲۴ ساعت بعد از عملیات مشاهده کرد. در این حالت ۴۸ ساعت پس از تست، هیچ اثری در پوست باقی نمی‌ماند.

## ۲. اثرهای سمی اورانیوم بر اندام‌های حیاتی بدن

### ۲-۱. تأثیر اورانیوم روی کلیه‌ها

از مهمترین اثرهای شیمیایی مرتبط با قرار گرفتن در معرض اورانیوم و ترکیبات آن، سمیت کلیه است. این سمیت می‌تواند ناشی از تنفس هوای حاوی غبارهای اورانیوم یا خوردن مواد حاوی اورانیوم باشد که سپس وارد جریان خون می‌شوند. با وارد شدن به جریان خون، ترکیبات اورانیوم توسط کلیه‌ها فیلتر می‌شوند که باعث می‌شوند به سلول‌های کلیه آسیب برسانند. مصرف بسیار زیاد اورانیوم (بسته به افراد مختلف از ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم) می‌تواند باعث نارسایی حاد کلیه و مرگ شود. قرار گرفتن در معرض غلظت بالای اورانیوم باعث تخریب مجاری بیرونی کلیه و در نتیجه بازسازی آن می‌شود. همچنین، سطوح بالای اورانیوم در کلیه‌ها موجب تکرر ادرار در فرد می‌شود. آسیب سلول‌های لوله‌ای با افزایش دفع

است [۷]. بالاترین غلظت اورانیوم وارد شده به بدن نتیجه بلع عمدی اورانیل استات بود که منجر به نارسایی حاد کلیه شد که به دیالیز نیاز داشت و بهبودی آرامی را به دنبال داشت. گلیکوزوری<sup>۱۲</sup> که به عارضه دفع و پیدایش گلوکز در [ادرار](#) اطلاق می‌شود، بیش از ۳۲ هفته تداوم داشت [۱۳]. گروهی دیگر در تحقیق‌شان در مورد مردی گزارش کردند که بیش از ۷۰ درصد بدن خود را با اورانیوم اکسید داغ (۱۰۸) درجه سانتیگراد) سوزانده بود. عملکرد کلیه این فرد طی ۶ روز بعدی بدتر شد و وضعیت بیمار ۷ روز پس از حادثه بحرانی شد. قرار گرفتن در معرض اورانیوم، بیشتر به صورت جذب از پوست بود. عملکرد لوله کلیه در طی یک ماه بهبود یافت. بیشترین غلظت اورانیوم در کلیه ۳۵ میکروگرم بر گرم و به مدت ۵ روز تخمین زده شد [۷].

#### ۲-۱-۲. قرارگیری مزمن در معرض اورانیوم

مطالعات روی افرادی که ماه‌ها یا سال‌ها به طور مزمن یا مداوم در معرض اورانیوم قرار دارند مهمترین اطلاعات برای پیش-بینی اثرات قرار گرفتن در معرض تشعشعات روی کلیه‌ها را ارائه می‌دهد. با این حال، شواهد تا به امروز پراکنده است. بسیاری از مطالعات اپیدمیولوژیک<sup>۱۳</sup> در مورد بیماری و مرگ و میر ناشی از بیماری مزمن کلیه در کارگرانی که ذرات اورانیوم را از فرآیند آسیاب‌کاری، فرآوری و تبدیل اورانیوم فرآوری شده به محصولات فلزی استنشاق کرده‌اند، تحقیق کرده‌اند. انجمن سلطنتی<sup>۱۴</sup> هفت مطالعه در مورد مرگ ناشی از بیماری مزمن کلیه در بین کارگرانی که با اورانیوم کار می‌کردند را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد، اما هیچ مدرک مشخصی در مورد اینکه آیا این بیماری به قرار گرفتن در معرض اورانیوم یا برخی بیماری‌های دیگر مربوط است، وجود

پروتئین‌های با جرم مولکولی کم و سایر موادی که به طور معمول توسط سلول‌های لوله‌ای دوباره جذب می‌شوند، همراه است. قرار گرفتن در معرض اورانیوم همچنین ممکن است منجر به آسیب گلوبومرولی<sup>۷</sup> (صدمه دیدن رگ‌های خونی کوچک در انتهای لوله کلیه) شود که در نهایت منجر به از بین رفتن آلبومین و سایر پروتئین‌های با جرم مولکولی بالا می‌شود. نارسایی کلیه با عدم توانایی در دفع مواد زائد متابولیکی بدن مشخص می‌شود و با افزایش نیتروژن غیر پروتئینی (NPN)، اوره یا کراتینین در خون یا سرم همراه است [۴].

