

Gulf War about 300 tons of DU was dropped in the aircraft rounds and tank-fired shells in southern Iraq over an area of about 20,000 km² and uncertain amounts of DU were used in the 2003 War. This use has caused the contamination of vast area from Iraqi territory by very heavy radioactive element with half life of 4.5 bill years which has bad consequences on the environment for billions of years. Burning of tanks and armored vehicles lead to the formation of large quantities of fine aerosol with diameter less than 10 µm containing predominantly poorly soluble uranium oxides. The DU aerosol is deposited on soil surface, transported far from the vicinity of the target, or resuspended in the air by the wind action. Although the density of uranium metal is high and the density of its oxides equal to the density of lead, micrometer-size of DU particles remain airborne long enough to be transported by wind tens kilometers according to model based on Stock's Law for fallen particles in fluid. Exposure to uranium and its compounds can cause adverse health effects due to its chemical toxicity and radiological hazard caused by absorption of radiation emitted from uranium and its decay products. Radiation exposure can originate from inhalation of respirable size of uranium dust, ingestion of contaminated food and water, or wounded by DU fragments. Laboratory tests conducted inside Iraq or outside have shown that samples from soil, water, and air contain radioactivity hundred and thousand times the background range. Uranium can damage the biological systems through its radiation, particulate, and chemical (toxicity) effects. Among these effects, the particulate resulted from emission of α particles is the most dangerous. The use of DU ammunitions and the formation of fine aerosol generated significant cancer diseases as well as kidneys failure and severe birth defects and many others. This situation can be verified by the elevated number and percentages of diseases noticed in southern governorates of Iraq particularly Basra where it was the theatre of battlefield. Numerous extensive studies have been conducted in Iraq produced ample evidence on the increase in leukemia, lymph, lung cancer, disorder in immune system, and unknown fatal diseases. In these cancer diseases, there were high values of odd ratio indicating the link between the diseases incidence and the exposure to DU during the years following 1991. In addition to the victims of DU weapons from Iraqi population, their use caused serious diseases on U.S. veterans and other service personnel who exposed to DU ammunitions. Medical test and investigations in some U.S. states have shown the presence of DU in many soldiers' bodies and urine and the suffering from many diseases and birth defects as a result of inhalation or digestion of DU aerosol dust and injured by DU fragments. Because of the short- and long-term consequences on Iraq population and the impact of DU on the environment, international community must work together with the UN, universities, scientific centers, and other civilian agencies to promote and assess human and environmental programs including clean-up to cope with DU pollution and damages.

المستخلص

أُلقي ما يقارب 300 طن من ذخيرة اليورانيوم المنضب من الطائرات الحربية والدبابات في حرب الخليج 1991 في مساحة تقرب من 20,000 كم² من جنوب العراق، وكميات أخرى غير معروفة أستعملت في حرب 2003. أدى هذا الإستعمال الى تلويث الآف الكيلومترات المربعة من أراضي العراق بعنصر مشع وثقيل جداً عمره النصفى يصل 4.5 مليار سنة، له آثاره السلبية البيئية للمبارات السنوات. ونتيجة لهذا الإستعمال وإحتراق الأليات المدرعة، إنتشر جزء كبير من غبار اليورانيوم في الهواء في دقائق يقل قطرها عن 10 مايكرومتر تحتوي على أكاسيد اليورانيوم قليلة الذوبان في الماء. إن غبار اليورانيوم قد يترسب على سطح التربة أو ينتقل الى مسافات أخرى بعيدة عن مواقع الانفجارات وقد يتعرض الى التشتت من جديد في الهواء بتأثير الرياح. وتأكيداً لهذه الحقيقة بين أحد الموديلات أنه رغم أن كثافة معدن اليورانيوم المنضب العالي وكثافة أكسيد اليورانيوم والذي يكون مساوياً لكثافة الرصاص، يمكن لدقائق أكسيد اليورانيوم مجهرية الحجم أن تبقى في الهواء وقت كافٍ بحيث تنتقل مسافة عشرات الكيلومترات اعتماداً على قانون ستوك حول تساقط الأجسام أو الدقائق في الموائع.

يسبب التعرض الى اليورانيوم ومركباته تأثيرات سيئة على صحة الإنسان نتيجة السمية والضرر الإشعاعي المتسبب نتيجة إمتصاص الأشعة المنبعثة من اليورانيوم ونواتج إنحلالة. ينشأ التعرض لليورانيوم المنضب في عملية التنفس لغبار أكاسيد اليورانيوم أو من تناول الأغذية والمياه الملوثة أو عند الجروح بشظايا اليورانيوم المنضب. أظهرت الأختبارات داخل العراق وخارجه أن عينات من الهواء والماء والتربة في العراق تحتوي على نشاط إشعاعي يصل مئات الى آلاف المرات المستوى الطبيعي من الإشعاع.

يعمل اليورانيوم على تخريب الأنظمة البيولوجية من خلال تأثيراته الإشعاعية والجسيمية والكيميائية (السمية). ومن بين هذه التأثيرات تكون التأثيرات الجسيمية الناتجة من إطلاق جسيمات ألفا (α) للدقائق ذات الحجم الصغير جداً، هي الأكثر خطورة. أدى إستعمال ذخائر اليورانيوم المنضب من مختلف الأسلحة، وإنتشار غبار أكاسيد اليورانيوم، الى الإصابة بالأمراض السرطانية بأنواعها وتلف الكلى والتشوهات الولادية، وذلك من ملاحظة التزايد في أعدادها ونسبها في المحافظات الجنوبية من العراق، خصوصاً البصرة، حيث مسرح العمليات. إذ أشارت دراسات عديدة الى تزايد في أعداد ونسب الإصابة بسرطانات الدم (اللوكيميا)، والغدد اللمفاوية، والربتين، والإضطراب في الجهاز المناعي، وغيرها من الأمراض غير المعروفة. كما وجدت في هذه الدراسات نسبة مخاطر الإصابة أو نسبة الحدوث (Odd ratio) عالية للإشارة الى وجود العلاقة بين الإصابة بالأمراض السرطانية وعامل اليورانيوم المنضب في الأعوام التي أعقبت عام 1991. إن إستعمال أسلحة اليورانيوم المنضب لم يسبب الأمراض السرطانية عند العراقيين فقط، بل إمتد ليشمل الآلاف من القوات الأمريكية التي شاركت في العمليات العسكرية أو قدمت الإسناد. إذ بينت نتائج العديد من التحاليل في المختبرات الأمريكية وجود اليورانيوم المنضب في الأجسام أو في الأدرار والذي إنعكس ذلك في ظهور أعراض مرضية أو تشوهات ولادية نتيجة التعرض أو الأمتصاص أو الأستنشاق.

بسبب حجم المشكلة الكبير على المدى القريب والبعيد والذي يتمثل بآلاف الأصابات عند الفئات العمرية المختلفة من المجتمع العراقي وإحتمال إنتقال الملوثات الى مساحات أخرى، يتطلب الأمر مساعدة الأسرة الدولية، ممثلة بمنظمة الأمم المتحدة ووكالاتها المتخصصة، والمراكز البحثية، والجامعات، ومنظمات المجتمع المدني، في المساهمة الفاعلة، ودعم البرامج الهادفة لتقييم المشاكل الصحية القائمة وأبعادها المستقبلية، وإيجاد الحلول المناسبة للإصابات مرضية، وتطهير البلاد، والحد من إنتشار اليورانيوم المنضب.

بدأ تلوث بيئة الإنسان بمصادر الأشعة المؤينة والمواد المشعة عند إلقاء القنابل النووية على مدينة هيروشيما وناكازاكي عام 1945. ثم أعقبتها التفجيرات النووية تحت سطح الأرض خلال الأعوام 1955 – 1965. كما كان للحوادث النووية، والتي أهمها حادث تشيرنوبيل في الاتحاد السوفيتي السابق عام 1986، دور كبير في تلوث مساحات شاسعة من الكرة الأرضية. يضاف الى ذلك المخلفات المشعة الناتجة من جميع عمليات الصناعة النووية، ودورة الوقود، وصناعة المصادر المشعة المستعملة في المجال الطبي والصناعي والزراعي وتطبيقات أخرى.

أخذ تلوث بيئة الإنسان اتجاهاً آخر عند استعمال اليورانيوم المنضب Depleted Uranium في الأسلحة المستخدمة عام 1991 في العراق، وفي دول البلقان عام 1995 و1999. حيث تميز باستخدام عنصر ثقيل جداً ومشع عمره النصفى Half-Life يصل 4.5 مليار سنة، له آثاره السلبية البيئية على مجمل النشاطات الانسانية. وليس هناك شك من أن 300 طن على الأقل من اليورانيوم المنضب قد استعملت في حرب الخليج 1991، وكميات غير معروفة استعملت في حرب 2003 وإن تلك الكميات قد تحولت عند الإحتراق في درجة الحرارة العالية الى دقائق صغيرة جداً من الغبار بصورة أكاسيد معظمها غير ذائبة. إن استعمال مخلفات مشعة Radioactive وسامة Toxic في صناعة العتاد الحربي يمثل حقبة جديدة خطيرة في الصراعات على الأرض، حيث يكون الخط بين الحرب التقليدية وغير التقليدية تكتفه الغشاوة والغموض. يؤكد زيادة استعمال أسلحة اليورانيوم المنضب دوره في الصراعات الحربية للمستقبل المنظور. طبقاً لذلك يجب أن نتعلم من دروس استعمال أسلحة اليورانيوم المنضب في حرب الخليج ونأخذ خطوات لتحديد ومنع تأثيراته السلبية على الجنود والمدنيين وتجهيز الغذاء والماء (Fahey, 1999).

لقد لوّث أسلحة اليورانيوم المنضب أرض المعارك بدقائق مشعة ودقيقة جداً وبغبار سام. وجدت إختبارات الجيش الأمريكي أن 18 الى 70٪ من قضبان القذائف والصواريخ قد إحترقت وتأكسدت الى دقائق صغيرة جداً خلال المعارك (US AEPI, 1995). وإن إطلاق قذيفة 120 ملم من اليورانيوم المنضب من دبابة أمريكية أبرامس (Abrams) يولد بين 900 و3400 غم من غبار أوكسيد اليورانيوم. كما أن غبار أوكسيد اليورانيوم المنضب المتكون يحوي نسبة عالية من حجوم الدقائق القابلة للإستنشاق تصل 50 – 96٪، وإن 52 – 83٪ من هذه الدقائق غير ذائبة في سوائل الرئة (US AEPI, 1991). تكون الدقائق القابلة للإستنشاق، ذات القطر الذي يقل عن 5 مايكرومتر، سهلة في الإستنشاق والهضم. وإن الدقائق غير الذائبة ليس من السهولة طرحها خارج الجسم، ويمكنها أن تبقى في الرئتين أو أي عضو آخر لسنوات (SAIC, 1990).

يعد اليورانيوم المنضب مادة مشعة عالية السمية، وهو ناتج ثانوي By-product لعمليات تخصيب اليورانيوم enriched Enuranium. ويسمى يورانيوم منضب Depleted Uranium لأن محتواه من النظير الانشطاري 235U يختزل من 0.7٪ الى 0.2٪ خلال عمليات التخصيب. لم تكن التأثيرات طويلة - الأمد لليورانيوم المنضب في الجسم معروفة بصورة كاملة. لكن العديد من التقارير تشير الى أن اليورانيوم المنضب الداخل الى الجسم له القدرة على إحداث تغييرات صحية مهمة. إذ أن إستنشاق دقائق اليورانيوم المنضب يؤدي الى استقرارها في الرئتين. ويحصل للدقائق كبيرة الحجم أن تبتلع الى الجسم وتعرض للهضم مسببة العديد من الأمراض السرطانية. وقد ينتقل اليورانيوم المنضب من اليدين الى داخل الجسم من خلال الماء والأغذية الملوثة. سيدخل اليورانيوم المنضب، الذي يهضم أو يدخل الجسم، الدورة الدموية، وينتقل الى أجزاء الجسم، حيث يتركز معظمه في الكليتين أو العظام أو الكبد. وتعد الكليتين من أكثر الأعضاء حساسية الى التسمم. إن استعمال أسلحة اليورانيوم المنضب لم يسبب ضحايا الأمراض السرطانية عند العراقيين فقط، بل إمتد ليشمل الآلاف من القوات الأمريكية. وإن تلوث هذه القوات باليورانيوم المنضب يجب أن يعد أكبر حادث بنيران (صدقة) في التاريخ، وفضيحة غير مسبوقة، سببت قتل مفرط، ولا تساوي فائدتها العسكرية التفريط بصحة الجنود (Bristow, 1999).

1. تهدف الدراسة الى ما يأتي:

- أ. تحديد حجم التلوث الذي أصاب البيئة العراقية جراء استخدام أسلحة اليورانيوم المنضب عام 1991 والمخاطر المستقبلية المستمرة.
- ب. تحديد حجم الإصابات المرضية خصوصاً السرطانية منها التي أصابت المجتمع العراقي القريب من مواقع العمليات العسكرية الموثقة في البحوث والتقارير المنشورة.
- ج. إقتراح بعض المشاريع والدراسات التي تعد ضرورية لمتابعة المصابين والسيطرة على مواقع التلوث.

2. الخصائص الإشعاعية والفيزيائية والكيميائية لليورانيوم المنضب

يحتوي اليورانيوم على مزيج من ثلاثة نظائر مشعة ويمكن تمييزها من عدد الكتلة، ^{238}U (99.283% من الكتلة) و ^{235}U (0.711%) و ^{234}U (0.0054%) ولهذه النويدات المشعة عمر نصفي Half-Life طويل جداً يبلغ 4×10^9 و 10^7 و 5×10^5 سنة على التوالي. اليورانيوم عنصر ثقيل جداً (وزنه النوعي 19.07 غم/سم³) وأبيض فضي ذو درجة حرارة إنصهار 1132°م و غليان 3818°م.

