

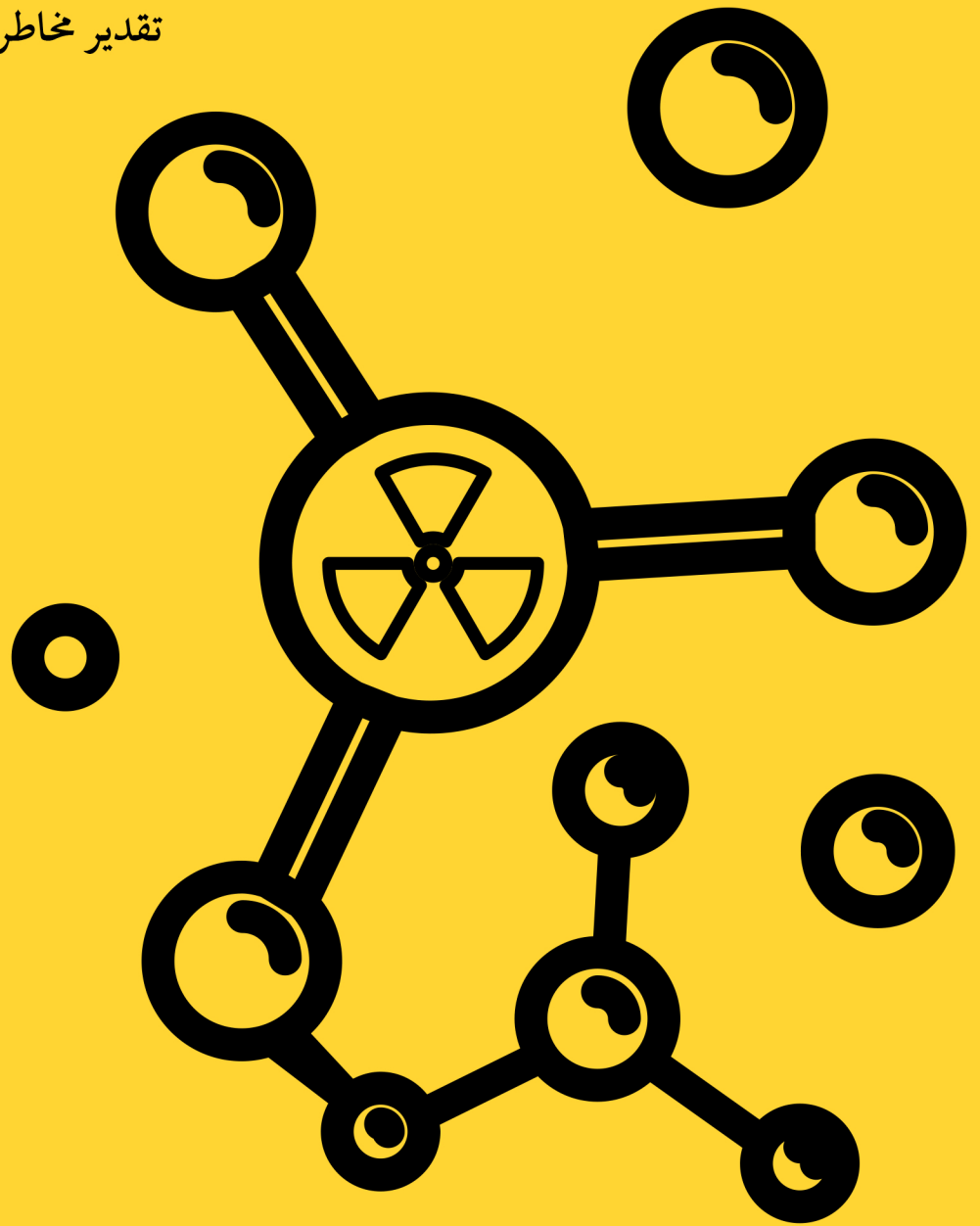


المجلة العربية للبحث العلمي
Arabian Journal of Scientific Research

Vol 1 issue 1 2020

تقدير مخاطر استخدام أسلحة اليورانيوم
المنضب في العراق

سعاد ناجي العزاوي





افتتاحية العدد

افتتاحية العدد الأول من المجلة العربية للبحث العلمي

مجلة علمية محكمة تصدر باللغة العربية عن «منظمة المجتمع العلمي العربي»
د. موزة بنت محمد الربان

ورقة بحثية

خطة عملية متكاملة لإدارة خطر الكوارث على مواقع التراث الثقافي: حالة دراسية في الإقليم الساحلي السوري

حسين عزيز صالح

مقال بحثي

تقدير مخاطر استخدام أسلحة اليورانيوم المنضب في العراق - الجزء الأول

سعاد ناجي العزاوي

مقال بحثي

تقدير مخاطر استخدام أسلحة اليورانيوم المنضب في العراق - الجزء الثاني

سعاد ناجي العزاوي

ورقة بحثية

الحوسبة الكمومية، المفاهيم الأساسية والدارات المنطقية الكمومية

جمال الشوفي

01

03

19

43

54

افتتاحية العدد

افتتاحية العدد الأول من المجلة العربية للبحث العلمي

مجلة علمية محكمة تصدر باللغة العربية عن «منظمة المجتمع العلمي العربي»

د. موزة بنت محمد الربان*

رئيسة التحرير
mmr@arsco.org *

الهدف الرئيسي من إصدار هذه المجلة هو تعزيز تكوين المجتمع العلمي العربي، والذي من أهم ركائزه الكتابة العلمية باللغة الوطنية، كما هو الحال في جميع المجتمعات العلمية قديماً وحديثاً. فنحن في «منظمة المجتمع العلمي العربي» نؤمن أنه لا يمكن تكوين مجتمع علمي حقيقي يقوم بدوره في نهضة أمته بدون لغة علمية خاصة به.

ومن أجل تطوير اللغة العلمية العربية لابد من الكتابة بها وتطوير المصطلحات العلمية العربية، وهذا الأمر ليس بالسهل، خاصة في عدم وجود مشروع نهضوي عربي تتبناه حكومات الدول العربية، للأسف. ولكن واجبنا أن نبذل قصارى جهدنا من أجل وجودنا وكياننا كمجتمع علمي. إذن فهي رسالة سامية وهدف وجودي نهضوي للمجتمع العلمي العربي يجدر بكل من يحمله أن يسعى ويبدل جهده من أجله. وعليه، فليس الهدف من إصدار المجلة نشر الغث والسمين والنشر من أجل النشر فقط.

اعتاد الباحثون العرب على نشر بحوثهم العلمية في مجلات تصدر باللغات الأجنبية وخاصة الإنجليزية، وهم بذلك يساهمون في الإنتاج العالمي للعلم، وليس العربي، وهذا الإنتاج العالمي هو اليوم في تجدد مستمر ونشاط لا يشارك فيه أهل العربية، والعربية لسان كما تعلمون. فأهل العربية يدرسون العلم بلغة أصحابه، فهم يدرسون ويفكرون بغير العربية، وما يعرفونه من هذا العلم بالعربية لا يتعدى القليل من المبادئ. وما نؤمن به هو أن اللغة العلمية تنشأ عن البحث العلمي الأصيل، تقويه ويقويه. من هنا، كانت ضرورة كتابة البحوث العلمية الأصلية باللغة العربية، وكانت ولادة هذه المجلة.

لسنا نشك في أن العربية وقد كانت لغة العلم والمعرفة حقبة من الدهر قد استغرقت المعاني العلمية والفلسفية التي اتسع لها أفق التفكير حتى القرن السابع عشر. ولسنا نشك في أنها زاخرة بمصطلحات تدل على كثير من المعاني والمدلولات التي تتناولها العلوم الحديثة، بل وراها أدل على تأديتها من ألفاظ غيرها من اللغات والتي نجدها شائعة في البلدان العربية اليوم. لذا، فقد جعلنا الكتابة العلمية باللغة العربية وتطوير المصطلحات العلمية هدفاً سنبدل قصارى جهدنا من أجل تنفيذه بالتعاون مع ذوي الاختصاص، والباب مفتوح للمتخصصين باللغة العربية ومجامعها للمساهمة في هذا المشروع.

إذن فهي ليست مجرد مجلة للنشر العلمي، ولكنها جزء من مشروع حضاري. وهناك فرق كبير وكبير جداً بين من يعيش داخل نفسه ولنفسه فقط، ومن يعيش من أجل هدف سام في زمن بلغت فيه الأمة من الضعف والهوان مرحلة لا تخفى على أحد، بسبب تفرقها وضياح الأهداف السامية في خضم الأهداف الدنيا وسفاسف الأمور.

موضوعات المجلة تشمل كل التخصصات العلمية مثل العلوم الطبيعية والعلوم الحيوية والمشاركة والتطبيقات مثل الطب والهندسة بفروعها، بالإضافة إلى تاريخ وفلسفة العلوم العربية وعلوم اللغة العربية العلمية. ولأن المجلة ذات هدف ورسالة تسعى إليها من خلال المجتمع العلمي، فستكون الأولوية للبحوث العلمية التي تخص المنطقة العربية بالدرجة الأولى، كمثال الأمراض المستوطنة فيها، أو المحاصيل الزراعية وآفاتنا أو الكوارث البيئية الخاصة بالمنطقة مثل المياه الجوفية والتصحر والتلوث، والحلول الهندسية والتقنية الممكن تطبيقها لحل المشاكل الخ. ولكننا نقبل أيضاً البحوث العلمية الرصينة في مختلف المجالات. بالإضافة إلى أوراق علمية منشورة وحاصلة على صيت وتميز بعد ترجمتها للعربية إن كانت حقوق النشر تسمح بذلك.

ولهذا، نرجو من الباحثين والباحثات الكرام الذين يريدون أن تُنشر بحوثهم في المجلة أن ينتقونها من حيث الجودة ويكتبونها بطريقة مهنية. وأن يستشعروا الهدف والدور الذي يقومون به. علماً بأن البحوث العلمية التي تقبل للنشر تخضع لتقييم وتحكيم، كما تخضع لشروط النشر المتعارف عليها في المجالات العلمية العالمية ذات الصيت والمصداقية والأمانة العلمية. وللمجلة صفحة خاصة على شبكة الانترنت يمكن من خلالها تقديم البحوث والتواصل مع هيئة التحرير ودار النشر.

المجلة، ستصدر بحول الله، بقوة ورصانة وتميز، ولها رقم دولي وستسجل في قواعد البيانات العربية والعالمية، وقد اخترنا نشرها عبر دار نشر مرموقة ومعروفة بالجودة والمصداقية والمهنية العالية، وستصبح بتوفيق الله من أهم المجلات في المنطقة العربية. تبدأ المجلة مسيرتها بعددين في سنتها الأولى، ثم يزيد العدد في السنوات القادمة بعون الله. ويضم العدد الأول عدد من المقالات العلمية منها مقالاً حول خطة لإدارة الكوارث على مواقع التراث الثقافي في سوريا، ومنها دراسة من جزأين للدكتورة سعاد العزاوي حول تقدير مخاطر استخدام أسلحة اليورانيوم المنضب في العراق، ومقال للدكتور جمال الشوفي عن مفاهيم الحوسبة الكمومية والدارات المنطقية الكمومية.

كما أننا اخترنا للمجلة كوكبة من المحررين المتميزين ممن يحملون الرسالة ويقومون بدورهم كاملاً في المحافظة على المستوى العلمي للبحوث المنشورة من خلال التحكيم وباقي العمليات المصاحبة.

تحية إكبار لكل من يساهم في تغيير الواقع إلى واقع أفضل ويحلم بمستقبل يعيد لأمتنا العظيمة موقعها الريادي بين الأمم، ولكل من يعيش خارج نفسه.

د. موزة بنت محمد الربان

رئيسة تحرير المجلة

ورئيسة منظمة المجتمع العلمي العربي

Title

Editorial Foreword - 1st issue of the Arabian Journal of Scientific Research

Peer-reviewed journal published in Arabic on behalf of the Arab Scientific Community Organization

Dr. Moza Al-Rabban, Editor-in-Chief

It is my greatest pleasure to welcome you to the first issue of the Arabian Journal of Scientific Research (AJSR). One of the main goals of publishing this journal is to enhance the formation of the Arab scientific community. One of the most important pillars of developed communities is using national scientific language in writing researches, as it is the case in all scientific societies, past and present. We at the “Arab Scientific Community Organization” believe that no scientific society can play its role in the revival of its nation without having its own scientific language.

In order to develop the Arabic scientific language, it is necessary to write in it and develop the Arabic scientific terms. This is not easy, especially in the absence of any Arabic Renaissance project adopted by governments of the Arab countries. Therefore, it is our duty to do our best for our existence as an Arab scientific community. It is a lofty message and an existential renaissance goal for the Arab scientific community. Hence, this journal is not only for the purpose of publishing high quality science but it is a part of larger civilization project.

AJSR covers all scientific disciplines like physical sciences, biosciences and applications such as medicine, engineering and technology. Moreover, it covers history and philosophy of science, and the Arab scientific linguistics. To align with our main goal, publishing priority will be for papers concerned with the Arab region, such as: human and plant diseases, addressing problems in the region, natural crisis like desertification and pollution, and engineering and technical solutions. AJSR also accepts translated high-quality publications to Arabic (if copyright permits translation and republishing).

Accordingly, we request the authors who would like to publish with us to submit quality and professionally written scholarly papers. By doing so, they are playing a role in contributing to the overarching goal of developing the Arab scientific community. All the accepted articles are double-blind peer reviewed and published according to the international standards of publishing scholarly journals. AJSR has a website for hosting the published articles and for contacting the Editorial Board and the publishing house.

The first issue of AJSR covers various topics. Dr Hussein Saleh talks about disaster risk management in the Syrian coastal region. Dr. Soad Al-Azzawi assessed (in two articles) the risks related to depleted uranium contamination in Iraq and Dr. Jamal Alshoufi presented the basic concepts of quantum computation and quantum logical circuits.

The editorial-board members of AJSR are distinguished scholars who share our goal and play their full part in maintaining the high scientific level of the peer-reviewed published papers.

Special tribute to all who contribute to changing reality for the better and dream of regaining the Arab nation its leading position.

Dr. Moza Al-Rabban

Arab Scientific Community Organization, President

Arabian Journal of Scientific Research, Editor- in- Chief

ورقة بحثية

خطة عملية متكاملة لإدارة خطر الكوارث على مواقع التراث الثقافي: حالة دراسية في الإقليم الساحلي السوري

حسين عزيز صالح*

المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق، سورية

hussainazizsaleh@gmail.com, hussain.saleh@damascusuniversity.edu.sy *

الملخص:

التراث الثقافي ثروة ثمينة ومصدر للهوية الحقيقية التي تسهم في الحفاظ على البيئة المحلية لكل مجتمع. لقد أنتجت التسعة آلاف سنة من الحضارات في سورية أهم مواقع التراث الثقافي الأكثر إثارة وروعة في العالم، والمسجلة على قائمة اليونسكو للتراث العالمي. وتأثر معظم هذه المواقع بالكوارث الطبيعية، خاصة الزلازل، بسبب وقوع سورية في المنطقة الأكثر نشاطاً في الزلازل بين الصفائح التكتونية العربية والأوراسية والإفريقية. لسوء الحظ، بالإضافة إلى تأثيرات هذه الكوارث الطبيعية، فإن كارثة الحرب المستمرة على سورية منذ آذار 2011 كانت لها نتيجة مدمرة على عديد من هذه المواقع التراثية. تعرض هذه الورقة خطة عملية متكاملة لتخطيط وإدارة خطر الكوارث على مواقع التراث الثقافي السوري، خاصة تلك التي تضررت نتيجة هذه الحرب الظالمة. ضمن هذا السياق، يُفهم التراث الثقافي في نطاقه الأوسع (أبعد من الآثار والمتاحف) ليتضمن تطور العلاقات الإنسانية مع البيئة الطبيعية التي تشمل الجوانب المادية وغير المادية لهذا التراث (وهذا ما يسمى بالأصالة). عُرِضت حالة دراسية في الإقليم الساحلي السوري تشمل سلسلة من مواقع التراث الثقافي الموجودة في محيط قلعة الحصن التي تضررت بشكل بالغ نتيجة هذه الحرب، وكيف يمكن تأهيلها وإعادة إحيائها وربطها وتكاملها مع الفاعليات الحيوية والاجتماعية والاقتصادية والثقافية لمواقع هذه السلسلة المحيطة بالقلعة، مع إمكانية تطبيق هذه الخطة العملية وتطويرها لإعادة بناء وتأهيل جميع مواقع التراث الثقافي الأخرى المتضررة في جميع الأقاليم السورية.

الكلمات المفتاحية: إدارة خطر الكوارث، التراث الثقافي، التخطيط المكاني، التنمية المستدامة، التقنيات الجيومعلوماتية.

Title

An integrated disaster risk management plan of cultural heritage: A case study in the Syrian coastal region

Hussain Aziz Saleh, Damascus University, Syria

Abstract

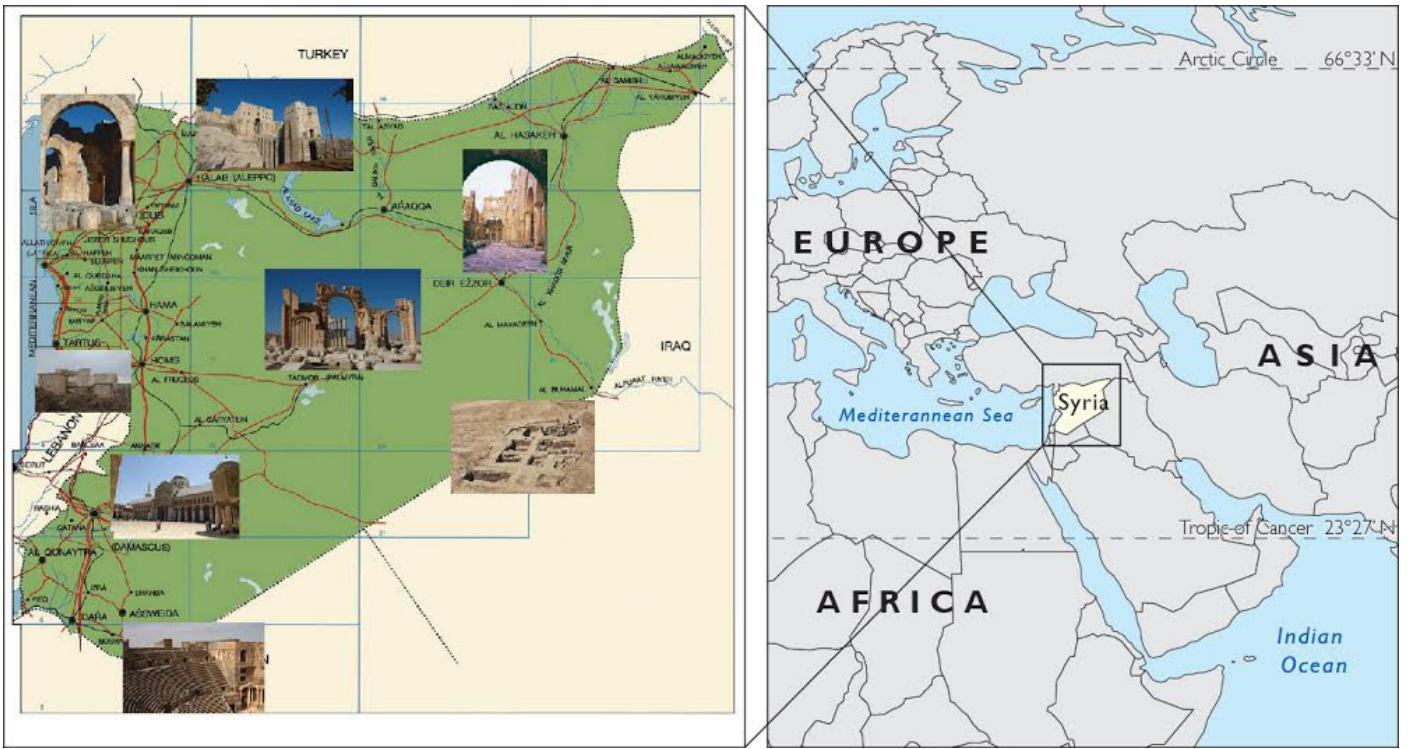
Cultural Heritage (CH) is a valuable asset and a source of true identity that contributes to the preservation of the local environment of each community. The Nine thousand years of civilizations in Syria have produced the most spectacular and fascinating CH sites in the world and are registered on the UNESCO World Heritage List. Most of these sites have been affected by natural disasters, especially earthquakes due to Syria's occurrence in the region most active in earthquakes among the Arab, Eurasian and African tectonic plates. Unfortunately, in addition to the effects of these natural disasters, the catastrophe of the ongoing war on Syria since March 2011 has had a devastating impact on many of these CH sites. This paper presents an integrated operational plan for disaster risk planning and management on the Syrian CH sites, especially those damaged by this unjust war. Within this context, CH is understood in its wider scope (beyond monuments and museums) to include the development of human relations with the natural environment that encompass the tangible and intangible aspects of this heritage (this is called authenticity). A case study was presented in the Syrian Coastal Region including a series of CH sites located in the vicinity of Al-Hosn Castle (Krak des Chevaliers), which was severely damaged as a result of this War, with the possibility of applying this practical plan and developing it to rebuild and rehabilitate all other affected CH sites in all the Syrian regions.

Keywords: Disaster risk management, Syrian cultural heritage, spatial planning, sustainable development, geo-information technology.

Received 31 August 2019; accepted 7 November 2019; published 28 February 2020

© 2020 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License CC BY 4.0, which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Cite this as: Saleh H. An integrated disaster risk management plan of cultural heritage: A case study in the Syrian coastal region, Arabian Journal of Scientific Research 2020;1.2. <https://doi.org/10.5339/ajsr.2020.2>



الشكل 1. خريطة التراث الثقافي في سورية وموقعها الاستراتيجي.¹

1- المقدمة

تقع سورية في جنوب غرب آسيا، على الطرف الشرقي للبحر الأبيض المتوسط، وتبلغ مساحتها 185180 كيلومتراً مربعاً، وتحتل موقعاً جيوسياسياً حساساً ذا بُعد مكاني فريد من نوعه بين القارات الثلاث: أوروبا وآسيا وإفريقيا. تُعدّ سورية مهداً للحضارات ولديها تراث ثقافي استثنائي (مثلاً، المدن التاريخية والمواقع الأثرية ومجموعات المتاحف، إلخ)، كما هو مبين في الشكل 1 ضمن هذا السياق، يُفهم التراث الثقافي (Cultural Heritage, CH) في نطاقه الأوسع (أبعد من الآثار والمتاحف) فيتضمن تطوّر العلاقات الإنسانية مع البيئة الطبيعية التي تشمل الجوانب المادية وغير المادية لهذا التراث (tangible & intangible) (وهذا ما يسمى بالأصالة (Authenticity)). من ناحية أخرى، تتعرض سورية للنشاط الزلزالي المستمر، بسبب موقعها في المجموعة النشطة الأكثر زلزالية بالمنطقة، حيث تتلاقى الصفائح التكتونية القارية العربية والإفريقية والأوراسية.

لقد تأثر معظم مواقع التراث الثقافي في سورية، خاصة في الإقليم الساحلي السوري بهذه الأنشطة التكتونية المستمرة بما في ذلك قلعة الحصن. كما تواجه سورية مجموعة من الكوارث الطبيعية والتكنولوجية والكوارث التي من صنع الإنسان (مثل الحرب الحالية وأعمال النهب والحرائق المفتعلة، إلخ)، والتي تحدث وتزيد من خطر تلوث الموارد الطبيعية مثل: الفيضانات وحرائق الغابات والعواصف الرملية وتدهور مناطق العزل الطبيعية والنفابات البترولية، إلخ.

وعلاوة على ذلك، فإن كارثة الحرب المستمرة التي تضرب سورية منذ آذار 2011 لها تأثير مدمر على عديد من المعالم التاريخية والثقافية التي تضررت أو تحطمت بشكل كامل، إذ تُهبّط المواقع الأثرية ودُمّرت بشكل ممنهج ودون رحمة، ومنها قلعة الحصن الشهيرة التي كانت -قبل الحرب الحالية- واحدة من جواهر تاج السياحة السورية ودُرّة الأوابد الأثرية المسجلة على لائحة التراث العالمي. تُعرض هذه الورقة الوضع الحالي للتراث الثقافي

المتضرر في سورية مع التطلّع لإعادة بنائه وتأهيله بتطبيق خطة متكاملة مبنية على أنشطة تخطيط وإدارة خطر الكوارث على قلعة الحصن المتضررة، وربطها وتكاملها مع الفاعليات الحيوية والاجتماعية والاقتصادية والثقافية لسلسلة من مواقع التراث الثقافي الأخرى المحيطة بالقلعة. تتكوّن الحالات الدراسية المختارة التي ستُطبّق هذه الخطة المتكاملة عليها، من مجموعة مواقع التراث الثقافي الواقعة في الإقليم الساحلي السوري (Syrian Coastal Region). تقع الحالة الدراسية الأولى -المراد تطوُّرها في هذه الورقة- في محافظة طرطوس، وتتكوّن من المواقع التراثية التالية: قلعة الحصن، دير مار جرجس الحميري، برج صافيتا، مدينة عمريت، جزيرة أرواد، قلعة المرقب، برج الصبي.

أما الحالة الدراسية الثانية التي سُنطوّر مستقبلاً فتقع في محافظة اللاذقية، وتتألف من مدينة أوغاريت والمسرح الروماني والأوبرا في وسط مدينة جبلة، القوس الروماني المنتصر في وسط مدينة اللاذقية وقلعة صلاح الدين. توضح الورقة أيضاً المفاهيم الرئيسة التي تدور حول الكوارث وتقييم الخطر وقابلية التضرر، وتحديد المخاطر الرئيسة والثانوية وتحليلها وإدارتها من خلال تأثيراتها ذات البُعد المكاني على قلعة الحصن، وتصف مكونات تقييم الخطر بأدواته الاستراتيجية والتخطيطية، وتشرح عملية اختيار المخاطر ذات الصلة بالبُعد المكاني لاستخدامها في تصميم النموذج المتكامل لإدارة خطر الكوارث، وتُحدّد الإطار الاستراتيجي المعتمد للاستجابة لجميع أنواع المخاطر المؤثرة في مواقع التراث الثقافي بالإقليم الساحلي السوري. وتنتهي الورقة ببعض التوصيات والاستنتاجات وما يجب عمله مستقبلاً.

2- التراث الثقافي في سورية والأهمية التاريخية لقلعة الحصن

أثبت علماء الآثار أن سورية غنيّة بالتراث الثقافي على مدى التاريخ، وأن أربعاً وثلاثين حضارة قد سُجلت فيها بدءاً من فترة العصر البدائي (Halaf period)

(4500-2500 قبل الميلاد) حتى الانتهاء بسورية الحديثة، كما هو موضح في الشكل 1.

لقد واجهت هذه الأرض -المتتمثلة في سورية الحديثة- صعود الإمبراطوريات العظيمة مثل بابليون وآشور وأكاد وسومر، ثم جاء الفرس والمغول والعرب من الشرق، ومن الغرب الإغريق والرومان البيزنطيون والقوات الصليبية. في عام 1975 اكتشفت مدينة إيبلا (Ebla) في شمال سورية والتي تعتبر واحدة من أقدم الحضارات على الأرض.

وتعدّ مدينة دمشق القديمة من أقدم المدن المأهولة باستمرار في العالم، ولديها نحو 125 أثرًا من فترات مختلفة في تاريخها، ووصلت قوة المدينة ومكانتها إلى ذروتها وأصبحت عاصمة الإمبراطورية الأموية التي امتدت من إسبانيا إلى الهند من 661 إلى 750 ميلادية.

ودُمّرت سورية -إلى حد كبير- عام 1400 ميلاديًا، من قبل تيمورلنغ المغولي الذي نقل عديدًا من مقتنياتها وحرفيّيها إلى سمرقند. بعد ذلك وقعت تحت سيطرة الإمبراطورية العثمانية، ومن ثمّ الانتداب الفرنسي بعد الحرب العالمية الأولى، وحققَتْ أخيرًا الاستقلال في 17 من نيسان 1946 بعد الحرب العالمية الثانية. بالنسبة للجوانب الدينية البارزة، يقع ضريح النبي هابيل في جوار دمشق، والنبي إبراهيم رعى الأغنام على تلال حلب، وشارع بولص الرسول في دمشق، ورأس يوحنا المعمدان في مسجد أميّة الكبير بدمشق، إلخ.

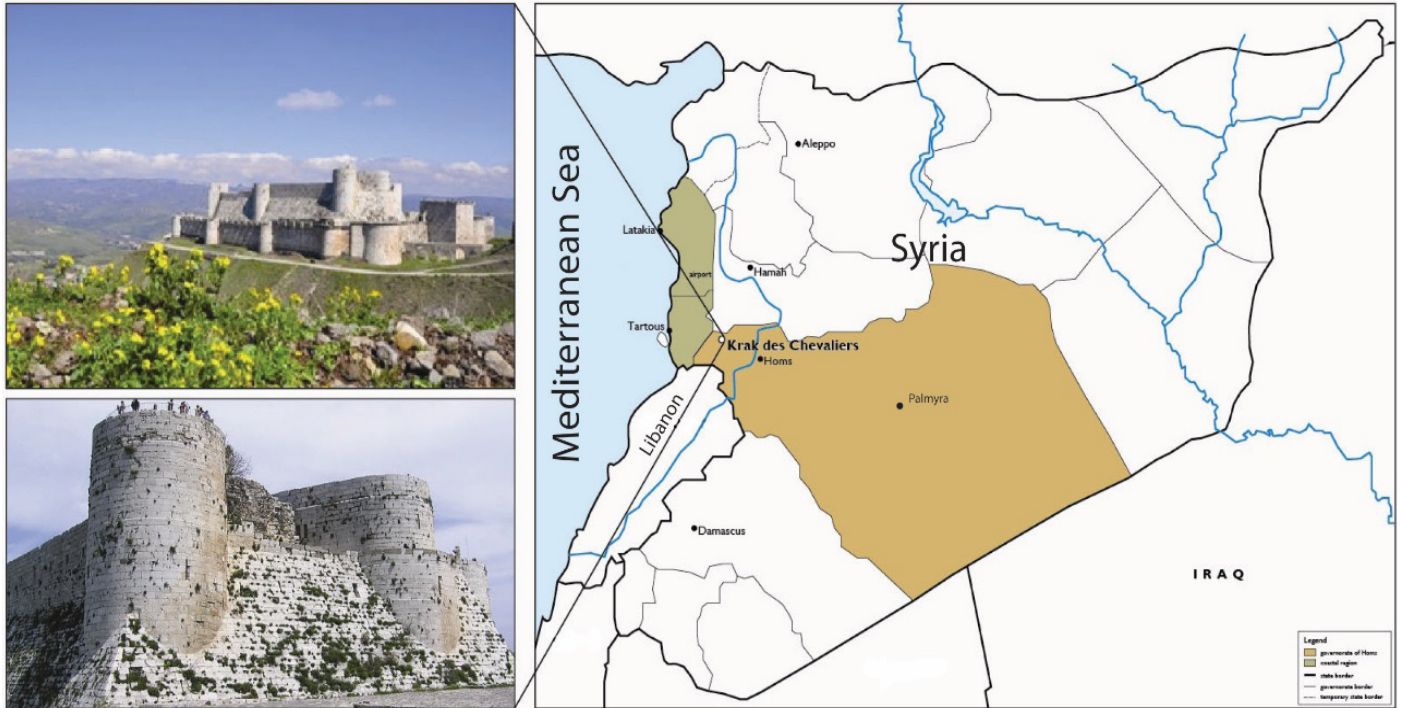
وتُعدّ قرية معلولا من بين الأماكن الرئيسة المقدسة في العالم، إذ لا يزال بالإمكان سماع اللغة الآرامية (اللغة التي كان يُتحدّث بها في زمن السيد المسيح عليه السلام)، وتركّت الثقافة الإسلامية تراثًا وإرثًا مهمّين من الأماكن الدينية الجميلة والمساجد الضخمة، وعديدٌ منها الآن جزءٌ من مواقع التراث العالمي.

وفي السنين الثلاثين الماضية، أعلنت منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة (اليونسكو) (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) أن سبعة مواقع تراثية في سورية لها قيمة عالمية بارزة (Outstanding Universal Value, OUV).

وأضافتها إلى قائمة اليونسكو للتراث العالمي (مثلًا، مدينة دمشق القديمة، مدينة حلب القديمة، مدينة بصرى القديمة والقرى القديمة في شمال سورية، وقلعة الحصن، وقلعة صلاح الدين، وتدمر).² من ناحية أخرى، جعل هذا الموقع الجغرافي وخصوبته سورية لقرونٍ موقعًا مهمًا للتجارة (طريق الحرير) وانتقل الناس من معظم أنحاء العالم إلى هذه الأرض الخصبة ليستقروا فيها.

وفقًا لمعايير اليونسكو الخاصة بتقييم أهمية المواقع التراثية الثقافية لوضعها على لائحة التراث العالمي، تتميز قلعة الحصن أو حصن الفرسان (باللغة الفرنسية) (Krak des Chevaliers) بقيمتها التراثية لدى الغرب والشرق، خاصة فيما يتعلّق بميزات الأصالة والكمالية (ii, iv; authenticity/integrity)، وتُصنّف أثرًا وتاريخيًا ومعماريًا كأحد أهم الأوابد الأثرية في سورية والعالم، فهي أضخم القلاع العسكرية للفترة الصليبية وأكثرها محافظةً على بنائها لقلعة من القرون الوسطى.²

تقع قلعة الحصن على قمة هضبة بركانية شديدة الانحدار يبلغ ارتفاعها 650 مترًا عن سطح البحر ضمن سلاسل الجبال الساحلية السورية بين محافظتي حمص وطرطوس، وتتمتّع بموقع استراتيجي مهمّ بين الداخل والساحل السوري وشمال لبنان، وتطلّ على كامل المنطقة المحيطة بها، كما هو موضح في الشكل 2. في هذه الورقة وبسبب الأهمية الكبيرة للتراث الثقافي، طُوّرت خطة عملية متكاملة لإدارة خطر الكوارث على هذا التراث، ومن ثمّ تطبيقها على قلعة الحصن والمواقع المحيطة بها، بهدف إعادة الحياة فيها بعد الضرر الناجم عن هذه الحرب، بتحقيق ذلك بربط الفاعليات المخطط لها لإعادة إحياء هذه القلعة بطريقة أكثر فاعلية بالأنشطة والخطط وبرامج التنمية الاجتماعية والثقافية والاقتصادية لسلسلة المواقع التراثية المحيطة بالقلعة، مما سيؤدي إلى تنشيط حركة السكّان المحليين في جميع أنحاء منطقة الحصن وربطها بالقلعة، عبر الترويج لهذه الأنشطة الحالية، وتوسيع نطاقها أو تطوير فاعليات جديدة لجذب الزوار على الصعيدين الوطني والإقليمي والدولي، لزيارة القلعة على مدار العام.



الشكل 2. الحدود الإدارية لموقع قلعة الحصن.¹

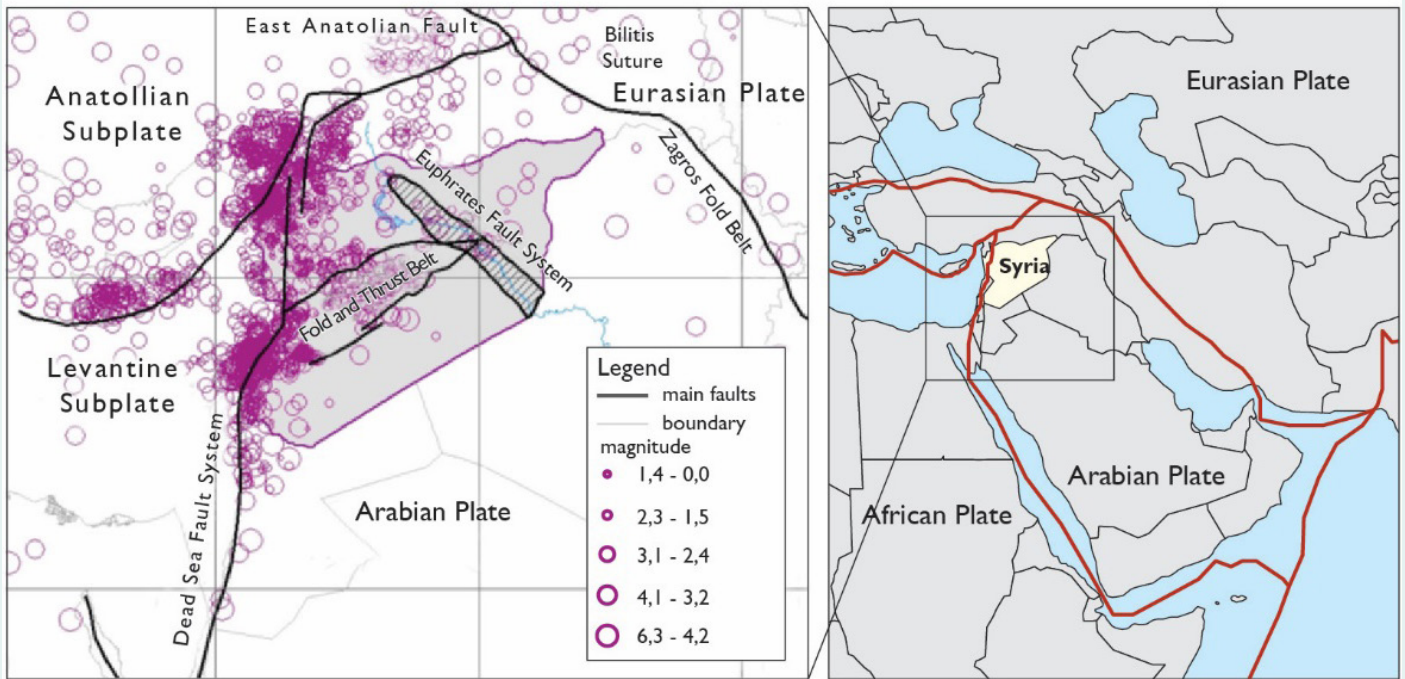
3- المخاطر والخطر وقابلية التضرر وتأثيرها في التراث الثقافي

لفهم مصطلح الكارثة (Disaster)، يجب أيضًا فهم مصطلح المخاطرة (Hazard) وحساسية الإنسان تجاهها. بشكل عام، تحدث الكوارث عندما تتلاقى المخاطر مع قابلية التضرر (Vulnerability) التي تُعد جزءًا أساسيًا من أبحاث المخاطر والخطر، وتشير قابلية التضرر إلى حساسية أو درجة هشاشة أو قابلية التعرض لنقاط ضعف الأشخاص أو المجتمعات أو الأقاليم للمخاطر، ويُحدد مستوى هذه القابلية للتضرر من خلال العوامل المادية والاجتماعية والاقتصادية والبيئية.

تتوقف احتمالية تحول المخاطرة إلى كارثة بشكل رئيسي على قدرة المجتمع على معالجة عوامل «الخطر» (Risk) الأساسية وتقليل قابلية التضرر ونقاط ضعف المجتمع، ومن ثم الاستعداد للاستجابة في حالة حدوث الطوارئ. وفقًا للاستراتيجية الدولية للحد من الكوارث (International Strategy for

Disaster Reduction, ISDR)، تُعد الكوارث والمخاطر والخطر وقابلية التضرر تعريفات مختلفة، ولكن بمفاهيم مماثلة.³ يمكن تعريف الكارثة الطبيعية بأنها «اضطراب خطير في عمل المجتمع، يتسبب في خسائر بشرية أو مادية أو بيئية واسعة النطاق ناجمة عن مخاطر تتجاوز قدرة المجتمع المتأثر على مواجهتها بموارده الخاصة فقط»، أما المخاطرة فهي «ظاهرة خطيرة مادية أو نشاط بشري قد يُسبب خسائر في الأرواح أو الإصابات، أو غيرها من الآثار الصحية أو أضرارًا في الممتلكات أو فقدان سبل العيش والخدمات أو اضطرابًا اقتصاديًا واجتماعيًا، أو ضررًا بيئيًا، إلخ».

يُعرف الخطر بأنه «احتمال وقوع حادثة في فترة زمنية معينة وحجم تأثيرها عندما تقع»، ويمكن قياس الخطر بالمعادلة (الخطر = المخاطرة × قابلية التضرر)، فالخطر يوجد فقط إذا كانت هناك نقاط ضعف للمخاطرة الناشئة بحادثة طبيعية.⁴



الشكل 3. الفوالق الرئيسية والأحزمة الزلزالية في سورية.⁵

ونتيجة للحرب والصراع المسلح الذي امتد من عام 2003 إلى عام 2015، دُمّر عديد من المكتبات والمؤسسات الثقافية المهمة مثل المكتبة والمحفوظات الوطنية العراقية والمكتبة المركزية لجامعة بغداد. في عام 2012 شهدت ليبيا تدمير الأضرحة والمكتبات الصوفية في مدينتي مصراتة وطرابلس.

وفي عام 2014، استُهدف متحف الفن الإسلامي المصري في القاهرة بسيارة مفخخة، مما أدى إلى فقد 74 قطعة تعود إلى عصر ما قبل الإسلام، و90 قطعة من المكتبة الوطنية المصرية تعرّضت لأضرار، وتضرّر عديد من المخطوطات النادرة في الصراع.