از آن‌جا که مکانیسم دقیق مسمومیت کلیوی ناشی از DU هنوز به طور کامل شناخته نشده است. برای روشن کردن این موضوع، اندام میتوکندری<sup>۸</sup> از کلیه موش صحرایی مطالعه شد و سمیت میتوکندری در معرض اورانیل استات هم به شکل درون‌جاننداری<sup>۹</sup> و هم درون‌کشتگاهی<sup>۱۰</sup> تعیین شد [۱۱]. مطالعات تجربی نشان می‌دهند مسمومیت کلیوی ناشی از اورانیوم با اختلال در زنجیره انتقال الکترون و متعاقباً با قابلیت اکسید شدن سلول مرتبط است. داروی بتا-گلوکان<sup>۱۱</sup> یک گزینه مناسب در مسمومیت کلیوی ناشی از اورانیوم است [۱۲].

#### ۲-۱-۱. قرارگیری حاد در معرض اورانیوم

گزارش‌های کمی موارد مواجهه حاد انسان با ترکیبات اورانیوم را ثبت کرده است و موارد گزارش شده از نظر چگونگی و نحوه در معرض قرار گرفتن توسط اورانیوم متفاوت هستند. این موارد شامل قرار گرفتن در معرض اورانیوم هگزا فلوراید، اورانیوم تترافلوراید، اورانیل نترات و اورانیل استات هستند. نحوه مواجهه شدن با بلع، تماس با پوست، استنشاق و تزریق

<sup>12</sup> Glycosuria

<sup>13</sup> Epidemiologic

<sup>14</sup> Royal Society

<sup>7</sup> Glomerular Injury

<sup>8</sup> Mitochondria

<sup>9</sup> In-vivo

<sup>10</sup> In-vitro

<sup>11</sup> Beta-Glucan

گیر می‌کنند، اما تنفس دهانی می‌تواند ورود و رسوب آن‌ها را در ناحیه نایژه افزایش دهد.

مطالعات همه‌گیرشناسی<sup>۱۷</sup> در مورد اثرات تنفسی اورانیوم روی روی معدن‌کاران و کارگران در کارخانه‌های فرآوری اورانیوم انجام شده است. مطالعه کارگران بخش تولیدات نیروی دریایی در شرکت تولید کننده سوخت هسته‌ای سازمان هسته‌ای ایالات متحده، نسبت استاندارد مرگ و میر<sup>۱۸</sup> (SMR) به وقوع را برای کارمندان تعیین کرد. SMR در کارگران مرد صنعتی به طور قابل توجهی کمتر از حد انتظار بود، اما مرگ و میر ناشی از بیماری انسداد ریوی بیش از حد انتظار بود. از شش نفری که به دلیل بیماری انسدادی ریه فوت کردند ۵ نفر دچار آمفیوزم<sup>۱۹</sup> بودند اما اطلاعات مربوط به سیگار کشیدن در مورد چهار نفر از این پنج نفر در دسترس نبود. از آنجا که آمفیوزم می‌تواند ناشی از سیگار کشیدن باشد اطلاعات ناقص در مورد سیگار کشیدن مانع از تفسیر دقیق نوع مرگ‌ها می‌شود [۱۵]. مطالعات دیگر درباره کارگران در تأسیسات اورانیوم ارتباطی بین بیماری‌های غیر بدخیم ریوی و مرگ و میر پیدا نکردند. همچنین، پژوهشگران دیگری [۱۶] مرگ و میر در ۲۵۱۴ کارگر شاغل در طی سال‌های ۱۹۴۲-۱۹۶۶ در یک کارخانه استحصال اورانیوم را با مرگ و میر کلی ایالات متحده مقایسه کردند. آنها SMR ۰/۹ را برای همه دلایل مرگ و ۱/۰۵ را برای همه سرطان‌ها گزارش کردند. در این تحقیق SMR برای بیماری‌های تنفسی ۰/۸ بود. در یک مطالعه دیگر از مرگ و میر کارگران در تأسیسات تولید سوخت هسته‌ای، این افراد به طور قابل توجهی مرگ و میر کمتری را در بسیاری از انواع بیماری از جمله همه بیماری‌های تنفسی نشان دادند [۱۷]. گروهی دیگر از پژوهشگران [۱۸] مرگ و میر را در گروهی از ۱۸۸۶۹ مردی که در کارخانه تبدیل و غنی‌سازی اورانیوم مشغول به کار بودند بررسی کردند