يتواجد اليورانيوم في الطبيعة مع نواتج الانحلال الإشعاعي Decay products في صيغ معدنية عديدة: بيتشبلند (Pitchblende) ويورانينايت (Uraninite) و كارنوتايت (Carnotite). كما يتواجد أيضاً بتركيز عالية تصل 50 – 300 مغم/كغم (جزء بالمليون) في الصخور الفوسفاتية والليكنات أو رمال المونازايت. ويتراوح تركيزه في سطح التربة من 0.1 الى 20 مغم/كغم مع متوسط عالمي يصل الى 2.8 مغم/كغم. ويكون تركيزه في مياه البحر قليل جداً ويصل 3 مايكروغم/لتر (3 جزء بالمليون)، بينما يتراوح في المياه السطحية والجوفية 0.1 الى 10,000 مايكروغم/لتر. ونتيجة لتعلق دقائق التربة السطحية في الهواء وإحتراق الفحم، يتواجد اليورانيوم في الهواء بتركيز يتراوح بين 0.02 و 0.40 نانوغم/م³ ويصل المتوسط 0.1 نانوغم/م³ أو نشاط إشعاعي 1 مايكروبيكريل/م³ (UN SCEAR, 2000).

وهكذا، يعد اليورانيوم عنصر طبيعي في بيئة الإنسان، يتواجد بتركيز ضئيلة في المواد الغذائية، ونتيجة لتناول الغذاء والماء والهواء يكون متواجداً في جسم الإنسان. وقد قدرت كمية اليورانيوم التي يتناولها الإنسان سنوياً حوالي 460 مايكروغم من تناول الغذاء والماء، وحوالي 0.6 مايكروغم في عملية التنفس. يتراوح مدى تراكم اليورانيوم في جسم الإنسان من عدد قليل من الميكروغرامات الى المئات حيث يتراكم 50% منها في الهيكل العظمي و 20% في العضلات. ويبلغ متوسط الجرعة الفعالة السنوية المحسوب لهذا التركيز 0.6 ميليسيفرت والتي تعود الى جزء قليل من الجرعة الفعالة الكلية من المصادر الطبيعية ومقدارها 2.4 ميليسيفرت (UN SCEAR, 2000).

من بين نظائر اليورانيوم الثلاثة، يكون اليورانيوم-235 (^{235}U) مادة إنشطارية Fissile material، يمكن إستخدامها في محطات القدرة النووية والأسلحة النووية. ومن الناحية العملية، تستخدم مفاعلات الماء الثقيل فقط وقود أساسه اليورانيوم مع المكونات النظائرية الطبيعية. بينما تتطلب المفاعلات الأخرى تخصيب 3 – 5 مرات أو قد يصل الى 90%. تستخدم جميع طرق تخصيب اليورانيوم بصيغة غاز (UF_6) والتي تبلغ درجة حرارة غليانه 56.5°م. في عملية التخصيب، نحصل على حوالي 5 كغم من اليورانيوم المنضب (DU) لكل كغم من اليورانيوم-235 (^{235}U) خصبت الى 3%، ويخزن اليورانيوم المنضب المتبقي (UF_6) كناتج عرضي.

تقدر الكميات المخزونة من اليورانيوم المنضب (DU) في الولايات المتحدة وحدها حوالي 700,000 طن، آخذين بنظر الاعتبار زيادة سنوية مقدارها 30,000 طن (Hartmann et al., 2000). وبسبب خصائصه الفيزيائية العديدة استخدم اليورانيوم المنضب في صناعة العتاد الحربي (لاحظ جدول 1 لمقارنة خصائص اليورانيوم الطبيعي والمنضب).

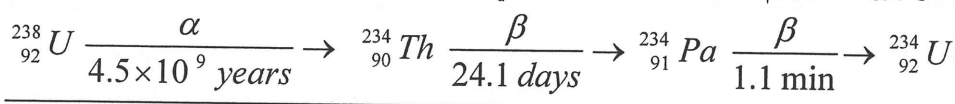
جدول (1)

خصائص نظائر اليورانيوم ومقارنة بين اليورانيوم الطبيعي والمنضب

U المنضب		U الطبيعي		طاقة ألفا (α) ميكا إلكترون فولت (MeV)	العمر النصفي (سنة)	نوييدة اليورانيوم
النشاط (kBq/g)	الكتلة %	النشاط (kBq/g)	الكتلة %			
12.40	99.8	12.40	99.2836	4.20 - 4.15	4.7×10^4	^{238}U
2.26	0.001	12.40	0.0054	4.78 - 4.72	4.5×10^2	^{234}U
0.16	0.20	0.60	0.7110	4.40 - 4.36	0.4×10^7	^{235}U
14.80		25.40				مجموع النشاط

وتجدر الإشارة الى أنه بعد 6 أشهر من خزن اليورانيوم تحصل حالة توازن مع نواتج الإنحلال، الثوريوم-

^{234}Th و البروتاكتينيوم- ^{234}Pa كما يأتي:



وهكذا، بعد حوالي نصف سنة من إنتاج اليورانيوم أو اليورانيوم المنضب يمكن الكشف عن أشعة ألفا (α) إضافة لنواتج الانحلال، والذي يصل مجموع النشاط النوعي إلى 24.8 كيلوبكريل/غم. كما إن أشعة بيتا (β) من الثوريوم مع أشعة كاما (γ) التي ترافق انحلال دقائق بيتا من البروتاكتونيوم يسمح بالكشف عن تلوث السطوح باستعمال أجهزة القياس المحمولة (Bem and Bou-Rabee, 2004).

إن اليورانيوم الطبيعي يتكون من مزيج من ثلاثة نظائر مشعة تختلف بعدد الكتلة، اليورانيوم-238 (99.27% على أساس الكتلة) واليورانيوم-235 (0.72% على أساس الكتلة) واليورانيوم-234 (0.0054% على أساس الكتلة). يوجد في جسم الإنسان ما يقرب من 90 مايكروغرام من اليورانيوم نتيجة تناول الإنسان الماء والغذاء والهواء. من هذه الكمية يوجد حوالي 66% في الهيكل العظمي، و16% في الكبد، و8% في الكلى، و10% في الأنسجة الأخرى (WHO, 2001).

أما اليورانيوم المنضب، فهو اليورانيوم المتبقي بعد إزالة جزء من اليورانيوم-235 في عملية التخصيب، ويحوي 99.8% U^{238} و 0.2% U^{235} و 0.001 U^{234} على أساس الكتلة. والاختلاف الرئيسي بين اليورانيوم المنضب واليورانيوم الطبيعي هو أن الأول يحوي على الأقل 3 مرات من U^{235} أقل من الأخير. وإن سلوك اليورانيوم المنضب في الجسم مشابه إلى اليورانيوم الطبيعي.

3. استخدام اليورانيوم المنضب في حربي الخليج 1991 و2003

خلال حرب الخليج الثانية عام 1991، بقي ما لا يقل عن 315 طن من عتاد اليورانيوم المنضب من الطائرات والصواريخ المضادة للدروع في جنوب العراق. وثمة تقارير تشير إلى أن الكمية المستخدمة تزيد 25% عن هذا الرقم (Rockke, 2001). وكنتيجه لهذا الاستعمال، إنتشر جزء كبير من غبار العتاد في الهواء في دقائق يقل قطرها عن 10 مايكرومتر، تحتوي على أكاسيد اليورانيوم (UO_2 , UO_3 , and UO_8) قليلة الذوبان في الماء في مساحة تمتد إلى عشرات الكيلومترات. إن غبار اليورانيوم سرعان ما يترسب على سطح التربة أو ينتقل إلى مسافات أخرى بعيدة عن مواقع الانفجارات اعتماداً على الظروف الجوية (سرعة الرياح وإتجاهها وكمية الأمطار ودرجات الحرارة). ويمكن الإشارة هنا إلى أن أعداداً من الصواريخ المنطلقة من الطائرات قد تخطت أهدافها وتخرق التربة إلى عمق عدة أمتار. إن هذه الصواريخ المدفونة في التربة عند مستويات مختلفة تتعرض إلى عمليات تجوية (Weathering) وتآكل (Corrosion) وأخيراً الأكسدة إلى مركبات قابلة للذوبان في الماء والانتقال إلى المياه الجوفية والسطحية والأختلاط بالسلسلة الغذائية (Papastefanou, 2002). تحت هذه الظروف يمكن أن يتعرض الإنسان إلى اليورانيوم المنضب المتحرر في عدة طرق تشمل التعرض الخارجي للأشعة المنبعثة من نظائر اليورانيوم واستنشاق دقائق اليورانيوم المنضب خلال فترة العمليات وتناول الماء والغذاء الملوث. في سياق آخر أشار Robicheau (1999) إلى إطلاق ما يقرب من مليون قذيفة أي ما بين 300 – 800 طن في حرب الخليج 1991. وعندما تصطدم القذائف بأهدافها ستنفجر وتتحوّل إلى بخار. وسيحترق ما بين 10 – 70% مكوناً دقائق من أكسيد اليورانيوم ذات الحجم المجهرية التي يمكن أن تستنشق أو تهضم مكونة متساقطات غير محدودة من غبار اليورانيوم. وإن دقائق اليورانيوم المجهرية تكون مشحونة ستلتصق إلى دقائق الرمل الناعم وتبقى معلقة في الهواء لفترات طويلة جداً. وستعمل العواصف على تعليق هذه الدقائق المترسبة ونقلها إلى مواقع جديدة أبعد وأوسع. إستعملت ذخيرة اليورانيوم المنضب من قبل جميع القوات الأمريكية في حرب 1991. حيث أطلق الجيش الأمريكي 500 قذيفة كبيرة عيار 105 مم و 9000 قذيفة 120 مم حيث تحتوي كل قذيفة على 4.2 و 5.3 كغم من اليورانيوم المنضب على التوالي. كما استخدمت القوة الجوية حوالي 800,000 قذيفة عيار 30 مم يحتوي كل منها على 0.28 كغم من اليورانيوم المنضب. فضلاً عن أن القوة البحرية إستخدمت 67,500 قذيفة عيار 25 مم ليكون مجموع ما أطلق حوالي 300 طن من اليورانيوم المنضب (US DOD, 2000).

وخلال حرب الخليج 2003، إستخدمت الولايات المتحدة والمملكة المتحدة ذخيرة حربية من اليورانيوم المنضب لضرب مدى واسع من الأهداف وجمع أنه لا توفر معلومات كافية عن الكميات الحقيقية المستخدمة أو المواقع التي تلوثت، لكنه يظهر أن ما بين 100 إلى 200 طن متري قد استخدمت لضرب الدبابات والعجلات المدرعة والبنائيات ومواقع مأهولة بالسكان (Fahey, 2003).

والجدير ذكره، إن الانفجارات النووية تسبب دماراً شاملاً عند الانفجار، بينما تسبب الأسلحة ذات النشاط الإشعاعي تدميراً طويلاً للأمد للإنسان والبيئة لعشرات السنوات أو تستمر لمليارات السنوات طالما أن عمر النصف لليورانيوم المنضب يصل إلى عمر النظام الشمسي (Robicheau, 1999).

4. مقدار التلوث الذي أصاب البيئة العراقية وسلوك اليورانيوم في الأوساط البيئية 4-1 تلوث التربة والنبات والماء

في دراسة على عينات تربة ونبات جمعت من مواقع العمليات العسكرية لحرب الخليج 1991 (Saleh and Megwar, 1998)، تم قياس التعرض الخارجي لأشعة غاما في 6 مواقع مختارة في مساحة الدراسة: البصرة والزيبر وصفوان وجبل سنام وشمال وجنوب الرميطة. حيث جمعت 154 عينة بايولوجية (نباتية وحيوانية) و 128 عينة تربة و 60 عينة ماء. أظهر تحليل مطياف أشعة كاما لعينات نباتية وجود سلسلة نظير الـ ^{238}U في 36.4% من مجموع العينات التي جمعت من الموقع. كما أظهرت بعض عينات النباتات البرية (*Haloxylon salicornicum* and *Stippa capensis*) ميلاً لتراكيز عالية من ^{234}Th و ^{226}Ra مع بعض العينات بتركيز يزيد على قراءة الخلفية (Background). لوحظ أقل تركيز إلى ^{234}Th و ^{226}Ra نحو 28 و 62 بكريل/كغم في النبات *Stippa capensis*. في عينات أخرى كان تركيز الـ ^{214}Bi و ^{214}Pb نحو 1 - 3 أضعاف قراءة الخلفية. كما وجد معامل الانتقال (Transfer Coefficient, TC) بين التربة والنبات للـ ^{238}U و ^{226}Ra ما يصل إلى 0.17 (54.2%) و 0.37 (79.6%) على التوالي.

كان متوسط الجرعة الإشعاعية التي انتقلت إلى المجتمع العراقي، للفترة 1991 - 1999، نتيجة الاستشاق وهضم اللحوم والحليب والتعرض الخارجي، 87 و 0.25 و 0.20 و 0.13 ملليسيفر على التوالي في البصرة، و 173 و 0.51 و 0.39 و 0.27 ملليسيفر على التوالي في الزيبر. أظهرت نتائج الحسابات كذلك أن الجرعة التي إنتقلت إلى الأطفال، الذين تقل أعمارهم عن 15 سنة، يمثل 70% من الجرعة الكلية التي إنتقلت إلى المجتمع. وذكرت الدراسة أن معامل الخطورة (Risk Coefficient, RC) نتيجة اللوكيميا للفترة 1991 - 1994 كان 2.67 (1/سيفر) (Sv⁻¹)، وأن مجموع النباتات البرية القابلة للأكل 845,000 طن التي تلوثت بمواد مشعة من نظائر سلسلة اليورانيوم - 238، وأن 31% من الحيوانات قد تعرضت إلى جرعة داخلية تزيد عن الخلفية (Saleh and Megwar, 1998).

نفذت دراسة أخرى لجمع عينات تربة ومياه ورواسب وعينات من الغطاء النباتي والأسماك والحيوانات الرعوية في جنوب العراق، محافظة البصرة من المناطق التي دارت فيها العمليات العسكرية في حرب الخليج 1991 شملت صفوان وجبل سنام والزيبر وحقل الرميطة الشمالي والجنوبي في محافظة البصرة في جنوب العراق (Al-Azzawi and Al-Saji, 1998). استخدم عداد الوميض لقياس التعرض الإشعاعي وعداد الجيرمانيوم عالي النقاوة لقياس الأشعة في عينات التربة والمياه والرواسب والعينات البايولوجية. نتائج بعض القياسات المختارة مبين في جدول (2)..