يتضح من الحوادث المأساوية أعلاه أن تدمير مواقع التراث الثقافي مستمر، ومن ثم، وكما تهدف هذه الورقة، من الضروري إنشاء خطة متكاملة مبنية على أنشطة تخطيط وإدارة خطر الكوارث على مواقع التراث الثقافي، لتقليل الأضرار في المناطق الكارثية.⁶

1-3 تأثير الكوارث في التراث الثقافي الإقليمي والعالمي

يمكن مشاهدة عديد من تأثيرات الكوارث الطبيعية والكوارث التي صنعها الإنسان على المستوى العالمي لمواقع التراث الثقافي في أماكن متعددة، إذ دُمّر فيضان عام 1966 في مدينة فلورنسا (Florence) الإيطالية ملايين الكتب والمخطوطات والأعمال الفنية في المكتبات، ودُمّر زلزال عام 1997 في مدينة أسيزي (Assisi) الإيطالية لوحات جدارية (Giotto) لا تُقدّر بثمن، وحول زلزال عام 1996 في مقاطعة يوننان (Yunnan) الصينية مدينة ليجانغ (Lijang) للتراث العالمي إلى أكوام من الأنقاض، وهدم زلزال بام (Bam) في إيران عام 2003 أحد أفضل القلاع الطينية الباقية قبل الزلزال، ودُمّر حريق نامديمون (Namdaemun) 2008 في سيول (كوريا الجنوبية) البوابة الجنوبية القديمة التي يبلغ عمرها 600 عام، وتُعتبر كنزًا حقيقيًا في كوريا، وغمرت فيضانات 2011 الكارثية لموقع أيوتايا (Ayutthaya) للتراث العالمي (تايلاند) والمواقع الأثرية والمدينة الحديثة لمدة تصل إلى أربعة أسابيع، إلخ.

البلاط من المشكلات العمرانية والبيئية الأخرى، بما في ذلك ارتفاع معدل النمو السكاني، والتوسع العمراني غير المخطط له، والتدخل غير المنظم في استخدام الأراضي، وتلوث النظام البيئي، إلخ.

بالإضافة إلى ذلك، فإن كارثة الحرب المستمرة التي تضرب سورية منذ آذار 2011 حتى تاريخ كتابة هذه الورقة (نهاية عام 2019) حوّلت عديداً من كنوز البلاد القديمة وتراثها المعماري الموجود على لائحة التراث العالمي لليونسكو، إلى أكوام من الركام. لقد كانت هناك أضرار جسيمة بسبب التخريب المتعمد ونهب عديد من المواقع والمتاحف الأثرية في حلب والبصرى ودرعا والرقّة وتدمر ومعلولا وماري وإيلا وحمص، إلخ.⁸ إن هذا التدمير الممنهج لأهم مواقع التراث الثقافي في سورية يُمثّل مصدر قلق رئيسياً مع تداعيات لا رجعة فيها على الإرث المعماري للبلاد. يوضّح الشكلان 4 و5 بعض أجزاء قلعة الحصن التي تضررت جرّاء كارثة الحرب التي تضرب سورية منذ آذار 2011 وكيف كانت هذه الأجزاء قبل وبعد هذه الحرب، في حين يُبيّن الجدول 1 التأثير الاقتصادي لهذه الحرب على تناقص عائدات الربح من السياحة، وزيارة قلعة الحصن، إذ توقّفت زيارة هذه القلعة مع بداية الحرب في 2011 حتى تاريخ كتابة هذه الورقة.

وفقاً لذلك، من الواضح أنه نظراً لتزايد تواتر حدوث الكوارث وتأثيراتها، تهدف هذه الورقة إلى إعداد خطة عملية وطنية لحماية هذا التراث بتأكيد الحاجة إلى اتباع نهج شامل تجاه التعامل مع جميع أنواع هذه الكوارث التي تحدث في سورية وتؤثر في التراث الثقافي.



الشكل 4. جامع أمية الكبير في مدينة حلب قبل وبعد تأثير كارثة الحرب المستمرة على سورية منذ آذار 2011.

2-3 تأثير الكوارث في التراث الثقافي السوري

كانت الزلازل -ولا تزال- كارثة مدمّرة كبرى لمواقع التراث الثقافي في سورية التي تقع في المنطقة الأكثر نشاطاً في الزلازل، بين الصفائح التكتونية العربية والأوراسية والإفريقية، وتسببت في أضرار جسيمة في المدن والبلدات والقرى الواقعة على طول الجزء الشمالي من الفالق السوري-الإفريقي (Syrian-African Fault) أو ما يُسمّى بفالق البحر الميت (Dead Sea Fault) كما هو موضح في الشكل 3.

تسبب هذا الفالق، والذي يمكن اعتباره أحد أكبر وأطول السجلات الزلزالية على المستوى العالمي، في عديد من الأحداث الزلزالية (181 زلزالاً تاريخياً من عام 1365 قبل الميلاد إلى عام 1900 م)، والتي ما زالت نشطة وقادرة على توليد مزيد من الزلازل المدمّرة في المستقبل، مع احتمالية عودة طويلة لحدوثه تقدر بـ200-350 سنة.⁷ لقد تأثر معظم القلاع في الإقليم الساحلي السوري بالزلازل، مثل قلعة المرقب، وقلعة الحصن، وقلعة القدموس، ومدينة عمريت، إلخ. كما حدثت بعض الأحداث التكتونية الكبيرة على طول فالق تدمر والرافضة والفرات في شرق سورية.

أما المخاطر الطبيعية الأخرى فهي الفيضانات (مثلاً، فيضان نهر البردي في دمشق عام 1929)، والحرائق (مثلاً، تعرّض المسجد الأموي الكبير بدمشق لأضرار حريق في عدة مناسبات)، إلخ. بالإضافة إلى ذلك، تعاني



الشكل 5. الواجهة الأمامية لقاعة الفرسان في قلعة الحصن قبل وبعد كارثة الحرب المستمرة على سورية منذ آذار 2011.

البيانات السنوية عن عدد زوار قلعة الحصن					
العام	السوريون	العرب	الأجانب	المجموع	العائد باليرة السورية
2008	139552	4379	92048	235979	14769370
2009	90625	4618	92737	187980	14183210
2010	122649	6767	134311	263727	23629235
2011	15888	1329	25714	42931	3926845
2012	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0
المجموع	368714	17093	344810	730617	56508660

4- الخطة العملية المتكاملة لإدارة خطر الكوارث على التراث الثقافي السوري

يكاد يكون من المستحيل منع حدوث الكوارث، لكن من الممكن تقليل تأثيراتها والأضرار الناجمة عنها باعتماد خطة مناسبة لإدارة خطرها والتخفيف منه. وفقًا لذلك، تهدف استراتيجية إطار عمل هيوجو للأمم المتحدة (Hyogo Framework for Action, HFA) إلى وضع هيكلية منهجية وشاملة لزيادة الوعي بأهمية إدارة خطر الكوارث الذي يُعد جزءًا مهمًا من التنمية المستدامة (Sustainable Development, SD) التي تهدف إلى بناء مجتمعات ودول قادرة بقوة على مواجهة الكوارث وتخفيف تأثيراتها.⁹ وبشكل أكثر تحديدًا، يمكن تحديد الأهداف الثلاثة لإطار عمل هيوجو على النحو التالي: (1) تكامل الحد من خطر الكوارث في سياسات التنمية المستدامة. (2) تطوير وتعزيز المؤسسات والآليات والقدرات لبناء قدرة المجتمع على المواجهة القوية للمخاطر. (3) الدمج الممنهج لنهج الحد من خطر الكوارث في تنفيذ برامج الاستعداد للطوارئ والاستجابة لها والتعافي.

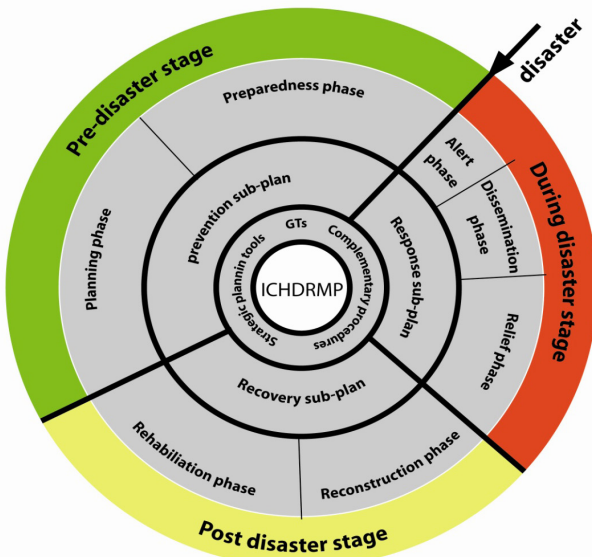
من الواضح أن المبادئ التوجيهية للأهداف المذكورة أعلاه لإطار عمل هيوجو، شاملة وعامة بشكل واسع في وصف هذا التكامل، وفي استنباط الأدوات الاستراتيجية الأخرى الداعمة لتطبيقه. على أي حال، يمكن ملاحظة وجود فجوة كبيرة في هذه المبادئ، لأنه لا يوجد ذكر للخطوة العملية المستقبلية (مثلًا، «ماذا يجب القيام به بعد ذلك» (what to do next)). لهذا في حال غياب المعايير العلمية المثبتة للتعامل مع تكامل نهج الحد من خطر الكوارث في أنشطة تخطيط وإدارة التنمية الشاملة، بهدف المواجهة الفعالة لأخطار هذه الكوارث، فإنه توجد حاجة ضرورية إلى وضع مبادئ توجيهية عملية ومناسبة، تستند إلى عديد من التخصصات العلمية (مثلًا، التقنيات الجيومعلوماتية، التنمية المستدامة، تقييم الأخطار وتحليل المخاطر، نظام الإنذار المبكر، تقييم الأثر البيئي، تقييم البيئة الاستراتيجية، إلخ).

4-1 أنشطة التخطيط والتطوير المعتمدة في الخطة العملية المتكاملة

تتكوّن أنشطة وفاعليات تخطيط وإدارة التنمية الشاملة من التخطيط العمراني (Urban Planning) والتخطيط المكاني (Spatial Planning) والتخطيط الإقليمي (Regional Planning) والتخطيط البيئي (Environmental Planning)، وغيرها من أدوات وأساليب التخطيط ذات الصلة.

في مجال إدارة خطر الكوارث لحماية مواقع التراث الثقافي، يناقش معظم المراجع العلمية الحالية الخطوة المتضمنة «ماذا يجب فعله» (what should be done) للحفاظ على هذه المواقع حال وقوع كارثة. لقد كُتب القليل عنها، ومعظمها حلول مستمدة من البلدان المتقدمة لمعالجة مشكلات البلدان النامية.⁶

في هذه الورقة، الإجراء المعتمد ذات القيمة المضافة في تطوير وتطبيق الخطة المتكاملة لإدارة خطر الكوارث على مواقع التراث الثقافي، يعتمد على التطبيق العملي للخطوة الهادفة لتأمين «حلول مناسبة محلية لإدارة المخاطر المحلية» (local suitable solutions to manage local hazards). يمكن اعتبار هذه الحالة الدراسية المختارة مثالًا واضحًا للعمل على هذه الخطوة المهمة بشأن «كيف يمكن تكامل نهج الحد من خطر الكوارث في أنشطة تخطيط وإدارة التنمية لسد هذه الفجوة (إلى حد كبير) باستخدام الأساليب المتقدمة للبحث العلمي والتطوير التقني؟»، ولهذا، حُطّطت هذه الورقة بهدف زيادة توسيع الفهم العلمي للحد من خطر الكوارث وقضايا السياسات المرتبطة بالتكامل مع أنشطة تخطيط إدارة التنمية.



الشكل 6. الإطار العملي لتطبيق دورة إدارة الكوارث في الخطة العملية المتكاملة لخطر الكوارث على التراث الثقافي.⁴

تتناول هذه الورقة الحاجة إلى هذا التكامل كإجراء عملي للتعامل مع تأثيرات المخاطر في التراث الثقافي بطريقة أكثر فاعلية، بربط إدارة خطر الكوارث بشكل أكثر وثاقاً بأنشطة تخطيط وإدارة التنمية في الوقت الحالي، وعلى الرغم من أن بعض المحاولات المتواضعة قد تمت في سورية (وفي بعض بلدان العالم المشابهة لوضع سورية) لتطبيق هذا التكامل، فإنها غالباً محصورة في المناطق العمرانية، وحتى فيها، لا تأخذ الخطط الرئيسية في الاعتبار التراث الثقافي والمخاطر والجوانب البيئية، إلخ.

4-2 دورة مراحل إدارة خطر الكوارث في الخطة العملية المتكاملة

بشكل عام، وكما تتناوله هذه الورقة، يمكن تنفيذ وتطوير هذا التكامل بشكل فعال عبر ثلاث مراحل متتالية لدورة إدارة الكارثة، هي: مرحلة ما قبل الكارثة، مرحلة خلال الكارثة، مرحلة ما بعد الكارثة، كما هو موضح في الشكل 6. تتكوّن هذه المراحل من عدة أطوار وخطوات، وترتبط مع بعضها بالزمن والأدوار الوظيفية، فتتضمن كل مرحلة أنواعاً مختلفة من المهارات والأفراد والبيانات المناسبة والبيانات الجيو-المكانية والمعلومات والأدوات والبرامج والخطط التنموية، إلخ.

إن أنشطة مرحلة ما قبل الكارثة مطلوبة لتطوير وعرض خطوات تقييم الخطر (Risk Assessment) وإنشاء إجراءات وقائية وإعداد بنى تشغيلية لإدارة أي حدث طارئ، بينما في مرحلتي خلال الكارثة وما بعدها، تُنفذ الإجراءات التي سبق التخطيط لها في مرحلة ما قبل الكارثة، مع التركيز على إنقاذ الأرواح والتعافي الاجتماعي والاقتصادي.⁴ ضمن الإطار العملي المعتمد لتنفيذ هذه الخطة العملية، يجب إدارة هذه المراحل وأطوارها وخطواتها وفق أنشطة وإجراءات مختلفة، تُدمج فيها التقنيات الجيومعلوماتية (Geo-information Technology) المقترنة بنظام الإنذار المبكر (Early Warning System) مع دور البيانات الجيو-المكانية (Geo-spatial Data) في جميع مراحل تطبيق هذه الخطة، بالإضافة إلى تبيان دور العناصر الفاعلة الرئيسية المشاركة في تنفيذ كل جزء من هذه الخطة (مثلًا: المجتمعات المحلية والحكومات الوطنية والمحلية والمؤسسات والمنظمات الإقليمية والهيئات الدولية والمنظمات غير الحكومية والقطاع الخاص، ووسائل الإعلام والمؤسسات العلمية البحثية، إلخ).

4-2-1 مرحلة ما قبل الكارثة (Post-disaster)

تُمثل مرحلة ما قبل الكارثة الخطة الفرعية للوقاية من الكوارث (Prevention sub-plan)، وتشمل أنشطة التخفيف والاستعداد لإيجاد خطط أكثر أماناً، لحماية مواقع التراث الثقافي. تُعتبر هذه المرحلة الأساس الرئيسي في إطار العمل أعلاه، الموضح في الشكل 3، وتتكوّن من عدة أطوار وخطوات كالتالي:

• طور التخطيط (Planning Phase)

يتضمن طور التخطيط تحديد تأثيرات كارثة محتملة باعتماد سيناريوهات تهدف إلى إيجاد إجراءات تخطيط فعالة وسريعة، للتخفيف من هذه الكارثة، باستخدام نظام المعلومات الجغرافية (GIS) الذي يساعد على الوصول السريع إلى المعلومات المهمة، والعرض البصري لنطاق وأبعاد هذه الكارثة وتأثيراتها حسب الموقع. سيؤدي ذلك إلى تسهيل تنفيذ الأنشطة الإنمائية لخطط العمل، وفي الوقت ذاته نقل المعلومات إلى موظفي الاستجابة لتنسيق وتنفيذ إجراءات الطوارئ.

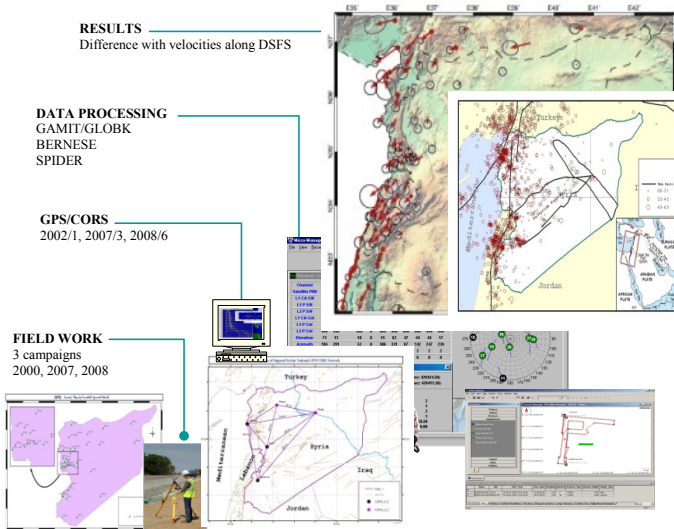
يمكن أن تتألف أنشطة هذا الطور من عدة خطوات: (1) تحديد وتصنيف الكوارث السابقة والمخاطر الحالية والأحداث الطبيعية الكبرى والعوامل المؤثرة لقابلية التضرر. (2) إجراء دراسات عملية بشأن هذه المخاطر وتحديث خرائطها وأوجه قابلية التضرر. (3) تحديد سيناريوهات الخطر (مثلًا،

الأخطار الأكثر والأقل شدة). (4) تقييم الخطر وتحليل المخاطر وقابلية التضرر بتحديد الخصائص والسلوكيات المحتملة لهذه المخاطر (مثلًا، التواتر والحجم والشدة، إلخ). (5) إنشاء نظام تخزيني لجرد وتسجيل معلومات التراث الثقافي مع أوضاعه الحالية. (6) إجراء عمليات الأرشفة للوثائق المناسبة والنسخ الاحتياطي للملفات الإلكترونية على أساس يومي (مثل، الفهارس الإلكترونية (e-catalogues)، ووثائق الموقع، إلخ). (7) تطوير قواعد البيانات الجيو-المكانية للمشاركة في استخدام البيانات وإدارتها. سنشرح بعض الخطوات المهمة لهذا الطور بمزيد من التفاصيل كالتالي:

خطوة تحديد أنواع المخاطر وتصنيفها: من الصعوبة بمكان تصنيف الكوارث والتمييز بينها بسهولة، بسبب الأسلوب المتغير الذي تؤثر به الحوادث الخطيرة في السكان والاقتصاد أو النظم الإيكولوجية، إلخ.

في هذه الورقة، ستُصنّف هذه المخاطر وفقاً لآثارها الرئيسية المحتملة، وعوامل قابلية التضرر على أنشطة التخطيط عند تحديد تدابير الخطة المتكاملة لإدارة خطر الكوارث على التراث الثقافي، وهذا سيساعد على دعم وتوضيح الروابط بين نهج الحد من خطر الكوارث وأنشطة تخطيط وإدارة التنمية، خلال تنفيذ الخطوات المتتالية لهذا الطور. في حالة الوضع الحالي في قلعة الحصن، فإن بعض العوامل الرئيسية لقابلية التضرر قد تشمل: الموقع والتعرض للخطر وقدرات التأقلم والحساسية والأجزاء الهشة من القلعة (مثلًا، برج الدير) والمنطقة الجبلية ذات الطرق الحادة والضيقة المحيطة بالقلعة، وضغوط التنمية، والضغوط الناجمة عن تدفق الزوار/السياحة، والحوادث الزلزالية التي تعتبر من المخاطر الرئيسية ذات الصلة بالبعد المكاني والتي أثّرت في قلعة الحصن والمناطق المحيطة بها، وفي الآونة الأخيرة الأعمال المسلحة الناجمة عن الحرب المستمرة على سورية منذ آذار 2001 حتى تاريخ كتابة هذه الورقة، إلخ.

تتمثل المخاطر الثانوية التي تُهدد القلعة ومحيطها في الفيضانات والانهييارات الأرضية وحرائق الغابات والتوسع العمراني غير المنظم، إلخ. من المتعارف عليه في إدارة الكوارث أن تطوير فهم واضح لتأثيرات الحوادث السابقة على قلعة الحصن، يُعتبر أمراً مهماً لفهم تحولات وتغييرات أسلوب الحوادث المستقبلية، مما يساعد على التخفيف منها والحد من تأثيراتها.



الشكل 7. عملية إنشاء خرائط المخاطر الزلزالية باستخدام التقنيات الجيومعلوماتية.¹⁰

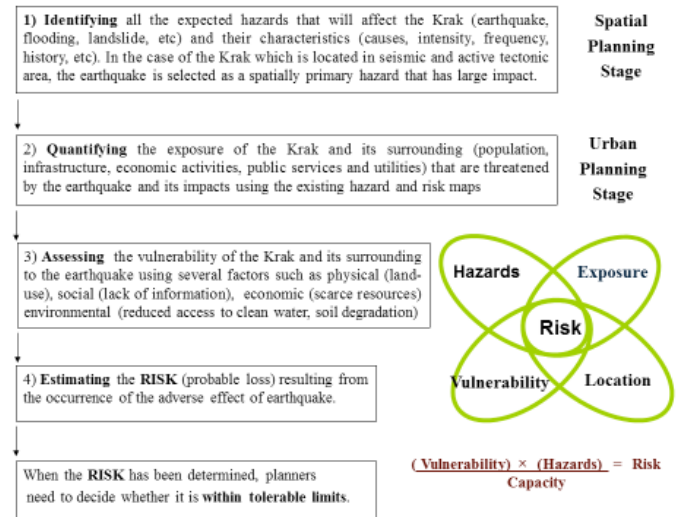
خطوة الدراسات العملية للمخاطر: في هذه الحالة الدراسية، جُمع عددٌ من الخرائط (مثلًا، الخرائط الهيدرولوجية والجيولوجية والطوبوغرافية والتكتونية،

وخرائط تقسيم الأراضي الى أجزاء وفقاً للمخاطر الصغيرة، إلخ)، واستُخدمت لإنشاء تقييم دقيق للأخطار، وتحليل المخاطر وقابلية التضرر.¹ بالنسبة لدراسة المخاطر الزلزالية، أظهرت بعض الدراسات العملية أن المناطق الجنوبية والشمالية في سورية تتعرض للزلازل المتوسطة، خاصةً موقع قلعة الحصن، وستزداد الحركات الزلزالية وشِدَّتْها في هذه المناطق خلال السنوات القادمة،¹¹ إذ أصبحت قابلية التضرر والتعرض للمخاطر الزلزالية أكثر إثارة للقلق بسبب الكثافة السكانية الحالية في المناطق العمرانية والريفية المحيطة بها.¹⁰

تعتمد منهجية التخفيف والمراقبة الحالية للمخاطر الزلزالية في سورية، على استخدام شبكة نظام الإنذار المبكر للتحقيق في المشكلات التكتونية وتحليل البيانات باستخدام التقنيات الجيومعلوماتية المتقدمة. استلزم تطوير هذه المنهجية نموذجاً ديناميكياً مؤلفاً من خريطة النيوتكتونيك مع قاعدة بيانات مركزية متصلة بالإنترنت، لعرض النتائج التي حصلنا عليها على شكل خرائط جيودينامية وزلزالية علمية موثوقة، كما هو مبين في الشكل 7.

يمكن لصانعي القرار استخدام هذه الخرائط، عند تنفيذ الاستراتيجية الوطنية للتخفيف من آثار الزلازل المتوقعة والمستقبلية في هذا الإقليم المتعرض لتأثير قابلية التضرر.¹² أما بالنسبة لدراسة تأثير مخاطر الفيضانات، فأُجريت باستخدام الخريطة الهيدرولوجية للحوض الجنوبي الكبير الذي تقع قلعة الحصن فيه، وتبلغ مساحته 605 كم² وقيمة معدل هطول الأمطار المتكرر فيه نحو 900 ملم في السنة، ويتألف من أربعة مجار مائية رئيسية فرعية، وثلاثة سدود تخزين بأحجام / 74.2 مليون متر مكعب.¹³

خطوة تحديد سيناريو الخطر: يمثل سيناريو الخطر حالة افتراضية تتكون من مخاطرة مُحددة وظروف مرتبطة بها وعواقب قد تنجم عنها. في هذه الحالة، ولتحديد الأخطار المحتملة التي قد تضرب قلعة الحصن، نُقدِّد سيناريوهان (المخاطرتان ذات الحالات الأكثر والأقل شدة) بهدف تغطية النطاق الكامل لتحليل ناجح لتقييم الأخطار بتأمين معلومات موثوقة بشأن أين ومتى وكيف ولماذا من المحتمل أن تحدث مثل هذه المخاطرة.¹



الشكل 8. المخطط التوجيهي لمكونات تقييم الخطر للمخاطر الأولية التي تؤثر في قلعة الحصن.¹

خطوة تقييم الخطر وتحليل المخاطر وقابلية التضرر: يمكن أن تتكوّن هذه الخطوة عند تنفيذ الخطة العملية المتكاملة من: أ) تقييم المخاطر (مثلاً، لمحة تاريخية عن المخاطر، وتنبؤات اتجاهات وتحولات هذه المخاطر، إلخ). ب) تقييم قابلية التضرر (مثلاً، المواقع الجغرافية، شبكات النقل والاتصالات،

إلخ). ج) تقييم القدرات (استراتيجيات التعامل للمجتمعات، إلخ). د) تقييم العواقب (مثلاً، تقريباً تعتمد جميع مراحل الكارثة على الوظائف الأساسية للاتصالات والنقل والموظفين، إلخ). في كثير من الحالات، سيؤثر فشل نظام ما في قدرة الأنظمة المترابطة معه على أداء الوظائف الضرورية في المرحلة نفسها أو في مرحلة أخرى تالية. في نهاية هذه الخطوة، من المفضل وضع سيناريوهات للتدريب والتمارين العملية.

يوضح الشكل 8 تخطيطاً المنهجية المُطبَّقة لعمليات تقييم الأخطار وتحليل المخاطر على قلعة الحصن حال حدوث زلزال، إذ يلزم جمع هذه البيانات وتنظيمها وعرضها بشكل منطقي، باستخدام نظام المعلومات الجغرافية لتحديد حجم ونطاق برامج إدارة الكوارث وأنشطة التخطيط الضرورية.

بمجرد ترسيم هذه المعلومات على الخرائط، يمكن البدء في أنشطة تطوير وتخطيط إدارة الكوارث بتحديد المواقع وتعيين المخاطر المحتملة. في هذا السياق، تتعلّق مهمة المخططين العاملين في مجال التخطيط العمراني بجمع ومعالجة وتقديم البيانات التي تساعد على الإجابة عن سلسلة من الأسئلة لدعم صناع القرار في صياغة استراتيجيات تخطيط ناجحة.

بعض هذه الأسئلة يمكن أن تكون: (1) ما مستوى الخطر الذي يمكن للمجتمع قبوله؟ (2) ما أهداف الحماية لمنشآت مختلفة تهددها مخاطر محددة؟ (أو 3) ما الآثار البيئية المتوقعة حال حدوث مخاطرة لمشروع مخطط له؟ بعد اختيار المخاطر ذات الصلة بالبعد المكاني، فإن السؤال الأول في هذا التسلسل هو: ما الأخطار؟ بمعنى آخر، ما الخسائر المتوقعة في الأرواح والممتلكات البشرية؟ لذلك، يجب تحديد مكونات الخطر المشتقة بعد اختيار نوع المخاطر.

خطوة تصنيف شدة المخاطر وتقدير طبيعة الخطر: تتضمن هذه الخطوة مقارنة مستوى الخطر الموجود في أثناء عملية تحليل الخطر، بهدف اتخاذ القرارات المتعلقة بالمخاطر التي تحتاج إلى تخفيف. بمجرد تحديد جميع المخاطر المحتملة، يجب أن تكون الأولوية للعمل على المخاطر المصنّفة بالأعلى، ومن ثمّ يجب التحكم في الأخطار باستخدام الإجراءات أو التدابير المناسبة. يمكن استخدام عملية تصنيف المخاطر وفقاً لمستوى الخطر (بيانياً أو باستخدام الجداول) لتحديد الأولويات وتحفيز المناقشات بخصوص الأسباب الكامنة ذات الآثار طويلة الأمد.¹⁴

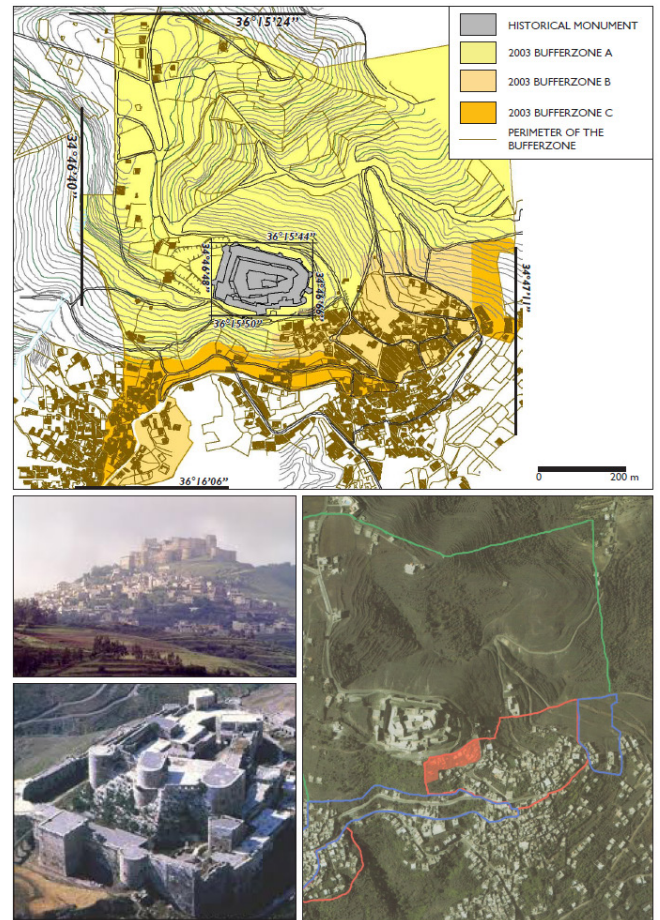
والسؤال الرئيسي في سياق أنشطة التخطيط والتخفيف: ما المخاطر الحالية ذات التأثير بالبعد المكاني وذات الصلة بالتخطيط المكاني؟ في سياق إدارة الكوارث، يجب تقدير طبيعة هذه الجوانب الرئيسية: كيف يمكن ربط خطة التراث الثقافي التي صُمّمت مع نهج الحدّ من خطر الكوارث؟ وكيف ستعالج هذه الخطة الحدّ من خطر الكوارث وتعرض جهود التخفيف؟

خطوة التخطيط المكاني والعمراني لتحديد مناطق الحماية: تهدف أنشطة التخطيط المكاني إلى تخصيص مجال أو بُعد مكاني لعدد من الاستخدامات، استناداً إلى المتطلبات المستقبلية المتوقعة بدمج عدّة عوامل مع بعضها، مثل النمو السكاني والتوقعات الاقتصادية والتنمية المقدّرة للنقل، إلخ.

في سياق إدارة خطر الكوارث، يمكن استخدام التخطيط المكاني لمنع حدوث المخاطر، وفي الوقت ذاته لحماية مواقع التراث الثقافي. لذلك، فإن العلاقة بين التخطيط المكاني الشامل والأقسام الأخرى للتخطيط والتنمية القطاعية عامل حاسم في تخفيف خطر المخاطر ذات الصلة بالبعد المكاني. في حالة استخدام التخطيط المكاني لتحضير خطة إدارة خطر الكوارث على قلعة الحصن، تم اختيار حادثة الزلزال في تحضير الخطة باعتباره مخاطرة ذات تأثيرات بأبعاد مكانية قد تتحول إلى كارثة تؤثر في كامل موقع القلعة وقد تنتشر لتشمل البلدات والقرى المحيطة بها.¹ كما هو مبين في الشكل

9. وبعد تحديد المساحة المطلوبة للحماية حول موقع قلعة الحصن، يمكن تقسيمها إلى ثلاث مناطق رئيسية: المنطقة (A) حيث لا يُسمح بالبناء فيها، والمنطقة (B) حيث يُقبل بناء طابقين فوق مستوى الأرض، والمنطقة (C) حيث تُقبل المباني حتى ثلاثة طوابق فوق مستوى الأرض.

من خلال قواعد البيانات الجيومكانية الحالية، يمكن استخدام نظم المعلومات الجغرافية لإدارة كميات كبيرة من البيانات اللازمة لهذه الخطوة. مثلاً، في حالة مخاطر حرائق الغابات المحيطة بقلعة الحصن، يمكن لنظام المعلومات الجغرافية الإجابة عن هذه الأسئلة: أين مناطق مخاطر الحريق؟ ما المركب الناجم من تجميع الخصائص (مثل التضاريس، الغطاء النباتي، الطقس، إلخ) الذي يُشكل مخاطرة الحريق؟ وفقاً لذلك، عند تطبيق خطة متكاملة لإدارة خطر الكوارث على التراث الثقافي، يجب أولاً تعيين المناطق التي يُحتمل أن تكون خطيرة، خاصة عند التعامل مع أنشطة استخدام الأراضي¹². بينما يتميز طور التخطيط بإجراءات طويلة الأمد، فإن الأطوار الثلاثة الأخيرة (الاستعداد والاستجابة والتعافي) تركز على الإجراءات قصيرة الأمد، ويمكن رؤيتها تحت مصطلح أنشطة رد فعل.



الشكل 9. التطوير التدريجي لمناطق حماية قلعة الحصن خلال الفترة (1964-2003).²

• طور الاستعداد (Preparation Phase)

يشمل طور الاستعداد إجراءات قصيرة الأمد لإدارة الطوارئ والتي اتُخذت مسبقاً لإنشاء آليات استجابة فعالة لتأثيرات مخاطرة الزلزال. يمكن تعزيز هذه الاستجابة بزيادة إدارة المعرفة والموارد المتاحة التي يمكن أن تؤمن: برامج وأنظمة المعلومات، إدارة الموارد والتخطيط للطوارئ، تعبئة موظفي

الاستجابة لحالات الطوارئ، التطوير المؤسسي، التكامل في تخطيط التنمية والسياسات القطاعية، إلخ.

بعض الأمثلة غير الشاملة لهذه الاستعدادات يمكن أن تكون: بناء وتقوية القدرات المحلية والوطنية للاستعداد للكوارث وخدمات الإنقاذ، إعداد وتنفيذ خطط التطوير التي تؤمن القدرة على مواجهة الكوارث، إعداد خطط الطوارئ والبنية التحتية (مثل ملاجئ الطوارئ)، إنشاء أنظمة اتصالات عملياتية (مثلاً، تركيب نظام الإنذار المبكر، إلخ).

يمكن تطوير خطط الاستعداد بواسطة عديد من الجهات الداعمة والمكملة لعملية إدارة الكوارث (مثل الحكومات والمنظمات والأفراد)، ويمكن وضعها على عدد من المستويات الإدارية المختلفة، بما في ذلك القرية أو المجتمع، والسلطة المحلية، والشريك المنقذ على الصعيدين الوطني والدولي.

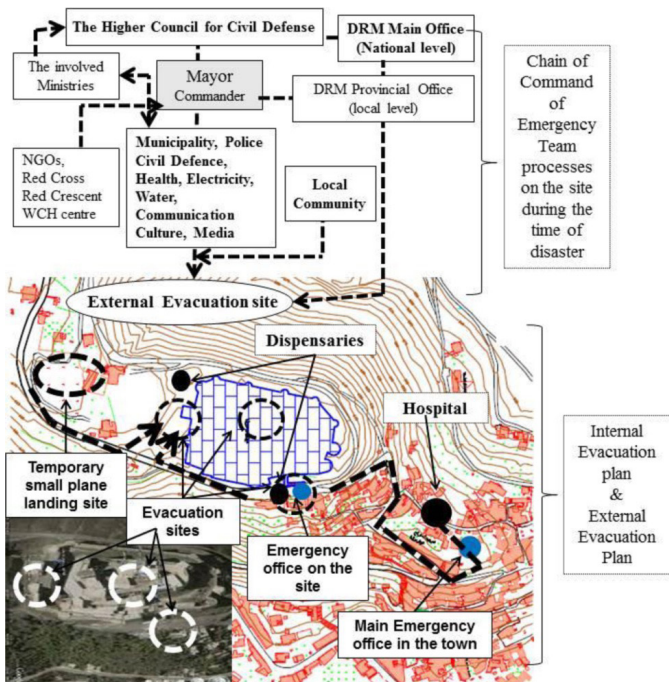
بعض الخطوات المهمة التي يمكن تنفيذها خلال هذا الطور هي: **خطوة تدابير التخفيف:** تتضمن تحديد نطاق التدابير الإنشائية (Structural Measures) وغير الإنشائية (Non-Structural Measures) لإدراجها في خطة متكاملة لإدارة خطر الكوارث. يمكن وصف تدابير التخفيف الإنشائية كجزء من مهام التخطيط الإقليمي لإنشاء أذونات البناء، لحماية البنية التحتية المخطط لها، أو غيرها من المرافق الصادة للتأثيرات المحتملة لمخاطرة ما. مثلاً، حال حدوث مخاطرة الفيضان حول قلعة الحصن، فإن التخطيط الإقليمي يُستخدم كعامل داعم لتجنب الفيضان (أو الحد بشكل فعال من تأثيراته) الذي قد يخرب المناطق المجاورة.

يمكن أن تتكوّن هذه التدابير من بناء السدود والحواجز والقنوات أو الخنادق. من ناحية أخرى، فإن تدابير التخفيف غير الإنشائية لها عواقب مختلفة على الوظائف أو المرافق المختلفة للحماية، ويمكن رؤيتها في بعض القيود المفروضة على توسع الأحياء السكنية للمناطق المهددة (مثلاً، نوع استخدامات الأرض أو أنواع المباني، إلخ). على سبيل المثال في حالة الفيضان، يمكن أن تساعد تدابير التخفيف غير الإنشائية على تقليل الخسائر بشكل أساسي، بممارسة ضبط التنمية في المناطق المعرضة للفيضانات. يمكن أن تتكون بعض هذه التدابير من ضوابط التخطيط، حيازة الأراضي، قوانين البناء، الحفاظ على المساحات المفتوحة، إلخ.

على أي حال، يجب أن تستكمل تدابير التخفيف غير الإنشائية بواسطة تدابير التخفيف الإنشائية لتحقيق دور فعال في الحد من التأثيرات المتوقعة للكوارث. بناءً على مفهوم إدارة خطر الكوارث في التغلب على تأثيرات المخاطر، أعطت الحكومة السورية القدر نفسه من الأهمية لكلا التدبيرين، مع تنسيق أفضل لخطة إدارة خطر الكوارث. مثلاً، حال تدابير التخفيف الإنشائية لإدارة الفيضانات في الحوض المائي أو الهيدرولوجي الذي توجد فيه قلعة الحصن، أنشئ أكثر من 12 مشروعاً صغيراً ومتوسطاً وكبيراً لضبط المياه والفيضانات خلال العقد الماضي، لتأمين تدابير السلامة ضد خطر الفيضانات في المنطقة المحيطة بالموقع، ودُعمت هذه التدابير الإنشائية واستُكملت بتدابير التخفيف غير الإنشائية مثل رسم خرائط المخاطر وضبط استخدام الأراضي، إلخ.⁵

خطوة تحضير الخطة المتكاملة لإدارة خطر الكوارث: من المهم قبل العمل على تنفيذ هذه الخطوة فهم الأسباب الكامنة وراء حدوث المخاطر التي يمكن وضعها في الاعتبار خلال تخطيط وتطوير إدارة خطر الكوارث. مثلاً، حال وقوع كارثة زلزال، يمكن طرح عديد من الأسئلة ووضعها في عين الاعتبار عند إعداد خطة متكاملة لإدارة خطر الكوارث على التراث الثقافي على النحو التالي: (1) ما التطورات المخطط لها التي ستنفذ ضمن منطقة التأثير الرئيسة للوقائع الزلزالية؟ (2) ما البنى التحتية والمرافق الموجودة في المناطق شديدة

المستجيبين» (first responders) الذين يستخدمون آليات الاستجابة المناسبة للتعامل مع الكوارث لساعات أو حتى عدة أيام، قبل وصول موارد الدولة والموارد الخارجية إلى مكان وقوع الكارثة. يُصوّر الشكل 10 خطط الإخلاء الخارجي والداخلي للموقع، مع سلسلة قيادة عمليات فريق الطوارئ الوطني خلال السيناريو الأسوأ لحدوث عدة كوارث مع بعضها لقلعة الحصن.