ندارد. در مجموع ۸۵ مورد مرگ و میر در هفت مطالعه، ۱۸٪ کمتر از آنچه در مرگ و میر ناشی از بیماری کلیوی در مردم عادی انتظار می‌رود، بود. ارزیابی مطالعات اپیدمیولوژیک در مورد قرار گرفتن در معرض اورانیوم، توسط آژانس ثبت مواد سمی و بیماری‌ها<sup>۱۵</sup> (ATSDR) افزایش مرگ و میر ناشی از بیماری کلیوی را تشخیص نداد [۷].

سایر بررسی‌ها در مورد مردم عادی هیچ افزایشی در میزان مرگ و میر ناشی از مواجهه مزمن را نشان نمی‌دهند. در تایید این مطلب به عنوان مثال تحقیقی که به تازگی در کشور سوئیس بر اساس دفع اورانیوم از ادرار طی ۲۴ ساعت صورت گرفته نشان می‌دهد که بر اساس دانش کنونی اورانیوم خطر قابل توجهی برای مردم عادی ایجاد نمی‌کند [۱۴].

## ۲-۲. تأثیر اورانیوم روی ریه‌ها

اورانیوم یک فلز سنگین است، بنابراین هنگام ارزیابی سمیت آن، باید اثرات شیمیایی آن را بطور دقیق در نظر گرفت. از آنجا که استنشاق مسیر اصلی مواجهه ذرات با انسان است، بنابراین دستگاه تنفسی در اینجا به عنوان یک مورد مهم برای ارزیابی سمیت تلقی می‌شود. احتمال اینکه ذرات معلق اورانیوم دی‌اکسید در هوا، استنشاق شده و در دستگاه تنفسی رسوب کنند، وجود دارد. میزان رسوب ذرات توسط خواص فیزیکی و شیمیایی ذرات و عوامل آناتومیکی و فیزیولوژیک، مانند میزان تهویه و مسیر استنشاق تعیین می‌شود. به طور خاص، این امر تا حد زیادی به اندازه ذرات بستگی دارد. به طور کلی ذرات بزرگ‌تر در مجاری تنفسی فوقانی یا ناحیه خارج قفسه سینه که شامل مجاری تنفسی نازوفارنکس<sup>۱۶</sup> است رسوب می‌کنند و ذرات کوچک‌تر نیز به مجاری تنفسی تحتانی منتقل می‌شوند و به طور معمول در برونشیت رسوب می‌کنند. ذرات بزرگ‌تر بیشتر در ناحیه تنفسی نازوفارنکس

<sup>18</sup> Standardized Mortality Ratio

<sup>19</sup> Emphysema

<sup>15</sup> Agency for Toxic Substances and Disease Registry

<sup>16</sup> Nasopharyngeal

<sup>17</sup> Epidemiologic

و گزارش دادند که به دلایلی از جمله بیماری‌های تنفسی، SMR در آن‌ها زیاد نیست.

### ۲-۳. تأثیر اورانیوم روی سیستم عصبی مرکزی

مطالعات حیوانی میزان جذب اورانیوم توسط مغز و اثرات احتمالی عملکرد آن را نشان داده است، اما مطالعات انسانی رابطه بین قرار گرفتن در معرض اورانیوم و بیماری عصبی را تأیید یا اثبات نکرده است. در دو تحقیق مشابه [۱۹، ۲۰]، ارتباط آماری معنی‌داری بین افزایش غلظت اورانیوم ضعیف شده و کاهش عملکرد در آزمایش‌هایی که ارزیابی صحت عملکرد در کهنه سربازان جنگ خلیج فارس را مورد بررسی قرار می‌دادند، یافته شد. البته این پژوهشگران هشدار دادند که تعداد افرادی که اورانیوم ادرار آنها افزایش یافته کم است و چند کهنه سرباز که سابقه بیماری قبلی دارند ممکن است به طرز قابل توجهی در اطلاعات مشاهده شده نقش داشته باشند.