وفي دراسات نفذت من قبل طلبة دراسات عليا عن تلوث التربة ورواسب القنوات والغطاء النباتي في المواقع التي تعرضت لإستخدام اليورانيوم المنضب والمناطق المحيطة وجد أن ما يقرب من 1,718 كم² من التربة الملوثة (Al-Hilli, 1998) و 140,000 م² من رواسب القنوات الملوثة (Al-Saji, 1998) و 845,000 طن من الغطاء النباتي الملوث (Maguar, 1998).

في الفترة 1999 - 2000 أجريت دراسة تكميلية لقياس التلوث الإشعاعي في عينات من التربة والمياه والرواسب في المناطق نفسها التي نفذت فيها دراسات سابقة، وأظهرت النتائج وجود تلوث إشعاعي في بعض المناطق (Al-Azzawi et al., 2002a; Al-Azzawi et al., 2002b).

يبدو على العموم أن العواصف الرملية وعمليات التجوية قد ساهمت في تشتت الملوثات إلى مساحات مجاورة (جدول 3). وفي 2001 - 2002، قاس Butras وآخرون (Butras et al., 2002) التعرض الإشعاعي في ثلاثة مواقع في ساحة العمليات العسكرية، وأظهرت النتائج وجود نشاط إشعاعي يزيد على قراءة الخلفية (جدول 4).

وفي عام 2200، جمع الكنانني وآخرون (Al-Kinany et al., 2002) 11 عينة تربة من صفوان والرميطة الجنوبي ومن الحدود العراقية السعودية وقاس النشاط الإشعاعي لليورانيوم - 235 واليورانيوم - 238. أظهرت النتائج أن نسبة $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ بلغت 0.00351 إلى 0.0041 والتي تؤكد التلوث باليورانيوم المنضب.

جدول (2)

بعض القياسات المختارة لمواقع التعرض والتربة

رمز العينة	الموقع	نوع الهدف*	التعرض (مايكروريم/ساعة)	تركيز النشاط الإشعاعي في التربة (بكريل/كغم)		
				U^{235}/U^{234}	U^{235}	Th^{234}
S-2-2	شمال جبل سنام	A ₁	.628	.01060	.941	3918
S-2-9	شمال جبل سنام	T ₁₃	.530	.01290	.157	4401
SN-1-2	جبل سنام	T ₁	.836	.0160	183	11400
SN-2-3	جبل سنام	T ₂	.117	.0180	.347	2550
S-7-3	جبل سنام	A ₂	48	.0080	.125	3120
S-4-1	شمال غرب جبل سنام	T ₄	.315	.0090	.930	3408
S-5-3	شمال مدينة صفوان	T ₅	.316	.0100	79	7310
S-6-2	شمال مدينة صفوان	T ₆	.414	.0170	.336	2019
R-1-6	حقل نفط الرميّة الشمالي	T ₇	.575	.0130	375	27800
R-3-2	حقل نفط الرميّة الشمالي	T ₈	58	.0140	119	79100
R-4-3	حقل نفط الرميّة الشمالي	A ₄	43	.0070	.370	9700
RK-1-1	حقل نفط الرميّة الجنوبي	T ₉	.880	.0160	901	55700
RK-2-2	حقل نفط الرميّة الجنوبي	T ₁₀	.951	.0130	531	40900
RK-3-2	حقل نفط الرميّة الجنوبي	T ₁₁	.142	.0090	198	21700
RK-4-1	حقل نفط الرميّة الجنوبي	T ₁₂	43	.0070	229	31600

T + دبابه مدمرة، A = آلية مدرعة مدمرة.

المصدر: Al-Azzawi and Al-Saji, 1998

تم قياس النشاط الإشعاعي Radioactivity لليورانيوم المنضب في أجزاء مختلفة من محافظة البصرة (مقاطعات البصرة والزيبر وأبو الخصب والقرنة والمدينة وشط العرب) والتي تعرضت للتلوث في حربي الخليج 1991 و2003 (Vartanian, 2006). حيث جمعت أكثر من 1187 عينة، توزعت كالاتي: 545 تربة و199 نبت طبيعي و102 خضراوات و162 أحياء مائية ورواسب و 40 ماء نهر ومستنقعات و42 مياه جوفية و42 مياه سطحية و 55 هواء. استخدم محل طيف أشعة كاما متعدد القنوات وعداد أيوديد الصوديوم المنشط بالثاليوم (NaI detector) لقياس النشاط الأشعاعي. أظهرت النتائج تلوثاً عالياً لعينات التربة القريبة من

جدول (3)

مقدار الجرعة ومستوى التلوث في عينات من التربة والمياه والرواسب في مناطق العمليات

العسكرية في جنوب العراق في المدة 1999- 2000

نوع القياس	عدد العينات المقاسة	عدد العينات الملوثة	مدى القياس	قراءة الخلفية	الوحدات
التعرض	120	17	11.6 – 8.2	7 – 4	مايكروريم/ساعة
التربة	120	22	788 – 80	70 – 42	بكريل/كغم
المياه السطحية والجوفية	75	- -	لم تلاحظ	لم تلاحظ	بكريل/لتر
رواسب مجارى المياه	13	10	85 – 50	40 – 30	بكريل/كغم

المصدر: Al-Azzawi et al., 2002a; Al-Azzawi et al., 2002b

جدول (4)

التعرض الإشعاعي في ثلاثة مواقع من جنوب العراق قيست في 2001 و 2002

رمز الموقع	الموقع	التعرض الإشعاعي (ميليريم/ساعة)
		العينات
		الخلفية
A	الحدود العراقية - الكويتية - السعودية	18×10^{-3}
B	القرنة - الزبير - الفاو - أم قصر	10×10^{-3}
C	مقاطعة شط العرب	10×10^{-3}

المصدر: Butras et al., 2002

الأهداف المدمرة، ووصلت القيم الى 17.4 - 1964.6 بكريل/كغم في مقاطعة الزبير (جبل سنام وحقول الرميلا وحفر الباطن والشامية ومشري وغيرها) و 4.8 - 1847.6 بكريل/كغم في مقاطعة البصرة (القبلة، وساحة سعد والمعلل والمطار وجسر الزبير وإمام يونس) و 84.7 - 4632.2 بكريل/كغم في مقاطعة أبو الخصيب (مصنع حمدان ونقطة النخيب والعوجا) و 397.2 - 1723.2 بكريل/كغم في مقاطعة القرنة (قرب الجسر). فيما وصل مدى القراءات بين 14.9 و 81.1 بكريل/كغم في مواقع بعيدة عن الأهداف الملوثة. من جهة أخرى لم يلاحظ تلوثاً للخضروات والنبات الطبيعي.

تظهر هذه لنتائج تلوثاً عالياً جداً في التربة، والذي يصل متوسط الخلفية في التربة 2.8 بكريل/كغم (متوسط عالمي).

2-4 سلوك اليورانيوم في الأوساط البيئية انتقال اليورانيوم في التربة والمياه والنبات

تعتمد حركة اليورانيوم المنضب في الماء على سهولة ذوبانه. وتكون المركبات الذائبة منه جاهزة للحركة والانتقال مع المياه السطحية أو الجوفية. وإن النتيجة النهائية لتلوث الهواء والماء هو ترسب اليورانيوم المنضب في التربة. لا تتوفر دراسات كافية عن سلوك اليورانيوم المنضب في التربة ومن الدراسات المتوفرة هي التي أشار لها تقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP عن استخدام اليورانيوم المنضب في كوسوفو (UN EPSMK, 2000). حيث نفذت دراسة في جنوب فرنسا عن انتقال اليورانيوم في تربة غنية بالمادة العضوية، وانتقل فيها اليورانيوم 30 سم خلال 30 عام وكان معامل التوزيع (Kd) = 2000 (تركيز اليورانيوم في الجزء الصلب مقسوم على تركيزه في الماء) ووجد أن معامل الإعاقه (R) = 3000 (أي ان الماء يتحرك 3000 مرة أسرع من حركة اليورانيوم).

درس Johnson وآخرون (Johnson et. al., 2004) قدرة الترب الصحراوية القلوية على إمتصاص اليورانيوم المنضب كدالة لآفاق التربة وقدرت إذابة النواتج المتأكلة المنتقلة من قنابل خارقة تعرضت الى جو صحراوي لفترة 22 سنة. فحصت أيضاً نواتج التآكل من اليورانيوم على السطح، وكذلك اليورانيوم تحت السطح، التي نشأت من إذابة نواتج التآكل السطحي، وتبعها إعادة الترسب أو الأمتصاص.

أظهرت النتائج أن معامل التوزيع (Distribution Coefficient) لليورانيوم كان متغيراً ويمكن أن يكون ذا علاقة إرتباط مع المحتوى الطيني ($r = 0.55$) والدالة الحامضية للتربة ($r = 0.73$) لآفاق التربة تحت الدراسة. وعندما يتحرك اليورانيوم بضعة سنتيمترات في العمق يكون تجمعات مع معادن السليكا حيث يحتاج حامض قوي لفصله. إن تكون تجمعات من معادن اليورانيوم - السليكا يظهر انه العامل المحدد للحركة العمودية لليورانيوم المنضب في موقع الدراسة. إن تلوث المياه الجوفية باليورانيوم المنضب قضية مقلقة لصحة البشر بسبب تأثيراته السمية على المدى البعيد. فقد تم تحديد مخاطر اليورانيوم المنضب في المياه الجوفية من خلال نمذجة توازن إمتساكه (Retention) وحركيته (mobility) فضلاً عن نمذجة إنتقاله في الأنظمة الطبيعية تحت السطحية (Chen and Yiaccoumi, 2002).

قورنت نتائج الأنموذج (model) مع البيانات التجريبية والحقلية وأظهرت الدراسة أن إمتساك اليورانيوم المنضب إزداد بشدة من 0 الى 100% في مدى من الدالة الحامضية (pH) 3.5 الى 5.0، وحصل أعظم إبطاء للحركة عند دالة حامضية أكثر من 5. أشارت المحاكات الحركية أن إمتساك اليورانيوم المنضب الى الطبقة تحت السطحية عملية سريعة وأن حركة اليورانيوم المنضب عملية بطيئة لإن عمليات الترسيب والتأكسد والأختزال وتفاعلات الأمتساك تؤدي الى عدم الحركة. وأخيراً أظهرت نمذجة مصير اليورانيوم أن التنظيف الطبيعي للمواقع الملوثة تكون عملية بطيئة (Chen and Yiacoumi, 2002).

درس Buck وآخرون (Buck et al., 2004) تآكل وتعرية اليورانيوم تحت الظروف الطبيعية، وتوصلوا الى أن هذا الموضوع ليس مفهوماً بصورة جيدة، ولكنه مهم لتحديد مخاطر الصحة وحركته في البيئة. أجريت الدراسة في موقع في الجنوب الغربي من الولايات المتحدة الأمريكية، حاوياً اليورانيوم المنضب، وتعرض لعمليات التجوية لحوالي 22 سنة. لقد أجريت تحاليل تربة جيومورفولوجية والمجس الألكتروني الدقيق لتحديد العمليات التي تسيطر على تآكل اليورانيوم. من النتائج الأولية لعمليات التآكل هي شوبايت (Schoepite) وميتاشوبايت (Metaschoepite) وخليط من حبيبات شوبايت - وميتاشوبايت /الطين /الغرين بشكل حبيبات شوبايت - وميتاشوبايت فقط أو كأغلفة لحبيبات التربة يبدو ان كيميائ الظروف السائدة القاعدية تحد من حركة اليورانيوم، وتقلل من مخاطر الصحة، بيد أن تغير طرق إستغلال الأرض أو المناخ قد يزيد من حركة اليورانيوم (Buck et al., 2004).

لقد طور موديل تحليلي (Analytical model) يعتمد على الإلتشار والترسيب والذي يمكنه توفير تقدير معقول لتشتت غبار اليورانيوم المنضب المنطلق (Mitsakou et al., 2003). من النتائج الرئيسية هو أن كتلة اليورانيوم المنضب تترسب قرب نقطة الإنطلاق وإن معدل الترسيب عند 2 كيلومتر من نقطة الإنطلاق تقل كثيراً جداً عن الترسيب قرب نقطة الإنطلاق. من العوامل التي وجدت بالغة التأثير هي مدى أستقرارية الجو وإرتفاع المادة المنطلقة وسرعة الريح، بينما يكون توزيع حجم الغبار غير معنوي. وقد أختبرت مخرجات الموديل التحليلي المطور مع الموديل العددي ووجد توافق بينهما. من نتائج سلسلة من التجارب المختبرية والحقلية على ترب من مناطق جنوب العراق في البصرة (Fahad et al., 2002a)، وجد انه ليس هناك ما يشير الى وجود حركة لليورانيوم في أعمدة التربة الملوثة رغم الغسل المكثف بالماء المقطر وأعقبها بالماء المالح (مياه آبار صفوان - الزبير) والمحاليل المخلبية (EDTA and DTPA). يعود عدم حصول إزاحة لليورانيوم من التربة الملوثة وانتقالها خلال أعمدة التربة الرملية الى ان اليورانيوم الموجود في التربة يكون معظمه بصيغة معدنية، والجزء الآخر يكون بصيغة اكاسيد. من جهة أخرى هناك عوامل تتعلق بالتربة كوسط للانتقال تحوي في بنائها الحجمي جزء صلب يؤدي الى إمتساك المواد المشعة وإعاقة حركتها.