الشكل 10. مخطط مواقع الإخلاء الخارجي والداخلي وفرق الطوارئ خلال الكارثة التي قد تضرب منطقة قلعة الحصن.¹

4-2-3 مرحلة ما بعد الكارثة (Post-disaster)

تُوجّه مرحلة ما بعد الكارثة، والتي تمثّل الخطة الفرعية للتعافي (Recovery sub-plan)، بشكل رئيسي نحو تنفيذ عدد من المشاريع الدائمة، بالتعاون والتمويل المشترك مع المجتمع المحلي والحكومة. يمكن أن تشمل هذه المشاريع بناء الملاجئ والطرق ومشايف الصحة العقلية وأماكن توزيع معدّات الإنقاذ والإنذار، إلخ. يمكن أن تلعب نظم المعلومات الجغرافية عدّة أدوار في هذه العملية، مثل تحديد الضرر والبدء في تحديد أولويات الإجراءات، وضمان عملية التنسيق والتوحيد في توزيع اللوازم (الأدوية، الغذاء، المياه، الملابس، إلخ) على مراكز توزيع الطوارئ، وتتبع التقدم المُحرّز في تنفيذ هذه الأنشطة خلال مرحلة ما بعد الكارثة بأكملها، إلخ. تتكون هذه المرحلة من طورين رئيسيين على النحو التالي:

• طور إعادة الإعمار (Reconstruction Phase)

يبدأ طور إعادة الإعمار عندما تنتهي الكارثة، ويتضمّن القرارات والإجراءات التي تساعد المجتمع على التعافي واستعادة الظروف المعيشية للسكان المتضرّرين، وتنفّذ بالتعاون مع المجتمع المحلي وجميع إدارات الخدمات الحكومية الموجودة في محيط موقع قلعة الحصن، ويمكن تقسيمها إلى خطوتين رئيسيتين على النحو التالي:

خطوة إجراءات التعافي على المدى القصير: تُنفّذ (فور وقوع الكارثة) لاستعادة عمل الأنظمة والخدمات بهدف إعادة دعم حياتها الحيوية إلى الحد الأدنى من معايير التشغيل، وتهدف إلى دراسة وتقدير الخسائر المباشرة وغير المباشرة الناتجة عن الكارثة، لأن ذلك سيكون مهمّاً لفهم هذه التأثيرات للحوادث المستقبلية. ويمكن أن تشمل التنظيف، وضمان الرعاية الطبية

الخطورة (مثل الجسور الرئيسية والمستشفيات، إلخ؟ 3) أي من المرافق يتطلب إعادة تسليحه أو إعادة تموضعه؟ لذلك للمساهمة في تحسين إدارة خطر الكوارث، يجب تحقيق التكامل العملي لمتطلبات الوقاية والتخفيف في خطط وأعمال قطاعات التعاون الإنمائي.

قد تشمل بعض هذه الخطط والأعمال ما يلي: تنمية المجتمع، التنمية الريفية، الحفاظ على الموارد، التعليم، إلخ، كما هو مبين في الشكل 8، وبعد تحديد المساحة المطلوبة للحماية حول قلعة الحصن، يمكن استخدام نظم المعلومات الجغرافية كأداة لتخطيط ودعم جميع الأنشطة المطلوبة لهذه الخطوة (مثلاً، تخطيط طرق الإخلاء وتصميم مراكز لعمليات الطوارئ، إلخ)، ويمكن لهذه النظم تقديم إجابات للأسئلة المذكورة أعلاه: ما طرق الإخلاء التي ينبغي اختيارها؟ وكيف سيجري إبلاغ الناس وتوجيههم إلى أماكن السلامة ونقاط التجمع؟

4-2-2 مرحلة أثناء وقوع الكارثة (During Disaster)

في مرحلة وقوع الكارثة، والتي تمثّل الخطة الفرعية للاستجابة (Response sub-plan)، من المهم أن تتوافر البيانات الصحيحة في الزمن المناسب، لتحقيق الاستجابة واتخاذ إجراءات الطوارئ المناسبة. يمكن استخدام التقنيات الجيومعلوماتية في جميع مراحل الخطة لتقليل تأثيرات الكوارث بشكل فعّال، خاصة في أثناء حدوث السيناريو الأسوأ لمجموعة من الكوارث المتعدّدة معاً في الوقت نفسه، في أماكن مختلفة بموقع قلعة الحصن (مثلاً، حرائق الغابات العديدة، الانزلاقات الطينية، والأضرار الناجمة عن الزلازل، إلخ). تتكوّن مرحلة وقوع الكارثة من ثلاثة أطوار رئيسية على النحو التالي:

• طور التنبيه بالمخاطر (Alert Phase):

يدعم طور التنبيه جميع عمليات الإنذار المبكر مثل المراقبة والتنبؤ في الوقت الفعلي، وتحديد السيناريوهات، وجميع أجهزة الإنذار بالوسائط الإعلامية، إلخ. يعد النظام العالمي للتعاون والتنبيه بالكوارث (Global Disaster Alert and Coordination System) الذي أُسس في عام 2004، مثلاً للتعاون الدولي تحت مظلة الأمم المتحدة لتأمين المراقبة والتنبيه بالكوارث والمخاطر المتعددة على مستوى عالمي.

• طور نشر المعلومات (Dissemination Phase):

يمكن أن تدعم التقنيات الجيومعلوماتية عمليات المراقبة في الوقت الفعلي لحالات الطوارئ والإنذار المبكر بها، ونشر وتوزيع المعلومات الخاصة بذلك على جميع الجهات المحتاجة لهذه المعلومات الخاصة بالكارثة وتحولاتها كحركات الأرض (الزلازل)، ومستوى تخزين المياه في مواقع السدود، إلخ. إن تطوير وسائل التواصل الاجتماعي وجمع البيانات التي تعتمد على تطبيقات الأجهزة المحمولة، يتيح قدرات لا مثيل لها حتى تاريخه، بخصوص جمع البيانات ونشرها.

• طور الإغاثة (Relief Phase)

يتضمّن طور الإغاثة تنفيذ مجموعة من الإجراءات قصيرة الأمد لتقديم المساعدة في حالات الطوارئ خلال وقوع الكارثة، وبعدها مباشرة. يمكن أن تشمل هذه الإجراءات عمليات البحث والإنقاذ والإخلاء والخدمات الطبية الطارئة ومكافحة الحرائق ومأوى الطوارئ والرعاية الطبية، إلخ. وقد تتضمن منع وقوع الأضرار التي تلحق بالممتلكات والحفاظ على البيئة (مثل إغلاق مصادر إمداد المياه الملوثة) وتسريع عمليات التعافي. يمكن تخطيط هذه الإجراءات مسبقاً بين المجتمع والوكالات المستجيبة ضمن آلية استجابة عملية وفعّالة.

يُشكّل مسؤولو الحكومة المحلية، وكذلك المجتمع نفسه «أول

للمصابين، والسكن المؤقت أو المأوى، والحصول على الغذاء والماء، إلخ. في حالة قلعة الحصن التي تأثرت بالأعمال الإرهابية خلال الفترة (آذار 2012 - نيسان 2014) كما هو موضح في الشكلين 4 و 5 والجدول 1، تعاون المجتمع المحلي مع قطاعات الخدمات الحكومية والمدينة الأخرى في البلدات والمدن المحيطة بالقلعة مباشرة، في تنفيذ خدمات ترميم الأجزاء المتضررة الرئيسة التي حدّتها المديرية العامة للآثار والمتاحف السورية، مثل تدمير السلالم أمام الحصن والقاعات الداخلية، والأضرار في واجهة برج فتاة الملك، إلخ.⁸

خطوة إجراءات التعافي على المدى الطويل: قد تستمر هذه الخطوة بضع سنوات بعد انتهاء الكارثة أو حتى إتمام استعادة المنطقة المنكوبة بأكملها، أو إعادة تطويرها لأغراض جديدة تمامًا، ويمكن أن تشمل التخطيط المجتمعي، واستبدال المنازل، وشبكات المياه، والجسور والطرق، والمدارس والمستشفيات، ووضع وتعزيز تدابير للوقاية في المستقبل (مثلًا، الحفاظ على الموارد، إلخ).

• طور إعادة التأهيل (Rehabilitation Phase)

يتضمن طور إعادة التأهيل الدروس المستفادة، وتحديث السيناريو، والتقييم الاجتماعي-الاقتصادي، وتقييم الأثر البيئي، والتقييم الاستراتيجي للبيئة، وإعادة التخطيط المكاني، إلخ.

سنشرح بعض الخطوات المهمة لهذا الطور بمزيد من التفاصيل على النحو التالي:

خطوة تقييم الأثر البيئي والتقييم الاستراتيجي للبيئة: يساعد تقييم الأثر البيئي على تقديم حلول بديلة لكيفية إدراج الاعتبارات البيئية في تدابير الحد من خطر الكوارث، أما بالنسبة للتقييم الاستراتيجي للبيئة، الذي يُعد أداة مساعدة في اتخاذ القرارات، فقد يُكمل بفاعلية عملية التخطيط الاستراتيجي لمرحلة التعافي.

إن التركيز الرئيسي في هذه الورقة ينصبّ على «كيف يمكن ربط تقييم الأثر البيئي والتقييم الاستراتيجي للبيئة بفاعلية في أنشطة تخطيط وإدارة التنمية من أجل المساهمة في الحد من خطر الكوارث في قلعة الحصن؟» يمكن تحقيق ذلك بإجابة السؤال التالي: كيف يمكن لتطبيق تقييم الأثر البيئي والتقييم الاستراتيجي للبيئة أن يعزّزا الجهود المبذولة لتحقيق عملية تكامل برامج التطوير في تخطيط الخطة المتكاملة الحالية والمستقبلية لإدارة خطر الكوارث على قلعة الحصن؟ أما بالنسبة للنتائج الحاصلة والمتعلقة بتأثيرات الزلازل والفيضانات على قلعة الحصن ومحيطها، فقد أخذت الحكومة السورية بعين الاعتبار هذه النتائج، وعملت عليها على مدار الأعوام الثلاثين الماضية، للحد من الأنشطة الزلزالية وتدابير الحماية الإنشائية خاصة عن طريق بناء السدود على الأنهار الرئيسة في المنطقة المحيطة بموقع قلعة الحصن، وغيرها من المناطق المجاورة.

علاوة على ذلك، عملت مؤسسات المياه بالتعاون مع البلديات في منطقة الحصن على تغطية جميع الجوانب المتعلقة بتحسين تغطية الصرف الصحي للمياه في المناطق العمرانية والريفية، وتحسين استخدام موارد المياه بتحسين كفاءة الري وإعادة استخدام مياه الصرف الزراعي، وكما تبين فهناك حاجة ضرورية لبناء جدران خرسانية قوية للتخفيف من الانهيارات الأرضية حول التلال المحيطة بموقع قلعة الحصن.¹

خطوة الدراسات والبحوث العلمية التطبيقية: خلال كل خطوة من طور الخطة الفرعية للتعافي بالنسبة لقلعة الحصن، من المهم جدًا تشجيع البحوث العلمية التطبيقية المتعلقة بالحفاظ على التراث الثقافي، وتطويرها عبر المؤسسات العلمية البحثية الرئيسة في الإقليم (مثل جامعة طرطوس وجامعة تشرين في اللاذقية وجامعة البعث في حمص، وبعض الجامعات الخاصة، إلخ)، إذ يساعد ذلك على معالجة الفجوات بين السياسة والممارسة في هذا المجال. أيضًا

اقترحت مشاريع مستقبلية لإعادة الإعمار، يمكن تنفيذها لاستعادة الوضع السليم لقلعة الحصن بالتعاون مع الجامعات السورية وغيرها من المنظمات غير الحكومية العاملة في هذا المجال.¹

5- الإجراءات والأدوات الاستراتيجية والمكملة لعملية التخطيط

يمكن فهم الأدوات الاستراتيجية على أنها ممارسات للتعامل مع الجوانب العامة للفجوات في البنية التحتية، والمعرفة اللازمة لتحديد وتقييم الظروف الحالية لخطة متكاملة، لإدارة خطر الكوارث على التراث الثقافي، بينما تناقش الأدوات المكملة للتخطيط دور بعض الإجراءات المؤسسية التي تدعم وتؤمن العملية المناسبة لتنفيذ خطة متكاملة لإدارة خطر الكوارث على التراث الثقافي.

1-5 الأدوات الاستراتيجية للتخطيط (Strategic planning tools)

بعض هذه الأدوات كما يلي:

1-1-5 تحليل نقاط القوة والضعف والفرص والتهديدات

يُعدّ تحديد وتحليل نقاط القوة والضعف والفرص والتهديدات (Strength, Weakness, Opportunity and Threat, SWOT) أمرًا ضروريًا للتطبيق الناجح للخطة المتكاملة لإدارة خطر الكوارث على التراث الثقافي، لأن الخطوات اللاحقة في عمليات التخطيط قد تأتي نتيجة لهذا التحليل، وقد تشمل ما يلي: نطاق العمل الجغرافي والبرنامجي، والفاعلية المدركة، ومستوى القبول، إلخ. وفيما يتعلق بتطبيق الخطة العملية المتكاملة على قلعة الحصن، عُرض هذا التحليل بشكل حاسم وكانت النتائج كما يلي: (1) معظم مواقع التراث الثقافي قابلة للتضرر بتأثيرات الزلازل. (2) النقص في النظم المؤسسية لجميع أنواع المخاطر، قيّد من التخطيط والتطوير الاستباقي للتكيف مع التأثيرات المحتملة. (3) عدم وجود أنظمة مراقبة للفوالق المحيطة بالمنطقة، إذ كانت هناك محطتان للمراقبة تحيطان بقلعة الحصن، دُمّرتا خلال الحرب. (4) الافتقار إلى قاعدة البيانات الجيو-المكانية. (5) لا يمكن إغفال قابلية التضرر بأعمال الإرهاب وتأثيرها في موارد المياه والطاقة والسياحة والصحة العامة، إلخ.

1-5-2 رسم خرائط الأخطار والمخاطر (The hazard and risk mapping)

بعد تنفيذ عملية تحليل نقاط القوة والضعف والفرص والتهديدات (SWOT)، يُعدّ نشاط رسم خرائط المخاطر أداة فعالة لعرض آثار المخاطر بشكل مكاني، مع سجلاتها التاريخية على مدى المنطقة المتأثرة. تعمل نظم المعلومات الجغرافية على تسهيل تكامل البيانات التي حصلنا عليها من مصادر مختلفة (مثلًا، الخرائط الطبوغرافية المطبوعة، الجداول، الصور الجوية، صور الأقمار الصناعية، أنظمة الملاحة باستخدام الأقمار الصناعية، إلخ). بعد ذلك، تُحلّل هذه البيانات وتُعالج لإنتاج «خرائط ذكية» (Smart Maps) إلكترونية متصلة بقاعدة البيانات المركزية فترسّم كل ميزة عليها وتُعدّل على مدار الزمن (Online). على سبيل المثال، يمكن أن تلعب المعلومات الخاصة بالمناطق العمرانية الموضحة في خريطة الشكل 9 دورًا أساسيًا في التخطيط المكاني لتحديد المناطق المناسبة للعازلة، وقوانين استخدام الأرض أو البناء، إلخ.

ويمكن ملاحظة ذلك بوضوح لتطوير خرائط المخاطر/الخطر التي تعرض الخريطة الجغرافية التفصيلية لمنطقة قلعة الحصن والمنطقة المحيطة بها، والتي قد تتأثر سلبًا بمخاطرة الزلازل. يمكن إجراء عملية رسم الخرائط بالنسبة لخريطة مخاطرة واحدة (Single map) (مثلًا، خرائط الفوالق) التي

تعرض تأثيرات هذه المخاطرة على المستوى المحلي، أو خريطة لمجموعة مخاطر متعدّدة (Multiple hazards map) تحدث في الوقت نفسه، وتجمع بين تأثيرات جميع هذه المخاطر (مثلاً، الفيضانات مع الحرائق والزلازل) في خريطة واحدة لإعطاء نظرة عامة متكاملة عن هذه المخاطر التي تضرب منطقة الدراسة.

3-1-5 تحليل التكلفة والعائد (Cost-Benefit Analysis, CBA)

أحد الأسئلة الرئيسة التي يمكن طرحها عند إعداد تدابير التخفيف الخاصة بالخطة العملية المتكاملة لإدارة خطر الكوارث على التراث الثقافي هي: إذا لم يكن الخطر ضمن «الحدود المقبولة» (tolerable limits)، فما تكاليف جميع التدابير المختلفة للوقاية والتخفيف؟

يُعدّ تحليل التكلفة والعائد أداة مهمة لتحديد جدوى هذه التدابير من ناحية الكفاءة الاقتصادية التي تتطلب تفاصيل كاملة عن جميع المكاسب/ الفوائد والخسائر/ التكاليف المرتبطة بهذه التدابير. يمكن تنفيذ عديد من السيناريوهات لتوضيح كيفية استخدام تقييم الخطر كمدخلات في عملية تحليل التكلفة والعائد، وكذلك كيف يحتمل أن تُفسّر النتائج التي حصلنا عليها من هذا التحليل، لمناقشة الحالة الدراسية وأبعادها الاقتصادية من قبل صناع القرار.

عُرض سيناريوهان للمخاطر (الأكثر والأقل تطرفاً) في قلعة الحصن لتقدير التكلفة الأولية لبعض تدابير التخفيف¹. يمكن الاطلاع على مزيد من المعلومات بشأن تنفيذ تحليل التكلفة والعائد المرتبط في تنفيذ تدابير التخفيف الإنشائية للمخاطر الساحلية في الإقليم الساحلي السوري.¹²

2-5 الإجراءات المُكمّلة لعملية التخطيط (Complementary Proce-)

(dures for planning)

يمكن أن تتكون هذه الإجراءات من: بناء القدرات، الحوكمة الرشيدة، دعم اتخاذ القرار والمناصرة، النظام المالي وعمليات التأمين ضد الكوارث، تحديث بيانات ومعلومات الخطر في الوقت المناسب، إلخ. بالنسبة للوضع الحالي للتراث الثقافي في سورية، يمكن أن تكون بعض هذه الإجراءات كما يلي:

1-2-5 بناء القدرات (Capacity Building)

يمكن أن تأخذ عملية بناء القدرات الوطنية للتخفيف من الكوارث الطبيعية وإدارتها شكل الخدمات الاستشارية والتدريب والندوات وورش العمل والمشاريع الميدانية والمنشورات والاتفاقيات الثقافية الثنائية، إلخ. يمكن أن تشمل أيضاً تطوير بناء القدرات في مجال إدارة خطر الكوارث وتعزيز ودعم القدرة المؤسسية على تنفيذ السياسات الوطنية، وقدرة الموارد البشرية على تنفيذ البرامج والخطط، بهدف تعميم الحدّ من خطر الكوارث في إطار العمل الوطني لإدارة الكوارث، والقدرة الوطنية على تقدير طبيعة الأخطار في سياق سيناريوهات المخاطر المحددة مسبقاً، قدرة المجتمع من خلال إشراك المجتمع المدني والقطاعين العام والخاص في مواجهة المخاطر، إلخ.

في الوقت الحالي، يفتقر قطاع الثقافة في سورية إلى القدرة على إدارة خطر الكوارث، لأنه يحتاج إلى المؤسسات والخبرات للتعامل مع حماية التراث الثقافي باستخدام وتطبيق الخطة العملية المتكاملة لإدارة خطر الكوارث بطريقة فعّالة. بالإضافة إلى ذلك، يحتاج الكادر المهني العامل في مجال التراث الثقافي إلى تدريب محدّد لجميع أنواع التخفيف من المخاطر والاستعداد والاستجابة لها.

2-2-5 الحوكمة (Governance)

الحوكمة عملية مناسبة لصنع القرار، ويمكن أن تجمع معاً إجراءات عدّة

جهات فاعلة (مثل الحكومة ومعاهد البحوث والجامعات والمؤسسات المالية والمنظمات غير الحكومية، إلخ). في هذا المجال، تُعدّ الحكومة السورية الجهة الفاعلة الناضجة والمتكاملة في تطبيق هذه العملية، ولكن أيضاً يمكن للقطاع الخاص والمجتمع المدني أن يلعب دوراً ناشطاً في نجاح الخطة العملية المتكاملة لإدارة خطر الكوارث. الخصائص الأخرى للحوكمة الرشيدة هي: سيادة القانون، الشفافية، الاستجابة، الفاعلية، الكفاءة، المساءلة، الرؤية الاستراتيجية، إلخ.

3-2-5 المناصرة (Advocacy)

يمكن اعتبار المناصرة وسيلة تأثير إيجابي بسياقها الأوسع للجوانب السياسية والاقتصادية والاجتماعية والبيئية للمساهمة في تخفيف قابلية تضرر المجتمع، ويمكن استخدامها لتشجيع الجهات الأخرى ذات العلاقة على المشاركة في الحدّ من الأخطار المحددة. على سبيل المثال، يوجد في سورية عدد من الأقاليم الحدودية (cross-border regions) المتشاركة مع دول الجوار، حيث يكون فيها التخطيط المشترك الأكثر قوة مع هذه الدول، ويعتبر أمراً مرغوباً فيه ويتطلب تعاوناً في جميع الجوانب، وهذا سيؤمّن تحديد الأقاليم الحدودية ذات الصلة بالاعتماد على معايير تخطيط معينة، مثل التعاون بشأن سياسات إدارة الكوارث والمياه والنقل والمصالح الحدودية المشتركة في حماية الطبيعة، إلخ.

حالياً، بالنسبة للتراث الثقافي المتضرر بسبب كارثة الحرب المستمرة على سورية، يجب تعزيز التعاون الإقليمي عبر الحدود، للحدّ من تأثيرات هذه الحرب على التراث الثقافي.

4-2-5 الأدوات الميدانية والتحقق من صحة البيانات (field tools and)

(data cross-checking)

من المفترض أن تُفحص المعلومات المتعلقة بالمخاطر التي جُمعت ميدانياً ويُتحقق من صحتها حيثما كان ذلك ممكناً، مع غيرها من مصادر البيانات الأخرى الموجودة والمتاحة (مثل الحكومة والمنظمات غير الحكومية والمسوحات الجيولوجية وبيانات الأرصاد الجوية والسجلات الصحية والصحف والمجلات الأكاديمية، إلخ). تشمل الأدوات الحقلية المستخدمة عادةً تقييم عناصر الخطر وتحديد المخاطر وعوامل قابلية التضرر: المقابلات الشخصية مع المجموعات والأفراد، والمناقشات الجماعية والمشى مع المراقبين الرئيسيين الذين يركّزون على وسائل استخدام الأراضي، والتغيرات البيئية، والمناطق المادية القابلة للتضرر بتأثيرات المخاطر، إلخ.

5-2-5 نظام التمويل والتأمين ضد الكوارث (The finance and)

(insurance system)

يلعب نظام التمويل والتأمين ضد الكوارث دوراً حيوياً في الاقتصاد الوطني، إذ إن التغطية التأمينية الكافية ستقلل العبء المالي على الحكومة و/أو الأشخاص المعنيين. تُعدّ بعض الدراسات التأمينية أن نظام التأمين الذي يستند إلى معدلات مبنية على الخطر يمكن أن يكون حجر الزاوية في برنامج إدارة الكوارث. بالنسبة لمواقع التراث الثقافي السورية، خاصة تلك التي أعلنتها اليونسكو لتكون ذات قيمة تراثية مميزة، وأضافتها إلى لائحة التراث العالمي، من الأهمية البالغة لتأمين هذه المواقع ضد جميع أنواع الكوارث، بما في ذلك جرائم العصابات المسلحة التي دمرت وسرقت هذه المواقع خلال كارثة الحرب المستمرة، وذلك ضمن إطار عمل نظام التأمين الدولي.

6-2-5 تحديث بيانات الخطر في الوقت المناسب (The timely)

(updating risk data)

تتطلب الطبيعة الديناميكية لحالة الطوارئ تحديث البيانات والمعلومات

المطلوبة والمتنوعة للمخاطر في الوقت المناسب، وهذا يدعو للشراكة وتبادل المعلومات بين الجهات ذات العلاقة بموضوع إدارة الكوارث، يجب تقاسم مسؤولية الحفاظ عليها بين مختلف المؤسسات بناءً على: السياسات المناسبة والمقبولة، المعايير المناسبة لإنتاج البيانات، تدريب الأفراد على العمل معها، إنشاء شبكة مناسبة وأدوات برمجية لتبادلها وتشاركها، السياسات المناسبة للنفاذ إليها واستخدامها بشكل فعال في جميع الأزمنة خلال مراحل الكارثة.

6- الحالات الدراسية المختارة لتطبيقها في الخطة المتكاملة لإدارة خطر الكوارث

تتكوّن الحالات الدراسية المختارة لتطبيق الخطة العملية المتكاملة من مجموعة مواقع التراث الثقافي الواقعة في الإقليم الساحلي السوري كما هو مبين في الشكل 11.

1-6 الحالة الدراسية الأولى

إن الحالة الدراسية الأولى المراد تطويرها في هذه الورقة، والتي كانت جزءاً رئيسياً من شبكة التحصينات العسكرية للحملة الصليبية، بما فيها قلعة الحصن، تقع في محافظتي طرطوس وحمص، وهذه المواقع كما يلي: (1) قلعة الحصن (التي كانت تعتبر المقر الرئيسي لفرسان الحملة الصليبية). (2) دير مار جرجس الحميري البطريركي (St. Georges Al- Homeyra Patriarchal).



الشكل 11. الحالات الدراسية المكونة من عدة مواقع للتراث الثقافي في الإقليم الساحلي السوري.

(Monastery) الذي يترجّع على قمة جبل مجاور لقلعة الحصن، ويعتبر مكاناً مهماً لحجّ المسيحيين الذين يأتون إليه من جميع أنحاء العالم الأرثوذكسي. (3) برج صافيتا (Chastel Blanc) الذي يقع شمال غربي قلعة الحصن، وبناه فرسان الهيكل (knights Templar) على التلّة الوسطى لتلال صافيتا الثلاثة، مع إطلالة رائعة على المناطق الريفية المحيطة. (4) مدينة عمريت (Amrit) الواقعة على بعد 7 كم جنوب طرطوس، والتي كانت مركزاً دينياً فينيقيًا وميناءً قاريًا لجزيرة أرواد الفينيقية. (5) جزيرة أرواد (Arwad) الواقعة على بُعد 3 كم من شاطئ مدينة طرطوس، وكانت ميناءً فينيقيًا مهمًا. (6) قلعة المرقب (Marqab castle) الواقعة على بُعد 6 كم جنوب مدينة بانياس والمبنية على قمة بركان خامد على ارتفاع 360 مترًا فوق مستوى سطح البحر، وكانت تعتبر برج المراقبة الرئيسي المطل على البحر الأبيض المتوسط. (7) برج الصبي (Son Tower) الذي يتّصل بقلعة المرقب عبر نفق تحت الأرض بطول 3 كم، ويُعتبر أحد المعامل الرئيسية لفرسان الحملة الصليبية.

2-6 الحالة الدراسية الثانية

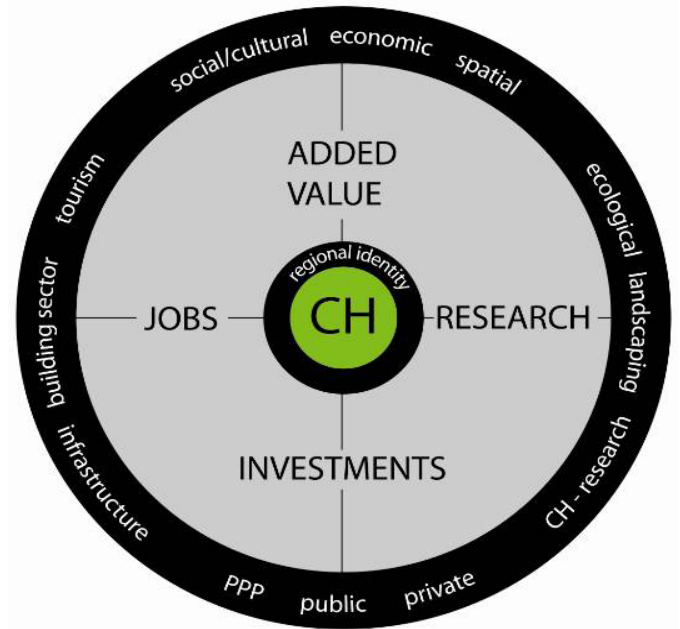
تقع الحالة الدراسية الثانية -التي سيجري تطويرها مستقبلاً- في محافظة اللاذقية الساحلية، وتتألف من المواقع التراثية التالية: (1) مدينة أوغاريت (Ugarit) من العصر البرونزي (رأس شمرة) الواقعة على بُعد 10 كم شمال مدينة اللاذقية، (2) المسرح الروماني والأوبرا (Roman theatre and Op- era) في وسط مدينة جبلة، (3) القوس الروماني (Roman triumphal arch) المنتصر في وسط مدينة اللاذقية. (4) قلعة صلاح الدين (Citadel of Salah Ed-Din) التي تقع على بُعد 30 كم شرق مدينة اللاذقية.

3-6 عناصر الدولاب الثقافي (Cultured Wheel) لدعم تطبيق الخطة المتكاملة

تتمتع هذه المناطق من الحالة الدراسية المختارة المحيطة بقلعة الحصن، بإمكانات عالية لتطوير السياحة الثقافية، إذ إن معظمها قد تضاعف من مرتين إلى ثلاث مرات في أقل من 40 عامًا، وهذا يشير إلى أنها قد تكون مراكز تطوير كبيرة للإقليم بأكمله.¹⁵

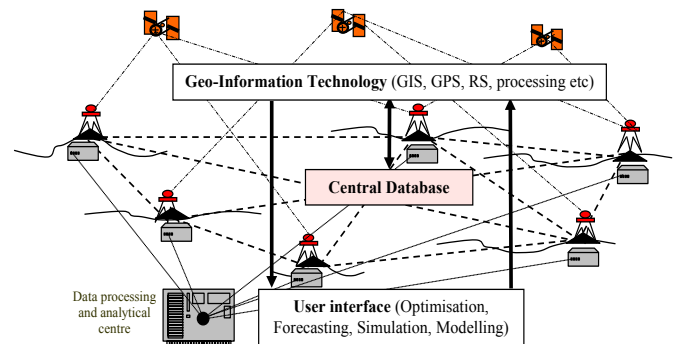
لقد بُني عديد من الجامعات الحكومية والخاصة في المناطق المحيطة بهذه المواقع (مثلًا، جامعة طرطوس، جامعة الوادي الخاصة الواقعة على بُعد 3 كم من قلعة الحصن، إلخ). لسوء الحظ، حدث هذا التوسع في غياب مبادئ التخطيط الإقليمي وإدارة خطر الكوارث.

لذلك، أُخذ في هذه الورقة بعين الاعتبار التخطيط للخطوات الرئيسية، لتكامل نهج الحد من خطر الكوارث في عملية تخطيط وإدارة أنشطة التنمية، ضمن هذه الخطة المتكاملة لإدارة خطر الكوارث على التراث الثقافي، للحد من جميع المخاطر المتوقعة في هذه المنطقة المحددة مستقبلاً، فالفكرة هنا هي كيفية استخدام مواقع التراث الثقافي كعامل دافع لتحفيز التنمية المحلية والإقليمية التي تخفّف من جميع أنواع المخاطر، وفي الوقت ذاته لاستعادة الحياة في قلعة الحصن بعد تأثيرات هذه الأزمة. يمكن تحقيق ذلك بربط قلعة الحصن بالمواقع التاريخية المحيطة بها بطريقة أكثر فاعلية من خلال مرونة الدولاب الثقافي الذي يستند إلى أربعة مكونات رئيسية: الوظائف والاستثمارات والبحث العلمي والقيمة المضافة كما هو مبين في الشكل 12.¹⁶ إن النقاط الرئيسية التي يمكن استنتاجها من تطبيق مكونات الدولاب الثقافي: (1) إنشاء أساليب وآليات عمل لإعادة إحياء بناء التراث باستخدام نهج موجه نحو السوق. (2) تحفيز التنمية الاجتماعية والاقتصادية. (3) تجديد الاهتمام بالتراث الثقافي. (4) إشراك المجتمع المحلي.



الشكل 12. عناصر الدولاب الثقافي.¹⁶

نظراً للعلاقة الوثيقة بين التراث الثقافي والمجتمعات المحلية، من المهم إشراك الناس في إدارة مواقع التراث الثقافي، مما سيحقق فوائد كثيرة لها، وبهذه الطريقة، يمكن تحقيق التشارك بالفوائد مع المجتمعات المحلية عبر ربطها بمواقع التراث الثقافي الموجودة، وتشجيعها على تطوير ارتباط أقوى بها، والعناية بها، مما سيدعم التماسك الاجتماعي بين هذه المجتمعات المحلية، إذ إن عديداً من المناطق الريفية في هذا المنطقة لا تستطيع الوصول إلى الأنشطة الثقافية التي تنفذ في هذه المواقع للتراث الثقافي. كذلك، فإن عامل الصلة بين الثقافة والسياحة يعتبر المساهم الأكثر وضوحاً في التنمية المحلية، ومن ثم فإن الحصول على فوائد السياحة الثقافية حقاً للمجتمعات المحلية التي يجب احترامها وصيانتها والحفاظ عليها. بالإضافة إلى القضايا الاقتصادية والبيئية، تُعد هذه الفاعليات والمهرجانات الاجتماعية والثقافية ذات أهمية بالغة، لأنها تربط حماية التراث الثقافي بالتنمية المستدامة (مثلاً، مهرجانات القلعة الوادي التي تنفذ بالقرب من قلعة الحصن، إلخ).



الشكل 13. شبكة الإنذار المبكر في الوقت الحقيقي وبنية قاعدة البيانات.¹⁷

4-6 النموذج الديناميكي (Dynamic Model) لشبكة مراقبة الكوارث والإنذار بها

بسبب التقارب النشط للصفائح التكتونية، كما هو مبين في الشكل 3، يتميز الإقليم الساحلي السوري ديناميكياً بالزلازل الشديدة المتعلقة بالمصادر التكتونية المحيطة. تحتوي المصادر الوثائقية التاريخية لمنطقة البحر الأبيض المتوسط على كثير من المعلومات بخصوص الزلازل وموجات التسونامي.

علاوة على ذلك، فإن الانهيارات الأرضية الساحلية والبحرية متكررة جداً، ويُعزى ذلك جزئياً إلى التضاريس شديدة الانحدار التي يتميز بها معظم الحوض الساحلي. لذلك، فإن أحد الأسباب الرئيسة لرصد مواقع التراث الثقافي في الإقليم الساحلي السوري باستخدام شبكة الإنذار المبكر المتقدم، التخفيف من الآثار المُحتملة للزلازل الناتجة عن فالتق البحر الميت والتي يمكن اعتباره أحد المصادر الرئيسة للمخاطر الزلزالية التي تُسبب تسونامي وارتفاع مستوى مياه البحر في هذه المنطقة.

لمعالجة هذه التداعيات الخطيرة للفتاق المذكور، أُجري مشروع بحثي تطبيقي لدمج الأسباب الكامنة وراء المخاطر الساحلية (Coastal Hazards) وكيف يجري التخفيف منها ضمن خطة الإدارة المتكاملة لخطر الكوارث في الإقليم الساحلي السوري. في هذا المشروع، صُمم وطُوّر نموذج ديناميكي لشبكة مراقبة الكوارث والإنذار عنها، لرصد المخاطر الساحلية التي تشمل مراقبة الأنشطة التكتونية واكتشاف الزلازل، ونشر الإنذارات وبرامج التخفيف وتوعية الجمهور.

في هذا النظام، يُعتبر تقييم المخاطر التكتونية عنصراً أساسياً ويتطلب معرفة الأحداث الزلزالية السابقة والمصادر المحتملة لها، واحتمال حدوثها وتأثيراتها على طول السواحل المهددة. ستشمل العناصر الرئيسة لنظام الإنذار المبكر: (1) مخاطرة الزلازل وتقييم الخطر. (2) مراقبة الزلازل والكشف عنها. (3) نشر برامج التحذيرات والتخفيف والتوعية العامة. يحمل عنوان هذا المشروع «أنشطة التخطيط المكاني والإقليمي والبيئي المرتبطة بإدارة الكوارث والحد من المخاطر في سورية».¹⁸

باستخدام التقنيات الجيومعلوماتية والإنذار المبكر والتحسين الديناميكي، صُممت شبكة مراقبة في الوقت الفعلي متصلة بقاعدة بيانات مركزية، للأخذ بعين الاعتبار تطبيقات الحياة الحقيقية المبنية على إدارة خطر الكوارث، كما هو مبين في الشكل 13.

يمكن لهذه الشبكة أن تساعد على مراقبة المخاطر الطبيعية ووضع خطة أنشطة الاستجابة وتحديد السكان المتضررين واحتياجاتهم، وتقييم مرونة الأدوات والإجراءات الحالية لأنشطة التخطيط، إلخ. سيكون لهذا الأمر إمكانية توفير دعم مهم لاتخاذ القرارات بتوفير البيانات الجيو-المكانية وتمثيلها وعرضها بصرياً، والنماذج الديناميكية في تحليل وتمثيل العمليات الزمنية التي تتحكم في مراحل إدارة الكارثة.

يُمكن للنظام الموحد للنموذج الديناميكي لشبكة الإنذار المبكر المقترن بالخطة العملية المتكاملة والمتصل بقاعدة البيانات، توفير حلول فعالة للتعامل مع تأثيرات هذه الكوارث من خلال: (1) تأمين النفاذية إلى مجموعة واسعة من أنواع البيانات في الوقت الحقيقي، والتي تُجمع في المنطقة المعرضة لخطر الكوارث. (2) الجمع بين بيانات الرصد والتحليل المتقدم للبيانات، لتحسين تقييم الخطر وتأمين تمثيل مادي واضح للعمليات المعنية. (3) سيُعطي نتائج توليفية لبيانات الرصد من مصادر مختلفة ونماذج وتحليل البيانات. (4) باعتباره أداة سهلة الاستخدام في دعم اتخاذ القرارات للإدارة البيئية (بما في ذلك نسبة الكلفة إلى العائد). بالنسبة للكوارث الطبيعية الأخرى مثل الانهيارات الأرضية، يمكن لهذا النظام (بالإضافة إلى الميزات المذكورة أعلاه) استكشاف تأثير العوامل المختلفة في حدوث الانهيار الأرضي (مثل الفيضانات وغطاء الغابات والمسافات إلى الأحياء السكنية والحقول الزراعية)، ومن ثم تحسين معالجة هذه التأثيرات. يمكن الاطلاع على مزيد من المعلومات عن تطبيقات الحياة الواقعية لهذه الشبكة.¹⁷

كما هو واضح، تتخطى الكوارث الحدود التنظيمية والسياسية والجغرافية والمهنية والموضوعية والاجتماعية، ولهذا يجب أن ترتبط إدارة خطر الكوارث الفعالة بإطار عمل متكامل، يربط التخطيط المؤسسي والتنموي بالمراحل المترابطة لهذه الإدارة الموضحة أعلاه.

في التطبيق العملي، لا يزال التنفيذ المستدام للخطة المتكاملة لإدارة خطر الكوارث على مواقع التراث الثقافي يمثل تحدياً قوياً، وبعض التحديات الرئيسية فيما يتعلق بالوضع الحالي لبعض أجزاء العالم، بما في ذلك سورية، هي: (1) الفقر والانكماش الاقتصادي، إذ إن هذا هو العامل الأكثر أهمية الذي يزيد من قابلية الناس والتراث الثقافي للتضرر بالكارثة. (2) النمو السكاني غير المنضبط، الذي يمكن أن يؤدي إلى تزايد الأحياء السكنية في المناطق الخطيرة المحيطة بمواقع التراث الثقافي. (3) الهجرة والتضرر السريع غير المنظم، ونتيجته الحتمية المنافسة على الموارد الشحيحة التي يمكن أن تؤدي إلى كوارث من صنع الإنسان. (4) التغير المناخي العالمي الذي يتسبب في أحداث جوية قاسية (مثل فيضانات تايلاند 2011). (5) قلة الوعي والمعلومات التي تُعد عاملاً حاسماً في الكوارث والمخاطر التي يمكن أن تحدث أيضاً عند الأشخاص المعرضين للخطر، والذين لم يُتَقَفُوا بشأن كيفية الخروج من الأذى، أو اتخاذ تدابير وقائية في بداية الكارثة. (6) التحديات المؤسسية، مثل الافتقار إلى الموارد البشرية والالتزام المؤسسي، وعدم وجود وثائق وبيانات عن الموارد التراثية لتحليل الخطر على جميع المستويات (مثلاً، البيانات المرجعية الجغرافية على مواقع التراث وحدودها، إلخ).

دُرِسَتْ ونُوقِشَتْ هذه التحديات المرتبطة بتنفيذ الخطة المتكاملة لإدارة خطر الكوارث على التراث الثقافي بالنسبة للمخاطر الساحلية في عدة دراسات سابقة.¹⁸

6-6 السياسة الوطنية للعلوم والتقانة والابتكار في دعم تطبيق الخطة العملية المتكاملة

لتحقيق تطبيق عملية تكامل لحماية التراث الثقافي وتعافيه، ضمن أنشطة التنمية المستدامة، طُوِّرت رؤية مشتركة لحماية هذا التراث، مبنية على السياسة الوطنية للعلوم والتقانة والابتكار التي أنجزتها الهيئة العليا للبحث العلمي في سورية، بالتعاون مع جميع المؤسسات العلمية البحثية والوزارات والشركات في القطاعين العام والخاص. إن الهدف الرئيسي من هذه السياسة -التي نُفِّذَتْ استجابة لطلب الحكومة السورية، وتشمل مشاركة جميع الشركاء ذات العلاقة في تحقيق هذا التكامل على جميع المستويات- هو المساهمة بفاعلية في استراتيجيات تنمية القدرات الوطنية في خطط وبرامج هذه السياسة، وتحسين القدرة التنافسية للقطاعات الإنتاجية والخدمية في اقتصاد عالمي يؤدي إلى مستويات أعلى من الرفاهية والتنمية المستدامة.