### ۲-۴. تأثیر اورانیوم روی تولید مثل

گزارشات بسیار کمی [۲۰] وجود دارد که نشان داده است اورانیوم بر سیستم تولید مثل اثر می‌گذارد و در نتیجه تغییراتی در ارگان‌های در حال رشد ایجاد می‌کند. گزارش شده که قرار گرفتن در معرض اورانیوم بر نسبت جنسیت تأثیر می‌گذارد. فراوانی غیرمعمول زیاد تولد فرزندان دختر در کارگران استخراج اورانیوم نشان دهنده تغییر عملکرد اسپرم یا اختلال عملکرد تولید مثل است [۲۱]. گروه دیگری [۲۲] به کاهش قابل توجه غلظت تستوسترون و تغییر عملکرد غدد جنسی در معدنچیان اورانیوم اشاره کردند. محدودیت‌های این مطالعه شامل ناکافی بودن جمعیت افراد مورد مطالعه و وجود عوامل مخدوش کننده دیگر است.

در یک تحقیق جامع [۲۳] یک مطالعه کامل در مورد گروهی از کهنه سربازان جنگ خلیج فارس که در معرض اورانیوم تضعیف شده بودند، انجام شد. از مجموع ۷۴ سرباز که در فوریه ۱۹۹۱ در معرض اورانیوم قرار داشتند، ۳۹ نفر در آوریل تا ژوئیه سال ۲۰۰۱ در بالتیمور مورد معاینه قرار گرفتند. موارد اندازه‌گیری شده شامل هورمون تحریک کننده فولیکول<sup>۲۰</sup> (FSH)، هورمون لوتئین ساز<sup>۲۱</sup> (LH)، پرولاکتین، هورمون تحریک کننده تیروئید<sup>۲۲</sup> (TSH)، تیروکسین آزاد و غلظت تستوسترون بود. علاوه بر این، مشخصات اسپرم از جمله حجم، غلظت، تعداد کل و اقدامات عملکردی اسپرم تعیین شدند. این مطالعه شامل افرادی بود که از گروه سربازانی که در معرض اورانیوم قرار گرفته بودند، انتخاب شدند و توسط تیم تحقیق [۲۳] ارزیابی شدند. این مطالعه نشان می‌داد که برخی مشاهدات در مقایسه با تحقیق‌های قبلی متناقض است حتی اگر از زیر مجموعه‌های یک جمعیت استفاده شود. این مسئله مواردی را در مورد ارتباط بیولوژیکی یافته‌ها مطرح می‌کند. در مطالعه اخیر غلظت پرولاکتین در گروه کم اورانیوم (۲۶ نفر = با کمتر از ۰/۱ میکروگرم بر گرم کراتینین) به طور قابل توجهی بالاتر بود. با این حال در مطالعه سال ۲۰۰۰، گروه با اورانیوم بالا (۱۳ نفر = بیشتر از ۰/۱ میکروگرم بر گرم کراتینین) غلظت پرولاکتین بالاتری داشت و در مطالعه سال ۲۰۰۱، تفاوت مشخصی بین دو گروه وجود نداشت [۲۳]. ارتباط یافته‌ها با توجه به استفاده از پرولاکتین به عنوان شاخص تأثیر اورانیوم در سیستم تولید مثل با توجه به تغییر مشاهدات در سه مورد مطالعه مورد تردید است. در هر سه مطالعه، مک دیارمید و همکاران هیچ تغییر مشخصی در غلظت FSH، LH، تستوسترون، TSH یا تیروکسین آزاد مشاهده نکردند. بعدها همین گروه از پژوهشگران [۲۴] مطالعه دیگری را بر روی ۳۴ کهنه سرباز، به طور مشابه انجام دادند ولی تغییرات قابل توجهی مشاهده نشد. بنابراین این