في دراسة تكميلية حول إمتصاص محاصيل إقتصادية لليورانيوم (Fahad et al., 2002b)، نفذت تجارب حقلية لتربة تم تلويثها باليورانيوم المنضب، وزراعتها لمحصول الطماطة في جنوب العراق، وأستخدم عداد الوميض السائل متعدد القنوات (Liquid Scintillation Counter) لتحليل عينات التربة وأجزاء النبات. أشارت نتائج تحليل النبات، الذي وصل ارتفاعه حوالي 25 سم، الى عدم امتصاص اليورانيوم خلال المراحل الأولى من نمو النبات. حيث ان النبات يقوم عادة بامتصاص العناصر عندما تكون بصيغة ايونية. وان الصيغ الأخرى للعناصر تكون غير جاهزة للامتصاص. فضلاً عن ان للنبات مسار تفضيلي، أي القدرة على تفضيل عناصر دون غيرها.

تعطي هذه النتائج مؤشرات الى ان اليورانيوم الموجود في التربة في جنوب العراق لا يزال بصيغة معدنية او بصيغة اكاسيد مترسبة وغير جاهزة لامتصاص النبات. وبناءً على هذه الدراسات إستنتج بأن اليورانيوم يأخذ مسارات عديدة للوصول الى الإنسان، ومن أهمها، على المدى القريب، إعادة تعلق اليورانيوم المنضب في الهواء بفعل التعرية الريحية، وإستنشاقه بفعل عملية التنفس، والذي يعد من المسارات الحرجة (Critical path way).

إنتقال دقائق اليورانيوم في الهواء:

طور دايتز (Dietz, 1999) موديلاً فيزيائياً للتلوث باليورانيوم المنضب لوصف تعرض أعداد كبيرة من المحاربين في الجيش الأمريكي غير المحصنين أو غير المحميين لكميات خطيرة من اليورانيوم المنضب في أجسامهم. ويفترض الموديل ثلاث خطوات متعاقبة: تولد مفاجيء لمئات الكيلوغرامات من دقائق اليورانيوم المنضب ذات الحجم

المجهرى الحاملة معها دقائق غبار اليورانيوم المنضب، وتشتت غيوم من اليورانيوم المنضب في مساحات واسعة بعيداً عن موقع الانفجار في أرض المعركة، وإستنشاق وهضم دقائق اليورانيوم في الرئتين والجسم، حيث يحصل إمتصاص للكثير من اليورانيوم في الأجهزة الحيوية والعظام.

بين الموديل المقترح أنه رغم أن كثافة معدن اليورانيوم المنضب العالي والذي يصل 19 غم/سم³ وكثافة أوكسيد اليورانيوم 11 غم/سم³ والذي يكون مساوياً لكثافة الرصاص، يمكن لدقائق أوكسيد اليورانيوم المجهرية بهذه الكثافة أو دقائق معدن اليورانيوم أن تبقى في الهواء وقت كافٍ بحيث تنتقل مسافة عشرات الكيلومترات إعتياداً على قانون ستوك (Stokes' Law) حول تساقط الأجسام أو الدقائق في الموائع. حيث يوفر هذا القانون إجابة مقنعة وواضحة عن إمكانية بقاء دقائق اليورانيوم المنضب المجهرية في الهواء لعدة ساعات. يمثل قانون ستوك بالصيغة الآتية:

حيث أن:

$$v = \text{سرعة الدقيقة/الجزئية (سم/ثانية).}$$

$$g = \text{التعجيل الأرضي (980.4 سم/ثا²).}$$

$$R = \text{نصف قطر الدقيقة/الجزئية (سم).}$$

$$S = \text{كثافة الكرة (غم/سم³).}$$

$$A = \text{كثافة الهواء عند واحد ضغط جوي و } 18^\circ \text{ م (} 1.213 \times 10^{-3} \text{ غم/سم³).}$$

$$C = \text{لزوجة الهواء عند واحد ضغط جوي و } 18^\circ \text{ م (} 1.827 \times 10^{-4} \text{ غم/سم³).}$$

يسمح قانون ستوك لحساب السرعة النهائية للدقائق المجهرية (إفترض أن الشكل كروي) لدقائق اليورانيوم وينطبق بدقة على دقائق معدن اليورانيوم أو الأكاسيد ذات القطر 10 مايكرومتر (سرعة سقوطها 5.7 سم/ثا) أو أقل المشتقة التي تسقط خلال الهواء. جدول 5 يبين معدلات السقوط لدى من حجوم الدقائق.

جدول 5

سرعة سقوط الدقائق الكروية لأوكسيد اليورانيوم الثنائي في الهواء الساكن

القطر (مايكرومتر)	سرعة السقوط (سم/ثانية)
5.0	0.82
4.0	0.52
3.0	0.30
2.0	0.13
1.0	0.033
0.5	0.0082

المصدر: (Dietz, 1999)

من جهة أخرى، فإن الدقائق المجهرية، ذات الأشكال غير المنتظمة، تكون سرعة سقوطها أبطأ من تلك الدقائق ذات الشكل الكروي وبنفس الكثافة والوزن. وإن دقائق اليورانيوم المنضب ذات الحجم 1 مايكرومتر أو أقل تكون في الحقيقة طافية في الهواء وتبقى معلقة لفترة طويلة جداً.

حاول Busby (2003) حساب تشتت اليورانيوم المنضب بدلالة انحلال الذرات المشعة بوحدات البكريل (Becquerel). حيث أن البكريل الواحد يساوي انحلال لكل ثانية. وتعد هذه الطريقة مناسبة للتقييم الكمي للنشاط الإشعاعي الذي أستخدم في الحروب. إن متوسط إحتواء التربة من اليورانيوم الطبيعي حوالي 10 - 20 بكريل/كغم بضمنها جميع نظائر اليورانيوم. وقد وجد أن اليورانيوم النقي يحتوي على 12,400,000 بكريل/كغم من ^{238}U وإن عينات التربة من كوسوفو تحتوي على 250,000 بكريل/كغم - وفقاً لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP.

الجدول التالي بين مستوى النشاط الإشعاعي في اليورانيوم المنضب الذي أستخدم في العراق وكوسوفو

ومقارنته مع مستوى النشاط الإشعاعي الذي إنطلق في حادث شيرنوبيل في الاتحاد السوفيتي السابق عام 1986. مجلة الأكاديمية العربية في الدنمارك - العددان 6 و 7 لسنة 2010

جدول (6)

متوسط ترسب النشاط الإشعاعي من اليورانيوم المنضب في حربي الخليج وكوسوفو بضمنها الانحلال من اليورانيوم - 238
وانحلال بيتا من الولادات البروتاكوتونيوم - 234 والثوريوم - 234 ومقارنته مع التلوث في حادث شيرنوبيل.

الحدث	النشاط الإشعاعي المنطلق أو المقدّر ترسبه (بكريل Bq)	متوسط كثافة النشاط الإشعاعي (بكريل/متر مربع)
10 طن في كوسوفو	10×0.37	3700
350 طن في حرب العراق 1991	10×13	130,000 (في 100 كم ²)
1700 طن في حرب العراق 2003	10×63	630,000 (في 100 كم ²)
حادث شيرنوبيل 1986	- - -	37,000 (30 كم ²)

المصدر: Busby, 2003

يعطي الجدول تصوراً عن كمية النشاط الإشعاعي التي أسقطت وساهمت في تلويث المصادر الطبيعية،
آخذين بنظر الاعتبار الاختلاف في طبيعة النظائر المشعة التي يحتويها اليورانيوم المنضب (نظائر اليورانيوم ونواتج
الإنحلال) وحادث شيرنوبيل (السترونشيوم - 90 والسييزيوم - 137 بالدرجة الرئيسية).

5. تأثيرات اليورانيوم في الجسم

يمكن أن يسبب التعرض الى اليورانيوم ومركباته تأثيرات سيئة على صحة الإنسان نتيجة السمية والضرر
الإشعاعي المتسبب نتيجة إمتصاص الأشعة المنبعثة من اليورانيوم ونواتج إنحلاله. قد ينشأ التعرض الإشعاعي إما من
مصادر خارجية - على سبيل المثال من مساحات ملوثة باليورانيوم من الصواريخ التي أخطأت أهدافها، أو من
أكاسيد اليورانيوم التي إنطلقت من العربات والدبابات المتضررة، أو من مصادر داخلية مثل إستنشاق اليورانيوم في
عملية التنفس لغبار أكاسيد اليورانيوم، أو من تناول الأغذية والمياه الملوثة، أو من الجروح بسبب الشظايا.
تشمل طرق أستلام أو مسارات اليورانيوم المنضب الى الجسم: المجاري التنفسية، والقناة الهضمية، والجلد
خلال الجروح. طورت الوكالة الدولية للوقاية من الإشعاع ICRP موديلاً بايولوجياً حركياً (biokinetic) يصف
سلوك اليورانيوم في الجسم (Fox and McDonald, 1992). ويأخذ الموديل بنظر الاعتبار حجم دقائق غبار
اليورانيوم، والصيغة الكيميائية، ومعدل إفراز اليورانيوم من قبل أعضاء الجسم الحية والعظام. إذ تصل الدقائق
المشعة الى القناة الهضمية عبر تناول المواد المشعة الى المجاري التنفسية عبر التنفس. يظهر الموديل، انه في حالة
الأستلام الحاد لدقائق أكاسيد غبار اليورانيوم (U_2O_3 , U_3O_8)، سيستمر إفراز اليورانيوم المستنشاق عند الإدراج
لسنوات. كما إن التعرض لإشعة غاما من اليورانيوم المنضب يعد مسار آخر لدخول الجسم.

5-1 التأثيرات الكيميائية السمية

على العكس من الاختلاف في الخصائص النووية لنظائر اليورانيوم، تكون خصائصها الكيميائية متشابهة
لأن الاختلافات النسبية في الكتلة غير مهمة من الناحية العملية. يعتمد السلوك النوعي لأي عنصر في البيئة
وكذلك إمتصاصه وتوزيعه وإفرازه من الخلايا الحية بالدرجة الرئيسية على صيغته الكيميائية ومستوى الأكسدة
وذوبانه في سوائل الجسم (Bem and Bou-Rabee, 2004). ويكون اليورانيوم المعدني المستخدم للأغراض
العسكرية عملياً غير ذائب في الماء وفي سوائل الجسم. ولكن يبدأ بالتأكسد ببطء الى حالة +4 عند تعرضه الى
الهواء والماء، وتستمر الأكسدة الى مستوى +6 بوجود الأوكسيجين وتوفر ظروف حامضية ضعيفة. ويكون أيون
اليورانيوم مركبات معقدة بسهولة خصوصاً الكربونات $[UO_2(CO_3)_2]^{2-}$ والتي تكون ذائبة في الماء وسوائل
الجسم. ونتيجة لعمليات التجوية الكيميائية هذه، يمكن لليورانيوم المنتشر بصيغة معدنية في البيئة الانتقال ببطء
الى مياه الشرب والنباتات والدخول الى السلسلة الغذائية. في الوقت نفسه تعتمد عمليات تجوية الصواريخ المخترقة
للتربة وأكاسيد اليورانيوم على نوع التربة والرطوبة ودرجة الحرارة.

الطريقة الثانية لتداخل اليورانيوم مع جسم الإنسان تتمثل بإستنشاق الغبار المتطاير نتيجة احتراق الدروع التي أصيبت بالقذائف أو نتيجة لتعلق دقائق التربة الملوثة. قد يحتوي غبار اليورانيوم المتطاير على مزيج من أكاسيد اليورانيوم (UO_2 , UO_3 , and UO_8) بشكل دقائق صغيرة. إن جزءاً من دقائق غبار اليورانيوم المتطاير والذي يقل قطره عن 10 مايكرومتر يكون قابلاً للإستنشاق، وقد يصل للرئتين والحوصلات الرئوية ويستقر هناك لفترة زمنية.

إشتقت معظم المعلومات المتعلقة بتسمم اليورانيوم من دراسات على الحيوان، وأخرى طويلة الأمد وواسعة على العاملين في مناجم اليورانيوم، والوقود النووي، وتصنيع الأسلحة، الذين تعرضوا إلى تراكيز متزايدة من اليورانيوم.

إن التسمم الكيميائي Chemical toxicity لليورانيوم يشابه من حيث الأساس التسمم بالمعادن الثقيلة، مثل الكاديوم، والزرنيق، ويكون بسبب الألفة الكيميائية إلى البروتينات، وتكوين معقدات مستقرة مع المركبات البيولوجية ذات الكتلة الجزيئية الواطئة. لهذه الأسباب ستعمل أيونات اليورانيوم على إرباك إمتصاص الكلوكوز والأحماض الأمينية. تتراكم أيونات اليورانيوم الممتصة في الدم من الغذاء أو الرئتين أخيراً على سطح العظام مع الكالسيوم وستكون نسبة كبيرة من اليورانيوم الذائب معرضة لطرحها خارجاً من قبل الكليتين خلال 24-48 ساعة. وفي حالة التراكيز العالية من اليورانيوم (أكثر من 100 مايكروغم/كغم من الجسم) سيتراكم في الكليتين، مؤدياً إلى موت الخلايا وتلف الكليتين (Priest, 2001).

أشارت بعض التجارب على الحيوانات وجود ضرر كبير على الخلايا بعد إمتصاص تراكيز تزيد على 3 جزء بالمليون من اليورانيوم في الكلية (Hodge et al., 1973). وأشارت دراسات أخرى إلى تأثيرات أخرى لليورانيوم، كالتطفير الجيني (Mutagenic properties) والأصابة بأمراض سرطانية.

ثمة 3 تأثيرات لليورانيوم المنضب على الأنظمة البيولوجية: الإشعاعية والجسيمية والكيميائية. ومن بين هذه التأثيرات تكون التأثيرات الجسيمية (Particulate) للدقائق ذات الحجم الصغير جداً (Nano-size) الأكثر أهمية. يظهر هذا مباشرة بعد التعرض، ويكون هدفها البصمة الوراثية المتمثلة بالحامض النووي منقوص الأوكسجين (Deoxyribonucleic acid, DNA). وبتعبير أبسط يعمل اليورانيوم المنضب على تدمير الجسم ويكون التأثير على البصمة الوراثية (التركيب الجيني). وفي هذه الحالة يكون الضرر كبير على التركيب الجيني بحيث تظهر على المرضى طفرات وراثية وأمراض سرطانية متنوعة، حيث أن الأمراض الغامضة الجديدة غير معروفة سابقاً، وهي مرتبطة بالتعرض لليورانيوم المنضب. وقد لوحظت مثل هذه الأمراض عند المدنيين في يوغسلافيا، وأوبئة سرطانية وسط أطفال العراق (Howenstine, 2005).