تشمل هذه السياسة قطاعات مثل الزراعة، المياه، الطاقة، الصناعة، السياحة، الثقافة، المعلوماتية، التعليم، بناء القدرات التكمينية، التنمية الإقليمية والمحلية، البناء والتشييد، إلخ. بالنسبة للتراث الثقافي، تعكس هذه السياسة الرؤية بخصوص كيفية تحسين جودة التفاعلات الديناميكية بين السياحة والأنشطة الثقافية والتراث الثقافي، باتخاذ إجراءات للمساعدة في الحفاظ على هذا التراث وحمايته، كمورد فريد وداعم للاقتصاد الوطني. يمكن دعم ذلك بوضع سياسة سياحية ثقافية شاملة تعتمد على استراتيجية التراث الثقافي التي تشمل جميع الشركاء الرئيسيين كأداة أساسية لتطوير تنمية سياحية ناجحة ومستدامة.

بعض المقترحات العامة للسياسة الوطنية للعلوم والتقانة والابتكار لتطوير قطاع السياحة هي: (1) تخصيص ميزانيات مالية كافية للبحوث والدراسات السياحية. (2) تفعيل دور مركز البحوث والدراسات السياحية. (3) بناء قاعدة بيانات للدراسات المكتمة، وتلك التي لا تزال قيد الإعداد، للبناء على الدراسات المستقبلية والجديدة. إن مؤلف هذه الورقة عضو في الفريق الوطني الذي شارك في رسم وإنجاز هذه السياسة ومتابعة تنفيذها.¹⁸

7- خاتمة

بقلاعها القديمة وتحصيناتها المنيعة وكنائسها ومساجدها وأديرتها وأسواقها، تحمل سورية بصمة آلاف السنين من تاريخ الحضارات التاريخية والإنسانية المتعاقبة حتى تاريخه. يمكن أن يكون تأثير الكوارث في مواقع التراث الثقافي عميقاً وعلى نطاق واسع، إذ إن عديداً من هذه المواقع التي دُمِّرت أو تضررت بشدة لا يمكن تعويضها، ويقلل فقدانها من سجل استمرارية الحياة على الأرض.

في سورية، هذه المواقع قابلة للتضرر بالمخاطر الطبيعية والمخاطر التي من صنع الإنسان (كالحرب الحالية التي تتعرض لها سورية)، والخطط والبرامج الوطنية الحالية لإدارة خطر هذه المخاطر لا تلبي احتياجات تدابير التخفيف والإدارة.

بسبب تزايد تواتر وشدة الكوارث وتأثيراتها، خاصة خلال الحرب الحالية المستمرة في البلاد، تهدف هذه الورقة إلى إعداد وتطبيق خطة وطنية متكاملة لإدارة خطر الكوارث على مواقع التراث الثقافي، عبر تأكيد الحاجة الضرورية لتكامل نهج الحد من خطر الكوارث في خطط التخطيط والتطوير للتعامل مع جميع أنواع الكوارث والمخاطر التي تحدث في سورية، وتؤثر في هذه المواقع.

إن حماية تاريخ سورية وتراثها والحفاظ عليهما يدوران حول حماية مستقبل التراث الثقافي العالمي وفقاً لما يلي: «لكل إنسان متحضر في هذا العالم وطنان؛ وطنه الأم وسورية». (أندريه بارو، مدير متحف اللوفر في باريس).

: *"If all civilized human being in the world to say that me and a national buzz where I live and Syria"* (Andre Barrow, Director of the Louvre Museum in Paris)

شكر وعرفان بالجميل:

إن العمل العلمي البحثي في هذه الورقة دُرِسَ ونُوقِشَ ونُفِّذَ عملياً، ضمن برنامج اليونسكو للتراث الثقافي وإدارة الخطر (the UNESCO Chair on Cultural Heritage and Risk Management) في الدورة التدريبية الدولية التاسعة بخصوص إدارة خطر الكوارث والحد من الخطر على التراث الثقافي، 22-6 من أيلول 2014، جامعة ريتسوميكان (Ritsumeikan University)، كيوتو، اليابان.

ولأول مرة تشارك سورية في هذا البرنامج، واختير مؤلف هذه الورقة من ضمن 14 مرشحاً من أصل 126 مشاركاً على مستوى العالم للمشاركة في هذا البرنامج، ويجري حالياً تدريس مادة إدارة خطر الكوارث على التراث الثقافي في ماجستير إدارة خطر الكوارث بالمعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق.

- [1] Saleh H. The disaster risk management plan for the Krak des Chevaliers (Alhosen Castle) in Syria – it had an impact both in the East and in the West. Proceedings of UNESCO Chair Programme on cultural heritage and risk management. Kyoto, Japan: Ritsumeikan University; 6–22 September 2014. p. 94–99.
- [2] UNESCO. Syrian Arab Republic [Internet]. UNESCO; 2006 [cited 2017 Jun]. Available from: <http://whc.unesco.org/en/statesparties/sy>
- [3] United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). The national platforms and country profiles for “Disaster Risk Reduction” 1994/2004 [Internet]. UNISDR; 2004. Available from: <http://www.unisdr.org/eng/country-information/introduction.htm>
- [4] Saleh H. Artificial intelligence and geoinformation technologies for disaster risk reduction and management. UK: Rabban Publishing; 2016. “In Arabic”.
- [5] Saleh H, Allaert G. Disaster management and risk reduction: impacts of sea level rise and other hazards related to tsunamis on Syrian Coastal Zone (a case study on the Lattakia City). In: Tang DL, Sui GJ, editors. Typhoon impact and crisis management. Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol. 40. Berlin, Heidelberg: Springer; 2012. p. 481–537.
- [6] UNESCO, ICCROM, ICOMOS, IUCN. A resource manual on managing disaster risks for World Heritage [Internet]. UNESCO, ICCROM, ICOMOS, IUCN; 2010 [cited 2015 Dec 15]. Available from: <http://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-630-1.pdf>
- [7] Sbeinati R, Darawch R, Mouty M. The historical earthquakes of Syria: an analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C. to 1900 A.D. Annals of Geophysics. 2005;48: 347–435.
- [8] Directorate General of Antiquities and Museums (DGAM). [Internet]. 2016 [cited June]. Available from: www.dgam.gov.sy
- [9] UNISDR. Hyogo framework for action 2005–2015: building the resilience of nations and communities to disasters [Internet]. UNISDR; 2005 [cited 2015 Nov 19]. Available from: http://www.unisdr.org/files/1037_hyogoframeworkforactionenglish.pdf
- [10] Syria National Earthquake Centre (SNEC). [Internet]. SNEC; 2016 [cited 2015 Jun]. Available from: www.nec.gov.sy/
- [11] Trifonov VG. Application of space images for neotectonic studies. In: Remote sensing for geological mapping, Vol. 18. Paris: IUGS Publication; 1984. p. 41–56.
- [12] Saleh H, Allaert G. Scientific research based optimization and geo-information technologies for integrating environmental planning in disaster management. In: Tang D, editor. Remote sensing of the changing oceans. Berlin, Heidelberg: Springer; 2011. p. 359–390.
- [13] Saleh H, Allaert G, De Sutter R. Towards efficient use of water resources management: a case study of the Syrian coastal region. International Journal of Water. 2016;10(1): 28–54.
- [14] Schmidt-Thomé, P., (ed.), Sea Level Changes Affecting the Spatial Development of the Baltic Sea Region: Geological Survey of Finland, Special Paper 41, Espoo, pp1-154.2006
- [15] Central Bureau of Statistics (CBS). The physical feature of Syria [Internet]. Damascus: CBS; 2010 [cited 2015 Jun]. Available from: <http://cbssyr.sy/index-EN.htm>
- [16] Allaert G. Wheel of CULTURED. In the final report on cultural heritage and regional development [Internet]. Centre for Mobility and Physical Planning, Belgium: Ghent University Press; 2007
- [17] Saleh H. Artificial intelligence for global positioning system networks: theory & applications. Germany: Lambert Academic Publishing; 2014.
- [18] Saleh H. Disaster management and the linkages between the environmental, regional and spatial planning in Syria. Ghent, Belgium: Ghent University Press; 2017.
- [19] National Science, Technology and Innovation (STI) Policy in Syria. [Internet]. Damascus, Syria: HCSR; 2013 [cited 2015 Jul]. Available from: <http://www.hcsr.gov.sy/>

مقال بحثي

تقدير مخاطر استخدام أسلحة اليورانيوم المنضب في العراق - الجزء الأول

سعاد ناجي العزاوي*

استاذ مشارك في الهندسة البيئية. دكتورة في الهندسة الجيولوجية البيئية من جامعة كولورادو للمناجم في أمريكا في اختصاص نمذجة انتقال الملوثات من مواقع النفايات الخطرة. انجزت العديد من البحوث في كلية الهندسة/ جامعة بغداد منها بحوث التلوث باليورانيوم المنضب وحصلت على جائزة Nuclear Free Future Award في ميونخ بالمانيا عام 2003 بعد نشرها هذه البحوث. للاستفسار عن أي فقرة في البحث المراسلة

*souad.al.azzawi@gmail.com

الملخص

خلال حرب الخليج الأولى في عام 1991، وطوال العمليات العسكرية لاحتلال العراق في عام 2003، استخدمت القوات المسلحة الأمريكية والبريطانية ذخائر اليورانيوم المنضب في مناطق مأهولة بالسكان، خاصة في جنوب العراق؛ ما أدى إلى تلوث المنطقة بالمواد المشعة. أجريت دراسة تقييم المخاطر الصحية لمنطقة مكتظة بالسكان تبلغ مساحتها نحو 1200 كم²، وتشمل مدن صفوان والزبير وغرب البصرة، والتي تعرضت لجرعات إشعاعية عالية بسبب تلوث اليورانيوم المنضب. أوضحت نتائج هذه الدراسة أن أهم مصدر للتعرض الإشعاعي في منطقة الدراسة هو استنشاق هباء اليورانيوم المنضب وأكاسيده خلال الأشهر الأولى من العمليات العسكرية لعام 1991. ووجد أن قيمة الجرعات السنوية الفعالة الناتجة من هذا المسار بلغت 435 مللي سيفرت تعرضت لها القوات المسلحة العراقية في هذه المنطقة، وقرابة 167 مللي سيفرت تعرض لها السكان في مدينة صفوان. كما بلغ إجمالي الجرعة الفعالة السنوية التي تعرض لها السكان في مدينتي الزبير وغرب البصرة بحدود 268.6 مللي سيفرت. أما ثاني أعلى جرعة إشعاعية فعالة فقد نتجت من إعادة تعلق وانبعاث اليورانيوم المنضب وأكاسيده ونويدات سلسلة انحلاله من الدبابات المدمرة والترربة وغيرها من مواقع الآليات العسكرية المدمرة جنوب وغرب البصرة والناصرية؛ حيث مع كل عاصفة رملية وترابية، ظل السكان في هذه المناطق يتلقون جرعات إضافية من المناطق الملوثة باليورانيوم المنضب؛ أي إن سكان منطقة الدراسة تعرضوا لجرعات إشعاعية تصل قيمتها إلى نحو 200 مرة أعلى من الجرعة الإشعاعية السنوية التي يتلقاها أي شخص من مكان طبيعي في معظم أنحاء العالم، والتي لا تتجاوز 2.4 مللي سيفرت. يشير التقييم أيضاً إلى أن قيم الجرعة السنوية الفعالة الناتجة من استنشاق هباء وأكاسيد اليورانيوم والنويدات المشعة التي يُعاد تعلقها في الجو تبلغ نحو 90% من إجمالي الجرعة التي تشمل جميع المسارات الأخرى؛ أي إن الجرعات الناتجة من هضم الأغذية الملوثة والتعرض لسحابة خارجية من اليورانيوم ونويدات الرادون تمثل أقل من 10% من إجمالي الجرعة الفعالة السنوية. في حين بلغ إجمالي الجرعة التراكمية للفترة 1991-1996 نحو 913.7 مللي سيفرت لمنطقة صفوان، و515 مللي سيفرت لمدينة الزبير وغرب مدينة البصرة.

الكلمات المفتاحية: اليورانيوم المنضب، التعرض الإشعاعي، مسالك التعرض، تقدير الخطورة، العراق.

Title:

Assessing risks related to depleted uranium contamination in Iraq: part 1

Souad N. Al-Azzawi, Associate Professor in Environmental Engineering, Baghdad, Iraq

Abstract

During Gulf War 1 in 1991, and throughout the occupation of Iraq military operations in 2003, US and UK armed forces used Depleted Uranium (DU) radioactive munitions in populated residential areas specially in southern Iraq.

Received 25 September 2019; accepted 12 November 2019; published 28 February 2020

© 2020 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License CC BY 4.0, which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Cite this as: Al-Azzawi SN. Assessing risks related to depleted uranium contamination in Iraq: part 1. Arabian Journal of Scientific Research 2020;1.3. <https://doi.org/10.5339/ajsr.2020.3>

In this article, results of 1991-war risk assessment in a highly populated area of about 1200 km² including the cities of Safwan, Zubair and west of Basra are presented. Residents of these areas were exposed to high radioactive doses due to DU contamination.

Results indicated that the most important source of exposure was the inhalation of uranium and its oxides aerosols during first months of the military operations of 1991. The calculated effective annual doses from this path were found to be 435 mSv for the armed forces and 167 mSv for the population in the city of Safwan. The annual whole body effective dose the population of Zubair and western Basra city were exposed to is 268.6 mSv. The second highest effective radiation dose resulted from inhalation of resuspension-emanation of (DU) radionuclides and oxides from destroyed tanks and other military artilleries sites. With each dust and sandstorm, the population in these areas kept receiving extra doses from DU pollution. Residents of the study area have been exposed to 200 times the annual radiation dose any person would receive from the natural background in most parts of the world, which is only 2.4 mSv.

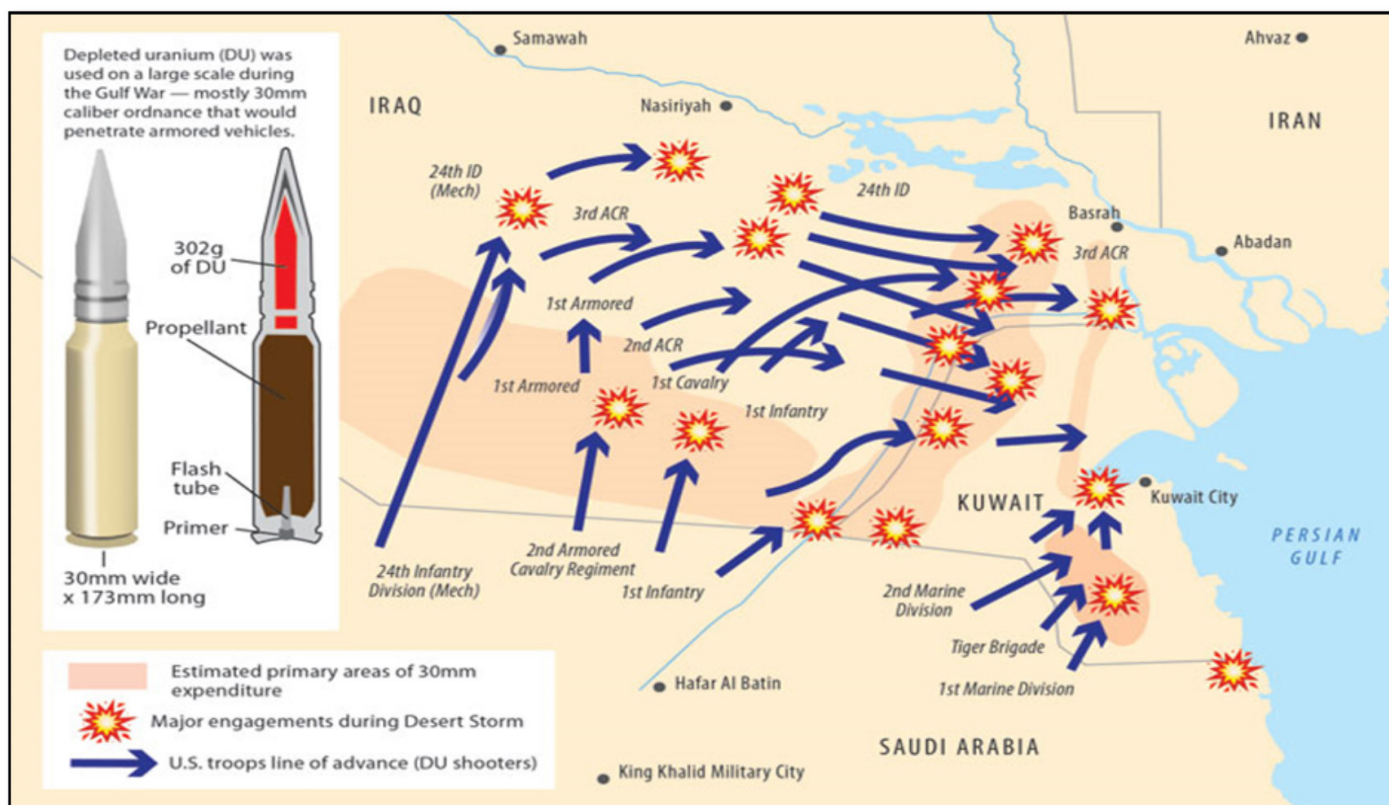
The assessment also indicates that 90% of total annual effective dose values are resulting from the inhalation of uranium oxides and resuspended radionuclides pathways. Doses from all other pathways account for less than 10% of the total annual effective dose. The total cumulative dose the residents received through the period 1991-1996 was about 913.7 mSv for Safwan city, and 515 mSv for each Zubair and west of Basra cities.

Keywords: Depleted uranium, exposure, exposure pathways, assessing risks, Iraq.

1- المقدمة

لتدمير الدبابات والمعدات العسكرية لقطعات الجيش العراقي التي كانت تنسحب من الكويت، واستمر هجوم القوات العسكرية الأميركية وحلفائها خلال الفترة (17 كانون الثاني/ يناير-4 آذار/ مارس 1991) داخل المناطق والمدن المكتظة بالسكان جنوب العراق مثل البصرة والناصرية والديوانية. ويوضح شكل (1) تقريباً المناطق التي استخدمت فيها قذائف اليورانيوم المنضب.

استخدمت القوات الأميركية والبريطانية ذخائر اليورانيوم المنضب (Depleted Uranium Munitions) في العمليات العسكرية لأول مرة في التاريخ ضد الأهداف العسكرية والمدنية في العراق خلال حرب الخليج الأولى مطلع عام 1991، ثم في العمليات العسكرية لغزو العراق واحتلاله في عام 2003 والفترة اللاحقة. في حرب الخليج الأولى، استخدمت أسلحة اليورانيوم المنضب بكثافة



الشكل (1) المناطق التي استخدمت فيها القوات الأميركية والبريطانية قذائف اليورانيوم المنضب في جنوب العراق في عام 1991¹

تعرض سكان المناطق التي استخدمت فيها هذه الأسلحة بكثافة، وكذلك القوات المسلحة العراقية والأميركية أثناء العمليات العسكرية وتحديداً في محافظة البصرة، لمصادر إشعاعية مختلفة أخطرها الاستنشاق والتعرض لهباء أكاسيد اليورانيوم، ومنها ثاني أكسيد اليورانيوم (UO₂) وثماني أكسيد ثلاثي اليورانيوم (U₃O₈). وتتولد هذه الأكاسيد حال ارتطام قذائف اليورانيوم المنضب بالأهداف العسكرية مثل الدبابات وناقلات الجنود، وعند احتراق

بالنسبة إلى اليورانيوم المنضب فهو معدن اليورانيوم المشع الموجود في الطبيعة، ويتكون من ثلاث نويدات مشعة بالنسب الوزنية التالية: (U-234 0.0055 %، U-235 0.719 %، U-238 99.2 %)، ولكن عندما استخلصت إحدى نويدات المشعة (U-235) بعد عملية التخصيب لاستخدامها وقوداً في المفاعلات النووية²، أصبح يسمى «اليورانيوم المنضب» ويعتبر نفايات مشعة ومصنفة عالمياً نفايات خطيرة.

1-2 تقدير مخاطر التلوث الإشعاعي في بعض مناطق جنوب العراق

تم إنجاز هذا البحث كجزء من مشروع متكامل لطلبة الدراسات العليا (الماجستير) ومشرفيهم، استمر سبع سنوات، واشتركت فيه ثلاث فرق بحثية متخصصة. وشملت مراحل إنجاز البحث:

- **المرحلة الأولى:** إجراء التحريات الموقعية للمناطق التي استُخدمت فيها هذه الأسلحة جنوب العراق والفحوصات المخبرية للنماذج التي جُمعت في عامي 1995 و1996 من خلال ثلاث أطروحات ماجستير.⁷⁻⁵
- **المرحلة الثانية:** نمذجة انتقال هذه الملوثات لعناصر البيئة المختلفة (التربة، والمياه، والهواء، والغطاء النباتي) في المناطق المجاورة لمناطق العمليات العسكرية الملوثة بالعناصر المشعة.⁸
- **المرحلة الثالثة:** وتشمل تقدير الجرعات الإشعاعية الفعالة الكلية، والجرعات المكافئة الجماعية التي تعرّض لها سكان محافظة البصرة والقوات المسلحة العراقية المنسحبة من الكويت عبر الطريق الدولي السريع بين الكويت والعراق، من جرّاء استخدام هذه القذائف. تم حساب التعرّض الإشعاعي الناتج من استنشاق اليورانيوم وأكاسيده ونويدات سلسلة انحلاله العالقة في الهواء مع تكرار التعرّض لهذه الملوثات بعد ترسبها على التربة والغطاء النباتي ثم إعادة انتشارها بالعواصف الترابية والرملية في مناطق البحث خلال الفترة 1991-1996.⁹

وسيتّم في هذه الدراسة البحثية (بجزءها الأول والثاني) عرض المرحلة الثالثة والخاصة بتقدير الخطورة الناجمة عن استخدام أسلحة اليورانيوم المنصّب على السكان في مناطق جنوب العراق؛ لأن مشكلة التلوث الإشعاعي وتأثيراتها الصحية ما زالت قائمة حتى اليوم، وتستمر لعشرات السنين القادمة.

استخدمنا منهجية تحليل المخاطر (Risk Assessment) المتعارف عليها في المراجع العلمية العالمية الخاصة بالتلوث الإشعاعي من أجل تقييم الأضرار الصحية، ومنها السرطانية والجينية والتشوهات الخلقية التي من المتوقع أن تحدث بين سكان المناطق القريبة من العمليات العسكرية في محافظة البصرة. ويمثل شكل (2) مخططاً بيانياً يوضح المسارات الرئيسية لانتقال الملوثات الإشعاعية والتعرض لها في هذه الدراسة، والتي تم اعتمادها لحساب الجرعة الإشعاعية الفعالة الكلية التي تعرّض لها السكان والقوات العسكرية العراقية والأميركية، وتحليل المخاطر الصحية نتيجة لذلك التعرّض.⁹ وقد تم تقدير قيم أهم مسارات التعرّض الإشعاعي من خلال تطبيق النماذج الرياضية المنشورة في المراجع العلمية المختصة بالتلوث الإشعاعي في هذه الدراسة والناتجة من:

- التعرّض الداخلي الناتج من استنشاق هباء أكاسيد اليورانيوم من مواقع العمليات العسكرية إلى داخل جسم الإنسان.
- التعرّض الخارجي لليورانيوم المنصّب ونويدات سلسلة انحلاله مثل الرادون.
- التعرّض الداخلي الناتج من استنشاق نويدات اليورانيوم المنصّب وسلسلة انحلاله أثناء إعادة تعلقها من التربة الملوثة بالرياح والعواصف والترابية.
- التعرّض الداخلي الناجم عن هضم الخضار واللحوم والحليب الملوثة بالمواد المشعّة في جسم الإنسان.

العبرة تتولد حرارة بدرجات عالية تصل إلى 3000 درجة مئوية³، وينتج من عملية الاحتراق هذه هباءً من أكاسيد اليورانيوم التي تحتوي على دقائق نانوية الحجم سيراميكية غير قابلة للذوبان مع بقية الأكاسيد. تستمر هذه الدقائق عالقة في الجو وتنتقل بفعل الرياح لعشرات الكيلومترات، وتترسب على التربة والغطاء النباتي والتجمعات السكانية ويصبح في الإمكان استنشاقها. وبعد ترسبها تعود لتنتقل بالعواصف الرملية والترابية اللاحقة مرةً أخرى.² ويمكن لهذه الجزيئات، لصغر حجمها، دخول الجسم بعبور الحواجز المعوية في حال ابتلاعها عن طريق الفم، أو الحويصلات الرئوية في حال استنشاقها من خلال الجهاز التنفسي؛ وبذلك يمكن أن تمر في مجرى الدم والجهاز اللمفاوي، وتصل إلى الأعضاء والأنسجة، وتتفاعل في نهاية المطاف مع الهياكل الخلوية والبيولوجية، لتدمر وظائف الجسم الطبيعية بطرق مختلفة.⁴

أما مصادر التعرّض الأخرى للإشعاعات فهو التعرّض لشظايا الدروع المدمرة المتأينة ونويدات سلسلة انحلال اليورانيوم المنبعثة منها مثل الثوريوم، والراديوم-226، وغاز الرادون-222، وكذلك من التربة الملوثة المتبقية بالقرب من الأهداف المدمّرة بهذه الأسلحة، حيث إنها بقيت في مناطق البصرة وما حولها أكثر من سنتين، ثم بدأت حملة إخلائها وتجميعها في مناطق قريبة سُمّيت مقبرة الدبابات.

1-1 المخاطر الصحية المتوقعة من التعرّض لليورانيوم المنصّب

أثبتت البحوث المخبرية والدراسات السريرية والمرضية أن زيادة تعرّض الإنسان للنشاط الإشعاعي، حتى بمستويات متدنية، لفترات زمنية متكررة أو طويلة يصيب الجسم بأضرار صحية تتناسب مع كمية الجرعة الإشعاعية ونوعها، والحالة الصحية والجينية العامة للإنسان. ومن هذه الأمراض: اللوكيميا، والأمراض السرطانية الأخرى للرئة والكبد والقولون والغدد الدرقية وغيرها، كذلك التشوهات الكروموسومية التي تولّد التشوهات الخلقية في الأجيال القادمة والعقم. وسيتم التطرق إلى هذه الأمراض في الجزء الثاني من هذه الدراسة.

بما أن اليورانيوم عنصر ثقيل (Heavy Metal)، إضافة إلى كونه عنصراً مشعاً، فإن التسمم به، كبقية العناصر الثقيلة، داخل جسم الإنسان يسبب مشاكل صحية جدية يمكن تلخيصها بما يلي:³ «يتميز التسمم الحاد باليورانيوم بالضعف الصحي العام. حيث يُنتج العنصر ومركباته داخل جسم الإنسان تغييرات في الكلى والكبد والرئتين وجهاز القلب الوعائي والجهاز العصبي ونزف الدم، ويسبب اضطرابات في استقلاب البروتين والكربوهيدرات».

أما التسمم التدريجي المزمّن فينتج من التعرّض الطويل الأمد لتراكيز منخفضة من مركبات اليورانيوم غير القابلة للذوبان، ويعرض صورةً سريرية مختلفة عن تلك الخاصة بالتسمم الحاد. ومن العلامات والأعراض البارزة لمثل هذا التعرّض: التليف الرئوي، والالتهاب الرئوي، وتغييرات الدم مع انخفاض عدد كريات الدم الحمراء، والهيموغلوبين، وتشوهات كريات الدم الحمراء ومنظومة الخلايا الشبكية في الدم المحيطي. كما يؤدي أيضاً إلى انخفاض كريات الدم البيضاء مع اضطرابات مثل: التحلل الخلوي، والحمى، وفقر التعرّق.³

إن التأثيرات الصحية المتعلقة بالتعرّض الإشعاعي مثبتة علمياً لعقود من الزمن، ولا يختلف التعرّض لليورانيوم المنصّب في تأثيراته الصحية عن اليورانيوم غير المنصّب، سواء عن طريق التعرّض الخارجي أو الداخلي الذي يؤثر مباشرة في الكليتين والعظام والكبد والجهاز العصبي وغيرها من أجهزة الجسم.⁴

آنذاك، ولم يتم شمول كل مدينة البصرة (المركز)، بل الجزء الغربي فقط على الرغم من أن هباء أكاسيد اليورانيوم المنصّب ينتقل لمسافات تزيد على 25 ميلاً² ما يعني أنها غطت مدينة البصرة. ولم يتم التطرق إلى التلوث الإضافي الناجم عن إعادة استخدام هذه الأسلحة في العمليات العسكرية لاحتلال العراق في عام 2003.¹⁸ ولعدم إمكانية نشر دراسة تقدير المخاطر كاملةً، سيتم نشرها في جزأين:

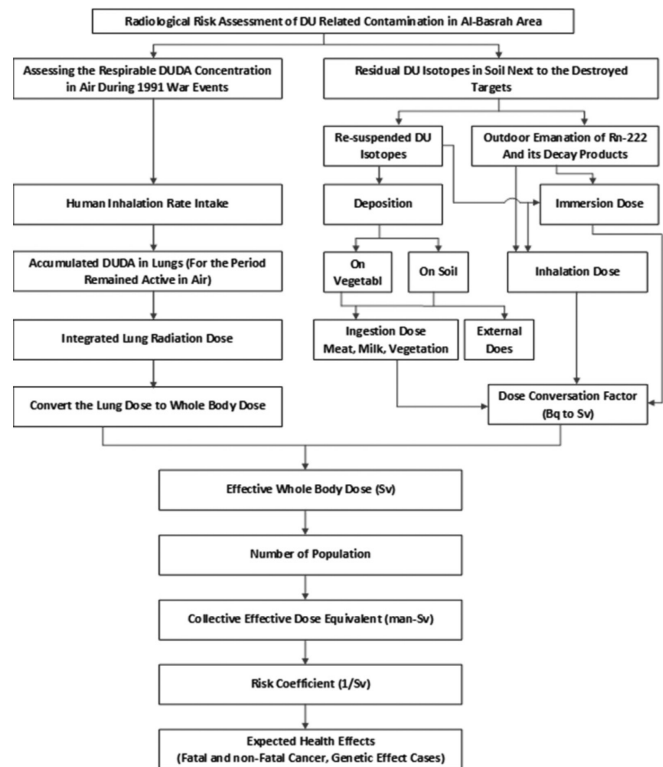
- الجزء الأول الخاص بتقدير تراكيز النويدات المشعة من مختلف المسالك البيئية المشار إليها في شكل (2)، وحساب الجرعة الفعالة لعموم الجسم الناجمة عنها (effective whole body dose).
- الجزء الثاني يشمل تقدير الجرعة المكافئة الجماعية (collective dose) لكل منطقة من المناطق التي شملتها الدراسة، ثم استخدام معاملات الخطورة (risk coefficients) المنشورة من قبل اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (International Commission on Radiological Protection, ICRP)، ولجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR) لتحديد عدد وأنواع الحالات المرضية المتوقع حصولها في المنطقة نتيجة التعرض لهذا المستوى من التلوث الإشعاعي، ودراسة بعض الحالات الموقعية لمقارنة نتائج تقديرات الجرعات والمخاطر على أرض الواقع في مناطق الدراسة.

2- موقع منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في محافظة البصرة وضواحيها الواقعة في الجزء الغربي والجنوب الغربي من العراق، والتي تركزت فيها معظم العمليات العسكرية بين تحالف القوات الأميركية - البريطانية من جهة والقوات العراقية من جهة أخرى في عام 1991. والمناطق التي شملتها الدراسة هي: الجزء الغربي من مدينة البصرة، ومدينة الزبير، ومدينة صفوان، وجبل سنام والمنطقة المحيطة به.

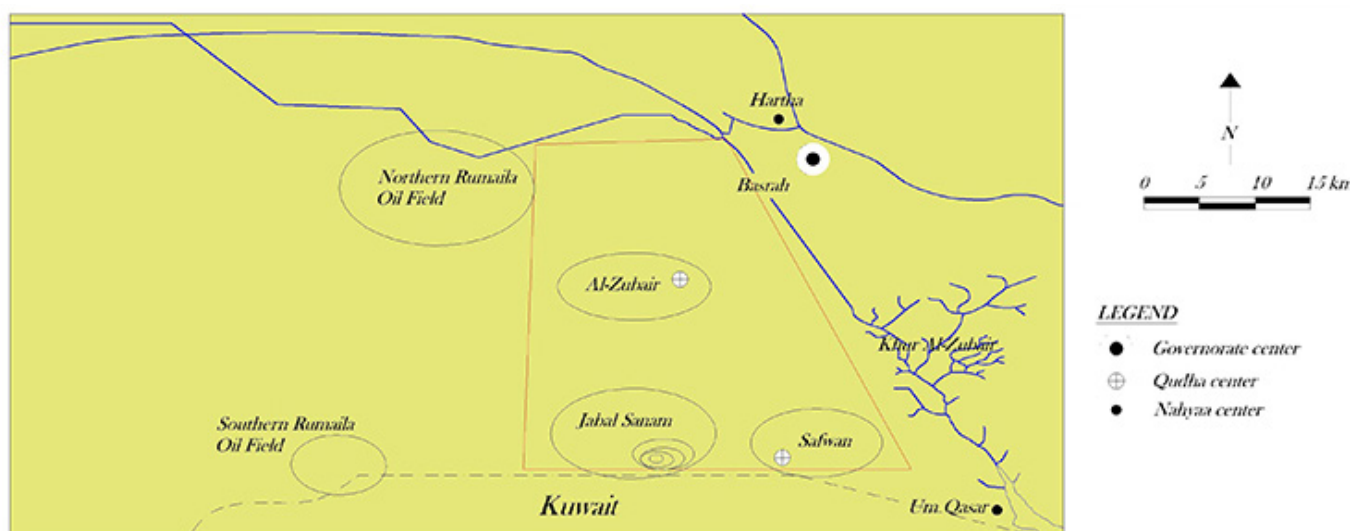
مع العلم أن هنالك مناطق شاسعة أخرى ملوثة لم يتم إدخالها في هذه الدراسة لعدم إمكانية إجرائها هناك وانعدام الموارد اللازمة لذلك، إضافة إلى أن الكثافة السكانية فيها قليلة. ويوضح شكل (3) بعض مناطق العمليات العسكرية في قاطع البصرة جنوب العراق.

ولغرض توخي الدقة في حساب تراكيز النويدات المشعة التي سببت تعرّض السكان لهذه الخطورة في مناطق العمليات العسكرية التي شملتها



الشكل (2) المسارات الرئيسية لانتقال الملوثات الإشعاعية والتعرض لها، والتي تم اعتمادها في حسابات تقدير المخاطر لمنطقة الدراسة جنوب العراق⁹

مع الأخذ في الاعتبار أن هذه الدراسة لم تشمل الجرعات الناتجة من المياه الملوثة بالنظائر المشعة، لأن الفحوصات المخبرية في المرحلة الأولى أثبتت وجود تلوث قليل في ترسبات بعض القنوات المائية في المنطقة وليس في المياه، وكذلك أهملت الدراسة تقدير التلوث الإشعاعي الناجم عن وجود عشرات الآلاف من قذائف اليورانيوم المنصّب غير المتفجرة المدفونة في رمال الصحراء² والتي كان الأطفال والمواطنون يجمعونها بأيديهم، وأحياناً يحتفظون بها في منازلهم لعدم معرفتهم بخطورة مكوناتها، وذلك لعدم وجود تفاصيل كافية منشورة عالمياً لاحتساب قيمة الجرعات الإشعاعية الناجمة عنها



الشكل (3) مواقع المناطق التي أُجري فيها تقدير الخطورة الناجمة عن استخدام أسلحة اليورانيوم المنصّب لعام 1991. المصدر: المؤلف

175 طن يورانيوم منصَّب 0.26×0.44 فقط المتفجر منها $\times 10^6$ منها يُنتج أكاسيد اليورانيوم 0.6×12.0 من الأكاسيد بحجوم الاستنشاق = طناً من أكاسيد اليورانيوم (12غم $\times 10^6$).

- تم حساب حجم الهواء في منطقة العمليات العسكرية كما يلي:
- وبذلك فإن تركيز أكاسيد اليورانيوم (DUOA) في هواء منطقة العمليات العسكرية لغرب البصرة يساوي:

$$\frac{12 \times 10^6 \text{ غم}}{2.5 \times 10^{11} \text{ م}^3} = 4.8 \times 10^{-5} \text{ غم/م}^3 = 0.048 \text{ ملغم/م}^3$$

وحيث إن حجم الهواء الذي يتنفسه الشخص البالغ في النشاط الاعتيادي يبلغ نحو $23 \text{ م}^3/\text{يوم}^{17}$ (للسكان في هذه الحالة) وللنشاط الأعلى من الاعتيادي بنحو $30 \text{ م}^3/\text{يوم}^{18}$ (للقوات المسلحة).

- تم تقدير تركيز أكاسيد اليورانيوم اليومية داخل الرئة لفترة زمنية، آخذين في الاعتبار أن جزيئات هذه الأكاسيد يمكن أن تبقى عالقة في الجو مدةً تُقدَّر في هذه الدراسة بـ 70 يوماً (فترة العمليات العسكرية المكثفة (يناير وفبراير 1991 وما بعدها فترة إخلاء القوات الأميركية وحلفائها) دبابتها من الأراضي العراقية ورجوعها إلى الكويت)، وقدَّر بعض الباحثين أنها تبقى عالقة مدة 90 يوماً.¹⁵ وبذلك فقد استنشَق السكان في منطقة العمليات العسكرية في غرب البصرة الكميات التالية من أكاسيد اليورانيوم المشعَّة خلال الفترة أعلاه:

- للنشاط اليومي الطبيعي للبالغين (السكان) باعتبار فترة بقائهم خارج السكن بحدود (0.5 يوم) $= 0.048 \text{ ملغم} \times 23 \text{ م}^3 \times 70 \text{ يوماً} \times 0.5 = 38.64 \text{ ملغم}$

- والذين يقومون بالأنشطة العالية (القوات المسلحة) بفترة تعرض 24 ساعة/يوم $= 0.048 \times 30 \text{ م}^3 \times 70 \text{ يوماً} = 100.8 \text{ ملغم} = 0.10 \text{ غم}$

3-1-1 تقدير الجرعة الإشعاعية الداخلية الناتجة من استنشاق أكاسيد

اليورانيوم في مناطق العمليات العسكرية غرب البصرة

إن معدل انبعاث جسيمات ألفا من غرام واحد من (U-238) هو 12500 جسيم في الثانية (disintegration/sec).¹⁵ واليورانيوم المنصَّب المستخدم في الحرب يحتوي على 20% فقط من المحتوى الطبيعي (U-234)،¹² ما يعني أن نشاط ألفا من غرام واحد من اليورانيوم المنصَّب يتكون من 12500 جسيم ألفا من (U-238)، إضافةً إلى 20% تقريباً (2500 جسيم في الثانية) من هذا العدد من (U-234). كما أن مستوى انبعاث دقائق ألفا بمستوى طاقة يعادل 4.19 MeV من (U-238) ونحو 4.78 MeV من (U-234).³ وبذلك فإن الطاقة الناتجة من جسيمات ألفا من غرام واحد من (U-238) بعد تحويلها إلى وحدات (جول/يوم) أو (J/d) تساوي:

$$12500 \text{ dis/sec} \times 4.2 \text{ MeV/dis} \times (1.6 \times 10^{-13})/\text{MeV} = 8.4 \times 10^{-9} \text{ J/sec}$$

وطاقة جسيمات ألفا من نظير (U-234) تساوي

$$2500 \text{ dis/sec} \times 4.78 \text{ MeV/dis} \times (1.6 \times 10^{-13})/\text{MeV} = 1.9 \times 10^{-9} \text{ J/sec}$$

ومجموع الطاقين المنبعثتين $= 0.00088 \text{ J/d}$

وبذلك، وبناء على النموذج الرياضي الذي وضعته اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP 30)،¹⁹ فإن الجرعة الممتصة اليومية في الرئة المحسوبة لكل غرام واحد من (U-238) و (U-234) تساوي

0.00088 day/Gray (باعتبار كتلة الرئتين لشخص بالغ تساوي 1 كغ).¹⁹ وللحصول على الجرعة البيولوجية المكافئة، يجب ضرب الجرعة الممتصة بمعامل النوعية لتقييم التأثير البيولوجي لهذا المستوى من الطاقة، وبالنسبة إلى جسيمات ألفا فإن معامل النوعية يساوي 20.¹⁵ لذا فالجرعة المكافئة اليومية ستعادل 0.0178 سيفرت/ يوم. إن الكمية الأولية من أكاسيد اليورانيوم في الرئتين ستتقلص تقلصاً كبيراً بسبب إفرازات الجسم للكثير منها. علماً أن اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع حددت نصف الوقت البيولوجي لأكسيد اليورانيوم في جسم الإنسان بـ 500 يوم،¹⁹ وهو الوقت الذي تفقد فيه هذه النظائر المشعة نصف فاعليتها الإشعاعية.