<sup>22</sup> Thyroid-Stimulating Hormone

<sup>20</sup> Follicle-Stimulating Hormone

<sup>21</sup> Luteinizing Hormone



است تا اینکه اثر شیمیایی آن باشد. همچنین گروه دیگری هیچ اثر قلبی عروقی در خرگوش‌های در معرض اورانیوم نیترات در آب آشامیدنی‌شان به مدت ۹۱ روز پیدا نکردند [۷]. تحقیق دیگری روی گروهی از افراد که در نزدیکی معادن متروکه اورانیوم زندگی می‌کردند انجام شد. به واسطه نفوذ اورانیوم، آرسنیک و سایر عناصر فلزی به خاک آن منطقه، افراد مورد مطالعه هم به واسطه خوردن و آشامیدن و هم استنشاق این مواد، فشار خون بالاتر از حد معمول را از خود نشان می‌دادند که شانس ابتلا به بیماری‌های قلبی و عروقی را بالا می‌برد [۲۶].

#### ۲-۷. تأثیر اورانیوم روی چشم

سوختگی شیمیایی چشم انسان پس از قرار گرفتن تصادفی در معرض اورانیوم هگزا فلوراید گزارش شده است. التهاب و سوزش چشم نیز در حیوانات پس از قرار گرفتن در معرض اورانیوم هگزا فلوراید و اورانیوم تتراکلرید گزارش شده است. اورانیوم هگزا فلوراید در تماس با رطوبت هوا به سرعت در هیدروفلوئوریک اسید و اورانیل فلوراید تفکیک می‌شود. به طور مشابه، اورانیوم تتراکلرید منجر به تشکیل کلریدریک اسید می‌شود. بنابراین این احتمال وجود دارد که سوزش‌های چشمی به دلیل تماس مستقیم بخارها ایجاد شده باشند [۷].

#### ۲-۸. تأثیر اورانیوم روی دستگاه گوارش

هیچ نوع اثر گوارشی در حیوانات مختلفی که از طریق خوراکی تحت آزمایش با اورانیل نیترات با ۶۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در روز تا ۲ سال قرار گرفتند مشاهده نشد. همچنین در موش‌های در معرض اورانیل نیترات شش آبه موجود در آب آشامیدنی‌شان به میزان ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در روز به مدت ۲۸ روز نیز این اثر تشخیص داده نشد. در ضمن در

بررسی‌ها نیز نشان می‌دهند که قرار گرفتن در معرض اورانیوم به طور قابل توجهی بر عملکردهای عصبی و غدد درون ریز در انسان تأثیر نمی‌گذارد.

#### ۲-۵. تأثیر هماتولوژیک<sup>۲۳</sup> اورانیوم

در یک مطالعه بر روی معدنچیان اورانیوم که کمتر از ۲۰ سال کار می‌کردند، کاهش هموگلوبین خون و کاهش متوسط هموگلوبین در بدن و افزایش قابل توجه گلبول‌های قرمز خون<sup>۲۴</sup> (RBC) و حجم متوسط بدن (کاهش معنادار) مشاهده شد. طبق نظر نویسندگان مقاله، همه مقادیر در محدوده طبیعی بودند. غلظت قرار گرفتن در معرض اورانیوم گزارش نشده است. مطالعات کارگران در معرض اورانیوم هیچگونه مرگ و میر ناشی از سرطان خون را نشان نداده است [۲۵].

#### ۲-۶. تأثیر اورانیوم روی قلب و عروق<sup>۲۵</sup>

برای ارزیابی اثرات قرار گرفتن در معرض اورانیوم بر روی سیستم قلبی عروقی مطالعات کمی در دسترس است. مطالعات کارگران در معرض اورانیوم هیچگونه مرگ و میر غیرمعمول ناشی از بیماری‌های قلبی عروقی یا مغزی عروقی را نشان نداده است. در مطالعات مربوط به موش‌های در معرض اورانیوم (به شکل اورانیوم هگزا فلوراید) با غلظت ۰/۲ میلی‌گرم بر متر مکعب به مدت ۱ سال و خوکچه‌های هندی و خرگوش‌های در معرض اورانیوم (به شکل تری‌اورانیوم اکتاسید) با غلظت ۴/۸ میلی‌گرم بر متر مکعب به مدت ۲۶ روز هیچ نوع اثر قلبی در مطالعات استنشاق اورانیوم مشاهده نشد. در تحقیق دیگری محلول چهار ظرفیتی <sup>235</sup>U غنی شده و نمک اورانیوم شش آبه را به نای موش‌ها تزریق کردند و ناهنجاری‌های عروق خونی و بزرگ شدن قلب را یافتند. به نظر می‌رسد این نتایج بیشتر به دلیل اثر تشعشعی اورانیوم