تكون الاختلافات في سمية مركبات اليورانيوم إستناداً على الذوبانية واضحة التأثير، وبغض النظر عن نظير اليورانيوم الداخل في المركب. إذ تسبب الأملاح الذائبة في الماء أولاً سمية كيميائية جهازية في الكلى، وتسبب المركبات الكيميائية غير الذائبة أولاً سمية كيميائية للرئتين، وخطار إشعاعية جهازية. وعندما يدخل أوكسيد اليورانيوم الثنائي إلى الدم يتكون اليورانيوم سداسي التكافؤ، والذي يكون أيضاً سام وجهازي. وبسبب نصف العمر البيولوجي الطويل لليورانيوم، يبقى الكثير منه في الجسم بدون أن يمر إلى الكليتين. يتمثل التأثير المباشر على الرئتين والكليتين لمركبات اليورانيوم نتيجة الأشعاع والخصائص الكيميائية، ومن الصعب إرجاع الضرر إلى هذين العاملين بصورة منفصلة، إذ لا يمكن فصلهما في الحياة (Bertell, 1999).

5-2 التأثيرات الإشعاعية

تبعث جميع نظائر اليورانيوم جسيمات الفا (α)، ويرافقها في حالة اليورانيوم-135 فقط إنبعاث أشعة غاما (γ) ذات طاقات 144 و186 كيلو إلكترون فولت (keV) وتعود لشدة نسبية 10.5% و54% على التوالي. ويكون مدى إختراق الجسيمات ذات طاقة 5 مليون إلكترون فولت (MeV) حوالي 4 سم في الهواء و50 مايكرومتر في الأنسجة الناعمة. ولأن عتاد اليورانيوم يخزن عادة لمدة أكثر من 6 أشهر يحصل توازن بين U^{238} ونواتج الانحلال

Th234 و Pa234 والتي تبعث جسيمات بيتا (β) يتبعها فوتونات غاما (γ) ذات طاقات 63 و 92.6 كيلو إلكترون فولت لـ Th234 و 1001 كيلو إلكترون فولت لـ Pa234. لهذا يعتبر (Bem and Bou-Rabee, 2004) أن كلاً من نواتج الانحلال لهما انبعاث نسبي قليل من الأشعة الكهرومغناطيسية المسؤولة عن التعرض الإشعاعي، وتكون المخاطر من التعرض الخارجي للأشعة إلى اليورانيوم المنضب غير مهمة.

يرجع النوع الثاني من مخاطر الأشعة إلى تناول تراكيز متزايدة من اليورانيوم من قبل السكان المتواجدين في المساحات الملوثة باليورانيوم المنضب. يمكن القول أن دخول اليورانيوم إلى الأجسام في عملية التنفس واستنشاق الغبار المتطاير هو من أهم مسارات التعرض الإشعاعي. إن المخاطر الإشعاعية من التعرض الداخلي بعد تناول المواد المشعة يعتمد على خصائص النويدات المشعة وزمن مكوثها في العضو. في الوقت نفسه، إن معدل إفرازها من الجسم يعتمد على الصيغة الكيميائية وذوبانها في سوائل العضو وعلى حجم الدقائق في حالة النويدات المستنشقة. وفي حالة الهضم، تعتمد قيمة الجرعة الفعالة على إمتسак (Retention) النوييدة المشعة في الجسم، والذي يعتمد بدوره على معدل إنتقال المادة من الأمعاء الدقيقة إلى سوائل الجسم.

أشار تقرير معهد البيئة للجيش الأمريكي (US ACS, 1995) أن اليورانيوم المنضب له تأثير في تغيير شكل الكروموسومات بدلالة الزيادة في إنقسام الكروماتيدات. وأشارت النتيجة النهائية للدراسة وجود زيادة معنوية في التشوهات الكروموسومية (Chromosomal aberration) والتبادل الكروماتيدي لمجاميع العاملين الذين تعرضوا لأنواع من اليورانيوم الذائب وغير الذائب.

ويمكن أن يؤدي اليورانيوم المنضب إلى تسمم كيميائي لإحتوائه على دقائق α ، مسبباً، نتيجة لذلك، العقم (عدم الخصوبة)، والتشوهات الولادية، وإنخفاض في وزن الولادات للآباء الذين تعرضوا إلى اليورانيوم المنضب. يتفق معظم الأطباء والعلماء على أنه حتى الأشعاع واطئ المستوى Low level يكون خطراً ويزيد من مخاطر الإصابة بالسرطان. وتزداد المخاطر الصحية بدرجة كبيرة عندما تطلق القذائف وتتفجر. وبعد إنفجارها تطلق الشظايا المتكسرة دقائق اليورانيوم، حيث تدخل الدقائق المعلقة في الهواء للجسم بسهولة، وتترسب في العظام، وغيرها من الأعضاء والأنسجة. ويكون الأطفال عادة مستعدين أكثر للأصابة، لكون خلايا أجسامهم سريعة الإنقسام. أما النساء الحوامل، فيمكن لليورانيوم المنضب المرور في المشيمة وعبرها إلى الدورة الدموية للجنين. ومهما يكون تأثير اليورانيوم المنضب، فإنه يتفاقم بوجود سوء التغذية والظروف الصحية السيئة.

أشار عدد من الدراسات إلى وجود تأثيرات أخرى للأشعة المؤينة، غير التأثيرات المباشرة، أطلق عليها تأثيرات الجيرة (Bystander effect) حيث ترسل الخلية المشعة إشارة إلى الخلية المجاورة غير المشعة، بواسطة الإرسال بين خلية وأخرى Cell-cell communication (Zhou et al., 2000; Zhou et al., 2001). ويمكن أن تكون عمليات الإتصال بين الخلايا سبباً في تطفير الـ DNA في الخلايا غير المشعة المجاورة، وفي إحداث السرطان. إذ أن مرور جسيمة ألفا من حزمة خلال الـ DNA الحاوي على نوى 10% من مجموع الخلايا في صحن الوسط، يسبب تكرار طفرات جديدة، مشابهاً لما يحصل عندما تكون جميع الخلايا مشعة بجسيمة منفردة. وهكذا يبدو أن التأثير بالجيرة قد ولد طفرات جديدة في الـ 90% من الخلايا التي لم تستلم جسيمة ألفا. كما وجد أيضاً إن إستعمال الحزمة المايكروية للجسيمة المشحونة في تشعيع 20% من الخلايا المختارة عشوائياً بواسطة 20 جسيمة ألفا، نتجت في تطفير 3 أضعاف الكمية المتوقعة (Zhou et al., 2000). في سياق متصل تم إختبار ظاهرتين متناقضتين: التأثير بالجيرة (Bystander effect) والإستجابة المتكيفة (Adaptive response) في الأنظمة البايولوجية عند المستوى الواطئ Low level من الإشعاع (Zhou et al., 2004).

إستخدم فريق عمل تابع لجامعة كولومبيا في الولايات المتحدة الأمريكية الحزمة المايكروية للدقائق المشحونة والخلية AL عالية الحساسية ذات القدرة التطهيرية، وأظهر أن الخلايا غير المشععة تستلم العامل التطهيري خلال التماس المباشر والتي تعرضت الى مسار من جسيمة ألفا منفردة لكل خلية. وتبين إن المعاملة المسبقة للخلايا بالأشعة السينية واطئة الجرعة قبل 4 ساعات من التشيع بدقائق ألفا قد قلل معنوياً من إستجابة التطهير المجاور.

3-5 المعايير القياسية لإستلام الجرعة الإشعاعية

إن متوسط إستلام البالغين من اليورانيوم حوالي 500 مايكروغرام خلال تناول الغذاء والماء، و0.6 مايكروغرام من تنفس الهواء. وإن إمتصاص اليورانيوم في الدم يكون أكبر بعد إستنشاق اليورانيوم مقارنة بما بعد الهضم للصيغة الكيميائية نفسها. ويعتمد هذا الجزء على التوزيع الحجمي للدقائق (WHO, 2001).

بالنسبة لحدود التعرض الأشعاعي لليورانيوم واليورانيوم المنضب، تنص معايير السلامة النووية العالمية لعام 1996 على أن الجرعة الإشعاعية التي يستلمها المجتمع يجب أن لا تزيد عن 1 ميليسيفرت/سنة. وفي حالات معينة يمكن أن يسمح بأن تصل الجرعة الفعالة الى 5 ميليسيفرت لسنة واحدة على شرط أن لا يزيد متوسط الجرعة عن 1 ميليسيفرت/سنة لخمس سنوات متعاقبة.

في حالة إستلام اليورانيوم أو اليورانيوم المنضب، تسري حدود الجرعة الإشعاعية على مركبات اليورانيوم غير الذائبة فقط. وبالنسبة لمسارات التعرض الأخرى، ومركبات اليورانيوم الذائبة، تكون السمية الكيميائية Chemical toxicity هي العامل المحدد للتعرض.

ينبغي أن يستند إستلام الناس، خلال الأستنشاق أو الهضم لمركبات اليورانيوم المنضب الذائبة، على القيمة التي يمكن تحملها 0.5 مايكروغرام/كغم من الجسم لكل يوم. وهذه تقود الى تركيز في الهواء يصل 1 مايكروغرام/م3 للإستنشاق وحوالي 11 ملغم/سنة للهضم للبالغين.

أما بالنسبة للعاملين، فقد وضعت معايير لحدود إستلام غبار اليورانيوم المنضب، تصل الى 0.01 غم/أسبوع (هيئة السيطرة النووية للولايات المتحدة الأمريكية U.S. Nuclear Regulatory Commission) و 0.008 غم/سنة (وزارة الدفاع في المملكة المتحدة). ووضعت حدود الإستلام من قبل عامة الناس عند 0.002 غم/سنة (هيئة الطاقة الذرية في المملكة المتحدة، 1998, ICRP).

6. الأوبئة والأمراض جراء إستعمال اليورانيوم المنضب

1-6 التأثيرات في المجتمع العراقي

لوحظ في جميع أنحاء العراق وخصوصاً في الجنوب إرتفاع في أعداد الأصابة بجميع أنواع السرطانات يصل عدة أضعاف، منها على وجه الخصوص اللوكيميا واللمف. وبينما كان التشوه الولادي نادراً أصبح شائعاً. كذلك تظهر النباتات والحيوانات علامات التطهير الوراثي (Mutagenic properties).

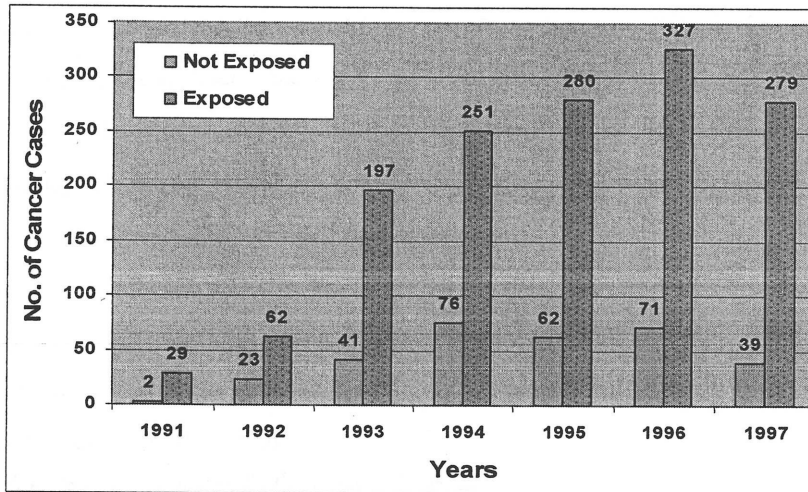
إن إستنشاق دقائق أوكسيد اليورانيوم غير الذائبة يؤدي الى إستقرارها في الرئتين لمدة طويلة إعتقاداً على عمر النصف البيولوجي. في هذه الحالة يبدأ اليورانيوم ونواتج الإنحلال بالإشعاع، مؤدياً الى قتل أو تطهير الخلايا المجاورة. قد تنتقل بعض الدقائق الى الدم، مسببة اضراراً لجميع أعضاء الجسم، وبصورة خاصة أجهزة التكاث، والعظام، مؤدية الى تشوهات في الولادات، وامراض فقر الدم، واللوكيميا، وإضطراب في الجهاز المناعي للجسم.

أجريت دراسة موقعية لحالات السرطان على العسكريين الذين إشتراكوا في العمليات العسكرية لحرب الخليج 1991 في جنوب العراق - الرميلة الشمالي والجنوبي، والخط الاستراتيجي قرب الحدود السعودية، والطريق الذي يربط صفوان بالكويت (Lopez, 2004). إعتمدت الدراسة على معلومات صحية وإحصائية عن المشاركين في العمليات العسكرية بعد الحرب. وتم إختيار 1425 حالة شخصت فيها امراض سرطانية في مستشفيات عسكرية ومدنية، وشملت الدراسة الذكور الذين إشتراكوا في الحرب بأعمار 19 - 50 سنة من الذين تعرضوا لعتاد اليورانيوم المنضب في جنوب العراق، ومجاميع أخرى من الذين لم يتعرضوا لهذا العتاد. أستخدمت نسبة مخاطر الأصابة (نسبة الحدوث Odd ratio).

وهي النسبة التي تشير الى درجة الارتباط بين الإصابة بالسرطان، والعامل تحت الدراسة وهو اليورانيوم المنضب، في هذه الدراسة لتحديد العلاقة بين الإصابة بالسرطان والتعرض لليورانيوم المنضب. تمت الدراسة على حالات السرطان من 1991 الى 1997 (لاحظ الأشكال 1 و 2).