وهكذا، فإن معادلة حساب الجرعة البيولوجية الداخلية الكلية للرئتين التي تلقت الجرعة الإشعاعية خلال فترة زمنية معينة بسبب استنشاق أكاسيد اليورانيوم هي^{15، 18}

$$whole \text{ biological dose} = I \cdot De * \left(\frac{t'}{0.693} \right) * \left[1 - \exp \left(-0.693 * \frac{tau}{t'} \right) \right] \dots (1)$$

حيث تمثل:

- (I): كمية أكاسيد اليورانيوم الأولية المستنشقة في منطقة العمليات العسكرية بالغرام والتي تساوي (0.0386 غم) لسكان المنطقة.
- (De): الجرعة المكافئة اليومية لكل غرام من (U-238) بوحدات (Sv/d) والتي تساوي 0.0178 Sv/d.
- (t'): عمر النصف البيولوجي، وهو الوقت اللازم لـ 50% من الكمية الأصلية من المواد المشعة لتفرز خارج الجسم (d) واعتبرت 500 يوم.¹⁹
- (tau): وقت بقاء النويدات في داخل الجسم من الوقت الكلي (day) واعتبرت لعام 330 يوماً 1991.

وبذلك فإن قيمة الجرعة البيولوجية المكافئة في الرئة للسكان في مناطق غرب البصرة من تطبيق (المعادلة 1) هي 1.11 Sv.

ومن أجل تحويل جرعة العضو (الرئة في هذه الحالة) إلى جرعة الجسم بأكملها لا بد من ضرب الجرعة الإشعاعية المكافئة للرئة في عامل ترجيح طبيعة نسيج الرئتين (Tissue Weighting Factor) وتبلغ قيمته 0.12.¹⁵ فنحصل على الجرعة السنوية الفعالة لعموم الجسم للسكان (whole body effective dose) الناتجة من استنشاق أكاسيد اليورانيوم والتي بلغت قيمتها 0.133 سيفرت أو 133 ملي سيفرت.

وبهذه الطريقة نفسها تم حساب الجرعة الإشعاعية التي استنشقتها القوات المسلحة العراقية في هذه المنطقة من هباء أكاسيد اليورانيوم بتعويض قيمة تركيز أكاسيد اليورانيوم التي تم استنشاقها خلال فترة 70 يوماً والبالغة 0.100 غم (المعادلة 1). فتكون قيمة الجرعة البيولوجية المكافئة في الرئتين لأفراد القوات المسلحة العراقية 2.875 سيفرت، في حين بلغت الجرعة الفعالة لعموم الجسم 0.345 سيفرت أو 345 ملي سيفرت.

3-2 تقدير تركيز أكاسيد اليورانيوم في الهواء لمنطقة العمليات

العسكرية للطريق الدولي السريع

كما ذُكر في الجزء السابق، فقد تم العثور على نحو 65-70% من الأهداف العسكرية العراقية التي تم تدميرها بهذه الأسلحة ضمن الأراضي العراقية جنوب العراق، وبما أن نحو 80% من النسبة المذكورة للأهداف وُجدت في منطقة العمليات العسكرية لغرب البصرة،^{13، 14} فما تبقى يبلغ نحو 20% من إجمالي الأهداف المدمرة وُجدت ضمن حدود منطقة العمليات العسكرية للطريق الدولي السريع بين حدود الكويت ومدينة الناصرية شمال البصرة. وتبلغ المسافة من مدينة الناصرية إلى حدود الكويت نحو 200 كم. علماً أن

مدينة صفوان تقع على هذا الخط الدولي السريع، شكل (5). ويوضح شكل (4) موقع منطقة العمليات العسكرية للطريق الدولي السريع التي اعتُبرت مساحتها (1 × 200) كم²، كذلك اعتُبر ارتفاع العمود الجوي لخلط هباء أكاسيد اليورانيوم الناتجة من تفجير المدرعات العراقية بنحو 250 م.¹⁷

- وبذلك فإن تركيز هذه الأكاسيد في هواء منطقة العمليات العسكرية للطريق الدولي السريع يقاس على النحو التالي:
320 طن يورانيوم منصّب $0.675 \times$ ضمن الأراضي العراقية $0.20 \times$ هدف مدّمّر على الطريق السريع داخل العراق = 43.2 طن يورانيوم منصّب
- كمية هباء أكاسيد اليورانيوم المتولدة من تفجيرات القذائف في هذه المنطقة:
 43.2 طن يورانيوم منصّب $0.26 \times$ منها فقط متفجر $0.44 \times$ من التفجيرات أكاسيد يورانيوم $0.6 \times$ من هباء الأكاسيد بحجم أقل من 5 ميكرونات = 3×10^6 غم/طن = $3 \times 10^6 \times 3$ غم
- إذا اعتبرنا ارتفاع عمود الهواء الذي انتشر به هباء أكاسيد اليورانيوم 250 مترًا فيكون حجم الهواء:
 $200 \text{ كم}^2 \times 10^6 \text{ (م}^2/\text{كم}^2) \times 250 \text{ م} = 5 \times 10^{10} \text{ م}^3$
- ويكون تركيز هباء أكاسيد اليورانيوم في منطقة عمليات الطريق الدولي السريع:

$$10^{10} \times 3 \times 10^6 / 5 = 0.6 \times 10^{-4} \text{ غم/م}^3$$

وحيث إن معدل استنشاق الشخص البالغ في النشاط الاعتيادي (عادةً من السكان المدنيين) وفي الخدمة الفعّالة (عادةً من الجنود) بحدود $23 \text{ م}^3/\text{يوم}$ و $30 \text{ م}^3/\text{يوم}$ على التوالي.^{17، 18}

يمكن تقدير تركيز أكاسيد اليورانيوم داخل الرئة خلال الفترة الزمنية التي يمكن أن تبقى جزيئات هذه الأكاسيد محمولة بالهواء في مرحلة العمليات العسكرية، التي افترضت هذه الدراسة أنها 70 يومًا، منها 43 يومًا هي الحرب الفعلية، إضافة إلى 27 يومًا تظل فيها أكاسيد اليورانيوم عالقة بالهواء بسبب استمرار حركة الدبابات والآليات العراقية والأميركية بعد إيقاف إطلاق النار وانسحاب الأخيرة إلى الكويت، والعراقية إلى مواقع أخرى.

- وبذلك استنشق سكان منطقة العمليات العسكرية للطريق الدولي السريع (مثل مدينة صفوان) الكميات التالية من أكاسيد اليورانيوم خلال هذه الفترة على أساس أن تعرضهم كان خارج السكن 12 ساعة يوميًا (0.5 يوم):

$$0.6 \times 10^{-4} \text{ غرام/م}^3 \times 70 \text{ يومًا} \times 23 \text{ م}^3/\text{يوم} \times 0.5 = 0.0483 \text{ غم للبالغين في النشاط اليومي الطبيعي (السكان)}$$

$$24 \text{ ساعة في اليوم} = 0.6 \times 10^{-4} \times 70 \text{ يومًا} \times 30 \text{ م}^3/\text{يوم} = 0.126 \text{ غم}$$

3-3 تقدير جرعة الإشعاع الناتجة من استنشاق أكاسيد اليورانيوم في

منطقة العمليات العسكرية للطريق الدولي السريع

بتطبيق المعادلة (1) أعلاه، وباستخدام تراكيز أكاسيد اليورانيوم المنصّب التي تم تحديدها واستنشاقها في منطقة الطريق الدولي السريع نحصل على الجرعات الفعّالة لعموم الجسم لعام 1991، وقد بلغت 167 ملي سيفرت للسكان في منطقة صفوان التي يمر الطريق الدولي السريع وسطها و435 ملي سيفرت للقوات العراقية المسلحة. وتعتبر هذه الجرعات الفعّالة الملائمة للجسم (Committed Effective Dose) أيضًا خلال الخمسين سنة القادمة بموجب تعريف اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع.¹⁷

يمثل جدول (1) جرعة عموم الجسم السنوية الفعّالة الناتجة من استنشاق أكاسيد اليورانيوم المنصّب للبالغين في الخدمة الفعلية والاعتيادية لمنطقة العمليات العسكرية على الطريق الدولي السريع.

جدول (1) جرعة الجسم الفعّالة السنوية المقدرة (mSv) الناتجة من استنشاق أكاسيد اليورانيوم لعام 1991 للسكان والقوات المسلحة العراقية في موقعي غرب البصرة والطريق الدولي السريع

قاطع الزبير وغرب البصرة للعمليات العسكرية		قاطع صفوان والطريق الدولي السريع للعمليات العسكرية	
السكان	القوات المسلحة	السكان	القوات المسلحة
133	345	167	435*

* القوات المسلحة التي استقرت في معسكرات قاطع البصرة بعد الانسحاب من الكويت حتى نهاية العمليات العسكرية.

4- تقييم جرعات استنشاق ملوثات اليورانيوم المنصّب السنوية الأخرى

يتم استنشاق النويدات المشعّة لليورانيوم المنصّب المحمولة جواً عن طريقين رئيسيين:

أولاً، إعادة تعلق نويدات اليورانيوم المنصّب من التربة الملوثة المتبقية بالقرب من الأهداف العسكرية المدمرة.

وثانيًا، من انبعاث غاز الرادون (Rn-222) وسلسلة انحلال اليورانيوم الأخرى التي سبق أن تم تحديدها في المرحلة الأولى من هذه الدراسة كما موضح في جدول (3) أدناه.

4-1 تركيز النويدات المشعّة الناتجة من إعادة تعلقها وانبعاثها في

الهواء

أثناء التحريات الموقعية التي تم إجراؤها لهذه المنطقة نفسها في عامي 1995 و1996،^{8، 5} تم قياس التعرض الإشعاعي وتحليل عينات التربة، بلغ عددها 128 عينة، على بعد نحو 0.1-10 أمتار بالقرب من موقع كل هدف عسكري عراقي مدمر تم التأكد من إصابته بمقدوفات اليورانيوم المنصّب. وحينها تم جمع ثلاث عينات للتربة لكل موقع بأعماق مختلفة: 0-5 سم، و5-15 سم، و15-30 سم، لقياس تركيز نشاط النويدات المشعّة لسلسلة انحلال اليورانيوم (U-234)، و(Th-234) و(Ra-226) في التربة باستخدام محلل أطياف غاما (كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة)، وقد أجريت الفحوصات في مختبرات البيئة الإشعاعية لهيئة الطاقة الذرية العراقية. وبين الجدول في (الملحق أ) نتائج فحوصات التربة، آخذين في الاعتبار أن هناك أنواعًا محددة من ذخائر اليورانيوم المنصّب تم استخدامها بكثافة في حرب الخليج الأولى في عام 1991 وهذا موضح في جدول (2).²⁰ وهذه القذائف المضادة للدبابات والآليات المدرعة بحجوم 30 ملم و105 ملم و120 ملم. تحتوي القذيفة 30 ملم التي تم إطلاقها من طائرة هجوم برية (A-10) على كتلة يورانيوم منصّب مقدارها 0.30 كغم، أما القذيفة حجم 120 ملم التي أطلقت من الدبابات الثقيلة فتحتوي على كتلة 4.9 كغم. ستتيح لنا هذه المعلومات إجراء بعض التقديرات الأولية لكميات اليورانيوم المنصّب التي استُخدمت في العمليات العسكرية وانتقالها إلى المناطق المجاورة والمشاكل الصحية المحتملة التي تنتج منها.

وفي هذا الجزء من البحث تم استخدام متوسط قيم تراكيز النشاط الإشعاعي للنويدات الواردة في جدول (الملحق أ) لكل موقع تربة تم فحصه للأعماق الثلاثة ولكل نويدة مشعة (باستثناء القراءات العالية جداً)، وبالتحديد التي على عمق 0-30 سم فقد أهملت؛ وذلك لزيادة دقة الحسابات المعتمدة.

جدول (2) ذخائر اليورانيوم المنضّب التي استُخدمت في حرب الخليج الأولى على الأراضي العراقية في عام 1991²⁰

اسم القذيفة	حجم	نوع القذيفة اليورانيوم المنضّب	الوزن
GUA-8	30	Air Force A- 10A Thunder bolt II	gm 300
PGU-14	30	Navy Version	gm 300
M735A1	105	US Army — Tanks M1 and M60 equipped with an M68	kg 2.2
M774	105	US Army	kg 3.4
M827	120	US Army — Tanks M1, M60 and Tanks M1A1, M1A2, Abrams	3.1kg
M829 (E1& E2)	120	US Army — Tanks M1, M60 and Tanks M1A1, M1A2, Abrams	kg 4.0
M829 (A1& A2)	120	US Army — Tanks M1, M60 and Tanks M1A1, M1A2, Abrams	kg 4.9
M833	105	US Army—Tanks M1, M60 equipped by EX35-105 mm	kg 3.7
XM919	25	US Army— Bradley Fighting Vehicle	gm 85

من 5-10 كم عن مواقع العمليات العسكرية (شكل 3)، وبعضها مثل مدينة صفوان تقع مباشرة على الطريق الدولي السريع. ولإيجاد تراكيز نويدات اليورانيوم المنضّب التي تهبّ مع العواصف الترابية والرمليّة في المنطقة، تم تطبيق النموذج الرياضي التالي اعتماداً على سرعة الرياح:¹⁸

$$C_{air} = K(U_T - U) \frac{C_S}{U} \quad (2)$$

حيث تمثل:

- (C_{air}) : تركيز النويدات المشعة المحمولة بالرياح (Bq/m³).
- (U_T) : سرعة رياح حد العتبة (m/s) أو التي تبدأ عندها تعرية التربة، والتي تعتمد على طبيعة التربة.
- (U) : متوسط سرعة الرياح (m/s) في المنطقة.
- (C_S) : مستوى تلوث التربة السطحي (Bq/m²) التي تم تحديد معدلات قيمتها من الفحوصات الموقعية السابقة.
- (K) : معامل إعادة التعلق في الهواء (m/1) على مدى فترة سنة. والذي يمثل النسبة بين تركيز الملوثات المشعة في الهواء القريب من سطح التربة (ارتفاع متر واحد) إلى تركيزها في التربة الملوثة. وفي هذه الدراسة تم اختيار قيمتها من الجداول التجريبية لمفوضية الأنظمة النووية الأميركية (USNRC) ليكون مساوياً $(10^{-9}/m)$.²¹

ولحساب مستوى تلوث سطح التربة بوحدات بكريل/م² (Bq/m²)، يتم ضرب متوسط تركيز نشاط النويدات المشعة التي تم قياسها موقعياً في المرحلة الأولى من هذه الدراسة،⁵ والمذكورة في جدول (الملحق أ) بوحدات بكريل/كغم (Bq/Kg) بكثافة التربة السطحية الفعّالة التي هي دالة لخصائص التربة في المنطقة والعمق. وعلى عمق 0.3 m، تكون كثافة التربة السطحية الفعّالة 400 (Kg/m³).²²

تمثل القيم المدرجة في جدول (الملحق أ) نتائج تحليل عينات التربة المختارة لتراكيز النويدات المشعة في عامي 1995 و1996 كما ذكر سابقاً، وتعرض هذه التراكيز للتغيرات بسبب الظواهر الطبيعية المختلفة مثل التعرية بالرياح والأمطار وغيرها. وحيث إنه تم إجراء التحليل العكسي

4-1-1 تقدير تراكيز النويدات المشعة في الهواء من التربة الملوثة باليورانيوم المنضّب وأكاسيده المترسبة

هناك آليتان رئيسيتان يمكن أن تصبح نويدات اليورانيوم المنضّب المشعة بموجبهما محمولة جواً وتسبب تلوثاً للهواء المحيط، وهما:

• آلية إعادة تعلق (Resuspension) النويدات المشعة المتبقية في التربة الملوثة

تعتمد مساحة التربة الملوثة باليورانيوم المنضّب حول أي هدف تم تدميره بهذه القذائف على كتلة حشوة اليورانيوم المنضّب في القذائف المستخدمة وعدد القذائف التي أطلقت على الهدف وارتطمت به وانفجرت. وعموماً، ومن خلال التجارب التي تم إجراؤها على هذه الأسلحة في الولايات المتحدة الأميركية، تم تحديد مساحة التربة الملوثة حول الدبابات والآليات التي يتم قصفها بقذائف اليورانيوم المنضّب والتي يجب ارتداء ملابس خاصة وأقنعة واقية في التعليمات الخاصة بالجيش الأميركي ضمن حدودها وهي بنحو 50 متراً مربعاً.¹² بينما تترك قذائف حجم 120 ملم التي أطلقت من دبابات «تشالنجر» البريطانية وكذلك من دبابات أبرامز (M1) و(M1A1) الأميركية في الحرب البرية على الأراضي العراقية، وكانت كتلة اليورانيوم المنضّب فيها بحدود 4.9 كغم والأخرى 5.35 كغم،¹² تربةً ملوثةً نتيجة الانفجار وإصابة الهدف بمساحة 0.8 هكتار، أي ما يعادل 8000 م².

إن عدد القذائف من هذا الحجم التي استخدمت في حرب الدبابات داخل مناطق الدراسة تبلغ 4000 قذيفة.¹¹ ولو افترضنا أن 50% منها فقط ارتطمت بالأهداف وتنفجرت، فإن مساحة التربة الملوثة تبلغ 16000000 م² أو ما يعادل 16 كم²،¹² وهذه المساحة لنوع واحد من القذائف وليس من الأنواع الأخرى.

إن مساحات التربة الملوثة بنويدات اليورانيوم المنضّب، مثل الثوريوم والراديوم والرادون وغيرها، تعتبر مصدرًا مستمرًا (Continuous Area Source) للملوثات الإشعاعية في كل مرة تهبّ فيها عواصف رملية وترابية في المنطقة. وتستمر هذه الملوثات بالانتقال من منطقة لتترسب في مناطق أخرى؛ فتتوسع مساحة التلوث لتشمل المناطق السكنية التي لا تبعد أكثر

الذي قامت به العزاوي وآخرون.²³ فقد تم هنا استخدام نتائج تقدير تراكيز النويدات المشعة في الوقت الذي تم فيه تدمير الأهداف العسكرية داخل الأراضي العراقية في عام 1991 في تطبيق المعادلة (2) أعلاه. ويبين جدول

(3) متوسط تراكيز النويدات المشعة في الهواء خلال الفترة 1991-1996 بسبب آلية إعادة التعلق بالرياح والعواصف الرملية.⁹

جدول (3) متوسط تراكيز نويدات سلسلة انحلال اليورانيوم في الهواء خلال الفترة 1991-1996 بسبب آلية إعادة التعلق من التربة الملوثة قرب دبابة مدمرة واحدة بوحدة (Bq/m³)

النويدات المشعة	1996	1995	1994	1993	1992	1991
U-238	1.892	2.061	2.249	2.454	2.677	2.921
U-235	0.0306	0.0338	0.0364	0.0397	0.0433	0.04729
U-234	0.176	0.192	0.209	0.228	0.249	0.272
Ra-226	1.631	1.779	1.941	2.118	2.310	2.521

كذلك تم استخدام المعادلة (3) أدناه من نشرات منظمة الطاقة الذرية الدولية (IAEA, 1989) لحساب جرعة الاستنشاق الناتجة من تراكيز نويدات اليورانيوم المعاد تعلقها بالهواء من التربة الملوثة، على النحو التالي:²⁴

$$D_{\text{inhalation}} = C_{\text{air}} \times I \times (\text{DCF})_{\text{inhalation}} \dots \dots \dots (3)$$

حيث تمثل:

• (D_{inhalation}): مكافئ للجرعة الفعالة للمادة المشعة (Sv/yr).

• (C_{air}): تركيز النويدات المشعة المحمولة بالهواء (Bq/m³).
 • (I): معدل الاستنشاق (m³/yr)، وهو للبالغين 8400 (m³/yr)²⁵
 • (DCF): معامل تحويل الجرعة للاستنشاق (Sv/Bq)^{*}
 ويمثل جدول (4) أقصى الجرعة الفعالة الناتجة من استنشاق نويدات اليورانيوم المنضّب بسبب آلية إعادة التعلق.

جدول (4) تقديرات مكافئ الجرعة الفعالة السنوية الناتجة من استنشاق التراكيز القصوى لنويدات اليورانيوم المنضّب المعاد تعلقها في الجو (mSv/yr) من دبابة مدمرة واحدة خلال الفترة 1991-1996

النويدات المشعة	1996	1995	1994	1993	1992	1991
U-238	0.603	0.657	0.7178	0.783	0.854	0.932
U-234	0.0636	0.0694	0.075	0.082	0.09	0.098
Ra-226	0.0356	0.0388	0.0423	0.046	0.05	0.055
المجموع	0.7022	0.7644	0.834	0.911	0.994	1.085

• الجرعة الناجمة من انبعاث غاز الرادون-222 في الهواء من التربة الملوثة
 من أجل تقييم تركيز غاز الرادون المشع (Rn-222) المنبعث في الهواء من التربة الملوثة بالقرب من الأهداف المدمرة بوحدة (Bq/m³)، والتي تعتمد على وجود تركيز نويدات الراديوم (Ra-226)، المصدر الأساسي لانبعاث غاز الرادون (Rn-222)، تم استخلاص تراكيز الرادون في الهواء الملامس والمتدفق من التربة الملوثة من الجداول التي تم تحديدها في المرحلة الثانية (نمذجة

انتقال وانتشار ملوثات اليورانيوم المنضّب جنوب العراق)⁸، والتي أنجزتها العزاوي وفريقها في عام 1997. (جدول الملحق ب).
 ويمثل جدول (5) قيم تراكيز غاز الرادون (Rn-222) بوحدة (Bq/m³) الذي ينبعث من التربة الملوثة إلى الهواء لثلاثة مستويات من التلوث (الحد الأقصى والمتوسط والمنخفض) خلال الفترة 1991-1996.⁸

جدول (5) معدل تراكيز غاز الرادون (Rn-222) المنبعث من التربة بوحدة (Bq/m³) الملوثة إلى الهواء حول دبابات مدمرة بثلاثة مستويات من التلوث خلال الفترة 1991-1996

تركيز الرادون في الهواء فوق التربة الملوثة (Bq/m ³) [*]	1991	1992	1993	1994	1995	1996
من هدف مدمر بتراكيز الحد الأقصى	0.109	0.106	0.102	0.10	0.094	0.091
من هدف مدمر بتراكيز الحد المتوسط	0.06	0.0562	0.054	0.053	0.050	0.048
من هدف مدمر بتراكيز الحد الأدنى	10 ⁻³ ×6.54	10 ⁻³ ×6.36	10 ⁻³ ×6.12	10 ⁻³ ×6	10 ⁻³ ×5.6	10 ⁻³ ×5.4

* مساحة التربة الملوثة حول الهدف 40 م²

^{*} for (U-238) = 3.8*10⁻⁵, (U-234) = 4.3*10⁻⁵, and (Ra-226) = 2.6*10⁻⁶

● جرعة الاستنشاق من تدفق غاز الرادون (Rn-222) وسلسلة انحلاله

بالنسبة إلى مساري استنشاق الرادون في الأماكن المغلقة وفي الهواء الطلق، فإن معامل مكافئ الجرعة الفعالة لكل وحدة تركيز الرادون أو نواتج سلسلة انحلاله في الهواء للبالغين من السكان عمومًا تم تقديره وفقًا لتقرير لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري لعام 1988²² وهو كما يلي:

معامل مكافئ الجرعة الفعالة من تدفق الرادون 222 = 10 نانوسيفرت/ ساعة لكل (بيكريل/م³) من الرادون ولمقارنة المخاطر بين البيئة الداخلية والخارجية، يتم ضرب القيمة أعلاه بـ 0.01)²⁶.

ويبين جدول (6) الجرعة المكافئة الفعالة السنوية من استنشاق الرادون وسلسلة انحلاله نتيجة انبعاثه من التربة الملوثة.

جدول (6) قيم مكافئ الجرعة الفعالة السنوية الناتجة من استنشاق نويدات الرادون (Rn-222) وسلسلة انحلاله (μSv/yr) من التربة الملوثة بثلاثة مستويات من تركيز اليورانيوم المنضب خلال الفترة 1991-1996

مستوى تركيز الرادون في التربة	1991	1992	1993	1994	1995	1996
من هدف مدمر بتركيز الحد الأقصى	4.8	4.64	4.46	4.38	4.12	3.98
من هدف مدمر بتركيز الحد المتوسط	2.63	2.5	2.36	2.32	2.2	2.1
من هدف مدمر بتركيز الحد الأدنى	0.28	0.275	0.270	0.26	0.245	0.236

4-2 تقدير تراكيز نويدات اليورانيوم المنضب بآلية الترسيب (Deposition)

تترسب نويدات اليورانيوم المنضب المشعة بعد انتقالها من مواقع الدبابات والتربة الملوثة بالرياح والعواصف الترابية إلى المواقع التالية:

4-2-1 ترسب المواد المشعة على سطح التربة

تم استخدام المعادلة (4) أدناه من نشرات المنظمة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) لتقدير ترسيب النويدات المشعة المحددة (i) على التربة.²⁷ بافتراض أن هذا الترسيب يحصل بعد كل عاصفة ترابية ورملية تقوم بتحريك الملوثات من مواقع الأهداف المدمرة إلى المناطق المجاورة اعتماداً على تكرار هذه العواصف سنوياً.

$$C_{s,i} = \frac{d_i \left[1 - \exp \left(-\lambda E_i t_b \right) \right]}{\rho \lambda E_i} \dots \dots \dots (4)$$

$$d_i = C_{a,i} * V_g$$

حيث تمثل:

- (C_{si}): تركيز النويدات المشعة (i) في التربة الجافة (Bq/Kg).
- (d_i): معدل ترسيب النويدات المشعة على الأرض في الموقع (Bq/ (m²/d).

جدول (7) قيم الحد الأقصى لتركيز نويدات اليورانيوم المنضب المترسبة على سطح التربة (Bq/m²) خلال الفترة 1991-1996 من دبابة مدمرة واحدة

نويدات اليورانيوم المنضب المترسبة	1996	1995	1994	1993	1992	1991
U-238	7.357	8.079	8.816	9.619	10.493	11.450
U-235	0.1199	0.1324	0.1426	0.1556	0.1697	0.1853
U-234	0.690	0.753	0.822	0.896	0.978	1.067
Ra-226	6.393	6.973	7.608	8.302	9.055	9.885

- (C_{a,i}): تركيز النويدات المشعة في الهواء (Bq/m³).
- (V_g): سرعة الترسيب على سطح التربة (m/d) التي تم تعريفها على أنها نسبة كمية المادة المترسبة على سطح التربة لكل وحدة زمنية إلى تركيز النويدات في الهواء الملامس لسطح الأرض²⁷
- (ρ): كثافة طبقة التربة الجافة السطحية الفعالة = 160 Kg/m²²⁷ ويعتمد اختبار الكثافة على نوع مكونات التربة السطحية والعمق، وفي هذه الحالة 10-0 سم.
- (λE_i^s): هو ثابت معدل فعالية التناقص من تركيز النشاط الإشعاعي للنويدات في التربة، ويتم تحديد قيمتها من المعادلة 5 أدناه:

$$\lambda E_i^s = \lambda_i + \lambda_s \dots \dots \dots (5)$$

- (λ_i): ثابت الانحلال الإشعاعي للنويدات i (d⁻¹).
 - (λ_s): ثابت تناقص تركيز النويدات المشعة في التربة لأسباب غير الانحلال الإشعاعي (مثل التعرية والتجوية بالرياح والمياه).
 - (t_b): فترة النشاط الإشعاعي في التربة (d).
- وجداول (7) يوضح قيم الحد الأقصى لتركيز نويدات اليورانيوم المنضب المترسبة على سطح التربة خلال الفترة 1991-1996 والناتجة من تطبيق المعادلة رقم (4)⁹

4-2-2 ترسب النويدات المشعة على الغطاء النباتي

يمكن استخدام المعادلتين (6) و(7) من نشرات المنظمة الدولية للطاقة الذرية لتقدير تركيز نويدة مشعة معينة على الغطاء النباتي²⁷

$$C_{v,i} = \frac{d_i R \left[1 - \exp \left(-\lambda E_i t_e \right) \right]}{Y \lambda E_i} \dots \dots \dots (6)$$

$$d_i = C_{a,i} * V_g \dots \dots \dots (7)$$

حيث تمثل

- $(C_{v,i})$: تركيز النويدات المشعة على الأجزاء الجافة من الغطاء النباتي الذي تستهلكه حيوانات الرعي (Bq/Kg)، أو في المواد الطازجة للغطاء النباتي الذي يستهلكه الإنسان (Bq/Kg).
- (d_i) : معدل ترسيب النويدات المشعة على الأرض في الموقع (Bq/m²/d).
- (C_a) : تركيز النويدات المشعة في الهواء (Bq/m³).
- (V_g) : سرعة الترسيب على سطح الغطاء النباتي (m/d) التي تم تعريفها على أنها نسبة كمية المادة المترسبة على سطح النبات لكل وحدة زمنية إلى تركيز النويدات في الهواء الملاصق لسطح الأرض.²⁷

جدول (8) الحدود القصوى لتراكيز نويدات اليورانيوم المنضب المترسبة على الغطاء النباتي (Bq/Kg) خلال الفترة 1996-1991 الناتجة من تدمير دبابة واحدة

نوع النويدات المترسبة	1996	1995	1994	1993	1992	1991
U-238	1.16	1.264	1.379	1.505	1.642	1.80
U-235	0.0187	0.0207	0.0223	0.0243	0.0265	0.029
U-234	0.107	0.1179	0.1286	0.1403	0.1531	0.167
Ra-226	1.00	1.091	1.190	1.296	1.417	1.546

وهكذا ومن خلال معرفة تراكيز اليورانيوم المنضب التي يتم إعادة تعليقها في الجو وانبعثات غاز الرادون (Rn-222) في الهواء من التربة الملوثة بالقرب من الأهداف المدمرة، وكذلك ترسيب النويدات المشعة على كل من الغطاء النباتي وسطح التربة، يمكننا تقييم بقية الجرعات الإشعاعية التي تم تلقيها من المسارات البيئية الرئيسية والموضحة في شكل (2)، وكما يلي:

- تقدير الجرعة الداخلية الناجمة عن هضم الطعام الملوث: (الملحق ج).
- تقدير التعرض للجرعة الخارجية (External Exposure): (الملحق ج).
- تقدير جرعة الانغماس بغيمة ملوثات إشعاعية: (الملحق ج).

5- تقدير الجرعة الفعالة لعموم الجسم

لغرض تقدير الجرعة الفعالة لعموم الجسم الناتجة من التعرض لملوثات اليورانيوم المنضب من كافة المسارات ومن ضمنها إعادة التعليق والانبعث،

- (R): نسبة المترسبات التي تم اعتراضها من قبل المحاصيل (من دون أبعاد).
 - (λE_i) : ثابت معدل فعالية التناقص من تركيز النشاط الإشعاعي للنويدات المترسبة على المحاصيل (d^{-1}) ، حيث يتم تقدير قيمته من المعادلة (8) أدناه:
- $$\lambda E_i = \lambda_i + \lambda_w \dots \dots \dots (8)$$
- (λ_i) : ثابت الانحلال الإشعاعي للنويدة (d^{-1}) .
 - (λ_w) : ثابت تخفيض تركيز النويدات المترسبة على سطح النباتات بسبب الخسارة البيئية مثل الرياح والأمطار وغيرها²⁷
 - (t_e) : الفترة الزمنية التي تتعرض فيها المحاصيل للتلوث خلال موسم النمو (d).
 - (Y): الإنتاجية الزراعية (المحصول) أو الكتلة الحيوية للمحاصيل الدائمة لجزء النبات الصالح للأكل (Kg/m²).
- وبتطبيق المعادلات (6، 7، 8) أعلاه تم الحصول على القيم الموضحة في جدول (8) التي تمثل قيم الحد الأقصى لتراكيز نويدات اليورانيوم المنضب المترسبة على الغطاء النباتي خلال الفترة 1996-1991.

تم إجراء الحسابات على أساس وجود ثلاثة مستويات من التلوث من الأهداف المدمرة. يمثل الأول الحد الأقصى لتراكيز ملوثات اليورانيوم المنضب من الأعتدة كبيرة الحجم. ويمثل المستويان الآخران الحدين المتوسط والأدنى للتراكيز على التوالي. وفي التقييم الحالي، تم اعتبار الحد الأدنى للجرعة الناتجة من تركيز الحد الأدنى لليورانيوم المنضب بحدود 6% من الحد الأقصى. ويعتمد هذا الافتراض على حقيقة أن الوزن التقريبي لليورانيوم المنضب لبعض القذائف المستخدمة في حرب الدبابات تحديداً على الأراضي العراقية خلال الفترة 28 شباط/ فبراير-3 آذار/ مارس حجم 120 ملم يبلغ نحو 4.90 كغم¹² (جدول 2) ولذلك ولدت هذه القذائف الحد الأقصى من تراكيز الملوثات وكذلك الجرعة الإشعاعية القصوى، في حين اعتُبرت قذائف اليورانيوم المنضب التي أطلقتها الطائرات الأميركية (A-10) ووزن حشوتها 300 غم، مصدرًا للجرعة الدنيا. وتمثل جداول (9 و10 و11) جرعة الجسم الفعالة السنوية التي يتلقاها السكان في منطقة الدراسة خلال الفترة 1996-1991 من هدف عسكري مدمر واحد بثلاثة مستويات للجرعة الناتجة من ثلاثة مستويات من التلوث بتراكيز الحد الأقصى والمتوسط والأدنى لليورانيوم المنضب.

جدول (9) مجموع جرعات الجسم السنوية الفعّالة (عدا استنشاق أكاسيد اليورانيوم) الناتجة من تدمير دبابة واحدة بتركيز الحدود القصوى من اليورانيوم المنضّب التي تعرض لها السكان في مناطق الدراسة خلال الفترة 1996-1991 (mSv)

نوع الجرعة	1996	1995	1994	1993	1992	1991
استنشاق من إعادة التعلق لنويدات اليورانيوم	0.702	0.764	0.834	0.911	0.994	1.085
استنشاق نويدات الرادون-222	0.0039	0.0041	0.0038	0.0046	0.0064	0.0048
تعرض خارجي وانغمار في غيمة الرادون	0.146	0.159	0.174	0.19	0.21	0.225
تناول اللحوم والحليب والفواكه الملوثة	0.046	0.052	0.057	0.063	0.068	0.074
المجموع عدا استنشاق أكاسيد اليورانيوم (mSv)	0.898	0.979	1.069	1.169	1.278	1.388

جدول (10) مجموع جرعات الجسم السنوية الفعّالة (عدا جرعات أكاسيد اليورانيوم) الناتجة من تدمير دبابة واحدة بتركيز الحدود المتوسطة من اليورانيوم المنضّب والتي تعرض لها السكان خلال الفترة 1996-1991 (mSv)

السنة	1996	1995	1994	1993	1992	1991
قيمة الجرعة	0.476	0.519	0.566	0.619	0.677	0.737

جدول (11) مجموع جرعات الجسم السنوية الفعّالة (عدا جرعات استنشاق أكاسيد اليورانيوم) الناتجة من تدمير آلية عسكرية واحدة بتركيز الحدود الدنيا من اليورانيوم المنضّب والتي تعرض لها السكان خلال الفترة 1996-1991 (mSv)

السنة	1996	1995	1994	1993	1992	1991
الجرعة	0.0536	0.0587	0.064	0.070	0.0767	0.0833

حساب الجرعة الفعّالة الكلية في مناطق غرب البصرة للعمليات العسكرية والمكتظة بالسكان وفقاً لمستويات الجرعات المبينة في الجداول (9) و(10) و(11) لكل دبابة أو آلية والعدد الكلي للأهداف المدمرة في كل منطقة.

إن نسبة الأهداف المدمرة في أيّ من المناطق ضمن قاطع غرب البصرة، ومنها صفوان والزبير والمنطقة الغربية من مدينة البصرة، اعتماداً على النسبة المئوية للأهداف العراقية التي كانت موجودة بالقرب من كل مدينة والتي كانت على الطريق الدولي السريع وتم تدميرها بأسلحة اليورانيوم المنضّب وتدخل ضمن منطقة الدراسة من منفذ صفوان الحدودي (شكل 5). ومن خلال المعلومات المتوافرة^{13، 14} اعتبرت هذه النسب:

- 50% لمدينة صفوان وما حولها كون الطريق الدولي السريع الذي دخلت من خلاله الآليات العراقية من الكويت إلى البصرة يمر خلال هذه المدينة وتم تدميرها فيه (شكل 8). أي إن العدد الكلي 500 آلية عسكرية.
- 25% لمدينة الزبير (250 آلية عسكرية) كون الآليات التي انسحبت من الكويت لم تستطع عبور الجسور على خور الزبير إلى البصرة لتدميرها من قبل التحالف الأميركي،¹⁴ وعند تجمّعها شرق الزبير تم قصفها وتدميرها في الزبير.
- 25% للجزء الغربي لمدينة البصرة (250 آلية عسكرية) كما تم الأخذ في الاعتبار أن حرب الدبابات البرية على الأراضي العراقية استخدمت فيها أكثر من 4000 قذيفة حجم 120 ملم؛¹² ما يعني أن حشوة اليورانيوم المنضّب فيها بحدود 4.9 كغم، أي إن الجرعات الناجمة عن تفجير كل واحدة منها تمثل الحد الأقصى للجرعات الإشعاعية. وبالنسبة إلى الحدود الدنيا للجرعات الإشعاعية فتنجم عن تدمير الآليات بالقذائف حجم 30 ملم والتي أُطلقت من طائرات (A-10)، وتبلغ كتلة حشوة اليورانيوم المنضّب فيها 300 غم (جدول 2). وتبلغ نسبة الآليات التي أصابها هذه القذائف قرابة 50% من إجمالي الآليات المدمرة في كل منطقة. أما الجرعات الإشعاعية

5-1 تقدير الجرعة الفعّالة لمجموع الجسم لسكان مناطق العمليات العسكرية لغرب البصرة

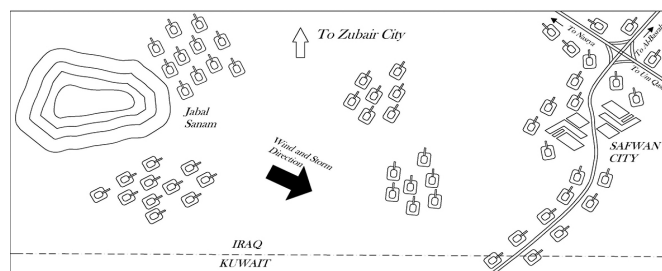
لقد تم تقدير مجموع الآليات المدمرة الموجودة في الأراضي العراقية بنحو 5724 آلية، وهي جزء من الآليات التي ادّعت القوات الأميركية والبريطانية تدميرها على ما يسمى (طريق الموت) الذي يبدأ من الكويت إلى داخل الأراضي العراقية، حيث كان يقودها الجيش العراقي عند انسحابه من الكويت متجّه إلى البصرة، المخفر الحدودي صفوان الذي يتفرع شمالاً إلى الطريق الدولي رقم 8 للبصرة وآخر إلى الناصرية والكوت. إضافة إلى الدبابات والآليات التي كانت منتشرة غرب البصرة شمال الحدود مع الكويت والسعودية في موقف دفاعي. وقد تم اعتماد أعداد الأهداف المدمرة التي استخدمت في هذه الدراسة من مصادر صحفية أميركية كانت ترافق القوات في جبهات القتال.^{28، 29}

ولتقييم العدد الإجمالي للأهداف العراقية التي دُمرت بواسطة أسلحة اليورانيوم المنضّب (الدبابات وناقلات الجنود المدرعة وقطع المدفعية والآليات الأخرى)، فقد تم أخذ عدد أقل مما صرّح به البنتاغون لاحقاً وهو 3700 هدف، مثلما جاء في تقديرات الباحثين فاهي وزاجيك.^{11، 12} وقد قدرنا الأهداف التي دُمرت في الأراضي العراقية بنحو 65% من إجمالي العدد الكلي؛ وقد بلغ العدد الذي أُدخل في تقدير المخاطر لمنطقة الدراسة 2405 آليات فقط. في حين أن عدد الآليات التي دُمرت بهذه الأسلحة الإشعاعية هو 1700 آلية عراقية.^{11، 12} وبما أننا لم ندخل الدبابات والآليات التي دُمرت في مناطق خرنج وحفر الباطن وحقول الرميّة الشمالي والجنوبي في هذه الدراسة (شكل 3) كونها مناطق صحراوية قليلة الكثافة السكانية، فقد اعتبرنا مجموع الأهداف العسكرية الملوثة باليورانيوم المنضّب في مناطق هذه الدراسة 1000 آلية عسكرية فقط، والشكلان (1) و(3) يثبتان تركّز اتجاهات الهجوم البري لحرب الدبابات حول وضمن منطقة الدراسة. وبذلك يمكن

1991-1996 من مسارات التلوث المذكورة، وعلى الرغم من انتهاء العمليات العسكرية فإن معظم الآليات المدمرة والملوثة باليورانيوم المنضّبة بقيت في المنطقة في عام 1991.