<sup>25</sup> Cardiovascular

<sup>23</sup> Hematologic

<sup>24</sup> Red Blood Cell

- [3] Semenova Y, Pivina L, Zhunussov Y, Zhanaspayev M, Chirumbolo S, Muzdubayeva Z, Bjørklund G: Radiation-related health hazards to uranium miners. *Environmental Science and Pollution Research* **2020**:1-15.
- [4] Ran Y, Wang S, Zhao Y, Li J, Ran X, Hao Y: A review of biological effects and treatments of inhaled depleted uranium aerosol. *Journal of Environmental Radioactivity* **2020**, 222:106357.
- [5] Dublineau I, Souidi M, Gueguen Y, Lestaavel P, Bertho J-M, Manens L, Delissen O, Grison S, Paulard A, Monin A: Unexpected lack of deleterious effects of uranium on physiological systems following a chronic oral intake in adult rat. *BioMed research international* **2014**, 2014.
- [6] Kolodny Y, Torfstein A, Weiss-Sarusi K, Zakon Y, Halicz L: 238U-235U-234U fractionation between tetravalent and hexavalent uranium in seafloor phosphorites. *Chemical Geology* **2017**, 451:1-8.
- [7] Council NR: *Review of the Toxicologic and Radiologic Risks to Military Personnel from Exposures to Depleted Uranium During and After Combat*. National Academies Press; **2008**.
- [8] Davesne E, Blanchardon E: Physico-chemical characteristics of uranium compounds: A review. *International journal of radiation biology* **2014**, 90:975-88.
- [9] Leggett R, Harrison J: Fractional absorption of ingested uranium in humans. *Health Physics* **1995**, 68:484-98.
- [10] De Rey B, Lanfranchi H, Cabrini R: Percutaneous absorption of uranium compounds. *Environmental research* **1983**, 30:480-91.
- [11] Shaki F, Pourahmad J: Mitochondrial toxicity of depleted uranium: protection by beta-glucan. *Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR* **2013**, 12:131.
- [12] Faa A, Gerosa C, Fanni D, Floris G, Eyken PV, Lachowicz JI, Nurchi VM: Depleted uranium and human health.

خرگوش‌های در معرض اورانیل نیترات شش آبه در آب آشامیدنی‌شان تا حداکثر ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۹۱ روز، اثر گوارشی مشاهده نشد [۲۷]. دستگاه گوارش در سگ‌هایی که اورانیوم دی‌اکسید یا تری‌اورانیوم اکتاکسید مصرف می‌کردند، ناهنجاری نشان نمی‌داد. اما خونریزی خفیفی در حیواناتی که بالاترین دوز تترافلوراید اورانیوم (روزانه ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) را دریافت کرده بودند، مشاهده شد [۷].

### نتیجه‌گیری

به واسطه پیشرفت علم و فناوری و نیاز به استفاده از فعالیت‌های صلح آمیز هسته‌ای در علوم پزشکی، صنعت و کشاورزی، در نظر گرفتن اثرات مخاره آمیز اورانیوم بر بدن حائز اهمیت است. در این پژوهش اثرات سمی و جانبی اورانیوم بر روی اندام‌های حیاتی بدن گزارش شده است. با توجه به پژوهش‌هایی که تا کنون در نقاط مختلف جهان صورت گرفته است اورانیوم بر روی دستگاه گوارش تأثیر خاصی ندارد ولی به خصوص در افرادی که تماس مستقیم با آن دارند می‌تواند منجر به افزایش فشارخون و در نتیجه بیماری‌های قلبی و عروقی و همچنین بیماری کلیوی شود. همچنین می‌تواند به کاهش گلبول‌های قرمز خون در معدنچیان در تماس با آن منجر شود. همچنین نتایج تحقیقات هیچگونه علائم عصبی غیر استناداری را در کهنه سربازان جنگی نشان نداد. علی‌رغم تأثیر منفی استنشاق اورانیوم بر روی ریه‌ها، تحقیقات بر روی معدنچیان نتایج غیر معمولی از میزان مرگ و میر را نشان ندادند.