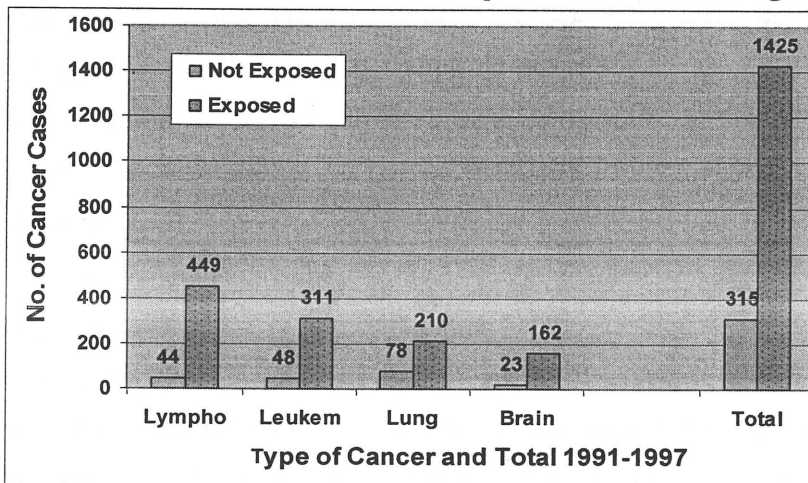
ملاحظة الشكلين 1 و 2 اتبين لفرق الواضح في أعداد الإصابة بالسرطانات بين الذين تعرضوا لذخيرة اليورانيوم المنضب والذين لم يتعرضوا، وفي كثير من أنواع السرطانات وصلت الأعداد الى 5 أضعاف عند الذين تعرضوا مقارنة مع الذين لم يتعرضوا. في الوقت نفسه يلاحظ تصاعد في أعداد الإصابة مع الزمن عند الذين تعرضوا لليورانيوم المنضب على سبيل المثال وصلت الأعداد الى 11 ضعف في 1996 (327 إصابة) مقارنة مع العام 1991 (29 إصابة) (شكل 1) ويظهر مجموع الإصابة بالأنواع المختلفة بالسرطان بوضوح الفرق الكبير في أعداد الإصابة بين الذين تعرضوا لليورانيوم المنضب والذين لم يتعرضوا (شكل 2)، إذ وصلت الإصابة عند الذين تعرضوا 10 و 7 و 3 أضعاف مقارنة مع الذين لم يتعرضوا لحالات الإصابة، بأورام الغدد اللمفاوية، واللويميا، وسرطان الرئة، على التوالي ووصل المجموع الكلي للإصابة بجميع أنواع السرطان عند الذين تعرضوا لليورانيوم المنضب حوالي 5 أضعاف تلك الإصابة عند الذين لم يتعرضوا.

وقد وجدت علاقة إرتباط معنوية بين حالات الإصابة بالسرطان والتعرض لليورانيوم المنضب من نسب الحدوث التي وصلت قيمة عالية، خصوصاً لحالات سرطان الغدد اللمفاوية (5.6) واللويميا (4.8) وسرطان الدماغ (4.5) (جدول 7) (Lopez, 2004). ومن وجهة نظر علم الأوبئة تكون العلاقة ذات إرتباط موجب.



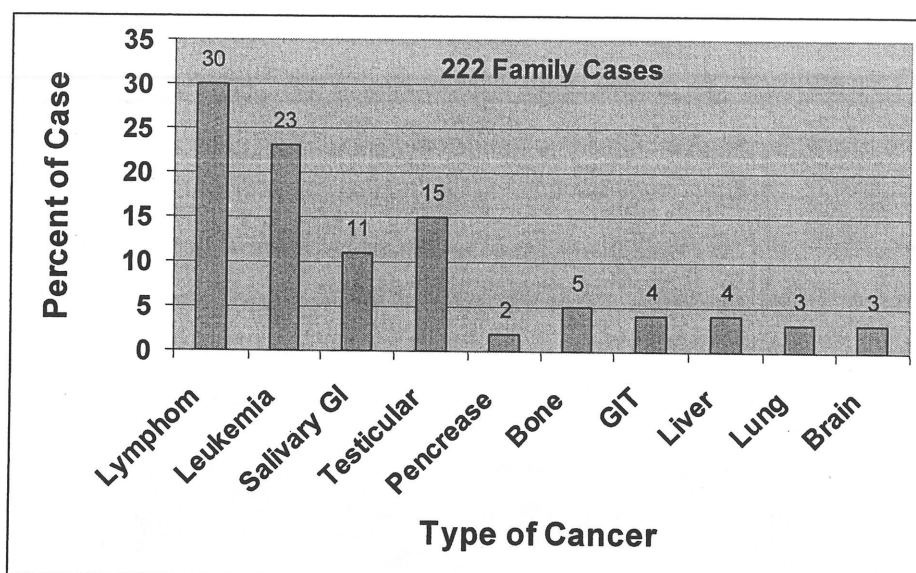
الشكل (3)

يبين أنواع السرطانات وسط العوائل التي تعرض رجالها العسكريين الى عتاد اليورانيوم المنضب



الشكل (2)

مجموع أعداد الإصابة بسرطان الغدد اللمفاوية والدم والرئة والدماغ، وكذلك المجموع الكلي لتلك السرطانات، وأخرى، مثل سرطان العظام والبنكرياس والأمعاء والكبد لمجموعة من العسكريين تعرضوا لعتاد اليورانيوم المنضب وأخرى لم تتعرض للفترة 1991 - 1997. (Lopez, 2004)



الشكل (3)

حالات الإصابة بأنواع السرطان وسط 222 عائلة من العوائل التي تعرض رجالها العسكريين لعتاد اليورانيوم المنضب، ممثلاً بالنسبة المئوية لأنواع السرطان المسجل (Lopez, 2004)

جدول 7

تقدير المخاطر النسبية من حساب نسبة الحدوث (Odd Ratio)

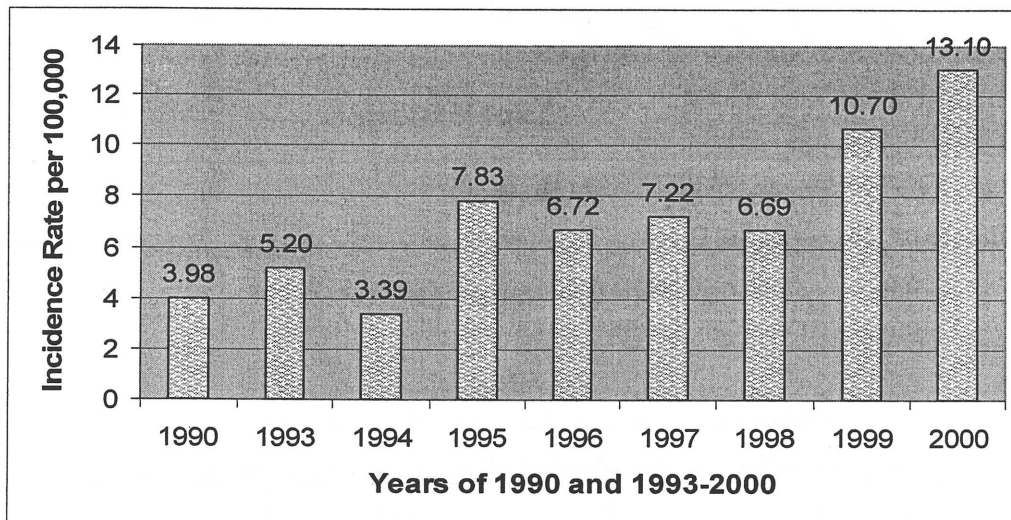
لحالات الإصابة بأنواع مختلفة من السرطانات لمجاميع تعرضت لليورانيوم المنضب وأخرى لم تتعرض

نسبة الحدوث* (Odd Ratio)	الذين لم يتعرضوا		الذين تعرضوا		أنواع السرطان
	المقارنة	عدد الحالات	المقارنة	عدد الحالات	
5.6	351	44	643	449	سرطان الغدد اللمفية
4.8	429	48	573	311	سرطان الدم (اللوكيميا)
4.5	114	23	183	162	سرطان الدماغ
2.5	97	36	46	36	سرطان الكبد
2.0	87	27	91	57	سرطان العظام
1.4	177	65	125	66	سرطان الأمعاء
1.4	357	78	627	210	سرطان الرئتين
1.7	1112	315	2894	1425	مجموع السرطانات

• نسبة الحدوث: تشير الى درجة الارتباط بين حالة الإصابة بالسرطان وعامل اليورانيوم المنضب.

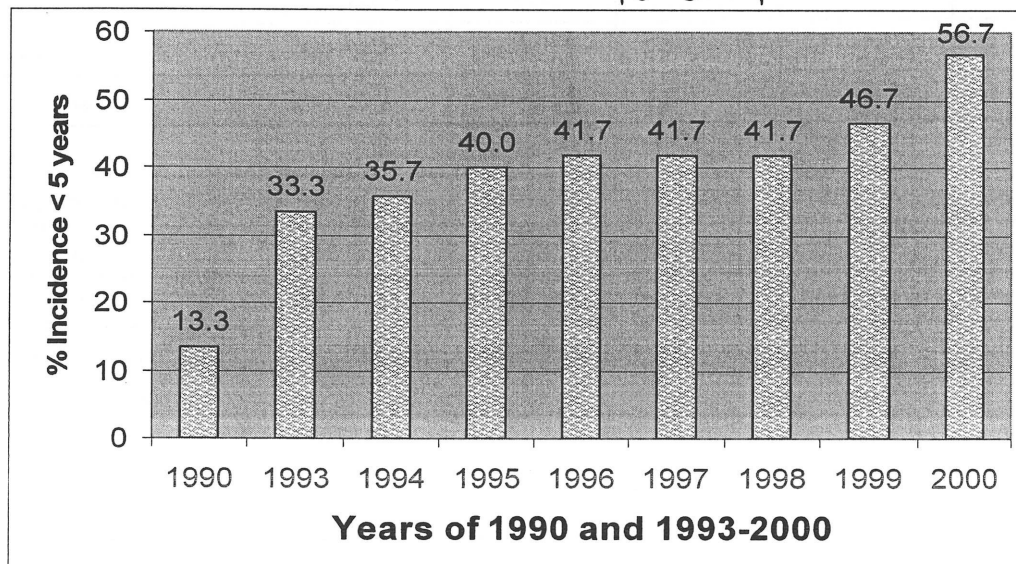
المصدر: (Lopez, 2004)

درس Yacoub وآخرون (Yacoub et al., 2002) علاقة الارتباط بين التعرض للأشعة من اليورانيوم المنضب وارتفاع نسبة الحدوث للأمراض السرطانية بين الأطفال في محافظة البصرة خلال المدة التي أعقبت الحرب (الأشكال 4 و 5 و 6). حيث لاحظوا التغير الواضح في معدلات الحدوث في الزير وفي المناطق الغربية من أقل من 100,000/5 قبل 1993 إلى 100,000/22 في عام 2000 ما عدا الهارثة (شمال مدينة البصرة) التي أظهرت معدل يزيد على 100,000/10. وأختبروا كذلك المعايير البايولوجية لزيادة حدوث اللوكيميا عند الأطفال التي تقل أعمارهم عن 5 سنوات. في هذا الصدد لم يجد Yacoub وآخرون تفسيراً للزيادة الكبيرة المستمرة في نسبة الحدوث لموقع الهارثة وقد يعود ذلك إلى تلوث كبير حصل نتيجة تدمير محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تصل إلى 800 ميكرواواط رغم أنه لم تجري قياسات لليورانيوم في هذا الموقع (Al-Azzawi, 2006).



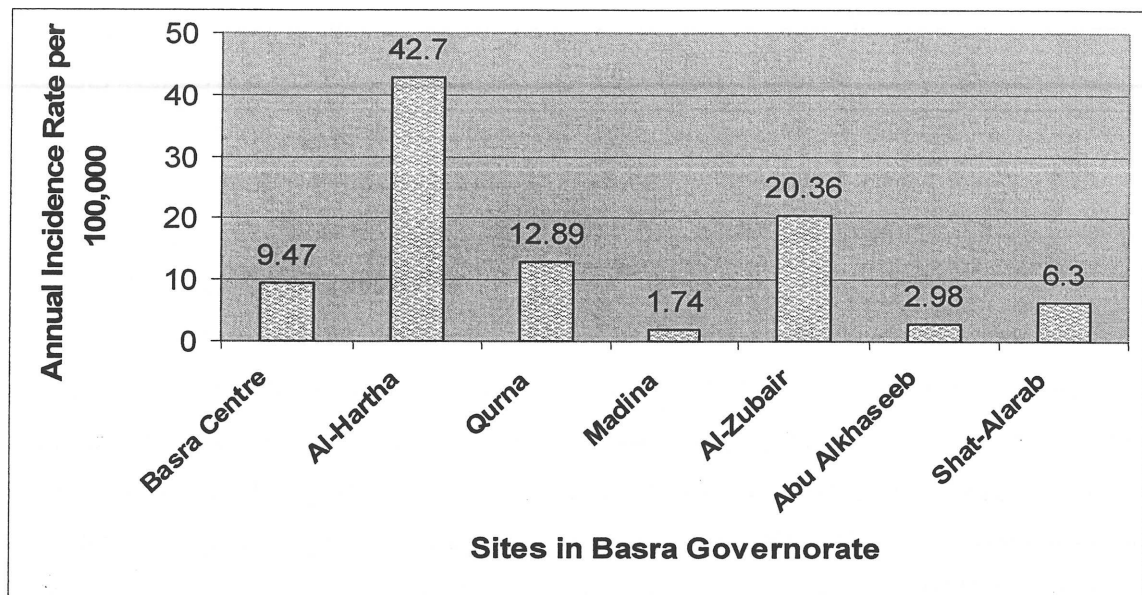
الشكل (4)

معدل الحدوث للأمراض السرطانية بين الأطفال في محافظة البصرة
لعام 1990 والأعوام 1993 - 2000. (Yacoub et al., 2002)



الشكل (5)

النسبة المئوية للحدوث عند الأطفال تحت سن الخامسة الذين أصيبوا باللوكيميا في البصرة
لعام 1990 والأعوام 1993 - 2000. (Yacoub et al., 2002)



الشكل 6

التوزيع الجغرافي لمعدلات الحدوث السنوية للأمراض السرطانية بين الأطفال في عام 2000
(Yacoub et al., 2002)

وجد في عام 1999، أي بعد مرور عشر سنوات تقريباً على إنتهاء حرب الخليج 1991، بأن هناك 6-10٪، أي 36,000 من 600,000 من المحاربين الذين تعرضوا، سيكونون عرضة للأمراض السرطانية القاتلة. وستكون النسبة في البصرة أكبر بكثير طالما أن الناس مستمرين بإستنشاق وشرب وتناول مواد مشعة. وسيكون عامل الخطورة 20٪، أو أعلى. علماً بأن الإختبار تم في ثلاثة مختبرات (Robicheau, 1999).