لقد بدأ سحب بعض الآليات التي لا زالت صالحة للخدمة إلى ورشات التصليح، وتجميع ما تبقى بالتدريج خلال ثلاث سنوات اعتباراً من عام 1992 في مناطق معزولة نسبياً عن السكان وقطعان الأغنام التي كانت ترعى على الحشائش التي تنمو تحتها نتيجة تجمع مياه الأمطار فيها. ولكن بعض مناطق العزل (مقابر الدبابات) ما زالت في منطقة الدراسة نفسها، حيث بلغ عدد المسجلة منها رسمياً في قاطع البصرة نحو 22 موقعاً،³⁰ كما في الموقع على قناة «وفاء القائد» شمال غرب حدود منطقة الدراسة. أي إن الجرعات الإشعاعية الناتجة منها لم تتغير كثيراً، لكنها أصبحت أبعد نسبياً من المناطق المكتظة بالسكان؛ وبذلك تم إدخال هذا التناقص في الجرعات الإشعاعية لأعوام 1992 و1993 و1994 و1995 و1996 كما في الجدولين (12) و(13). ويمثل جدول (12) قيم الجرعات الفعّالة التي تعرض لها سكان مناطق صفوان، ويبين جدول (13) الجرعات الإشعاعية التي تعرض لها السكان في مناطق الزبير وغرب مدينة البصرة، وكلاهما خلال الفترة 1991-1996 (عدا جرعة استنشاق أكاسيد اليورانيوم) التي انتهت بعد فترة العمليات العسكرية وإخلاء الدبابات الأميركية من جنوب العراق عام 1991.

الناجمة عن التلوث بتركيزات اليورانيوم المنضّبة بمستوى متوسط والناجمة عن إصابة القذائف نوع (M735A1) فوزن الحشوة فيها 2.6 كغم لنحو 25% من الآليات التي دُمرت في كل منطقة من مناطق الدراسة.



الشكل (5) طريق انسحاب الآليات العسكرية العراقية من الكويت عن طريق مخفر مدينة صفوان وبقيّة الآليات داخل الأراضي العراقية قبل حرب الدبابات في شباط/ فبراير 1991⁹

6- تقدير الجرعات الفعّالة الكلية لمنطقة الدراسة خلال

الفترة 1996-1991

ولغرض تحديد الجرعات الإشعاعية التي تعرض لها السكان خلال الفترة

جدول (12) الجرعات الفعّالة السنوية التي تعرض لها سكان مدينة صفوان (mSv) خلال الفترة 1996-1991 الناتجة من تدمير 500 آلية عسكرية باليورانيوم المنضّبة (عدا جرعة استنشاق أكاسيد اليورانيوم)

السنة	مستوى الجرعة	نسبة الآليات المدمرة (%)	الجرعة من كل آلية ملوثة	عدد الآليات	الجرع الفعّالة من كل مستوى	الجرعة الفعّالة السنوية
1991	الحد الأقصى	20%	1.388	100	138.8	270.1
	الحد المتوسط	30%	0.737	150	110.5	
	الحد المنخفض	50%	0.0833	250	20.8	
1992	الحد الأقصى	20%	1.279	80	102.3	199.1
	الحد المتوسط	30%	0.677	120	81.4	
	الحد المنخفض	50%	0.077	200	15.4	
1993	الحد الأقصى	20%	1.168	60	70.2	137.4
	الحد المتوسط	30%	0.629	90	56.7	
	الحد المنخفض	50%	0.07	150	10.5	
1994	الحد الأقصى	20%	1.10	40	44	84.6
	الحد المتوسط	30%	0.57	60	34.2	
	الحد المنخفض	50%	0.064	100	6.4	
1995	الحد الأقصى	20%	0.979	20	19.6	38.1
	الحد المتوسط	30%	0.52	30	15.6	
	الحد المنخفض	50%	0.058	50	2.9	
1996	الحد الأقصى	20%	0.898	10	8.9	17.4
	متوسط	30%	0.476	15	7.14	
	منخفض	50%	0.054	25	1.35	

* الحد الأقصى: من قذيفة يورانيوم منضّبة قياس 120 ملم.

** الحد المتوسط: من قذيفة متوسطة الحجم.

*** الحد المنخفض: من قذيفة قياس 30 ملم.

جدول (13) الجرعات الفعالة السنوية التي تعرض لها سكان مدينتي الزبير وغرب مدينة البصرة الناتجة من ثلاثة مستويات من التلوث باليورانيوم المنضب (mSv) من الآليات المدمرة (عدا جرعة استنشاق أكاسيد اليورانيوم) خلال الفترة 1991-1996

السنة	مستوى الجرعة	نسبة الآليات المدمرة (%)	الجرعة من كل آلية ملوثة	عدد الآليات	الجرع الفعالة من كل مستوى	مجموع الجرعات لكل سنة
1991	الحد الأقصى	20%	1.388	50	69.4	135.1
	الحد المتوسط	30%	0.737	75	55.3	
	الحد المنخفض	50%	0.0833	125	10.4	
1992	الحد الأقصى	20%	1.279	40	51.2	99.5
	الحد المتوسط	30%	0.677	60	40.6	
	الحد المنخفض	50%	0.077	100	7.7	
1993	الحد الأقصى	20%	1.168	30	35.1	68.65
	الحد المتوسط	30%	0.629	45	28.3	
	الحد المنخفض	50%	0.07	75	5.25	
1994	الحد الأقصى	20%	1.10	20	22	42.3
	الحد المتوسط	30%	0.57	30	17.1	
	الحد المنخفض	50%	0.064	50	3.2	
1995	الحد الأقصى	20%	0.979	10	9.79	19.04
	الحد المتوسط	30%	0.52	15	7.8	
	الحد المنخفض	50%	0.058	25	1.45	
1996	الحد الأقصى	20%	0.898	10	8.98	17.5
	الحد المتوسط	30%	0.476	15	7.14	
	الحد المنخفض	50%	0.054	25	1.35	

* الحد الأقصى: من قذيفة يورانيوم منضب قياس 120 ملم.

** الحد المتوسط: من قذيفة متوسطة الحجم.

*** الحد المنخفض: من قذيفة قياس 30 ملم.

جدول (14) الجرعات الفعالة الكلية السنوية (mSv) التي تعرض لها السكان في مناطق الدراسة من كافة مسارات التلوث في عام 1991

المناطق	مدينة صفوان	لكن من مديني الزبير وغرب مدينة البصرة	الطريق الدولي
الجرعة الفعالة السنوية (mSv)	السكان *	القوات لمسلحة **	السكان
من استنشاق أكاسيد اليورانيوم	167	435	133
الجرعات الفعالة من المسارات الأخرى	270.1	0.0	135.1
المجموع الكلي (mSv)	437.1	435	268.1

* تعرض السكان في مدينة صفوان لمزيد من التلوث من مسارات التلوث الأخرى مدة 9 أشهر بعد فترة العمليات العسكرية عام 1991.

** تعرضت القوات المسلحة العراقية والأميركية للتلوث الإشعاعي خلال فترة العمليات العسكرية والإخلاء البالغة ٧٠ يوماً فقط.

جدول (15) الجرعات الفعالة السنوية والتراكمية التي تعرض لها السكان في مناطق الدراسة خلال الفترة 1991-1996 لكافة المسارات (mSv)

السنة	مدينة صفوان	مدينة الزبير	غرب مدينة البصرة
1991	437.1	268.1	268.1
1992	199.1	99.5	99.5
1993	137.4	68.7	68.7
1994	84.6	42.3	42.3
1995	38.1	19.1	19.1
1996	17.4	17.5	17.5
الجرعة التراكمية لخمس سنوات	913.7	515.2	515.2

* قيم الجرعات الفعالة لعام 1991 من جدول (14) أعلاه وكل عام يضاف إليها جرعة التعرض لذلك العام.

إن تقدير الجرعات الإشعاعية الداخلية والخارجية التي تعرّض لها السكان والقوات المسلحة العراقية أثناء وبعد العمليات العسكرية لحرب الخليج الأولى في عام 1991 نتيجة استخدام قذائف اليورانيوم المنضّبة وتأثيراتها والمخاطر الصحية الناتجة منها يعتمد بالدرجة الأساسية على:

- تحديد كتلة اليورانيوم المنضّبة التي أطلقت في البيئة، والمسارات البيئية التي تنتقل بها وصولاً إلى جسم الإنسان بالمسارات الموضحة في شكل (2).
- تحديد المساحة ذات الكثافة السكانية العالية نسبياً التي استخدمت فيها أو قربها هذه الأسلحة لتحديد تراكيز النويدات المشعّة التي انطلقت ضمنها ومنها يتم تقدير الجرعات الإشعاعية.
- الفترة الزمنية التي تعرّض فيها السكان والقوات المسلحة لهذا التلوث الإشعاعي.
- العوامل الطبيعية والجغرافية للمنطقة التي ساهمت في تحديد مستوى التعرض مثل اتجاهات الرياح والأمطار والعواصف الترابية التي تساهم في إعادة تعلّق هذه الملوثات من مواقع آلاف الدبابات والآليات العسكرية التي تم تدميرها بها.

تم إنجاز تقدير المخاطر الوحيد لمناطق البصرة وما حولها جنوب العراق نهاية التسعينيات من القرن الماضي من قبل باحثين عراقيين من كلية الهندسة في جامعة بغداد ومنظمة الطاقة الذرية العراقية فقط.³¹ ولم تُجر المنظمات الدولية ذات العلاقة، مثل منظمة الصحة العالمية وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، دراسة شاملة للمخاطر الناجمة عن استخدام كميات كبيرة من هذا السلاح الإشعاعي لقيام الولايات المتحدة الأميركية بإخفاء الكثير من المعلومات المهمة عن ذلك السلاح،¹⁰ ودحض كل محاولة للقيام بمثل هذه الدراسات،³² كالتّي أُنجزت في كوسوفو التي تعرضت لتلوث باليورانيوم المنضّبة أيضاً بما يعادل نحو 2.5% فقط مما تعرّض له العراق.

أما في الولايات المتحدة الأميركية وبريطانيا اللتين قادتا استخدام هذه الأسلحة الإشعاعية في المناطق السكانية، فقد أُنجزت مجموعة من دراسات تقدير المخاطر الشاملة لإثبات أن هذه الأسلحة لم تسبب ما يسمى «متلازمة حرب الخليج» اعتماداً على نتائج تجارب تفجيرات هذه القذائف التي قامت بها مراكز بحوث الأسلحة التابعة لوزارة الدفاع الأميركية والبريطانية.^{33، 34، 35} علماً أن كافة هذه الدراسات لم تركز جدّاً على المخاطر الصحية التي تعرّض لها السكان في مناطق العمليات العسكرية جنوب العراق. وسيتم التطرق إلى بعض نتائج هذه الدراسات للمقارنة.

لقد تم تحديد كتلة اليورانيوم المنضّبة في هذه الدراسة من عدد القذائف وأنواعها التي تم التصريح بها في وسائل الإعلام الحربية الأميركية والبريطانية. واتفق الكثير من الباحثين على أن كتلة اليورانيوم المنضّبة التي تم استخدامها هي 300-340 طنّاً متريّاً،^{2، 12} علماً أن هناك من قدّر الكمية بـ 800 طن.²

إن سبب ذكر هذه المعلومات لتأكيد أن التقديرات الواردة في دراسة المخاطر هذه أقل بكثير من واقع الحال وما جرى أثناء العمليات العسكرية في منطقة جنوب العراق في عام 1991، إذ تعمدت القيادة العسكرية الأميركية إخفاء المعلومات الخاصة بإحداثيات الأماكن وأنواع قذائف اليورانيوم المنضّبة التي استُخدمت في الأراضي العراقية.¹⁰ وهذا الموضوع بحد ذاته أدى إلى تعرض الكثير من السكان الأبرياء، ومنهم الأطفال والنساء وحتى حيوانات الرعي، لجرعات إشعاعية إضافية، نتيجة عدم تجنّبهم بأن يكونوا موجودين في تلك المناطق، واللعب بالنسبة إلى الأطفال بهذه القذائف والآليات المدمرة بها بعد توقف العمليات العسكرية لأكثر من سنتين.

أما المساحة، ومن خلال دراسة المعلومات المنشورة والزيارات الموقعية، فقد تم اعتبار أكثر مساحة تعرض سكانها والقوات المسلحة فيها لمخاطر اليورانيوم المنضّبة هي غرب مدينة البصرة ومدينة الزبير وجنوبهما مناطق صفوان وجبل سنم (شكل 3). وتبلغ مساحة المنطقة التي شملتها هذه الدراسة نحو 1200 كم². ومما يؤكّد تعرض هذه المنطقة لأكثف هجوم بهذه الأسلحة ما نشرته منظمة (PAX) النووية التي قامت بمجموعة دراسات نوعية حول التلوث باليورانيوم المنضّبة في العراق، وقد ذُكر في واحدة منها ما يلي:³⁰ «عندما بدأت حرب الخليج رسمياً في الخامس عشر من شباط/فبراير، عبرت دبابات الحلفاء والآليات المدرعة الحدود السعودية إلى الأراضي العراقية والكويتية، واشتبكت مع القوات العراقية. وخلال معركة الدبابات على الطريق 73 شرق، دمرت ألوية الدبابات الأميركية والبريطانية مئات الدبابات ونافلات الأفراد والشاحنات من قاطع فرقة توكلنا العراقية» (المبينة موقعه على الخريطة في شكل 4). ثم يسترسل التقرير «وفي معركة نورفولك، على بعد حوالي كيلومترين من معركة الطريق 73 شرق، تم تدمير 60 دبابة و180 دبابة ومدفعية متحركة. وفي تقاطع المدينة بالقرب من البصرة، حيث اشتبكت القوات الأميركية مع فرقة مدرعة عراقية، ما أسفر عن فقدان 186 دبابة و126 عربة مدفعية على الجانب العراقي، بينما استأثرت طائرات (A-10) بالعشرات من الهجمات الناجحة لدعم القوات الأمريكية». وكذلك فإن المعلومات من المصادر العسكرية العراقية¹⁴ تدل على أن أسوأ المعارك التي استُخدمت فيها قذائف اليورانيوم المنضّبة وقعت غرب البصرة بمسافة لا تزيد على 5-10 كم من مركز مدينة البصرة وأقل من كيلومتر واحد من الزبير. والشكلان (1) و(3) يوضحان أي المناطق التي جرت فيها معارك الدبابات الضارية التي استُخدمت خلالها قذائف اليورانيوم المنضّبة بكثافة داخل الأراضي العراقية.

وبالنسبة إلى تحديد الفترة الكلية للعمليات العسكرية الفعلية لتفجيرات القذائف على الأراضي الكويتية والعراقية بالقصف الجوي (17 كانون الثاني/يناير-28 شباط/فبراير 1991) ثم خرق قرار وقف إطلاق النار في 2 آذار/مارس لاستكمال تدمير قوات الحرس الجمهوري المنسحبة باتجاه قاطع البصرة،¹⁴ والتي تجاوزت 46 يوماً. وهذه الفترة مهمة جداً في حسابات انتشار دقائق هباء أكاسيد اليورانيوم في الجو واستنشاقها، وخاصة التي يبلغ حجمها أقل من 5 ميكرونات، ما يجعلها عالقة فترة غير قصيرة في الجو لدقة حجمها. واعتُبرت الفترة في حسابات تقدير استنشاق هباء أكاسيد اليورانيوم في هذه الدراسة 70 يوماً، من ضمنها فترة حركة دبابات القوات الأميركية وحلفائها والجيش العراقي بعد وقف إطلاق النار وإخلاء الآليات من داخل الأراضي العراقية رجوعاً إلى داخل الأراضي الكويتية، ما أبقى طبقة التربة السطحية الملوثة عالقة بشكل مستمر في الجو؛ وهي الفترة التي استنشق فيها أفراد القوات المسلحة العراقية والأميركية والسكان أكاسيد اليورانيوم، ومنها تم تحديد جرعة الاستنشاق الممتصة في الرئة وفق المعادلة (1)، ثم الجرعة المكافئة والفعالة لبقية أعضاء الجسم الأخرى. علماً أن الدكتور هاري شارما¹⁵ في تقديراته للجرعة الإشعاعية التي تعرض لها السكان والقوات المسلحة في العراق اعتبر هذه المدة 90 يوماً.

لقد اتفق عشرات الباحثين ومنهم: دوراكوفيك،³⁶ وديتز،² وبيرتيل،³ وشارما،¹⁵ وزاجيك¹² على أن أخطر الأضرار الصحية التي تنجم عن التعرض لملوثات اليورانيوم المنضّبة تنتج من استنشاق أكاسيد اليورانيوم المتولدة من تفجيرات الدروع بهذه القذائف. ولذلك تم التركيز في هذه الدراسة على حسابات توزيع كتلة ملوثات اليورانيوم على الأراضي العراقية، وفي مقدمتها هباء أكاسيد اليورانيوم. وتتلخص خطورتها بكون حجم دقائقها تقل عن 5-10 ميكرونات، وأحياناً ميكرون واحد،³ ما يسهل تدفقها في أعالي الجو بعد ارتطام القذائف بالهدف وتوليد دراجات حرارة عالية جداً. أما دقائق اليورانيوم

المنضَب ونتيجة لكثافتها العالية فتترسب بعد انتقالها بمسافة قصيرة، وهذا ما استخدمه بعض الباحثين مثل مارشال³³ في تقدير الخطورة الذي نشره واستنتج فيه أن الجرعات الناتجة من استخدام دقائق اليورانيوم المنضَب قليلة جداً ولا تؤدي إلى مخاطر صحية تذكر على السكان، لأنها ستترسب بعد مسافة قصيرة من الانفجار.³³ وحيث إن أكاسيد اليورانيوم تبقى في الجو فتراتٍ طويلةً كونها متناهية الصغر وتنتقل مسافاتٍ تزيد على 40 كم،² فإن خطرهما على المدنيين أكبر من بقية الدقائق الناتجة من التفجيرات التي تبقى ضمن مساحة محدودة حول الأهداف التي دُمرت بها. والخطورة الأخرى تتمثل في قابليتها للذوبان في سوائل الجسم واختراقها أغشية الحويصلات الرئوية، لتنتقل إلى مجرى الدم بسهولة ثم إلى بقية أعضاء الجسم، مثل الكليتين والعظام وبقية الأنسجة³ أما التي تبقى في الرئة كونها غير قابلة للامتصاص فإنها مصدر دائم للإشعاعات فترةً طويلة، ما يؤدي إلى تلف الخلايا المجاورة وإصابة الرئة.¹²

وقد اختلف الباحثون على نسبة أكاسيد اليورانيوم التي تنطلق من تفجير قذائف اليورانيوم المنضَب، فذكر فاهي¹¹ أن نحو 26% من كميات اليورانيوم المنضَب أصابت الهدف وتفجرت، كما أن 18-70% من كتلة اليورانيوم المنضَب في القذيفة المتفجرة تتحول إلى دقائق متطايرة بحجم أقل من 10 ميكرونات. بينما أشار شارما إلى أن 50% من الكمية المتفجرة تتحول إلى أكاسيد اليورانيوم المتطايرة في الجو. وفي هذه الدراسة استخدمنا 44% من الكمية المتفجرة التي تتحول إلى أكاسيد اليورانيوم. وفي المحور (0-3) تم إجراء حسابات تراكيز أكاسيد اليورانيوم المنضَب في هواء مناطق العمليات العسكرية من تحليل كميات اليورانيوم المنضَب الكلية التي تم تفجيرها وفق طريقة.¹⁵

وبالنسبة إلى تقدير الجرعات الممتصة نتيجة الاستنشاق الذي تم باستخدام النموذج الرياضي للجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP) (Pub. 30 Model) الخاصة باستنشاق النويدات المشعة بالجهاز التنفسي وباستخدام نصف العمر البيولوجي لنويدات اليورانيوم داخل الجسم الذي قدرته اللجنة نفسها 500 يوم،¹⁹ على الرغم من أن بعض الباحثين يقدرون قيمة عمر النصف البيولوجي داخل الجسم من 3-8 سنوات.¹⁵ ولو استخدمنا القيم الأخيرة في المعادلة (1) لتضاعفت قيمة الجرعة الفعالة الناتجة من استنشاق هباء أكاسيد اليورانيوم.

وجداول (2) يوضح قيم الجرعات الفعالة للجسم الناتجة من استنشاق السكان والقوات المسلحة العراقية هباء أكاسيد اليورانيوم خلال فترة 70 يوماً داخل الأراضي العراقية. ونلاحظ من جدول (2) ذاته أن السكان في منطقة العمليات العسكرية للطريق الدولي السريع داخل الأراضي العراقية ومدينة صفوان الحدودية كانوا قد تلقوا جرعات إضافية (ما يقرب من الضعف) من سكان المناطق الأخرى؛ والسبب كون هذه المنطقة المنفذ الحدودي الذي تدخل منه القطعات العراقية المنسحبة من الكويت وقُصفت بشكل مفرط بقذائف اليورانيوم المنضَب، على الرغم من أن مساحتها لا تمثل سوى 20% من إجمالي مساحة العمليات العسكرية لغرب البصرة. كذلك نلاحظ أن تقديرات قيم الجرعات الفعالة الناتجة من استنشاق أكاسيد اليورانيوم المنضَب تزيد على 150 مرة من الجرعة الإشعاعية الطبيعية التي يتعرض لها السكان في معظم أرجاء العالم والبالغة 2.4 ملي سيفرت فقط.²¹ وهي تزيد أيضاً على حدود الجرعة المسموح للإنسان أن يتعرض لها في أي مجموعة سكانية والبالغة 1 ملي سيفرت، بحسب تعليمات لجنة الأنظمة النووية الأمريكية (NRC).¹⁹

وإذا أردنا مقارنة نتائج تقديرات التوزيع الكتللي لليورانيوم المنضَب في هذه الدراسة بنظيراتها، فلا بد من الإشارة كما ذكرنا سابقاً إلى أن

المنظمات الدولية ذات العلاقة، مثل منظمة الصحة العالمية وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، والمعاهد العلمية أو العسكرية الأميركية، لم تُجرِ دراسة شاملة لتقدير المخاطر الناجمة عن استخدام اليورانيوم المنضَب في العراق، وذلك للضغوطات التي تعرضت لها من الإدارة الأميركية وحلفائها في حرب الخليج الأولى،³² وفرض الحصار الشامل على العراق، على الرغم من أن أكبر كمية استخدمت فيها هذه الأسلحة في الحروب الحديثة كانت في العراق. أما الباحثون الأمريكيون فغالبية بحوثهم كانت تعتمد على نتائج البحوث التجريبية التي أجرتها في الثمانينيات وزارة الدفاع الأميركية ومصانع الأسلحة الحربية التي تدعم الاستمرار في استخدام هذه الأسلحة. ومن دراسات المخاطر التي أنجزت عن تأثيرات اليورانيوم المنضَب في القوات المسلحة الأميركية والبريطانية في حرب الخليج الأولى.³³ علماً أن كافة هذه الدراسات لم تركز على ما جرى في العراق، وإنما استندت إلى مجموعة فرضيات حول تحركات أفراد الجيش البريطاني،³⁴ وكذلك إلى احتمالات تعرض أفراد القوات المسلحة الأميركية في الأراضي الكويتية ثم في حرب الدبابات في الأراضي العراقية.³³ وكانت جميع هذه البحوث تحاول أن تثبت أن ما يسمى «متلازمة حرب الخليج» التي أصاب القوات المسلحة الأميركية لا علاقة لها بالتعرض الإشعاعي لليورانيوم المنضَب وأكاسيده.

ولمقارنة قيمة الجرعات الفعالة الناتجة من استنشاق اليورانيوم المنضَب وأكاسيده في هذه الدراسة بما نشره الباحثون أعلاه، نلاحظ أن القيمة في هذه الدراسة أعلى بشكل عام؛ والسبب أننا استخدمنا نموذج اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع المنشور رقم 30 لعام 1979،¹⁹ الذي ما زالت تعتمد لجنة الضوابط النووية الأميركية (NRC) (CFR 20 10) حتى اليوم. بينما استخدم الباحثون أعلاه نموذجي اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع رقم 65 و66 لعام 1994. وحيث إن التغييرات في هذا النموذج لا تأخذ في الاعتبار قابلية ذوبان النويدات للانتقال من الرئة إلى الدم وإلى بقية أجزاء الجسم، وإنما قابلية امتصاص النويدات للانتقال من الرئة إلى الدم. كذلك ركزت بحوثهم على تقدير الخطورة على الجنود داخل وخارج الدبابة التي تم تدميرها بهذا السلاح وعلى التعرض لمولوثات اليورانيوم المنضَب من إعادة التعلق لدبابة واحدة وعلى التعرض لغيمة هباء يورانيوم منضَب من تفجير دبابة واحدة فقط وليس هباء أكاسيد اليورانيوم المنضَب الناتجة من تدمير مئات الدبابات ضمن مساحة وفترة زمنية محددين. كما أن الكثافة السكانية في هذه المساحة معروفة وواقعية وليست افتراضية كما في دراساتهم. وفي كافة السيناريوهات كانت بحوث تقدير المخاطر للباحثين الأمريكيين والإنكليز تفترض أن الغيوم الملوثة بدقائق اليورانيوم المنضَب ستترسب قبل الوصول إلى المناطق السكنية؛ لعدم معرفتهم بواقع العمليات العسكرية وبعدها عن المدن، أو عدد وكثافة السكان في هذه المدن العراقية. كذلك افترضوا أن العمليات العسكرية تمت في الصحراء القاحلة التي مساحتها 2400 كم²، وأن الكثافة السكانية في كافة المناطق لا تتجاوز 50 شخصاً/كم²،¹⁵ بينما في هذه الدراسة تم تحديد أكثر المناطق التي تعرضت لقصف الطائرات، والتي وقعت فيها حرب الدبابات الضارية فيما بعد. وهذه المساحة فيها كثافة سكانية عالية نسبياً 372 شخصاً/كم²،² لوقوع مدن الزبير وصفوان والشعبية وغرب مدينة البصرة ضمنها؛ وبذلك تعتبر تقديراتنا أكثر واقعيةً لشمولها على تفاصيل ميدانية أكثر مما شملتها تقديرات الباحثين النظرية أعلاه.

أما الجرعات الأخرى التي تم تحديد مساراتها في شكل (2) وأهمها الجرعات الداخلية الناتجة من استنشاق نويدات اليورانيوم وسلسلة انحلاله بمسارات التعلق بالجو والانبعاث (Suspension and Emanation) مع الرياح والعواصف الترابية. ومصدر هذه الملوثات من التربة الملوثة تحت وحول كل هدف عسكري تم تدميره بهذه الأسلحة، وكذلك من ترسب هباء

اليورانيوم المنضب وأكاسيده بعد انتقالها لمسافات تزيد على 40 كم من مركز التفجيرات.²

وبالنسبة إلى تراكيز هذه الملوثات، فقد قُدرت قيمتها من نتائج فحوصات التربة التي أجريت في المراحل الأولى من التحريات الموقعية والفحوصات المختبرية لنماذج التربة والمياه والهواء والغطاء النباتي التي قام بها الفريق البحثي نفسه للمنطقة في عامي 1995 و1996.⁵ وبالتحديد، تم حساب تراكيز النويدات المشعة وفق المعادلة (2) ثم حساب جرعة التعرض من استنشاق النويدات من مسار إعادة تدوير الملوثات الناتجة من تفجير دبابة واحدة بكتلة محددة من اليورانيوم المنضب بحسب نوع القذيفة (كبيرة، متوسطة، صغيرة). بعدها تم ضرب قيمة هذه الجرعات من دبابة واحدة بعدد الأهداف العراقية المدمرة التي كانت موجودة في كل منطقة من المناطق التي شملتها الدراسة (الزبير، صفوان، وغرب البصرة والطريق الدولي السريع). وبالطريقة نفسها تم تقدير كافة الجرعات المكافئة من المسارات الأخرى (الداخلية من استنشاق الرادون، والخارجية من التعرض لقيمة من الرادون ونويدات اليورانيوم الأخرى، والجرعات الداخلية من هضم اللحم والحليب والخضار والفواكه الملوثة) الناتجة من دبابة واحدة تم تدميرها بمستويات تلوث إما عالية أو متوسطة أو متدنية اعتماداً على حجم قذائف اليورانيوم المنضب.

ولا بد من الإشارة هنا إلى أنه في تطبيق المعادلات (1-17) تم افتراض تجانس وتشابه ظروف التفجيرات والانبعثات الحرارية الذي يولد هباء وأكاسيد اليورانيوم واتجاهات تصاعدها لارتفاع 250 مترًا وانتشارها مع اتجاهات الرياح السائدة في المنطقة أثناء فصل الشتاء (شمال غرب - جنوب شرق) في ظروف تفاعلية شبه مستقرة (Steady State) في كافة مناطق العمليات العسكرية الصحراوية لمنطقة الدراسة (غرب البصرة إلى مدن الزبير وصفوان وقاطع عمليات الطريق الدولي السريع بين الكويت والبصرة داخل الأراضي العراقية). والسبب هو استمرار القصف الجوي بهذه الأسلحة على المنطقة باعتراف الجانب الأميركي يومياً وقيامهم بتدمير الأهداف في الأراضي العراقية قبل الحرب البرية بنحو ستة أسابيع. وهي ظروف تعتبر شبه مثالية لهذا النوع من التقديرات التي قد تؤدي إلى زيادة تقدير تراكيز أكاسيد اليورانيوم والجرعات الإشعاعية الناتجة منها أو نقصانها. وحيث إن هذه الدراسة لم تدخل في الحسابات الجرعات الإضافية الناتجة من شرب المياه الملوثة ومن مئات الآلاف من الإطلاقات والصواريخ غير المتفجرة المنتشرة في الصحراء قرب المناطق السكنية،² كما أن كميات اليورانيوم المنضب المستخدمة غير دقيقة بحسب ما صرحت بها قيادة القوات الأميركية، فإن نتائج تقديرات هذه الدراسة ما زالت أقل من الواقع لو أدخلت المعلومات أعلاه في الحسابات.

إن قيم جرعات التعرض الإشعاعي لعموم الجسم الناتجة من الاستنشاق من مسارات هباء أكاسيد اليورانيوم ومن إعادة التدوير وانبعثات نويدات اليورانيوم المنضب الواردة في جدول (9) تصل إلى أكثر من 90% من إجمالي قيمة الجرعة الفعالة الكلية. أما الجرعات الداخلية الأخرى الناجمة عن الابتلاع والهضم للأغذية الحيوانية والنباتية الملوثة من التربة والتعرض الخارجي لقيمة إشعاعية من نويدات اليورانيوم والرادون الواردة قيمتها في الجداول الموضحة في (الملحق ج) فقد كانت قيمها قليلة وثنائية مقارنة بجرعات الاستنشاق.

لقد تم الأخذ في الاعتبار نوعين من التناقص في تقدير قيم الجرعات الناتجة من مختلف المسارات. الأول نتيجة تشتت وانتشار الملوثات بفعل التجوية بالعواصف الترابية إلى المناطق المحيطة؛ فتناقصت تراكيز نويدات اليورانيوم المنضب من مواقع الدبابات الملوثة في الأعوام التي تلت عام 1991 كما نلاحظ في الجداول (11-13). أما التناقص الثاني فقد جاء نتيجة سحب الآليات المدمرة تدريجياً خلال ثلاث سنوات إلى مواقع سُميت مقابر

الدبابات، وقد تم حساب هذا التناقص في تقديرات الجرعات الإشعاعية المختلفة كما نلاحظ في الجداول (12-15).

ومما يؤكد هذه النتائج قيام الدكتور هاري شارما، الاختصاصي في الفيزياء الإشعاعية من جامعة واترلو في كندا، بتحليل أنسجة 38 من الضحايا العراقيين (الجثث أخذت من مشرحة) كانوا من سكان مدينة البصرة في الفترة 1990-1994،¹⁵ كان أصغرهم يبلغ من العمر 12 عاماً وأكبرهم 45 عاماً. لقد كشفت الفحوصات المختبرية وجود اليورانيوم المنضب في الرئتين، في حين كانت تحوي الغدد اللمفاوية الصدرية على 10 أضعاف كمية اليورانيوم المنضب الموجودة في الرئتين. كذلك احتوت الكلي على كمية أكبر من اليورانيوم المنضب من التي عُثر عليها في الرئتين، كما عُثر عليه أيضاً في كبد بعض الضحايا العراقيين.

وبما أن جرعة التعرض الإشعاعية السنوية على مستوى العالم في المناطق ذات الخلفية الإشعاعية الطبيعية تساوي 2.4 ملي سيفرت فقط،²⁹ يمكننا فهم الأضرار الصحية التي يمكن أن تنتج من الجرعات التراكمية لخمس سنوات، والتي تبلغ قيمتها في مدينة صفوان الحدودية بنحو 913.7 ملي سيفرت كما ذُكرت في جدول (15)، ما يعني أنها تزيد بحدود 36 مرة على جرعات الخلفية الإشعاعية الطبيعية التي يتعرض لها السكان في الظروف الطبيعية في معظم أنحاء العالم. وفي الجزء الثاني من هذه الدراسة سيتم عرض مستوى المخاطر الصحية التي تعرض لها سكان هذه المناطق باستخدام معاملات الخطورة المنشورة والمتعارف عليها عالمياً.

8- الاستنتاجات

- المساحة المأهولة بالسكان التي تعرضت لأكبر هجوم باليورانيوم المنضب من حرب الدبابات البرية والجوية داخل الأراضي العراقية تقدر بنحو 1200 كم²، تقع ضمنها مدن صفوان والزبير وغرب مدينة البصرة.
- أهم مصدر للجرعة الفعالة تعرض لها السكان والقوات العسكرية العراقية في مناطق الدراسة ناتجة من استنشاق هباء اليورانيوم وأكاسيده خلال الشهرين الأولين من عام 1991، حيث بلغت قيمتها 435 ملي سيفرت للقوات المسلحة، و167 ملي سيفرت للسكان في مدينة صفوان مثلاً، وهي الجرعات التي استقرت في أجسامهم وأضيفت إليها جرعات إشعاعية أخرى لاحقاً من بقية المسارات.
- أعلى قيمة للجرعة الفعالة السنوية للسكان لعام 1991 كانت في مدينة صفوان، حيث بلغت 437.15 ملي سيفرت؛ كون الطريق الدولي السريع الذي انسحبت من خلاله القطعات العسكرية يمر من خلالها والقصف على المنطقة أكثف من بقية المناطق. بينما بلغت الجرعة الفعالة السنوية الكلية التي تعرض لها السكان في كل من مدينتي الزبير وغرب مدينة البصرة لعام 1991 نحو 268.6 ملي سيفرت.
- ثاني أعلى جرعة إشعاعية فعالة مصدرها الاستنشاق من مسار إعادة تدوير وانبعثات نويدات اليورانيوم المنضب وأكاسيده من مواقع الدبابات والآليات العسكرية المدمرة مع الرياح والعواصف الترابية والرمليّة التي اجتاحت المنطقة. وأعلى جرعة سنوية فعالة تعرض لها السكان من هذا المسار كانت في منطقة صفوان أيضاً، إضافةً إلى جرعة استنشاق أكاسيد اليورانيوم؛ وهذا يعني أنهم تعرضوا لـ 200 ضعف قيمة الجرعة السنوية التي يتعرض لها أي إنسان في أي منطقة إشعاعية طبيعية في معظم أنحاء العالم، والبالغة 2.4 ملي سيفرت فقط.
- قيم الجرعة السنوية الفعالة الداخلية الناتجة من مسارات استنشاق أكاسيد اليورانيوم ونويدات اليورانيوم من إعادة التدوير بالعواصف الترابية

- والرياح تبلغ أكثر من 90% من مجموع الجرعات من كافة المسارات؛ وهذا يعني أن الجرعات الناتجة من هضم الطعام الملوّث وتعرض الجلد لجرعة خارجية من غيمة من نويدات اليورانيوم والرادون تمثل أقل من 10% من إجمالي الجرعة الإشعاعية السنوية الفعّالة.
- بلغت الجرعة التراكمية الكلية للفترة 1996-1991 نحو 913.7 ملي سيفرت لمنطقة صفوان، و515 ملي سيفرت لكل من منطقتي الزبير وغرب مدينة البصرة.
- هنالك تناقص في قيم الجرعات الإشعاعية الفعّالة السنوية التي تعرض لها السكان نتيجة تشتت وانتشار وانتقال الملوثات بعوامل التجوية والتعرية بالرياح والعواصف الترابية، وكذلك بسبب إخلاء الآليات العراقية التي تم تدميرها بهذه الأسلحة من مناطق الدراسة خلال فترة أربع سنوات إلى مناطق عزل لا تبعد كثيرًا عن مناطق الدراسة.

المراجع

- 1 US Department of Defense. Map of primary areas of DU expenditure in operation desert storm of 1991. USA; 1998.
- 2 Dietz LA. DU spread and contamination of Gulf War veterans and others. In: Catalinotto J, Flounders S, editors. Metal of dishonor: depleted uranium. New York: International Action Center; 1997. p. 134-135.
- 3 Bertell R. Use of depleted uranium in Kosovo as chemical and radiological warfare. In: The health costs of nuclear technology [Internet]. [Publisher unknown]; 1999. Available from: <https://rational.org/radiation/DU/RBOnDUweps.html>
- 4 Durakovic A. Undiagnosed illnesses and radioactive warfare. Croatian Medical Journal [Internet]. 2003;44(5): 520-532. Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/495e/4c1e8ed12f59857b4dffada941cd69397e6c.pdf>
- 5 الحلي، وليد مجيد. تأثير استخدام الأسلحة الإشعاعية على التربة والهواء في مناطق منتخبة من جنوب العراق [رسالة ماجستير]. بغداد: قسم الهندسة البيئية للدراسات العليا، كلية الهندسة، جامعة بغداد؛ 1998.
- 6 الساجي، محمد عبد الواحد. تأثير الأسلحة الإشعاعية على المياه السطحية والجوفية في مناطق منتخبة من جنوب العراق [رسالة ماجستير]. بغداد: قسم الهندسة البيئية للدراسات العليا، كلية الهندسة، جامعة بغداد؛ 1998.
- 7 مكوار، أحمد جدهان. تأثير استخدام الأسلحة الإشعاعية على الإنسان والبيئة الإحيائية في مناطق جنوب العراق [رسالة ماجستير]. بغداد: قسم الهندسة البيئية للدراسات العليا، كلية الهندسة، جامعة بغداد؛ 1998.
- 8 العزاوي، سعاد ناجي و معروف، بهاء الدين حسين و صالح، مقدم معروف، [وآخرون]. الأضرار الناجمة عن استخدام العدوان الأمريكي للأسلحة الإشعاعية ضد الإنسان والبيئة في العراق عام 1991م. تقرير فني غير منشور. 1997. جامعة بغداد، كلية الهندسة، قسم الهندسة البيئية للدراسات العليا. صفحة 157.
- 9 Al Naemi AN. Risk assessment related to depleted uranium contamination in Southern Iraq. M.Sc. Thesis in Environmental Engineering. Baghdad: College of Engineering, University of Baghdad; 2001.
- 10 Zwijnenburg W, Weir D. Targets of opportunity; analysis of the use of depleted uranium by A-10s in the 2003 Iraq War. A joint investigation by PAX and ICBUW [Internet]; 2016. Available from: <http://www.paxforpeace.nl>
- 11 Fahey D. Collateral damage: how US troops were exposed to depleted uranium during the Persian Gulf War. In: Catalinotto J, Flounders S, editors. Metal of dishonor: depleted uranium. New York: International Action Center; 1997. p. 28.
- 12 Zajic VS. Review of radioactivity, military use, and health effects of depleted uranium [Internet]. [Publisher unknown]; July 1999. Available from: <http://vzajic.tripod.com>
- 13 Personal communications with Iraqi Army Field Commanders of Gulf War I; 1991.
- 14 الجبوري، صلاح عبود محمود (فريق ركن قائد عسكري). أم المعارك حرب الخليج عام 1991: الحقيقة على الأرض. عمان: دار الأكاديميون للنشر والتوزيع؛ 2016.
- 15 Sharma H. Investigations of environmental impacts from the deployment of depleted uranium munitions. Stop Nato [Internet]. [Publisher unknown]; September 2003. Available from: <http://www.stopnato.org.uk/du-watch/sharma/du-report.htm>
- 16 الجهاز المركزي للإحصاء في العراق. هيئة التخطيط. 1995.
- 17 ICRP. Biological effects of inhaled radionuclide. ICRP Publication 31. Annals of the ICRP. 1980;4(1-2).
- 18 Kathren RL. Radioactivity in the environment: sources, distribution and surveillance. Reading, UK: Harwood Academic; 1984.
- 19 ICRP. Limits for intake of radionuclides by workers. ICRP Publication 30 (Part 1). Annals of the ICRP. 1979;2(3-4).
- 20 IAC. Metal of dishonor: depleted uranium. New York: International Action Center; 1997. Appendix II. p. 211.
- 21 USNRC. Reactor safety study: an assessment of accident risks in U.S. commercial nuclear power plants. Nuclear Regulatory Commission; 1975. Appendix VI. WASH 1400. NUREG-75014/. p. 8-10, E-10.
- 22 UNSCEAR. Sources, effects, and risks of ionizing radiation. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; 1988. p. 63. Table 21, p. 108.
- 23 العزاوي، سعاد ناجي. التمثيل الرياضي لانتقال الملوثات المشعة باليورانيوم المنضب في عناصر البيئة غير الإحيائية لمناطق منتخبة في جنوب العراق. مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية. 2001; 24-1: (1)8.