### منابع

- [1] Whittle K: *Nuclear materials science*. IOP Publishing; **2020**.
- [2] Dutta SK, Lodhari DR: *Uranium*. In *Extraction of Nuclear and Non-ferrous Metals*. Springer; **2018**: 27-37

- [22] Zaire R, Notter M, Riedel W, Thiel E: Unexpected rates of chromosomal instabilities and alterations of hormone levels in Namibian uranium miners. *Radiation research* **1997**, 147:579-84.
- [23] McDiarmid MA, Engelhardt S, Oliver M, Gucer P, Wilson PD, Kane R, Kabat M, Kaup B, Anderson L, Hoover D: Health effects of depleted uranium on exposed Gulf War veterans: a 10-year follow-up. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* **2004**, 67:277-96.
- [24] McDiarmid MA, Engelhardt SM, Oliver M, Gucer P, Wilson PD, Kane R, Cernich A, Kaup B, Anderson L, Hoover D: Health surveillance of Gulf War I veterans exposed to depleted uranium: updating the cohort. *Health physics* **2007**, 93:60-73.
- [25] Vich Z, Kriklava J: Erythrocytes of uranium miners: the red blood picture. *British journal of industrial medicine* **1970**, 27:83.
- [26] Harmon ME, Lewis J, Miller C, Hoover J, Ali A-MS, Shuey C, Cajero M, Lucas S, Zychowski K, Pacheco B, et al: Residential proximity to abandoned uranium mines and serum inflammatory potential in chronically exposed Navajo communities. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* **2017**, 27:365-71.
- [27] Gilman A, Villeuve D, Secours V, Yagminas A, Tracy B, Quinn J, Valli V, Willes R, Moss M: Uranyl nitrate: 28-day and 91-day toxicity studies in the Sprague-Dawley rat. *Toxicological Sciences* **1998**, 41:117-28.
- [13] Pavlakis N, Pollock CA, McLean G, Bartrop R: Deliberate overdose of uranium: toxicity and treatment. *Nephron* **1996**, 72:313-7.
- [14] Jenny-Burri J, Blanc A, Aubert R, Haldimann M, Zürcher U, Burnier M, Paccaud F, Bochud M, Dudler V: Uranium exposure of the Swiss population based on 24-hour urinary excretion. *Swiss medical weekly* **2020**, 150.
- [15] Hadjimichael OC, Ostfeld AM, D'Atri DA, Brubaker RE: Mortality and cancer incidence experience of employees in a nuclear fuels fabrication plant. *Journal of occupational medicine: official publication of the Industrial Medical Association* **1983**, 25:48-61.
- [16] Dupree-Ellis E, Watkins J, Ingle JN, Phillips J: External radiation exposure and mortality in a cohort of uranium processing workers. *American journal of epidemiology* **2000**, 152:91-5.
- [17] Parrish RR, Haley RW: Resolving whether inhalation of depleted uranium contributed to Gulf War Illness using high-sensitivity mass spectrometry. *Scientific reports* **2021**, 11:1-12.
- [18] Polednak P, Frome E: Mortality Among Men Employed (Retwssn 1943 and 1947) at a Uranium-Processing Plant. *uzz V* **1981**.
- [19] McDiarmid MA, Keogh JP, Hooper FJ, McPhaul K, Squibb K, Kane R, DiPino R, Kabat M, Kaup B, Anderson L: Health effects of depleted uranium on exposed Gulf War veterans. *Environmental research* **2000**, 82:168-80.
- [20] Craft ES, Abu-Qare AW, Flaherty MM, Garofolo MC, Rincavage HL, Abou-Donia MB: Depleted and natural uranium: chemistry and toxicological effects. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B* **2004**, 7:297-317.
- [21] Müller C, Růzicka L, Bakstein J: The sex ratio in the offsprings of uranium miners. *Acta Universitatis Carolinae Medica* **1967**, 13:599-603.