6-1-2 التأثيرات في المحاربين من القوات المسلحة الأمريكية

ليس هناك شك من أن 320 طن على الأقل من اليورانيوم المنضب قد إستعملت في حرب الخليج 1991 وإن تلك الكمية قد تحولت الى دقائق صغيرة جداً من الغبار غير ذائبة بصورة أكاسيد UO2 أو UO3 بشكل ضباب، إنتشرت لمساحات واسعة (Fahey, 1999). ولم يكن تأثير غبار اليورانيوم المنتشر في محيط المعركة محدوداً، بل إمتد ليطال العسكريين الأمريكيين والقوات المساندة المتواجدة في أرض المعركة، وإنعكس ذلك من خلال الأصابات العديدة التي سجلت بعد إنتهاء العمليات العسكرية. كما وجد اليورانيوم المنضب عام 1997 في السائل المنوي لخمسة عسكريين أمريكيين من بين اثنين وعشرين جرحوا بشظايا اليورانيوم المنضب عام 1991. وأشارت تقارير أخرى الى وجود 36 جندي بضمنهم 22 أصيبوا بشظايا اليورانيوم المنضب، وكانوا في العربات الحربية، تعرضوا الى غبار اليورانيوم المنضب، وأصبحوا تحت العناية الطبية (Helmkamp, 1994). وأشارت Flanders (1995) الى وجود نسبة عالية من التشوهات الولادية في عوائل المحاربين الذين شاركوا في حرب الخليج. حيث أجرت إدارة المحاربين مسحاً في عموم ولاية المسيسيبي (Mississippi) شمل 251 عائلة من الذين شاركوا في حرب الخليج. وقد وجد أن 67٪ من الأطفال الذين ولدوا بعد الحرب أصيبوا بتشوهات مرضية، صنف حالات شديدة، مثل فقدان العيون، وفقدان الأذن والتصاق الأصابع، وأمراض دموية، ومشاكل في التنفس. وأوضحت Flanders بأن التشوهات الولادية تعود الى تأثيرات الأشعة من اليورانيوم المنضب، والتلوث، ومن لدغات الحشرات الصحراوية. في حين أرجع آخرون سبب التشوهات الولادية الى اللقاحات والحبوب وطارد الحشرات والدخان من الآبار المحترقة..

وظهرت على المحاربين القدامى علامات إختلال مشابه. حيث تم إختبار 30 عينة من الذين شاركوا في العمليات العسكرية من الولايات المتحدة والمملكة المتحدة وكندا والعراق وغطت مواقعهم كامل أرض المعركة. حللت العينات لتحديد التركيب النظائري لنظائر اليورانيوم بطريقة التنشيط النيوتروني المتأخرة (Delayed Neutron Activation) وتم تأكيدها بمطياف الكتلة للتأين السطحي. أظهرت تلك التحاليل أن مدى اليورانيوم المنضب تراوح بين 3-18 مايكروغرام لفترة 24 ساعة، وكانت القيم ذات إرتباط موجب مع موقع تواجدهم وطبيعة العمل (Robicheau, 1999).

أشار Richardson (1999) الى أن فريق خبراء الفيزياء الصحية والمسؤول عن السلامة الإشعاعية في حرب الخليج والمكلف بعملية التنظيف لمناطق العمليات الحربية، ظهرت بعض أعراضه مشاكل صحية بعد أسبوعين من عودته من ساحة العمليات. وخلال السنوات الثمانية التي أعقبت الحرب بدأ رئيس الفريق دوك روكي (Doug Rokke) ومعظم أعضاء الفريق بإظهار أعراض مرضية. وقد توفي قسم منهم. كما أن رئيس الفريق نفسه قد عانى من مشاكل حادة في الكلى والجهاز التنفسي، حيث أظهر تحليل الإدرار في آذار 1994 بعد ثلاث سنوات من عودته الى الولايات المتحدة الأمريكية زيادة في مستوى اليورانيوم الموجود وصلت الى أكثر من 2000 في المائة، وفي دمه أكثر من 5000 في المئة عن المستوى الطبيعي.

في تقرير آخر، تم تشخيص التلوث باليورانيوم المنضب عند 24 من العسكريين الأمريكيين من قبل البرفسور الدكتور أساف دوراكوفيتش (Asaf Durakovic) رئيس العيادات لقسم الطب النووي في إدارة العسكريين الأمريكيين، أحيلوا له مباشرة بعد إنتهاء الحرب في 1991. في الوقت نفسه توفي أثنان من العسكريين لإسباب غير معروفة. وخلال 1998 وأوائل 1999، إستخدم البرفسور الدكتور هاري شارما (Hari Sharma) - جامعة ووترلو، أونتاريو، كندا، طريقة جديدة لتشخيص وجود اليورانيوم المنضب في الأدرار، ووجد تلوثاً في إدرار المحاربين القداماء بعد 8 سنوات من إنتهاء الحرب، على الضد من تقارير الجيش الأمريكي التي تتحدث عن المرور السريع لليورانيوم في الجسم وخروجه في الأدرار (Robicheau, 1999).

وأختبرت عينات من مجتمع بغداد والبصرة، وأظهرت وجود اليورانيوم المنضب في الإدرار في جميع المناطق الجيوغرافية ويعتمد عامل خطورة التعرض الى الأكاسيد داخل الرئتين على عامل نصف العمر البايولوجي، أي الزمن التي تبقى فيه الأنسجة معرضة للإشعاع.

وذكر Howenstine (2005) أن الكثير من العسكريين الذين شاركوا في حرب الخليج 1991 أصبحوا مرضى ويعانون من اعراض مرضية متنوعة بعد إنتهاء الحرب. وترفض حكومة الولايات المتحدة لسنوات عديدة الاعتراف بالمسؤولية عن الأعراض الغامضة، إذ خدم 580,400 جندي في الحرب الأولى، ووصل عدد الجرحى 7,035 رجلاً. وفي نهاية عام، أصبح 325,000 غير صالحين للخدمة. وهذا يعني أن 56% من العسكريين الذين خدموا خلال الحرب أصبحوا غير صالحين خلال 10 سنوات. كما أشار Howenstine (2005) الى أن الدكتور روكي (Doug Rokke) الذي أشرف على تنظيف 34 دبابة نوع أبرامس (Abrams) ومدعة برادلي (Bradley) والتي ضربت بالخطأ بنيان صديقة بصواريخ في حرب الخليج الأولى 1991 قد عانى من تأثيرات مرضية من اليورانيوم المنضب الذي دخل الجسم في عملية التنظيف. ومن المشاكل المرضية التي عانى منها، عدا الرئتين والكبد والكليتين، هشاشة الأسنان، إذ يبدو أن اليورانيوم أزاح الكالسيوم الموجود في الأسنان والعظام ونتج في سهولة تكسر الأسنان.

من جهته، طور Gwiazda and Smith (2004) من جامعة كاليفورنيا، سانتا كروز، تقنية تحليلية حساسة للكشف عن التعرض القديم لليورانيوم المنضب في عينات الإدرار. وأشارت أبحاثه الى أن الجنود الذين تعرضوا لليورانيوم المنضب بطريقة معينة قد أمتصوا دقائق اليورانيوم المنضب خلال الإستنشاق أو الهضم أو الجروح بشظايا اليورانيوم المنضب. ومن خلال قياس التواجد النسبي لنظائر اليورانيوم المختلفة في الإدرار يمكن التمييز بين اليورانيوم الطبيعي واليورانيوم المنضب. وتعد الطريقة واضحة لتحديد التعرض القديم أو إمتصاص اليورانيوم المنضب وقد شمل تحليل عينات الإدرار من العسكريين الأمريكيين الذين شاركوا في حرب 1991 ثلاثة مجاميع: الأولى - من الجنود الذين أصيبوا بشظايا بنيان

صديقة، حيث تعرضت دبابتهم أو آلياتهم المدرعة الى ذخيرة اليورانيوم المنضب. الثانية: شملت الجنود الذين لم يصابوا بشظايا، ولكنهم تعرضوا الى نيران صديقة بدرجات مختلفة بسبب وجودهم في الآليات التي ضربت، أو لإنهم شاركوا في عمليات الاستعادة. الثالثة: كانت مجموعة مرجعية من الجنود الذين شاركوا في الحرب ولكن ليس في عمليات المواجهة. أشارت نتائج التحليل الى وجود تراكيز عالية من اليورانيوم في الإدرار - كما هو متوقع - لدى المجموعة الأولى، التي تعرضت الى شظايا. وظهر التحليل النظائري وجود اليورانيوم المنضب بأجسامهم بسبب الشظايا. ومن النتائج اللافتة للنظر: وجود اليورانيوم في عدد مهم من الجنود ضمن المجموعة الثانية الذين تم فحصهم، ومن الذين لم يصابوا بشظايا، والذين تعرضوا لليورانيوم المنضب نتيجة التنفس أو الهضم، حيث وصل تركيز اليورانيوم في أدرارهم 6 أضعاف التركيز عند مجموعة المرجع. وبهذا يمكن الإستنتاج بأن اليورانيوم المنضب ترك بصماته رغم مرور 8 سنوات بعد التعرض.

7. الإستنتاجات

1. أدى إستخدام مئات الأطنان من ذخيرة اليورانيوم المنضب في حربي الخليج 1991 و 2003 لضرب الدبابات والآليات المدرعة الى تكون كميات كبيرة من غبار اليورانيوم بشكل دقائق صغيرة جداً من أكاسيد اليورانيوم مجهرية الحجم إنتشرت في مساحات واسعة من الأراضي ولها قدرة للتشتت في الهواء والانتقال بين التربة والهواء وتلوث مصادر المياه ومصادر الغذاء.
 2. إن دقائق اليورانيوم المنتشرة لها خصائص جسيمية وإشعاعية وسمية للإنسان ويكون خطرها كبير جداً على صحة الإنسان ويستمر للمئات السنين بسبب العمر النصفى لنظائر اليورانيوم الذي يصل 4.5 مليار سنة.
 3. يتمثل خطورة دقائق اليورانيوم المجهرية المباشرة على العسكريين في ساحات المعارك أو المدنيين القريبين من العمليات الحربية في عملية التنفس أو تناول الغذاء أو الماء الملوث حيث تستقر هذه الدقائق في الرئتين أو القناة الهضمية وتنتقل الى باقي الأعضاء من خلال الدورة الدموية. كذلك قد يدخل اليورانيوم المنضب الجسم نتيجة تعرض العسكريين المشاركين في العمليات الحربية الى جروح بسبب شظايا اليورانيوم المنضب.
 4. تعمل دقائق اليورانيوم الموجودة داخل الجسم على تدمير الأنسجة الحية خلال العديد من الآليات بسبب خصائصها الجسيمية (تبعث جسيمات ألفا وبيتا) وخصائصها الإشعاعية (تبعث أشعة غاما) وكذلك الكيميائية السمية لأن اليورانيوم عنصر ثقيل جداً. حيث تسبب ضرراً بالتركيب الجيني للخلايا وإحداث مدى واسع من الأمراض السرطانية والتشوهات الولادية وكذلك تعطيل دور ووظيفة الأجهزة.
 5. أشارت نتائج البحوث وحالات الأمراض المسجلة الى تزايد نسب الأمراض السرطانية في المجتمع العراقي خصوصاً في محافظة البصرة جنوب العراق في المواقع القريبة من ساحة العمليات الحربية وفي المحافظات الجنوبية في الأعوام التي أعقبت 1991. حيث لوحظ على سبيل المثال زيادة في سرطان الدم (اللوكيميا) وسرطان الرئتين بمقدار عدة أضعاف عند العسكريين الذين تعرضوا لليورانيوم المنضب أو المدنيين خصوصاً الأطفال القريبين من ساحات المعارك مع ملاحظة قيم عالية لنسبة الحدوث (Odd ratio) للأمراض السرطانية والتي تشير الى وجود علاقة إرتباط بين تلك الأمراض والتعرض لليورانيوم المنضب. فضلاً عن زيادة نسبة التشوهات الولادية.
- أشارت نتائج دراسات ميدانية أخرى على عينات من التربة والمياه والنبات الطبيعي من مواقع العمليات العسكرية ومواقع الآليات المدمرة الى زيادة في قيم التعرض الإشعاعي عن الحد الطبيعي وكذلك الحال بالنسبة للزيادة في تركيز اليورانيوم ونظائره والتي تؤكد وجود اليورانيوم المنضب في تلك العينات. من جهة أخرى تبقى القنابل غير المنفلقة المدفونة في التربة والتي أخطأت أهدافها مصدر لتحرير نظائر اليورانيوم في عمليات التآكل والتجوية.

6. لم يقتصر التأثير السلبي لليورانيوم المنضب على العسكريين أو المدنيين العراقيين بل إمتد ليشمل العسكريين الأمريكيين الذين شاركوا في العمليات الحربية أو الذين قدموا إسناد للعمليات الحربية. إذ بينت نتائج العديد من التحاليل في المختبرات الأمريكية وجود اليورانيوم المنضب في الأجسام أو في الأدرار والذي إنعكس ذلك في ظهور أعراض مرضية أو تشوهات ولادية نتيجة التعرض أو الأمتصاص أو الاستنشاق.

7. تؤكد زيادة نسب الأمراض السرطانية والتشوهات الولادية في المجتمع العراقي وظهور أعراض أمراض غامضة عند العسكريين الأمريكيين وكذلك الفحص الموجب لليورانيوم المنضب في عينات الأدرار أو الدم رغم مرور سنوات عديدة على إنتهاء الحرب، على أن اليورانيوم المنضب سلاح غير عادي، بل خطير ومدمر للبيئة وصحة الإنسان.