- 24 IAEA. The application of principles for limiting releases of radioactive effluents in the case of the mining and milling of radioactive ores. IAEA Safety Series No. 90. Vienna, Austria: IAEA; 1989. p. 42, Appendix A-1. p. 69.
- 25 ICRP. Radionuclide release into the environment; assessment of doses to man. ICRP Publication 29. Annals of the ICRP. 1979;2(2).
- 26 Nero AV. Estimated risk of lung cancer from exposure to radon decay products in U.S. homes: a brief review. Atmospheric Environment. 1988;22(10):2205–2211.
- 27 Corrigan R. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. IAEA Safety Reports Series No. 19. Vienna, Austria: IAEA; 2001. p. 61.
- 28 Turnley P. Special report about the Iraqi equipment losses. News Week; 20 January 1992.
- 29 Atkinson R, Steve C. Bush orders ceasefire. Washington Post Staff Writers; 28 February 1991. p. A01.
- 30 Zwijnenburg W. Laid to waste: depleted uranium contaminated military scrap in Iraq. PAX Report. Norwegian Ministry for Foreign Affairs; June 2014.
- 31 Al-Azzawi S, Al Naemi A. Assessment of radiological doses and risks resulted from DU contamination in the highway war zone in al-Basra governorate. Proceedings of the conference on the effects of the use of DU weaponry on human and environment in Iraq. Baghdad, Iraq; 26–27 March 2002.
- 32 Edwards R. WHO 'suppressed' scientific study into depleted uranium cancer fears in Iraq. Radiation experts warn in unpublished report that DU weapons used by Allies in Gulf war pose long-term health risk. Sunday Herald; 22 February 2004.
- 33 Marshall AC. An analysis of uranium dispersal and health effects using a Gulf War case study. SANDIA REPORT. Sandia National Laboratories; 1 July 2005.
- 34 Royal Society Working Group on the Health Hazards of Depleted Uranium Munitions. The health effects of depleted uranium munitions: a summary. Journal of Radiological Protection. 2002;22(2):131–139.
- 35 Fetter S, von Hippel FN. The hazard posed by depleted uranium munitions. Science & Global Security. 2000;8(2):125–161.
- 36 Durakovic A, Horan P, Dietz LA, et al. Estimate of the time zero lung burden of depleted uranium in Persian Gulf War veterans by the 24-hour urinary excretion and exponential decay analysis. Military Medicine. 2003;168(8):600–605.

ملاحق تقدير مخاطر استخدام أسلحة اليورانيوم المنضب: الجزء الأول

ملحق (أ) بعض تراكيز نويدات اليورانيوم المنضب وسلسلة انحلاله (Bq/Kg) التي تم قياسها لبعض نماذج التربة في موقع الدراسة جنوب العراق 1996¹

المنطقة	النموذج	U-235	Th-234	Ra-226	Bi-214	Pb-214
جبل سنام - الزبير	1-S-2	78.3	5210	3120	65.1	62.3
جبل سنام - الزبير	2-S-2	41.9	3918	2711	57.3	59.8
جبل سنام - الزبير	3-S-2	30.3	2720	1280	49.5	51.7
جبل سنام - الزبير	5-S-2	5.2	589	319	33.9	30.1
جبل سنام - الزبير	7-S-2	109	9340	5147	89.3	90.7
جبل سنام - الزبير	8-S-2	88	7516	4010	77.8	81.2
جبل سنام - الزبير	9-S-2	57.1	4401	3000	59.6	62.1
جبل سنام - الزبير	11-S-2	10.6	916	527	40.1	38.3
جبل سنام - صفوان	1-SN-1	60	1830	1189.5	44.3	35.9
جبل سنام - صفوان	2-SN-1	183	11400	1964.3	56.3	49.3
جبل سنام - صفوان	3-SN-1	169	856	1455	34.5	36.4
جبل سنام - صفوان	7-SN-1	5	417	709	38.7	32.5
جبل سنام - صفوان	1-SN-2	74	4870	3166	81.6	90.2
جبل سنام - صفوان	2-SN-2	23.8	2170	1400	82.9	89.3
جبل سنام - صفوان	3-SN-2	47.3	2550	1530	97.4	111
جبل سنام - صفوان	7-SN-2	12.6	514	334.1	95.4	90.3
جبل سنام - الزبير	1-S-4	65	4100	3020	51.1	60.0

الجرعات الإشعاعية ووحدات قياسها باللغة الإنكليزية	الجرعات الإشعاعية ووحدات قياسها باللغة العربية	تعريفات
Disintegration/sec (d/s)	جسيم / ثانية	شدة الإشعاع من المصدر
Gray	غراي	وحدة قياس طاقة الإشعاع (1 جول) الممتصة من كيلوغرام واحد من المادة الحية
Sievert	سيفرت	وحدة قياس الجرعة المكافئة = 1 غراي من الجرعة الممتصة × عامل الإشعاع المرجح (نوع الإشعاع). سيفرت = 1000 ملي سيفرت
Becquerel	بكريل	وحدة قياس النشاط الإشعاعي في نظام القياسات الدولي ويساوي (جسيم/ الثانية)
Absorbed Dose	الجرعة الممتصة	قياس الطاقة الواردة من الإشعاع المؤين لكتلة محددة من المادة، ووحدة قياسها غراي
Equivalent Dose	الجرعة المكافئة للعضو المعرض للإشعاع	حاصل ضرب الجرعة الممتصة في معامل الثقل أو الترجيح لنوع الإشعاع، ووحدات قياسها سيفرت
Effective Dose	الجرعة الفعالة	مجموع حاصل ضرب الجرعات المكافئة لكل عضو أو نسيج مضرًا في قيمة ترجيح ذلك العضو أو النسيج، ووحدات قياسها سيفرت

ملحق (ج) تقدير تراكيز الرادون ونويدات اليورانيوم الناتجة من إعادة التعلق من دبابة مدمرة باليورانيوم المنضب بثلاثة مستويات من التلوث²

Radon and DU Related Suspended Oxides in Air Resulted from One Slightly Contaminated Destroyed Target

(Radon: $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Susp. : Bq/m^3)

Year	Type of Contamination	Distance from Destroyed Target (m)									
		40	115	190	265	340	415	1000	6000	10000	60000
1991	Susp. Oxides	6.54×10^{-3}	7.2×10^{-4}	2.4×10^{-4}	1.44×10^{-4}	9×10^{-5}	6.18×10^{-5}	1.2×10^{-5}	7.2×10^{-7}	2.4×10^{-7}	9×10^{-8}
	Rn-222	0.0953	0.0105	3.5×10^{-3}	2.1×10^{-3}	1.32×10^{-3}	9×10^{-4}	1.8×10^{-4}	1.05×10^{-5}	3.5×10^{-6}	1.31×10^{-6}
1992	Susp. Oxides	6.36×10^{-3}	7.4×10^{-4}	2.34×10^{-4}	1.41×10^{-4}	8.8×10^{-5}	6×10^{-5}	1.2×10^{-5}	7.02×10^{-7}	2.34×10^{-7}	8.8×10^{-8}
	Rn-222	0.093	0.0109	3.3×10^{-3}	2.07×10^{-3}	1.3×10^{-3}	8.8×10^{-2}	1.7×10^{-4}	1.02×10^{-5}	3.4×10^{-6}	1.3×10^{-6}
1993	Susp. Oxides	6.12×10^{-3}	6.8×10^{-4}	2.4×10^{-4}	1.4×10^{-4}	8.7×10^{-5}	5.93×10^{-5}	1.14×10^{-5}	6.84×10^{-7}	2.3×10^{-7}	8.6×10^{-8}
	Rn-222	0.09	0.0117	3.6×10^{-3}	2.05×10^{-3}	1.32×10^{-3}	8.76×10^{-4}	1.68×10^{-4}	1.01×10^{-5}	3.36×10^{-6}	1.26×10^{-6}
1994	Susp. Oxides	6×10^{-3}	8.22×10^{-4}	2.5×10^{-4}	1.39×10^{-4}	8.6×10^{-5}	5.8×10^{-5}	1.12×10^{-5}	6.72×10^{-7}	2.23×10^{-7}	8.4×10^{-8}
	Rn-222	0.087	0.012	3.78×10^{-3}	2.06×10^{-3}	1.26×10^{-3}	8.7×10^{-4}	1.65×10^{-4}	9.9×10^{-6}	3.3×10^{-6}	1.24×10^{-6}
1995	Susp. Oxides	5.64×10^{-3}	8.7×10^{-4}	2.66×10^{-4}	1.4×10^{-4}	8.52×10^{-5}	5.76×10^{-5}	1.1×10^{-5}	6.6×10^{-6}	2.16×10^{-7}	8.16×10^{-8}
	Rn-222	0.084	0.0131	4×10^{-3}	2.1×10^{-3}	1.27×10^{-3}	8.6×10^{-4}	1.6×10^{-4}	9.7×10^{-5}	3.24×10^{-6}	1.22×10^{-6}
1996	Susp. Oxides	5.46×10^{-3}	9×10^{-4}	2.8×10^{-4}	1.4×10^{-4}	8.5×10^{-5}	5.7×10^{-5}	1.07×10^{-5}	6.42×10^{-7}	2.13×10^{-7}	8×10^{-8}
	Rn-222	0.081	0.0138	4.3×10^{-3}	2.16×10^{-3}	1.27×10^{-3}	8.5×10^{-4}	1.6×10^{-4}	9.6×10^{-6}	3.2×10^{-6}	1.2×10^{-6}

ملحق (د) تقييم الجرعة الداخلية الناجمة عن هضم الأغذية الملوثة

د-1 تقييم الجرعة الداخلية الناجمة عن هضم الطعام الملوث

تم استخدام نماذج السلسلة الغذائية لتحديد جرعات النويدات المشعة من التربة الملوثة إلى المحيط الحيوي بما في ذلك تقييم ما يلي:

د-1-1 تركيز النويدات المشعة في أعلاف حيوانات المراعي

هناك مسارات مختلفة يمكن أن تتركز فيها النويدات المشعة في أنسجة الحيوانات التي كانت ترعى بين مئات الآليات التي تم تدميرها في الأراضي العراقية، والتي استنشقت وتعرضت لهذه النويدات أثناء وبعد العمليات العسكرية في مناطق الدراسة أيضاً. وحيث إن حيوانات الرعي تدخل في السلسلة الغذائية للسكان في هذه المناطق، فإنها تعرضت للتلوث من خلال ترسب النويدات المشعة في النباتات العلفية، أو من امتصاص النويدات المشعة من التربة عن طريق جذور النباتات. ويمكن تحديد ما تستهلكه حيوانات الرعي من الملوثات المشعة كما يلي:³

$$C_{feed(animal)} = (C_{soil} \times BV1 + C_{deposition}) \times Q_v + C_{soil} \times Q_s \dots \dots \dots (1)$$

حيث تمثل:

- (C_{feed}) : تركيز النويدات المشعة اليومية في الأعلاف المستهلكة من حيوانات الرعي (Bq/d).
- (C_{soil}) : تركيز النويدات المشعة في التربة (Bq/Kg).
- $(BV1)$: معامل التركيز من التربة إلى النباتات العلفية.
- $(C_{deposition})$: تركيز النويدات المشعة على النباتات العلفية (Bq/Kg).
- (Q_v) : متوسط الاستهلاك اليومي للعلف الملوث المبتلع من الحيوان = 10 (Kg/d).
- (Q_s) : متوسط الاستهلاك اليومي للتربة الملوثة من قبل حيوانات الرعي $(Q_s = 2.5 \text{ Kg/d})$.

د-1-2 تركيز النويدات المشعة في اللحوم والحليب

يعتمد تركيز النويدات المشعة في اللحوم والحليب بشكل مباشر على كمية ومستوى تلوث الطعام الذي يستهلكه الحيوان. ويقدر تركيز النويدات المشعة في اللحوم على النحو التالي:³

$$C_{meat} = C_{feed} \times F_F \dots \dots (2)$$

حيث تمثل:

- (C_{meat}) : تركيز النويدات في اللحم الحيواني (Bq/Kg).
- (C_{feed}) : تركيز النويدات المشعة في الأعلاف التي يستهلكها حيوان الرعي يومياً (Bq/d).
- (F_F) : معامل تحويل النويدات المشعة من العلف إلى لحم الحيوان

(d/Kg) والمستخدم في تقييم تركيز المواد المشعة بين نظائر السلسلة الغذائية التي ليس من السهل قياس عناصرها.⁶

وكذلك يتم تقدير تركيز النويدات المشعة في الحليب على النحو

التالي.⁷

$$C_{milk} = C_{feed} \times F_m \dots \dots \dots (3)$$

حيث تمثل:

- (C_{milk}) : تركيز النويدات المشعة في الحليب (Bq/litter).
- (F_m) : معامل التحويل من العلف الملوث للحليب (d/litter).

د-1-3 تركيز النويدات المشعة في الخضار والفواكه وعليها

قد ينجم تركيز النويدات المشعة في الخضروات والفواكه التي تدخل في السلسلة الغذائية للإنسان عن طريق امتصاصها من التربة مباشرة إلى جذور النباتات مثل الجزر والبطاطا، أو عن طريق التناول والهضم المباشر للنويدات المشعة المترسبة على الغطاء النباتي من الهواء والعواصف الرملية الملوثة والتي يستهلكها البشر مباشرة.

يتم تقدير تركيز النويدات المشعة داخل وعلى النباتات بشكل على النحو التالي.⁴

$$C_{vegetable} = C_{soil} \times BV2 + C_{deposition} \dots \dots \dots (4)$$

- $(C_{vegetables})$: تركيز النويدات المشعة في وعلى جزء صالح للأكل من الخضروات (Bq/Kg).
- $(BV2)$: معامل التركيز في الغطاء النباتي الذي يستهلكه الإنسان من جدول (ج-2) أدناه.

لتقدير مكافئ الجرعة الفعالة للبالغين بسبب تناول النويدات المشعة في المواد الغذائية مثل اللحوم والحليب والخضروات، يمكن استخدام المعادلة التالية:^{8,7}

$$D_{ingestion} = C_{foodstuff} \times If \times (DCF)_{ingestion} \dots \dots \dots (5)$$

- $(D_{ingestion})$: مكافئ الجرعة الفعالة الناتجة من ابتلاع الخضروات والمنتجات الحيوانية (Sv/yr).
- $(C_{foodstuff})$: تركيز النويدات المشعة في اللحوم (Bq/Kg) والحليب (Bq/litter) والخضروات (Bq/Kg).
- (If) : معدل استهلاك المواد الغذائية المعينة (Kg/Yr) من جدول (ج-1) أدناه.
- $((DCF)_{ingestion})$: عامل تحويل جرعة التعرض من الهضم (Sv/Bq) وتؤخذ قيمتها من جدول (د-2) أدناه.

يمثل جدول (د-1) معدل استهلاك المواد الغذائية من قبل البالغين، بينما يوضح جدول (د-2) قيم عوامل التركيز لكل من $Bv1$ و $Bv2$ وقيم معاملات التحويل لكل من F_m و F_F ، وكذلك معاملات التحويل للنويدات المشعة لتقييم جرعة الابتلاع.

جدول (د-1) متوسط نسبة استهلاك الطعام السنوي من قبل الأشخاص البالغين.⁹ (Kg/Yr)

نوع الطعام	لحوم	حليب	خضروات
الاستهلاك	13	150	102

جدول (2-د) قيم عوامل التركيز (BV1) و(BV2)، وقيم معاملات التحويل لكل من (F_F) و(F_m) وكذلك معاملات التحويل للنويدات المشعة لتقييم جرعة الابتلاع في المعادلات أعلاه.^{7,3}

معامل تحويل الجرعة الفعالة للبالغين (Sv/Bq) (DCF) _{ingestion}	معاملات التحويل Transfer Factor		معاملات التركيز Concentration Factor		النويدات المشعة Radionuclide
	للحليب (F _m) (day/litter)	للحوم (F _F) (day/Kg)	للخضروات المستهلكة من قبل الإنسان (BV ₂)	لأعلاف حيوانات الرعي (BV ₁)	
⁸ -10*7.5	⁴ -10*6	² -10*3	³ -10*2	² -10*1	U-238
⁸ -10*8.5	⁴ -10*6	² -10*3	³ -10*2	² -10*1	U-234
⁷ -10*3.2	⁴ -10*6	⁴ -10*5	² -10*4	¹ -10*2	Ra-226

ومن خلال تطبيق المعادلات (1) و(2) و(3) و(4)، مع معادلة الهضم (5) نحصل على النتائج الموضحة في الجداول التالية:

كما تشير جداول (4-د) و(5-د) و(6-د) إلى القيم المقدرة السنوية للحد الأقصى لتراكيز النويدات المشعة في اللحوم والألبان والخضار والفواكه خلال الفترة 1996-1991. السنوية لمكافئ الجرعة الفعالة بسبب تناول اللحوم والحليب والخضار من قبل البالغين في منطقة الدراسة خلال الفترة 1996-1991. كما توضح جداول (ج-7) و(ج-8) و(ج-9) القيم المقدرة

جدول (3-د) تقدير قيم الحد الأقصى السنوية لتراكيز النويدات المشعة في أنسجة حيوانات المراعي (Bq/Kg) خلال الفترة 1996-1991.⁹

Radionuclide	1996	1995	1994	1993	1992	1991
U-238	27.174	29.6	32.321	35.258	38.461	42.042
U-234	2.52	2.761	3.012	3.286	3.585	3.911
Ra-226	29.18	31.834	34.735	37.903	41.339	45.123

جدول (4-د) تقدير قيم الحد الأقصى السنوية لتراكيز النويدات المشعة في اللحوم الحيوانية (Bq/Kg) خلال الفترة 1996-1991.⁹

Radionuclide	1996	1995	1994	1993	1992	1991
U-238	0.8152	0.8881	0.9693	1.0577	1.1538	1.2613
U-234	0.0756	0.08283	0.0903	0.0985	0.1075	0.1173
Ra-226	0.8754	0.955	1.042	1.137	1.24	1.3536

جدول (5-د) تقدير قيم الجرعة السنوية الناتجة من الحد الأقصى لتراكيز النويدات المشعة في الحليب (Bq/Kg) خلال الفترة 1996-1991.⁹

Radionuclide	1996	1995	1994	1993	1992	1991
U-238	0.0163	0.1776	0.0193	0.02115	0.02307	0.0252
U-234	1.512×10^{-3}	1.656×10^{-3}	1.807×10^{-3}	1.971×10^{-3}	2.151×10^{-3}	2.346×10^{-3}
Ra-226	0.0175	0.0191	0.0208	0.0227	0.0248	0.027

جدول (6-د) تقدير قيم الحد الأقصى السنوية لتراكيز النويدات المشعة للخضار والفواكه المستهلكة من قبل الإنسان (Bq/Kg) خلال الفترة 1996-1991.⁹

Radionuclide	1996	1995	1994	1993	1992	1991
U-238	1.1748	1.2801	1.3975	1.524	1.6635	1.8229
U-234	0.1083	0.1194	0.1302	0.142	0.155	0.1691
Ra-226	1.003	1.0949	1.1938	1.303	1.4219	1.550

جدول (د-7) تقدير قيم مكافئ الجرعة الفعالة السنوية الناتجة من هضم اللحوم الملوثة ($\mu\text{Sv/yr}$) خلال الفترة 1996-1991⁹.

Radionuclide	1996	1995	1994	1993	1992	1991
U-238	0.794	0.865	0.945	1.031	1.124	1.229
U-234	0.0853	0.0915	0.0998	0.1088	0.1187	0.1296
Ra-226	3.641	3.972	4.334	4.729	5.158	5.63
Total	4.5203	4.9285	5.3787	5.8688	6.4011	6.9902

جدول (د-8) تقدير قيم مكافئ الجرعة الفعالة السنوية الناتجة من هضم الحليب الملوثة ($\mu\text{Sv/yr}$) خلال الفترة 1996-1991⁹.

Radionuclide	1996	1995	1994	1993	1992	1991
U-238	0.183	0.1998	0.218	0.237	0.2595	0.2837
U-234	0.0192	0.0211	0.023	0.0251	0.0274	0.0299
Ra-226	0.84	0.96	1.00	1.091	1.1904	1.2993
Total	1.042	1.1809	1.241	1.354	1.477	1.6129

جدول (د-9) تقدير قيم مكافئ الجرعة الفعالة السنوية الناتجة من هضم الخضار والفواكه الملوثة ($\mu\text{Sv/yr}$) خلال الفترة 1996-1991⁹.

Radionuclide	1996	1995	1994	1993	1992	1991
U-238	8.987	9.792	10.69	11.650	12.72	13.94
U-234	0.938	1.0351	1.128	1.2310	1.343	1.466
Ra-226	32.73	35.729	38.96	42.529	46.41	50.5
Total	42.655	46.55	50.77	55.410	60.473	65.906

د-2 تقييم التعرض للجرعة الخارجية (External Exposure)

يساهم الإشعاع الخارجي الناجم عن المواد المشعة الموجودة على الأرض وفي الجو في تحديد قيمة مكافئ الجرعة الفعالة لعموم الجسم. ومن أجل حساب تركيز نويدات اليورانيوم المنضب التي ترسبت على سطح التربة من الهواء أثناء فترة تفجير الدروع العراقية بوحدة (Bq/m^2)، يتم ضرب القيم

التي تمثل الحد الأقصى لتركيز هذه الملوثات الموجودة على سطح التربة (Bq/Kg) بالكثافة السطحية الفعالة للتربة بعمق 10 سم، ويساوي في هذه الحالة 160 كغم/م².⁷ ويمكن استخدام معامل تحويل الجرعة (DCF) من جدول رقم (د-10) أدناه لتحديد الجرعة الفعالة في الجسم، والجرعة الجلدية نتيجة التعرض للملوثات بارتفاع متر واحد فوق سطح التربة الملوثة بالنويدات المشعة، كما هو موضح في الجدول.

جدول (د-10) معاملات التحويل إلى الجرعة الفعالة للجسم والجلد (DFC) من تراكيز نويدات سلسلة انحلال اليورانيوم المنضب نتيجة التعرض على ارتفاع متر واحد فوق التربة الملوثة (Sv/yr per Bq/m^2)⁷

معامل التحويل (DCF) إلى الجرعة الفعالة للجسم (Sv/yr per Bq/m^2)		النويدات المشعة
جرعة الجلد	جرعة الجسم الفعالة	
$10^{-7} \times 3$	$10^{-10} \times 6$	U-238
$10^{-10} \times 1.72$	$10^{-11} \times 2.18$	U-234
$10^{-7} \times 2.91$	$10^{-8} \times 4.55$	Ra-226

د-2-1 تقييم جرعة الانغماس بغيمة ملوثات إشعاعية

إن الحساب الدقيق لمعدل جرعة الانغماس في الأنسجة من سحابة مواد مشعة معقد جدًا، ويتطلب معرفة بتكوين النويدات المشعة للسحابة،⁷ ويتم عادة استخدام معاملات التحويل لجرعة الانغماس (Dosed Conversion Factors CDF) (في سحابة غاز الرادون (كمساهم رئيسي) المنشورة بوحدة (Sv/yr per Bq/m^3) من تراكيز الملوثات التي تساوي:⁷

(DCF) معامل التحويل للجرعة الفعالة في الجسم = $10^{-6} \times 2.53$

(DCF) معامل التحويل للجرعة الجلدية: $10^{-6} \times 5.08$

- 1 الحلي، وليد مجيد. تأثير استخدام الأسلحة الإشعاعية على التربة والهواء في مناطق منتخبة من جنوب العراق [رسالة ماجستير]. بغداد: قسم الهندسة البيئية للدراسات العليا، كلية الهندسة، جامعة بغداد؛ 8199.
- 2 العزاوي، سعاد ناجي، بهاء الدين حسين معروف، مقدم محمود صالح، [وآخرون]. الأضرار الناجمة عن استخدام العدوان الأمريكي الأسلحة الإشعاعية ضد الإنسان والبيئة في العراق عام 1991م. تقرير فني غير منشور. 1997. جامعة بغداد، كلية الهندسة، قسم الهندسة البيئية للدراسات العليا. 157 صفحة
- 3 Corrigall R. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. IAEA Safety Reports Series No. 19. Vienna, Austria: IAEA; 2001. p. 69-70.
- 4 IAEA. The environmental behavior of radium. International Atomic Energy Agency Technical Report Series No. 310. 1990; Vol. 2.
- 5 Zach R, Mayoh K. Soil ingestion by grazing animals: a neglected pathway. Health Physics. 1997;46(2).
- 6 Ng YC. A review of transfer factors for assessing the dose from radionuclides in agricultural products. Nuclear Safety. 1982;23(1): 57-71.
- 7 Thorpe D. The application of the principles for limiting releases of radioactive effluents in the case of the mining and milling of radioactive ores. IAEA Safety Series No. 90. Vienna, Austria: IAEA; 1989. p. 42.
- 8 Simmonds JR, Linsley GS. Dynamic modeling system for the transfer of radioactivity in terrestrial food chains. Nuclear Safety. 1981;22(6):766-777.
- 9 Al Naemi AN. Risk assessment related to depleted uranium contamination in Southern Iraq. M.Sc. Thesis in Environmental Engineering. Baghdad: College of Engineering, University of Baghdad; 2001.

مقال بحثي

تقدير مخاطر استخدام أسلحة اليورانيوم المنضب في العراق - الجزء الثاني

سعاد ناجي العزاوي*

استاذ مشارك في الهندسة البيئية. دكتورة في الهندسة الجيولوجية البيئية من جامعة كولورادو للمناجم في أمريكا في اختصاص نمذجة انتقال الملوثات من مواقع النفايات الخطرة. انجزت العديد من البحوث في كلية الهندسة/ جامعة بغداد منها بحوث التلوث باليورانيوم المنضب وحصلت على جائزة Nuclear Free Future Award في ميونخ بالمانيا عام 2003 بعد نشرها هذه البحوث. للاستفسار عن أي فقرة في البحث المراسلة

* souad.al.azzawi@gmail.com

الملخص

تم في الجزء الأول من هذه الدراسة تحديد الجرعات الإشعاعية الفعالة التي تعرض لها السكان والقوات المسلحة العراقية في مناطق محددة من جنوب العراق نتيجة استخدام القوات المسلحة الأمريكية والبريطانية أسلحة اليورانيوم المنضب خلال حرب الخليج الأولى عام 1991. وحيث إن اليورانيوم المنضب عنصر مشع ومصنف عالمياً مادة سمية، فقد تم في هذا الجزء (الثاني) عرض تقدير للمخاطر الصحية التي نجمت عن هذا التعرض الإشعاعي. لقد تم حساب الجرعة الفعالة الجماعية في مناطق الدراسة، واستُخدمت معاملات الخطورة المعتمدة من منظمات دولية متخصصة بالتلوث الإشعاعي، مثل اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP) ولجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR) لتحديد إجمالي حالات الإصابة بالأمراض السرطانية المميتة وغير المميتة وسرطان الدم (اللوكيميا) والأمراض الأخرى ذات العلاقة بالتلوث الإشعاعي المحتمل حصولها بين سكان مناطق الدراسة. أشارت نتائج هذه الدراسة أن إجمالي حالات الإصابة بالأمراض السرطانية المميتة وغير المميتة وسرطان الدم (اللوكيميا) المتوقعة في مدينة صفوان بحدود 1930 حالة وتمثل ما نسبته 7.2% من مجموع السكان، و بحدود 9141 حالة في مدينة الزبير وتمثل ما نسبته 4.5% من مجموع نسبة السكان، و بحدود 4475 حالة إصابة لغرب مدينة البصرة وتمثل ما نسبته 4.5% من مجموع السكان. وقد أكدت دراسات سريرية نشرها أطباء اختصاصيون في جامعة البصرة خلال تسعينيات القرن الماضي وجود هذه الزيادات. كما أن إجمالي حالات الإصابة بالأضرار الصحية الأخرى والأمراض الوراثية التي تظهر كشوهات خلقية متوقعة في الأجيال القادمة بحدود 1831 حالة في مدينة صفوان، أي بنسبة 6.9% من مجموع السكان، و بحدود 8648 حالة في مدينة الزبير، أي بنسبة 4.2% من مجموع السكان، و بحدود 4234 حالة في غرب مدينة البصرة، أي بنسبة 4.2% من مجموع السكان. كذلك سيعاني ما يقرب من 14350 من أفراد القوات المسلحة العراقية التي وُجدت في قواطع صفوان والزبير وغرب مدينة البصرة أمراضاً سرطانية مميتة، إضافة إلى اللوكيميا والاعتلالات الصحية الأخرى خلال السنوات القادمة، أي ما نسبته 11.5% من القوات المشاركة في العمليات الحربية ضمن منطقة الدراسة آنذاك.

الكلمات المفتاحية: اليورانيوم المنضب، الأضرار الصحية، التعرض الإشعاعي، معاملات الخطورة، حرب الخليج الأولى، العراق.

Title:

Assessing risks related to depleted uranium contamination in Iraq-part 2

Souad N. Al-Azzawi, Baghdad, Iraq

Abstract:

In Part I of this study, I defined the effective radiation doses received by the residents and armed forces in areas contaminated by Depleted Uranium (DU) in southern Iraq. This contamination resulted from the intensive use of (DU) munitions by US /UK armed forces during the first Gulf War

Received 29 October 2019; accepted 12 November 2019; published 28 February 2020

© 2020 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License CC BY 4.0, which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Cite this as: Al-Azzawi SN. Assessing risks related to depleted uranium contamination in Iraq: part 2. Arabian Journal of Scientific Research 2020;1.4. <https://doi.org/10.5339/ajsr.2020.4>

of 1991. Since DU is a radioactive and a toxic substance, it is presented in this article (Part II) an assessment of the health risks resulted from this radiation.

The collective effective doses were calculated for each city in the study areas. The risk factors adopted by international organizations, such as International Commission on Radiological Protection and The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, were used to determine the total incidence of fatal and non-fatal cancers and other related health damages. The results indicated that the total expected incidence of fatal, non-fatal cancers, and leukemia in the city of Safwan is up to 1930 cases, which represented 7.2% of total population; and up to 9141 in the city of Zubair, which represented 4.5% of the total population; and up to 4475 cases in western Basra, which represented 4.5% of the total population. Articles published by the University of Basra and on-site surveys confirmed such increases among small village residents. Total expected incidence of other health damages and genetic diseases that appeared as congenital malformations in future generations are up to 1831 cases in the city of Safwan, or 6.9% of the total population, and up to 8648 cases in Zubair city, which represents 4.2% of the total population, and up to 4234 cases in western Basra, or 4.2% of the total population. Some 14,350 members of the Iraqi Armed Forces, who were present in these areas during military operations are highly to suffer from fatal cancer, leukemia and other health damages in the future.

Keywords: Depleted uranium, radioactive exposure, health damages, risk factors, Gulf War 1, Iraq.

1- المقدمة

- تحديد معاملات الخطورة المعتمدة من منظمات دولية متخصصة بالتلوث الإشعاعي، مثل اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP) ولجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR). وتمثل قيم هذه المعاملات نسبة الضرر الصحي (المحدد) المحتمل الإصابة به (أمراض سرطانية مميتة أو غير مميتة، لوكيميا، تشوهات جينية، أو اعتلالات صحية أخرى) نتيجة التعرض لجرعة معينة من الإشعاع المؤين مقدارها سيفرت $^{(1/Sv)}$.
- تقدير الخطورة أو الضرر الصحي الناجم (من حاصل ضرب الجرعة الفعالة الجماعية في معاملات الخطورة) لنوع محدد من الضرر الصحي.

إن احتمال وقوع أي ضرر صحي فردي يتناسب مع طبيعة الفرد وعمره، والجرعة الإشعاعية الفعالة التي تعرض لها. أما الضرر الكلي من مصادر الإشعاع لسكان أي منطقة فإنه يتناسب مع الجرعة الجماعية المكافئة الناجمة عن هذا المصدر¹ وللحصول على تقدير الحالات المرضية المتوقعة الناجمة عن الجرعات الإشعاعية الفعالة التي تم تقديرها في الجزء الأول من هذه الدراسة والموضحة قيمها في الجدولين (1) و (2)،² فقد تم في هذا الجزء إجراء ما يلي:

- حساب الجرعة الفعالة الجماعية (man-Sievert) لكل منطقة.

جدول (1) الجرعات الفعالة الكلية السنوية (mSv) التي تعرض لها السكان في مناطق الدراسة من مسارات التلوث باليورانيوم المنضب كافة لعام 1991³

المناطق	مدينة صفوان	لكن من مديني الزبير وغرب مدينة البصرة	الطريق الدولي السريع
الجرعة الفعالة السنوية	السكان*	القوات المسلحة**	السكان
من استنشاق أكاسيد اليورانيوم	167	435	133
الجرعات الفعالة من المسارات الأخرى	270.1	0.0	135.1
المجموع الكلي	437.1	435	268.1

* تعرض السكان في مدينة صفوان لمزيد من التلوث من مسارات التلوث الأخرى لمدة 9 أشهر بعد فترة العمليات العسكرية عام 1991.

** تعرضت القوات المسلحة العراقية والأميركية في مدينة صفوان للتلوث الإشعاعي خلال فترة العمليات العسكرية والإخلاء البالغة 70 يوماً فقط.

جدول (2) الجرعات الفعالة السنوية (mSv) والتراكمية التي تعرض لها السكان في مناطق الدراسة من كافة المسالك البيئية خلال الفترة 1991-1996³

السنة	مدينة صفوان	مدينة الزبير	غرب مدينة البصرة
1991	437.1	268.1	268.1
1992	199.1	99.5	99.5
1993	137.4	68.7	68.7
1994	84.6	42.3	42.3
1995	35.3	19.1	19.1
1996	17.4	17.5	17.5
الجرعة التراكمية لست سنوات	913.7	515.2	515.2

2- تقدير خطورة التعرض الإشعاعي

تم تقدير قيمة مكافئ الجرعة الفعالة الجماعية للمناطق السكانية والقطعات العسكرية وفقاً لنموذج اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع وكما موضح في المعادلة التالية³:

$$S_E = \bar{H}_i N(\bar{H})_i \dots \dots \dots (1)$$

حيث تمثل:

(S_E): مكافئ الجرعة الفعالة الجماعية (man-Sv).

\bar{H}_i : متوسط مكافئ الجرعة الفعالة (Sv)

$N(\bar{H})_i$: عدد الأفراد في مجموعة السكان الثانوية (i) التي تلقت

متوسط مكافئ الجرعة الفعالة (H_i).

إن تقديرات معاملات الخطورة التي أوصت بها لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري واللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع لتحفيز الأنواع المميتة أو غير المميتة من الأمراض السرطانية أو الوراثة وغيرها من الأمراض ذات العلاقة بالتلوث الإشعاعي والتي تم استخدامها في هذه الدراسة موضحة في جدول (3) أدناه.

جدول (3) معاملات الخطورة لمختلف الأمراض الناتجة من التلوث الإشعاعي بحسب اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع ولجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع

الأمراض ذات العلاقة	الحالات	قيمة معامل الخطورة	الجهة التي حددتها
احتمالات الحالات السرطانية المميتة	للجرعات المتدنية للسكان	Sv/0.05	ICRP Pb. 60 ³
احتمالات الإصابة بسرطان الدم (الوكيميا)	للجرعات بحدود 0.1 Sv للجرعات بحدود 1.0Sv	0.03-0.06 0.06-0.1	UNSCEAR 2006 ⁴
السرطانات غير المميتة	سرطانات الثدي والرئة والجهاز الهضمي وغيرها	Sv/0.057	ICRP 103 ⁵
الضرر الصحي العام	نتيجة التعرض لـ 1 Sv	0.12 0.07	IAEA 1997 ⁶
الأمراض الوراثة للأجيال القادمة	التعرض السكاني العام	Sv/0.013	ICRP 60 ³
التأثيرات المميتة لتعرض الأجنة في الأرحام Fatal in (Utero) effects	يشمل سرطان الأجنة والتشوهات الخلقية، التخلف العقلي وانخفاض نسبة الذكاء	Excess Relative Risk of in Utero Sv/0.25	BEIR* VII report ⁷

2-1 تقدير المخاطر الصحية التي تعرض لها السكان في مناطق الدراسة

- مدينة الزبير 204245 أشخاص.
- مركز مدينة البصرة 658941 شخصاً.
- واعتُبر عدد سكان قرى المنطقة الغربية المتأثرة بالعمليات العسكرية خارج مركز مدينة البصرة بحدود 100000 شخص فقط.
- مدينة صفوان 26526 شخصاً

تم تقصي وجود أي زيادة محتملة للأمراض المذكورة في جدول (3) بين سكان مناطق الدراسة في ثلاث مدن خلال الفترة 1991-1996:⁸

جدول (4) الأضرار الصحية المتوقعة بين سكان مناطق الدراسة نتيجة التعرض للجرعات الإشعاعية الفعالة لعام 1991

مناطق الدراسة					
مدينة صفوان		مدينة الزبير		غرب مدينة البصرة	
السكان	الجرعة الفعالة	السكان	الجرعة الفعالة	السكان	الجرعة الفعالة
26526	0.437	204245	0.268	100000	0.268
11591		54737		26800	
قيمة الجرعة الفعالة الجماعية (man-Sv)					
الأضرار الصحية المتوقعة					
معامل الخطورة/Sv					
سرطانات مميتة	0.05	579	2737	1340	4656
سرطانات غير مميتة	0.057	661	3120	1527	5308
لوكيميا	0.06	695	3284	1608	5587
ضرر صحي عام	0.12	1390	6568	3216	11174
أمراض وراثية	0.013	151	712	348	1211
أضرار الأجنة	0.25*	290	1368	670	2328
مجموع المخاطر		3766	17789	8709	30264

* اعتبر 10% فقط من إجمالي السكان نساء حوامل.

وفي حال تقييم الأضرار بناء على ما ورد في جدول (2)، والتي تمثل الجرعة المتراكمة في الجسم خلال الفترة 1991-1996، فإن الأضرار الصحية المذكورة ستتضاعف بين السكان. ونلاحظ من جدول (4) أن مدن منطقة الدراسة ستعاني زيادةً في الأمراض السرطانية المميتة وغير المميتة بواقع 9964 حالة، أي ما يقارب 3.3% من مجموع سكان منطقة الدراسة. بينما بلغ العدد الكلي للأضرار الصحية المحتملة 30264 حالة لعام 1991، تتوزع بين أمراض سرطانية مميتة وغير مميتة ولوكيميا وأضرار صحية عامة ووراثية وأضرار أجنة أثناء فترة الحمل؛ أي إن نحو 10% من مجموع السكان معرضون لاحتمالات الإصابة بالأضرار الصحية المذكورة في جدول (4).

علمًا أنه لم يتم إجراء تقييم للمخاطر الصحية للزيادة السكانية السنوية البالغة 3% في ذلك العقد في العراق،⁸ ولا لما بعد عام 1996، على الرغم من أن تعرض السكان لهذه الملوثات مستمرٌ إلى يومنا هذا ولكن بتراكيز قليلة.

2-2 تقدير المخاطر على القوات المسلحة العراقية في منطقة الطريق الدولي السريع

بما أن القوات المسلحة العراقية التي كانت في الكويت والأخرى المنتشرة في منطقة الدراسة تواجدت خلال فترة العمليات العسكرية والاخلاء البالغة 70 يومًا فقط،² فقد تم تقدير المخاطر الناجمة عن تعرضها لجرعات هباء أكاسيد

اليورانيوم الناتجة من تفجير الدبابات والآليات العسكرية والمذكورة قيمتها في جدول (1) السابق ذكره.

أما القطاعات التي استقرت في معسكرات المنطقة الجنوبية بعد انسحابها من الكويت، فسيكون تعرضهم لهباء اليورانيوم المنضب وأكاسيده (كون هذه الذخائر استخدمت على الأراضي الكويتية أيضًا أثناء انسحاب القوات العراقية) مضافًا إليه الجرعات الإشعاعية التي تعرض لها سكان منطقة الدراسة لاحقًا بعد العمليات العسكرية من مسالك إعادة التعلق واستنشاق الرادون والتعرض الخارجي وهضم الطعام الملوث في مناطق الدراسة.

ومن أجل تقييم الآثار الصحية المحتمل حدوثها بسبب التعرض لمستوى الجرعة الموضح في جدول (1)، وبسبب صعوبة تحديد الأعداد الحقيقية لجنود الجيش العراقي الذين تعرضوا للجرعات الإشعاعية في هذه المنطقة، تم إجراء تقييم المخاطر كنسبة لكل 1000 جندي عراقي شارك أو كان موجودًا في العمليات العسكرية في مناطق جنوب العراق لحرب الخليج الأولى عام 1991، وذلك عن طريق ضرب الجرعة الفعالة الكلية بعدد الجنود (1000 جندي في هذه الحالة) للحصول على الجرعة الفعالة الجماعية Collective Effective Dose بوحدة (man-Sv). وباستخدام معاملات الخطورة المذكورة في جدول (3) تم تقدير المخاطر الصحية التي تعرض لها كل 1000 جندي من أفراد القوات المسلحة العراقية، وبدرجة أقل القوات الأميركية التي وجدت على الأراضي العراقية في الحرب البرية خلال الفترة 24 فبراير-4 مارس 1991. ويوضح جدول (5) القيم المتوقعة لهذه المخاطر.