8. البرامج المقترحة

تشير الكثير من الدلائل الى أن اليورانيوم المنضب، الذي أستخدم في حرب الخليج 1991، قد لوث مساحات واسعة من أراضي جنوب العراق، وإن هذا التلوث قد سبب أضراراً صحية في المجتمع العراقي، سواء لدى العسكريين الذين إشتراكوا في العمليات الحربية، أو لدى المدنيين القريبين من مواقع التلوث. فضلاً عن أن المواقع والمساحات الملوثة باليورانيوم المنضب ستبقى مصدراً لتلوث الإنسان وعناصر البيئة الأخرى بسبب نشاط الرياح والعوامل المناخية الأخرى.

إن حجم المشكلة الكبير على المدى القريب والبعيد، والذي يتمثل بآلاف الأصابات عند الفئات العمرية المختلفة، وإحتمال إنتقال الملوثات الى مساحات أخرى، الخ، يتطلب مساعدة الأسرة الدولية، ممثلة بمنظمة الأمم المتحدة ووكالاتها المتخصصة، والمراكز البحثية، والجامعات، ومنظمات المجتمع المدني، في المساهمة الفاعلة، ودعم البرامج الهادفة لتقييم المشاكل الصحية القائمة، وأبعادها المستقبلية، وإيجاد الحلول المناسبة للإصابات، والحد من إنتشار اليورانيوم المنضب.

فيما يأتي بعض البرامج المقترحة:

1. مسح صحي كامل في المناطق القريبة من مواقع التلوث بالتنسيق مع الجهات العراقية لتحديد الأضرار الناتجة وتحديد عوامل ربط حالات الأصابة مع استخدام اليورانيوم المنضب.
2. وضع استراتيجية لتنظيف البلاد من بقايا اليورانيوم المنضب تتمثل في برامج قصيرة الأمد وأخرى بعيدة الأمد تبدأ بالمناطق الأكثر تلوثاً أو المواقع الساخنة (Hot spots)، مروراً بالقذائف غير المنفلقة.
3. دراسات قصيرة وبعيدة الأمد لمجاميع تعرضوا لليورانيوم المنضب، وأخرى لمن لم تتعرض (Case Study) بالتنسيق مع الجهات العراقية.
4. عمل مسح للعسكريين الذين تعرضوا لسلاح اليورانيوم المنضب، وبناءً على بيانات كاملة يحدد عدد المشمولين بإختبارات الدم والأدرار بحثاً عن وجود مركبات اليورانيوم، وتحديد وجود الارتباط بين التحاليل ووجود اليورانيوم.
5. بناء موديلات رياضية عن سلوك اليورانيوم المنضب في البيئة العراقية (التربة والمسطحات المائية والمياه الجوفية) وتوقع مصيره على المدى البعيد، بالتعاون مع جهات ذات العلاقة.
6. برامج تدريب صحية لتأهيل الأطباء ومساعدتهم للتعامل مع حالات الأصابة من جراء اليورانيوم المنضب.
7. اقتراح وسائل للتعامل مع مئات العربات المدمرة جراء استخدام عتاد اليورانيوم المنضب في مواقع العمليات العسكرية لعام 1991.

المراجع

1. Al-Azzawi, S., and M. Al-Saji (1998). Effects of radioactive on surface and ground water in selected regions in southern Iraq. J. Arabic Universities Association, Vol. 6, No. 1, Baghdad, 1999.
2. Al-Azzawi, S., Maarouf, B., and A. Arif (2002a). Environmental consequences resulted from the use of DU weapons on water and selected areas in Al-Basrah governorate. J. Engin., College of Engineering, Vol. 7, No. 1, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.
3. Al-Azzawi, S., Maarouf, B., and S. Hussein (2002b). Environmental consequences resulted from the use of DU weapons on soil and air at selected areas in Al-Basrah governorate. J. Engin., College of Engineering, Vol. 7, No. 1, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.
4. Al-Azzawi, S.N. (2006). Depleted uranium radioactive contamination in Iraq: An overview. **Global Research**, www.globalresearch.ca/index.php?context=viewArticle&code=AL-20060831&articleId=3116
5. Al-Hilli, W. (1998). Effects of radioactive weapons on the soil and air quality in Iraq. M. Sc. Thesis, Environmental Engineering Dept., College of Engineering, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.
6. Alkinany, A., D. Twege, and K. Abdul Allah (2002). Investigating DU radioactivity in selected locations in Basrah. Proc. Conf. on the Effects of the Use of DU Weaponry on Human and Environment in Iraq, March 26-27, 2002, Baghdad, Iraq. (In Arabic)
7. Al-Saji, M., (1998). Effects of radiological weapons on surface and groundwater quality in selected areas southern Iraq. M. Sc. Thesis, Environmental Engineering Dept., College of Engineering, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.
8. Bem, H., and F. Bou-Rabee (2004). Environmental and health consequences of depleted uranium use in the 1991 gulf war. Environ. Intern. 30:123-134.
9. Bertell, R. (1999). Gulf war veterans and depleted uranium. In Depleted Uranium: A post-war disaster for environment and health. Laka Foundation, May 1999. <http://rimbaud.freemove.co.uk/depleted.htm>.
10. Bristow, R. (1999). Depleted uranium. In Depleted Uranium: A post-war disaster for environment and health. Laka Foundation May 1999. <http://rimbaud.freemove.co.uk/depleted.htm>.
11. Buck, B.J., A.L. Brock, W.H. Johnson, and A.L. Ulery (2004). Corrosion of depleted uranium in an arid environment: Soil-geomorphology, SEM/EDS, XRD, and electron microprobe analyses. **Soil and Sediment Contamination**, 13: 545-561. (Abstract)
12. Butrus, S., K. Watan, and L. Butrus (2002). Assessing radioactive contamination levels in Basrah governorate. Proc. Conf. on the Effects of the Use of DU Weaponry on Human and Environment in Iraq, March 26-27, 2002, Baghdad, Iraq. (In Arabic)
13. Chen, J.P. and S. Yiacoum (2002). Modeling of depleted uranium transport in subsurface systems. **Water Air & Soil Pollution**. 140: 173-201.

14. Others by Depleted Uranium. <http://www.wise-uranium.org/index.html>.
15. Fahad, A.A., R.M. Shihab, A.W. Ali, H.A. Tawfeek, and A.A. Al-Hasani (2002a). Mobility and transport of depleted uranium in soils of southern region of Iraq. 1st Conf. on the Effect of the Use of Depleted Uranium Weaponry on Human and Environment in Iraq. 26-27 March 2002, Part 1: 179-197., Ministry of Higher Education, Baghdad, Iraq. (In Arabic)
16. Fahad, A.A., J.F. Al-Meatheedi, R.M. Shihab, A.A. Al-Hasani, A.W. Ali, and M.Sh. Mahmood (2002b). Fate of depleted uranium in soil and its transport to environmental mediums. Seminar on "Contamination with Depleted Uranium: Observation and Environmental Remediation. Iraqi Atomic Energy Commission and University of Al-Nahrain, 3 Oct. 2002, Part 2:100-129.
17. Fahey, D. (1999). Depleted Uranium Weapons: Lessons from the 1991 Gulf War. *In* Depleted Uranium: A post-war disaster for environment and health. Laka Foundation May 1999. <http://rimbaud.freemove.co.uk/depleted.htm>
18. Flanders, L. (1995). A lingering sickness. The Nation, Jan., p. 94-96.
19. Fahey, D. (2003). The use of depleted uranium in the 2003 Iraq War: An initial assessment of information and policies. <http://www.wise-uranium.org/pdf/duio3.pdf>
20. Gwiazda, R. and D. Smith (2004). Isotope analysis shows exposure to depleted uranium in gulf war veterans. <http://www.sciencedaily.com/release/2004/01/040122090433.htm>
21. Fox, R. W. and A.T. McDonald (1992). Introduction to Fluid Mechanics, 4th. Ed., Wiley, 1992, p. 444.
22. Hartmann, H.M., F.A. Monette, and I.H. Avci (2000). Overview of toxicity data and risk assessment methods for evaluating the chemical effects of depleted uranium compounds. Human Ecol. Risk Assess. 6:851-874.
23. Helmkamp, J.C. (1994). United States military casualty comparison during the Persian Gulf War. J. Occupational Medicine, Vol. 36, p. 614.
24. Hodge, H.C., J.W. Stannard, J.B. Hursh (1973). Handbook of Experimental Pharmacology. Berlin, Springer-Verlag.
25. Howenstine, J. (2005). Depleted uranium, anthrax vaccine and the gulf war syndrome. <http://newswithvies.com/Howenstine/james3.htm>
26. ICRP, International Commission on Radiation Protection (1998). Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers: Design and interpretation, Pergamon Press.
Johnson, W.H., B.J. Buck, H. Brogonia, and A.L. Brock (2004). Variations in depleted uranium sorption and solubility with depth in arid soils. Soil and Sediment Contamination 13: 533-544
27. Lopez, D. (2004). Documents Collected from "Conference on Health and Environmental Consequences of Depleted Uranium used by U.S. and British forces in the 1991 Gulf War" Hotel Al-Rashid, Baghdad, Iraq December 2-3, 1998. <http://asterix.phys.unm.edu:8000/dureport/dureport.html>
28. Maguar, A. (1998). Effects of radiological pollution on human and the environment in southern Iraq, M. Sc. Thesis, Environmental Engineering Dept., College of Engineering, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.



29. military conflicts and the impact on the environment. Health Phys. 83:280-282.
30. Priest, N.D. (2001). Toxicity of depleted uranium. Lancet 357:244-246.
31. Richardson, J.J. (1999). Depleted uranium: The invisible threat.
www.motherjones.com/arts/index.html.
33. Rokke, D. (2001). Depleted uranium: Uses and hazards. Francisco Javier Bernal Estévez, Jan 2001 19: 29-40. <http://www.ratical.org/radiation/DU/DUuse+ hazard.html>. (This paper is an updated version of the paper presented in the British House of Commons; London, England; on December 16, 1999).
34. Robicheau, D. (1999). The next testing site for Depleted Uranium weaponry. *In* Depleted Uranium: A post-war disaster for environment and health. Laka Foundation, May 1999. <http://rimbaud.freemove.co.uk/depleted.htm>.
35. SAIC, Science Applications International Corporation (1990). Kinetic energy penetrator environmental and health considerations. July 1990, Vol. 2, p. 2-4.
36. Saleh, M.M. and A.J. Megwar (1998). The effect of depleted Uranium used by the allied forces on men and the biosphere in the selected regions of the southern area of Iraq. Proc. Conf. Health and Environmental Consequences of Depleted Uranium used by U.S. and British forces in the 1991 Gulf War. Hotel Al-Rashid, Baghdad, Iraq, December 2-3, 1998. (Abstract)
37. Snufa, (2003). Action Guide: Depleted uranium/gulf war syndrome. www.join-snafu.org n 212 633 6646
38. UN EPSMK, United Nation Environmental Program Scientific Mission to Kosovo (2000). Depleted uranium in Kosovo: Post-conflict environmental assessment., 5-19 Nov. 2000.
39. UN SCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000). Sources and effects of ionizing radiation, vol. I. New York, United Nations, p. 123.
- US AEPI, U.S. Army Environmental Policy Institute (1991). 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), 8 March 1991, p. 2
40. US AEPI, U.S. Army Environmental Policy Institute (1995). Health and environmental consequences of depleted uranium use in the U.S. Army; U.S. Army Environmental Policy Institute; June, 1995; p. 78.
41. US DOD, U.S. Department of Defense (2000). Depleted uranium in the Gulf. Institute. Environmental Exposure Report. <http://www.gulflink.osd. mil/du>.
42. WHO, World Health Organization (2001). Depleted uranium WHO Media centre. <http://www.who.int/topics/uranium/en/index.html>.
43. Yaqoub, A., I. Al-Sadoon, and J. Hassan (2002). The evidence of casual association between exposure to DU and malignancies among children in Basrah by applying epidemiological criteria of causality. Proc. Conf. on the Effects of the Use of DU Weaponry on Human and Environment in Iraq. March 26-27, 2002, Baghdad, Iraq. in the Gulf. Institute. Environmental Exposure Report. <http://www.gulflink.osd. mil/du>.

44. WHO, World Health Organization (2001). Depleted uranium WHO Media centre. <http://www.who.int/topics/uranium/en/index.html>.
45. Yaqoub, A., I. Al-Sadoon, and J. Hassan (2002). The evidence of casual association between exposure to DU and malignancies among children in Basrah by applying epidemiological criteria of causality. Proc. Conf. on the Effects of the Use of DU Weaponry on Human and Environment in Iraq. March 26-27, 2002, Baghdad, Iraq.
46. Zhou, H., G. Randers-Pehrson, C.A. Waldren, D. Vannais, E.J. Hall, and T.K. Hei (2000). Induction of a bystander mutagenic effect of alpha particles in mammalian cells. PNAS Cell Biol. 97: 2099-2104.
47. Zhou, H. et al., (2001). Bystander effects and alpha-particle induced cancer. Proc. National Acad. Sci. USA, 14:410-415.
48. Zhou, H., G. Randers-Pehrson, C. A. Waldren and T. K. Heia (2004). Radiation-induced bystander effect and adaptive response in mammalian cells. Advances in Space Research 34: 1368-1372. (Abstract)
49. Mitsakou, C., K. Eleftheriadis, C. Housiadas, M. Lazaridis (2003). Modeling of the dispersion of depleted uranium aerosol. Health Physics. 84: 538-544. (Abstract)
50. Busby, C, (2003). Depleted science: Health consequences and mechanisms of exposure to fallout depleted uranium weapons. In: Internat. DU Conf. Hamburg, Oct. 16-19, 2003, Occasional paper 2003/06.
51. Vartanian, K. (2006). Study of radiation pollution by depleted uranium for Basra environment. A thesis submitted to the College of Education, University of Basra, Iraq, for the Degree of Master of Science in Physics, May 2006. (Abstract)