جدول (5) المخاطر الصحية المتوقعة لكل 1000 جندي من أفراد القوات المسلحة العراقية الناجمة عن استنشاق أكاسيد اليورانيوم في العمليات العسكرية لعام 1991

الامراض المتوقعة / 1000 من القوات المسلحة	معاملات الخطورة / Sv	الطريق الدولي السريع	مدينة الزبير	غرب مدينة البصرة
		الجرعة الفعالة الجماعية / 1000 من القوات المسلحة		
		man- Sv 435	man- Sv 345	man- Sv 345
سرطانات مميتة	0.05	22	17	17
سرطانات غير مميتة	0.057	25	20	20
لوكيميا	0.06	26	21	21
ضرر صحي عام	0.12	52	41	41
امراض وراثية	0.013	6	5	5
مجموع المخاطر لكل 1000 من القوات المسلحة		131	104	104

- خسائر الجيش العراقي أثناء العمليات العسكرية بلغت نحو 10000 جندي.
 - عدد الأسرى 80000 أسير.
 - عدد الجرحى من القوات المسلحة العراقية 75000 جريح.
- فإن ما تبقى من القوات المسلحة العراقية التي انسحبت من الكويت إلى داخل الأراضي العراقية وسط القصف بلغ نحو 290000 جندي؛ توزع نحو ثلثي هذه القوات على مناطق شمال البصرة والناصرية والديوانية، أما الثلث الأخير فقد بقي جزء منه داخل مدينة البصرة ذاتها، في حين انتشر الجزء الآخر غرب المدينة لإسناد قوات الدفاع الأخرى في منطقة الدراسة أثناء حرب الدبابات البرية.¹⁰ وبناء على المعلومات المتوافرة من القادة العسكريين العراقيين،¹¹ وبوجود أكثر من 80000 جندي منتشرين أصلاً في الأراضي العراقية في الخطوط الدفاعية غرب مدينة البصرة وجنوبها وجنوب مدينة الناصرية وعلى الحدود مع السعودية، يكون بذلك عدد

ونلاحظ من جدول (5) أنه لكل 1000 جندي عراقي تعرضوا لملوثات لليورانيوم المنضب في منطقة العمليات العسكرية للطريق الدولي السريع من (صفوان) عام 1991، من المتوقع أن يصاب نحو 17 جنديًا منهم بسرطان مميت، ونحو 20 جنديًا بسرطانات غير مميتة، في حين سيصاب نحو 21 جنديًا بسرطان الدم، و41 جنديًا بالأضرار الصحية العامة المشابهة لنقص المناعة الذاتية والتشنجات العضلية والعقم والخلل في وظائف الكليتين وأعراض ما يسمى متلازمة حرب الخليج (Gulf War Syndrome)،⁹ ومن المحتمل أن تصاب الأجيال القادمة لقرابة 5 جنود منهم بالأمراض الوراثية.

ولو أخذنا في الاعتبار الأرقام التي نشرتها بعض مراكز الإعلام العسكرية للصحف الأميركية¹⁰ حول حجم القوات العراقية والخسائر التي تكبدتها في حرب الخليج الأولى¹¹ عام 1991 كما يلي:

- عدد القوات العراقية الموجودة في الكويت قبل الحرب 545000 جندي.

القوات المسلحة العراقية التي تعرضت للجرعات الإشعاعية في منطقة الدراسة بحدود 125000. ويوضح جدول (6) المخاطر الصحية المتوقعة

بين أفراد القوات المسلحة العراقية التي كانت موجودة ضمن منطقة الدراسة.

جدول (6) المخاطر الصحية المتوقعة أن يصاب بها أفراد القوات المسلحة العراقية الموجودون في مناطق الدراسة أثناء العمليات العسكرية مطلع عام 1991

المخاطر الصحية	القوات العسكرية في قاطع صفوان الطريق الدولي السريع (50000 مقاتل)	القوات العسكرية في قاطع الزبير (35000 مقاتل)	القوات العسكرية في غرب مدينة البصرة (40000 مقاتل)	المجموع
السرطان المميت وغير المميت	2350	1295	1480	5125
اللويميا	1300	735	840	2875
الأضرار الصحية العامة	2600	1435	1640	5675
امراض وراثية في الاجيال القادمة	300	175	200	675
المجموع	6550	3640	4160	14350

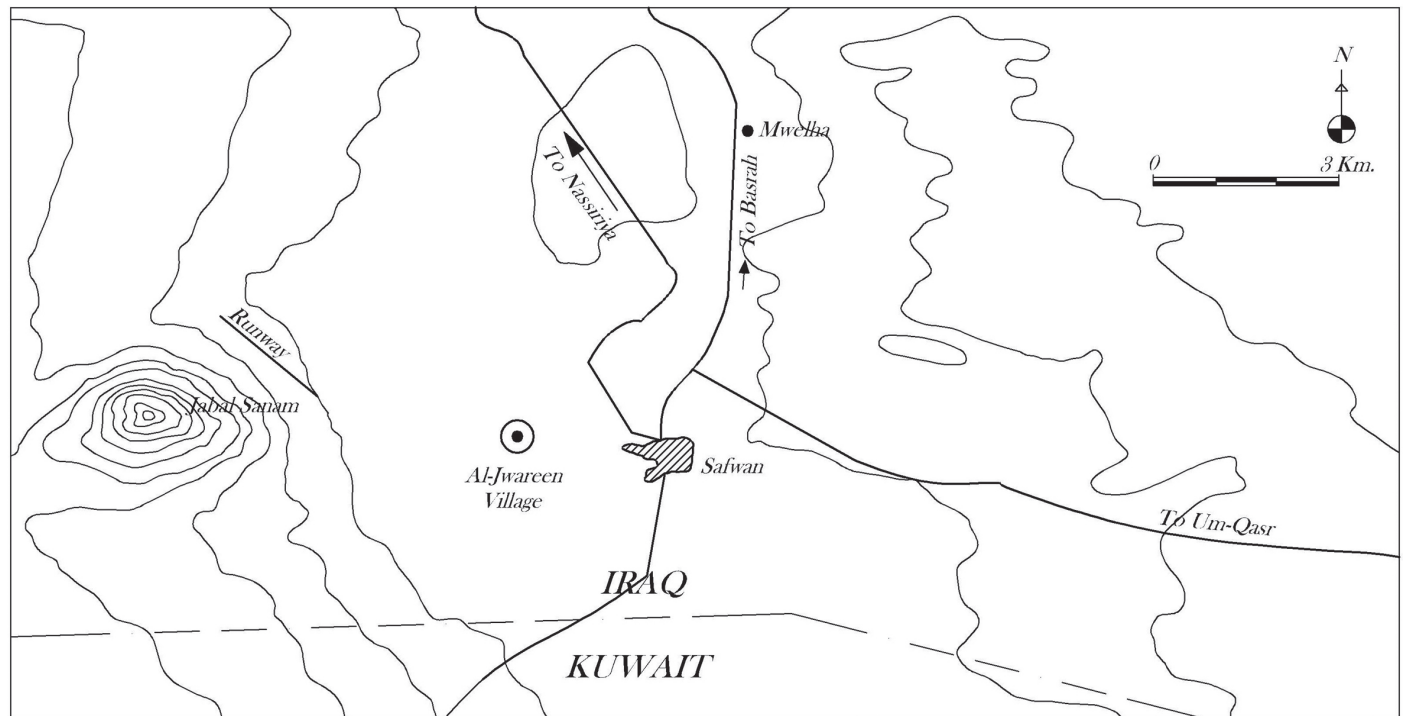
وحسب تقدير المخاطر الموضح في جدول (6)، فإن مجموع الحالات المرضية المحتملة يبلغ 14350 حالة بين أفراد القوات المسلحة العراقية في قواطع عمليات صفوان والزبير وغرب مدينة البصرة؛ أي بنسبة 11.5% من إجمالي أعداد القوات التي كانت موجودة في منطقة الدراسة. وهذه الحالات المرضية تتوزع بين أمراض سرطانية مميتة وغير مميتة ولوكيميا واعتلالات صحية عامة أخرى وتشوهات جينية وراثية متوقع حصولها خلال السنوات القادمة.

3- تقييم مخاطر التلوث المتوقعة من خلال إجراء المسح الميداني

للتحقق من الآثار الصحية الفعلية للتلوث الإشعاعي بين السكان في موقع الدراسة مقارنة بنتائج تقييم المخاطر التي أجريت في هذه الدراسة، تم إجراء استبانة صحية ميدانية (ملحق أ) لرصد احتمالات وجود زيادة في أنواع الأمراض ذات الصلة بالتلوث الإشعاعي في إحدى القرى الواقعة في

المنطقة، إضافة الى مقارنة نتائج الاستبانة بالحالات المرضية المسجلة لدى المستشفيات في البصرة التي عاناها المدنيون خلال الفترة 1991-2001.¹⁴ وتعد قرية الجوارين (أو حي الصمود) واحدة من القرى ذات الكثافة السكانية العالية نسبياً قبل الحرب، وتقع إلى الغرب من مدينة صفوان (شكل 1). وقد شهدت هذه المنطقة عمليات عسكرية مكثفة استُخدمت فيها قذائف اليورانيوم المنضّب لتدمير الدبابات والآليات العسكرية التي كانت منتشرة في تلك المناطق، وكانت تعتبر منطقة عمليات عسكرية رئيسية في ساحة المعركة. وتضم قرية الجوارين نحو 200-220 منزلاً مشيداً من الآجر. تم توزيع ورقة الاستبانة الموضحة في ملحق (أ) عشوائياً على نحو مئة عائلة لا زالت تعيش في هذه القرية في أبريل 2001.

وبلغ عدد العائلات التي شاركت في هذه الاستبانة مئة أسرة تضم 650 شخصاً من بين العدد الإجمالي، كما بلغ عدد الأشخاص الذين تقل أعمارهم عن 10 سنوات 232 شخصاً لم يكونوا قد ولدوا بعد عام 1991،¹⁴ ويبين جدول (6a) نتائج الاستبانة الصحية التي أجريت في قرية الجوارين.



الشكل (1) موقع قرية الجوارين التي أجريت فيها الاستبانة الصحية نسبة إلى ما حولها من منطقة الدراسة¹⁴

نوع المرض	عدد حالات الإصابة	نوع المرض	عدد حالات الإصابة
تشوهات خلقية	8	اللوكيميا	3
إعاقة في النمو	3	سرطان الدم	4
تخلف عقلي	2	سرطان الثدي	4
عقم	11	سرطان العظام	2
إجهادات	24	سرطان الجلد	7
أمراض الحساسية الجلدية	71	سرطان الرحم	3
		أنواع أخرى من السرطان*	4

* حالة واحدة من سرطان للمفوما، الغدة الدرقية، البروستاتا، المثانة.

وبمقارنة متوسط حالات الإصابة بالأمراض التي تم تحديدها من الاستبانة بمعدل الإصابة الطبيعي للحالات ذاتها من المسجلين في المجلس العراقي للأمراض السرطانية¹⁵ وفي مستشفيات البصرة¹⁶ في عام 1990 ومؤتمر الأمراض الأورام السرطانية الأول¹⁷ لعام 1999 لغرض المقارنة، يتبين من جدول (7) التوزيع المتكرر لحالات السرطان والعيوب الخلقية والإجهاد المسجلة في البصرة لعام 1990.

وقد تم إجراء التحليل الإحصائي لنتائج المسح للمقارنة بين احتمال الإصابة قبل الحرب وبعدها على النحو التالي:

يقدر عدد سكان محافظة البصرة في عام 1990 بنحو 1204734 شخصاً (والعدد يشمل مركز مدينة البصرة والأقضية والنواحي التابعة لها).¹⁸ وبناء عليه، نستطيع من جدول (7) إيجاد نسب الإصابة لكل نوع من الأمراض المذكورة لكل 1000 شخص من سكان محافظة البصرة قبل الحرب.

كذلك يمكن حساب متوسط نسبة الإصابة بهذه الأمراض نفسها لكل 1000 شخص من العينة التي تمت دراستها في منطقة الاستبانة (قرية الجوارين) بعد حرب الخليج الأولى عام 1991. وبالنسبة إلى حالات العيوب الخلقية والإجهاد، فتستند تقديرات متوسط نسبة الإصابة إلى عدد السكان الذين تقل أعمارهم عن 10 سنوات (من الاستبانة) والذين ولدوا خلال الفترة 1991-2000، إضافة إلى الحالات المسجلة من الاستبانة.

إن أفضل تحليل إحصائي لنسبة الإصابة المقدر بالاحتمال (P) لأي حدث غير اعتيادي، والذي يمثل عددًا من الأحداث في فترة زمنية أو ضمن مساحة محددة يسمى (Poisson type)¹⁹ وفي حالة هذه الدراسة فإن حجم العينة (n) كبير، واحتمالات نسبة الإصابة (P) صغيرة، وبذلك يمكن تقريب التوزيع ذي الحدين (Binomial Distribution) بتوزيع بواسون (Poisson Distribution) كما يلي:²⁰

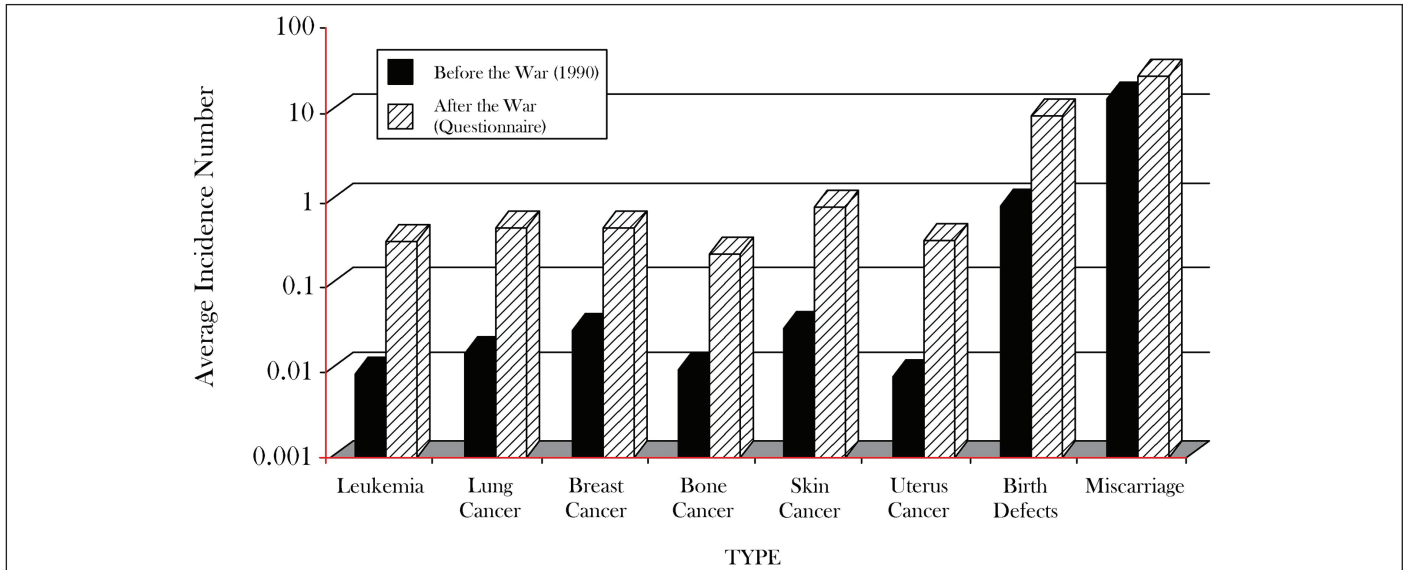
$$\lambda = np$$

حيث تمثل (λ) معدل حدوث الإصابة في فاصل زمني أو مكاني محدد. ويمثل شكل (3) مقارنة إحصائية لاحتمالية حدوث معدل الإصابة بالأمراض المذكورة قبل الحرب وبعدها وفقاً لتوزيع بواسون. ومن هذا الشكل نلاحظ أن هناك زيادة ملحوظة في متوسط الحدوث لفترة ما بعد الحرب مقارنة بما قبلها.

جدول (7) عدد حالات الأمراض السرطانية والأخرى المسجلة في مستشفيات مدينة البصرة لعام 1990

نوع المرض	عدد الحالات
اللوكيميا	16
سرطان الرئة	30
سرطان الثدي	49
سرطان العظام	17
سرطان الجلد	54
سرطان الرحم	15
تشوهات خلقية	1000/ 3.04 ولادة حديثة
إجهادات	1000/50 حالة حمل

نوع المرض	عدد الإصابات / 1000 من السكان	نوع المرض	عدد الإصابات / 1000 من السكان
لوكيميا	7	سرطان الرحم	7
سرطان الرئة	9.5	سرطانات أخرى	9.5
سرطان الثدي	9.5	تشوهات خلقية	19
سرطان العظام	5	نمو غير طبيعي	7
سرطان الجلد	17	تخلف عقلي	5
عقم	26.3	إجهاض	57
حساسية وتقرش جلدي	170		



الشكل (2) مقارنة بين معدلات وقوع حالات الإصابة بالأمراض السرطانية والأخرى في قرية جوارين قبل وبعد أحداث حرب الخليج الأولى عام 1991.¹⁴

4- النتائج والمناقشة

نلاحظ من جدول (4) أن إجمالي حالات السرطان المميتة وغير المميتة وسرطان الدم (اللوكيميا) المتوقعة في مناطق الدراسة بين السكان تبلغ 15551 حالة؛ ما يعني أن نحو 5.1% من مجموع السكان في منطقة الدراسة معرضون لاحتمال الإصابة بالأمراض السرطانية. كما أن نسبة الإصابة بها بين سكان مدينة صفوان تبلغ 7.2%، وهي أعلى نسبة من بقية المواقع، حيث تبلغ في مدينة الزبير وغرب مدينة البصرة نحو 4.5% من مجموع السكان. أما المجموع الكلي للأضرار الصحية المتوقعة (السرطانية والتغيرات الجينية الوراثية والأضرار الصحية العامة وأمراض الأجنة) فتبلغ 30264 حالة، أي إن ما يقارب 10% من السكان متوقع أن تصيبهم هذه الأضرار.

ومما يؤكد توافق تقديرات المخاطر الصحية لهذه الدراسة مع الواقع الصحي للمنطقة بعد عدة سنوات من تعرضها لهذه الأسلحة الإشعاعية ما جاء في نتائج الدراسات السريرية والمرضية النسيجية التي قام بها مجموعة من الأطباء الاختصاصيين من كلية الطب في جامعة البصرة. ففي عام 1998، قدم الدكتور عالم يعقوب، عميد كلية طب البصرة وآخرون، "تحليلاً لحالة ونمط ونوع الأمراض السرطانية في مدينة البصرة من خلال تحليل التقارير المرضية النسيجية لمستشفى البصرة التعليمي الجامعي للفترة 1990-1997. وأوضحت الدراسة أن هناك زيادة بنسبة 160% في حالات سرطان الرحم المبلغ عنها في

عام 1997 مقارنة بعام 1990، وزيادة نسبتها 143% في حالات سرطان الغدة الدرقية في عام 1997 مقارنة بتسجيلات عام 1990. كما ازدادت نسبة الإصابة بسرطان الثدي بنسبة 102% و82% في عام 1997 مقارنة بعام 1990. ولوحظ أن هنالك تحولاً في أنواع الأورام السرطانية الرئيسية الخمسة في البصرة عام 1997 مثل الثدي والمثانة والأورام اللمفاوية والرحم وسرطان الجلد. أما في عام 1990 فكانت الأمراض السرطانية السائدة هي المثانة والجلد والثدي والرئة والحنجرة.²²

وفي دراسة أخرى منشورة لكل من الدكتور عالم عبد الحميد والدكتورة جنان حسن التي تعمل في مستشفى الأطفال المركزي في البصرة والذي يقوم بإجراء كافة الفحوصات الخاصة بتشخيص الأورام السرطانية المشتبه بها لأطفال البصرة الذين تقل أعمارهم عن 15 عاماً، كانت النتائج التي توصلوا إليها هي أن معدل الإصابة بلغ 3.98 حالات لكل 100000 طفل في عام 1990، والذي ازداد في عام 2001 إلى 12.6 حالة لكل 100000 طفل.²³ وهذا يعني أن زيادة معدلات الإصابة بالأمراض السرطانية تضاعفت أربع مرات بين الأطفال. علاوة على ذلك، في عام 1990، كانت نسبة اللوكيميا (سرطان الدم) 13% من إجمالي الحالات السرطانية لدى الأطفال دون سن الخامسة، ثم ازدادت إلى ما يقارب 60% بحلول عام 2001 (من حالتين في عام 1990 إلى 41 حالة في عام 2001). وفي عام 2002، ارتفع عدد الإصابات بين الأطفال دون الخامسة إلى 53 حالة. كما أن أعلى معدلات الإصابة كانت في مناطق جنوب وغرب البصرة

(أي المناطق التي أجريت فيها هذه الدراسة). وفي دراسة أخرى، أكد الدكتور يعقوب والدكتور جنان حسن وآخرون²⁴ أن معدلات حدوث التشوهات الخلقية عند الرضع ارتفعت في مدينة البصرة من 3.04 لكل 1000 مولود حي في عام 1990 إلى 17.6 لكل 1000 مولود حي في عام 2000.

إلى ذلك، قام الدكتور هاري شارما،²⁵ الاختصاصي في أمراض التلوث الإشعاعي من جامعة واترلو في كندا، بتحليل أنسجة 38 من الضحايا العراقيين (الجثث مأخوذة من مشرحة) كانوا من سكان مدينة البصرة في الفترة 1990-1994²⁵ كان أصغرهم يبلغ من العمر 12 عامًا وأكبرهم 45 عامًا. وقد كشفت الفحوصات المخبرية وجود اليورانيوم المنضب في الرئتين، في حين أن الغدد اللمفاوية الصدرية كانت تحوي على 10 أضعاف كمية اليورانيوم المنضب الموجودة في الرئتين. كذلك احتوت الكلى على كمية أكبر من اليورانيوم المنضب من التي عثر عليها في الرئتين. كما تم العثور على اليورانيوم المنضب كذلك في كبد بعض الضحايا العراقيين.

أما القوات المسلحة العراقية فنلاحظ من تقدير الخطورة في هذه الدراسة ومن جدول (5) أن نحو 14350 من أفراد القوات المسلحة العراقية الموجودة في المنطقة معرضون للإصابة بالأضرار الصحية ذات العلاقة بالتلوث الإشعاعي وبدرجات متفاوتة (سرطانات مميتة وغير مميتة ولوكيميا، وأضرار صحية عامة وأمراض وراثية للأجيال القادمة)؛ وهذا يعني أن نسبة 11.3% من القوات العراقية التي وُجدت في المنطقة ستكون معرضة للإصابة بهذه الأمراض. علمًا أن نسبة كبيرة من القوات الأميركية التي أصيبت بما يسمى متلازمة حرب الخليج التي يعتقد أن لها علاقة بتعرضها لأكاسيد اليورانيوم أثناء العمليات العسكرية عام 1991.²⁶

كذلك أشار Sharma²⁵ أن Horan قامت بجمع نماذج من 26 فردًا من القوات المسلحة البريطانية والأميركية والكندية من الذين استنشقوا هباء أكاسيد اليورانيوم أثناء العمليات العسكرية لحرب الخليج الأولى عام 1991، والذين يعانون متلازمة حرب الخليج 25. وبعد إجراء الفحوصات المخبرية على النماذج، وُجد أن 14 منها تؤكد وجود أكاسيد اليورانيوم في الرئة، كما أن ثلاثة من النماذج النسيجية التي أُخذت من جثة جندي آخر وُجدت فيها دقائق اليورانيوم المنضب في الرئة والعظام.

قدمت كل من علوان وعماش ومعروف²⁷ بحثًا آخر في عام 2002 عن نتائج التحليل الوراثي للدم لـ 47 فردًا من سكان المناطق الملوثة باليورانيوم المنضب من البصرة؛ 45% منهم كانوا من القوات المسلحة العراقية التي اشتركت في العمليات العسكرية لحرب الخليج الأولى عام 1991. إذ تم إجراء الفحوصات المخبرية لنماذج من الدم المحيطي لمجموعتي الدراسة والمقارنة تضمنت 47 فردًا من الذين عاشوا في مناطق غرب البصرة، و30 فردًا من المجموعة الضابطة التي تعيش في بغداد لغرض المقارنة.

وشملت اختبارات الدم تركيز خضاب الدم واختبار تراس كريات الدم واختبار العدد الكلي لكريات الدم البيضاء وفحوصات التغيرات الكروموسومية. وقد أخذت عوامل مثل نوع التعرض ووقت التعرض لطبيعة العمل في الاعتبار؛ 45% من المجموعات المدروسة هي من القوات العراقية التي كانت ضالعة في العمليات العسكرية في حرب الخليج الأولى عام 1991، أما الآخرون فهم مدنيون يعيشون في المناطق الملوثة.

وقد أظهرت نتائج الاختبار بوضوح أن 21% من الأفراد المشمولين بالدراسة في مجموعة البصرة عانوا انخفاض تركيز خضاب الدم الذي بلغ 9-13 غم/دل. أما 79% من أفراد العينة فقد كانوا من ضمن المجموعات ذات التراكيز الطبيعية التي تراوح من 12-15 غم/دل للإناث و13-18 غم/دل للذكور.²⁷

وأظهرت نتائج اختبار تراس خلايا الدم الحمراء أن 25.5% من مجموعة إناث الدراسة في البصرة أظهرت معدلات تراس غير طبيعية وأقل من المعدل

الطبيعي. بينما أظهرت نتائج الفحوصات لـ 10% من مجموعة ذكور الدراسة أن هنالك نسبة انخفاض في تراس الكريات الحمراء لديهم، وتبلغ 30-39% غم/دل، أما دم الأفراد الآخرين ضمن المجموعة قيد الدراسة فقد كانت معدلات تراس الكريات الحمراء لديهم ضمن النسب الطبيعية، وكذلك كافة أعضاء المجموعة الضابطة في بغداد.²⁷

وبالنسبة إلى فحوصات كريات الدم البيضاء، أظهرت نتائج الاختبار الكلي لخلايا الدم البيضاء أن 8% من أفراد مجموعة الدراسة في البصرة لديهم عدد كريات دم بيضاء أقل من المعتاد وهو 4000 خلية/مل، أو أكثر من المعدل الطبيعي أو 11000 خلية/مل. بينما كان العدد ضمن أفراد المجموعة الضابطة في بغداد طبيعيًا.

كذلك تم العثور على تغيرات كروموسومية مركبة في الخلايا اللمفاوية من الدم المحيطي لأفراد مجموعة البصرة التي تمت دراستها بنسبة 0.1118% وهي نسبة أعلى إحصائيًا من نسب الظهور التلقائي لتشوهات الكروموسومات مقارنة بالمجموعة الضابطة في بغداد. ووجد أن نسبة شذوذ الكروموسومات ثنائية المركز تبلغ 0.04479%، وهي أيضًا أعلى من النسبة التلقائية للحدوث.²⁷ وكانت الأضرار الكروموسومية في الغالب في الأفراد العسكريين الموجودين في مواقع العمليات العسكرية عام 1991 والأكثر سنًا من الذكور. وكانت هنالك حالة واحدة من عمر 13 عامًا وقت التعرض للتلوث في مدينة الزبير غرب البصرة.

ولغرض معايرة نتائج تقديرات الخطورة الواردة في هذه الدراسة مع واقع الوضع الصحي في المنطقة، فقد تم إجراء الاستبانة الموضحة في ملحق (أ) من قبل الفريق البحثي لقرية الجوارين التي تقع غرب مدينة صفوان الواقعة على الخط الدولي السريع من الكويت إلى البصرة شمالاً لبقية مدن العراق.¹⁴ أجريت هذه الاستبانة على عينة عشوائية بسيطة من 100 أسرة تعيش في قرية الجوارين بتعداد سكاني قدره 635 شخصًا، وقد لا يمثل هذا العدد في العينة واقع الحال تمثيلًا كاملاً، لكنه أعطى مؤشرًا مناسبًا للمقارنة بنتائج تقديرات الخطورة التي أجريت في هذه الدراسة.

لقد أظهرت نتائج التحليل الإحصائي لاستبانة التأثيرات الصحية للتعرض الإشعاعي في قرية الجوارين عام 2001 الواردة في جدول (9) زيادة ملحوظة في متوسط نسبة الإصابة بأعداد حالات الأمراض المرتبطة بالإشعاع المؤين للفترة التي أعقبت حرب الخليج الأولى في عام 1991، مقارنةً بنسبة الحالات المسجلة ذاتها في مستشفيات مدينة البصرة عام 1990 (عام قبل بدء الحرب) والموضحة في جدول (8)، كما أن حالات الإصابة بهذه الأمراض، كما أشارت الاستبانة، قد زادت بنسبة 20-30%.

أوضحت معايرة نتائج تقدير الخطورة التي أجريت في هذه الدراسة مع نتائج المسح الموقعي على سكان قرية الجوارين أن إجمالي حالات السرطان القاتلة المحتملة في منطقة الدراسة والمسارين الرئيسيين (الاستنشاق وإعادة التعلق والانبعاث) اللذين تمت دراستهما ما زالا مرتفعين مقارنةً بنتائج تحليل الاستبانة. وفي الوقت ذاته، تُظهر نتائج الاستبانة زيادة ملحوظة في حالات السرطان غير المميتة عن تلك التي تم تقديرها في هذه الدراسة، وخاصة سرطان الجلد الذي يمثل 26% من إجمالي عدد حالات السرطان؛ مسجلًا أعلى حالة سرطان بين جميع أنواع السرطان المشخصة الأخرى.

5- الاستنتاجات

الاستنتاجات الرئيسية التي يمكن استخلاصها من هذه الدراسة هي:

- بناء على قيم الجرعة الفعالة الكلية التي تعرّض لها السكان عام 1991 في مناطق الدراسة، والتي تم تقديرها في الجزء الأول من هذه الدراسة، فإن

إجمالي حالات الإصابة بالأمراض السرطانية المميتة وغير المميتة وسرطان الدم (اللوكيميا) المحتمل حصولها تكون بحدود 1930 حالة في مدينة صفوان التي تمثل ما نسبته 7.2% من مجموع السكان، و بحدود 9141 حالة في مدينة الزبير التي تمثل ما نسبته 4.5% من مجموع السكان، و بحدود 4475 حالة في غرب مدينة البصرة التي تمثل ما نسبته 4.5% من مجموع السكان في هذه المنطقة أيضًا. علمًا أن الدراسات السريرية التي نشرها أطباء اختصاصيون في جامعة البصرة خلال تسعينات القرن الماضي أكدت وجود هذه الزيادات.

- إجمالي حالات الإصابة بالأضرار الصحية الأخرى والأمراض الوراثية التي تظهر كتشوهات خلقية في الأجيال القادمة بحدود 1831 حالة في مدينة صفوان، أي بنسبة 6.9% من مجموع السكان، و بحدود 8648 حالة في مدينة الزبير، أي بنسبة 4.2% من مجموع السكان، و بحدود 4234 حالة في غرب مدينة البصرة، أي بنسبة 4.2% من مجموع السكان.
- مجموع حالات الإصابة بكل أنواع الأمراض المتوقعة (السرطانية والأضرار الصحية العامة والتغيرات الجينية للأجيال القادمة) نتيجة التعرض للجرعات الإشعاعية الفعالة الكلية لعام 1991 تبلغ 3766 حالة في مدينة صفوان، أي بنسبة 14% من مجموع السكان، و بحدود 17789 حالة في مدينة الزبير، أي بنسبة 8.7% من مجموع السكان، و بحدود 8709 حالات في غرب مدينة البصرة، أي بنسبة 8.7% من مجموع السكان. علمًا أن الدراسات المنشورة حول زيادة أعداد التشوهات الخلقية للولادات في مناطق البصرة والزبير تتجاوز النتائج التي توصلت إليها هذه الدراسة.
- سيعاني ما يقارب من 14350 من أفراد القوات المسلحة العراقية التي كانت موجودة في قواطع صفوان والزبير وغرب مدينة البصرة من

المراجع

- Report in brief [Internet]. National Academies Press; 2005. Available from: http://dels.nas.edu/resources/static-assets/materials-based-on-reports/reports-in-brief/beir_vii_final.pdf
- 8 وزارة التخطيط في العراق. نسب النمو السكانية وفقًا لتعداد 1997. هيئة التخطيط، الجهاز المركزي للإحصاء، 1997.
- 9 Hines LA, Sundin J, Rona RJ, et al. Posttraumatic stress disorder post Iraq and Afghanistan: prevalence among military subgroups. Canadian Journal of Psychiatry. 2014;59(9):468-479.
- 10 Atkinson R, Steve C. Bush orders ceasefire. Washington Post February. 28 February 1991.
- 11 Turnley P. Special report about the Iraqi equipment losses. News Week. 20 January 1992.
- 12 الجبوري ص. ع. فريق ركن. أم المعارك حرب الخليج عام 1991: الحقيقة على الأرض. عمان: دار الأكاديميون للنشر والتوزيع. 2016.
- 13 اتصالات شخصية مع قادة عسكريين من الجيش العراقي الذي اشتركوا في قاطع البصرة في حرب الخليج الاولى. 1995.
- 14 Al Naemi AN. Risk assessment related to depleted uranium contamination in Southern Iraq. M.Sc. Thesis in Environmental Engineering. Baghdad: College of Engineering, University of Baghdad; 2001.
- 15 Iraqi Cancer Board. Results of Iraqi Cancer Registry Center. Baghdad, Iraq: Ministry of Health; 1999.
- 16 وزارة الصحة العراقية. أعداد المرضى الراقدين في مستشفيات محافظة البصرة. قسم الإحصاء، مركز الحاسبة الإلكترونية؛ 1999.

الأمراض السرطانية المميتة واللوكيميا والاعتلالات الصحية الأخرى خلال السنوات القادمة، أي بنسبة 11.5% من القوات المشاركة في العمليات الحربية ضمن منطقة الدراسة.

- أشارت نتائج التحليل الإحصائي لاستبانة التأثيرات الصحية للتعرض الإشعاعي في قرية الجوارين ضمن منطقة الدراسة عام 2001 إلى وجود زيادة ملحوظة في متوسط نسبة الإصابة بحالات الأمراض المرتبطة بالإشعاع المؤين للفترة التي أعقبت حرب الخليج الأولى عام 1991، مقارنةً بنسبة الحالات نفسها المسجلة في مستشفيات مدينة البصرة عام 1990 (عام قبل بدء الحرب)، كما أن حالات الإصابة بهذه الأمراض، كما أشارت الاستبانة، قد ازدادت بنسبة 20-30%.
- أوضحت معايرة نتائج تقدير الخطورة التي أجريت في هذه الدراسة مع نتائج المسح الموقعي على سكان قرية الجوارين أن إجمالي حالات السرطان القاتلة المتوقعة في منطقة الدراسة وللمسارين الرئيسيين (الاستنشاق وإعادة التعلق والانبعاث) ما زالا مرتفعين مقارنة بنتائج تحليل الاستبانة، كما تُظهر نتائج الاستبانة في الوقت ذاته زيادة ملحوظة في حالات السرطان غير المميتة عن تلك التي تم تقديرها في هذه الدراسة، وبخاصة سرطان الجلد الذي يمثل 26% من إجمالي عدد حالات السرطان التي تعتبر أعلى حالة سرطان بين جميع أنواع السرطان المشخصة الأخرى.
- نتائج الدراسات المرضية والسريرية التي قام بها الاختصاصيون في مراكز الأمراض السرطانية والتشوهات الخلقية في مدينة البصرة والتي تم نشرها خلال فترة التسعينيات إلى الآن أثبتت صحة نتائج تقديرات الخطورة في هذه الدراسة. علمًا أن نتائج الكثير منها يزيد على تقديرات هذه الدراسة.

- 1 UNSCEAR. Sources, effects, and risks of ionizing radiation. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR; 1988.
- 2 Al-Azzawi SN. Assessing Risks Related to Depleted Uranium Contamination in Iraq: part I. Arabian Journal of Scientific Research 2020;1(3). <https://doi.org/10.5339/ajsr.2020.3>
- 3 ICRP. 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Annals of the ICRP. 1991;21(1-3): 1-201.
- 4 UNSCEAR. Effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Volume 1. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B; 2006.
- 5 ICRP. Health risks from low levels of ionizing radiation. The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Annals of the ICRP. 2007;37(2-4): 1-332.
- 6 International Atomic Energy Agency. Low doses of ionizing radiation: biological effects and regulatory control. Proceedings of an international conference on low doses of ionizing radiation, Seville, Spain. Vienna: International Atomic Energy Agency; 17-21 November 1997.
- 7 National Research Council of the National Academies. BEIR VII: Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation.

- 17 مؤتمر الأورام الأول. المؤتمر العلمي المشترك السادس لدائرة صحة البصرة وكلية الطب في جامعة البصرة لبيان آثار العدوان الأمريكي واستخدامه الأسلحة الإشعاعية المحرمة. البصرة، 23-24 شباط؛ 2000.
- 18 الجهاز المركزي للإحصاء، هيئة التخطيط؛ العراق، 2000.
- 19 Spiegel MR, Constable RL. Theory and problems of statistics. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 1992. 512 p.
- 20 Schaffer RL, Clane MC. Probability and statistics for engineers. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons; 1981.
- 21 ICBUW. Health effects of depleted uranium. The International Coalition to Ban Uranium Weapons. Compiled on behalf of ICBUW by Gretel Munroe Grassroots Action for Peace. 2nd ed [Internet]. October 2004. p. 14. Available from: www.bandepleteduranium.org
- 22 Yaqoub A, Al-Sadoon I, Hassan J. The evidence of casual association between exposure to DU and malignancies among children in Basrah by applying epidemiological criteria of causality. Proceedings of the conference on the effects of the use of DU weaponry on human and environment in Iraq. Baghdad, Iraq; 26–27 March 2002.
- 23 Yacoub A, Al-Sadoon I, Hassan GC, Al-Hamdi MQ. Depleted uranium and health of people in Basrah: an epidemiological evidence. The incidence and pattern of malignant diseases among children in Basrah with specific reference to leukemia during the period of 1990–1998. Medical Journal of Basrah University. 1999;17: 27–33.
- 24 Al-Sadoon I, Hassan J, Yaqoub A. Incidence and pattern of congenital anomalies among birth in Basrah during the period 1990–1998. Proceeding of the conference on health and environmental consequences of DU used by U.S. and British forces in the 1991 Gulf War. Baghdad, Iraq; 2–3 December 1998.
- 25 Sharma H. Investigations of environmental impacts from the deployment of depleted uranium munitions [Internet]. [Publisher unknown]; September 2003. Available from: <http://www.stopnato.org.uk/du-watch/sharma/du-report.htm>
- 26 Zajic VS. Review of radioactivity, military use, and health effects of depleted uranium [Internet]. [Publisher unknown]; July 1999. Available from: <http://vzajic.tripod.com>
- 27 Ammash H, Alwan L, Maarouf B. Genetic hematological study for a selected population from DU contaminated areas in Basrah. Proceedings of the conference on the effects of the use of DU weaponry on human and environment in Iraq, Baghdad; 26–27 March 2002.

Questionnaire

Address:

☐ Governorate:☐ Qadaa:

Code:

☐ Nahyaa:

1. Family Name:

☐ House No.

2. Number of Family Members:

3. Number of Family Members under 10 Years Old:

4. Has the family been living in the same habitation location since 1991?

Yes ☐ No ☐

5. Did the family leave the area during the immortal Um-Al-Ma'aric war in 1991?

Yes ☐ No ☐

6. Did any member of the family die or suffer from any type of cancer case from (1991-2000)?

Yes ☐ No ☐

❖ If the answer of Question 6 is YES, answer the following:

☐ A. Type of cancer case:☐ B. Age:☐ C. Date of cancer incidence occurrence:☐ D. Sex

Male

Female

☐ E. Is there any cancer-related history in the family?Yes ☐ No ☐☐ F. Other

7. Has the family have mental retardation cases since 1991?

Yes ☐ No ☐☐ Age☐ Year☐ Sex

8. Has the family had congenital malformation (or birth defects) cases among new-borns since 1991?

Yes ☐ No ☐☐ Age☐ Year

9. Has the family had impaired growth cases since 1991?

Yes ☐ No ☐☐ Age☐ Year☐ Sex

10. Have all the married couples had children since 1991?

Yes ☐ No ☐

11. Have women in family had abortion cases in the family since 1991?

Yes ☐ No ☐☐ Age☐ Year

12. Has the family suffered any common disease since 1991?

Yes ☐ No ☐

❖ If the answer of Question 12 is YES, what are these diseases?

☐ Age☐ Year☐ Sex☐ A

ورقة بحثية

الحوسبة الكمومية، المفاهيم الأساسية والدارات المنطقية الكمومية

جمال الشوفي*

دكتوراه في الفيزياء النووية، عضو الهيئة التدريسية، كلية الهندسة المعلوماتية، جامعة الاتحاد الخاصة، سوريا

*jalshoufi2001@gmail.com

المخلص

الكمبيوتر الكمومي هو كمبيوتر يحاكي منظومة الحسابات في الفيزياء الكمومية، بحيث يتم إعادة بناء دارات وبوابات الكمبيوتر الكلاسيكي اعتماداً على مسائل وخوارزميات الفيزياء الكمومية الغريبة والمدهشة. الكفاءة النظرية للفيزياء الكمومية في حل الكثير من الألغاز الفيزيائية في العصر الحديث، وتوقعاتها المبكرة لاكتشاف خوارزمية كمومية تفيد غرض التطور الكبير في عالم الكمبيوتر، قادتا الكثير من العلماء إلى العمل التطبيقي على نماذج مخبرية للبوابات المنطقية كمومياً تتجاوز تلك المصممة اعتماداً على أنصاف النواقل والفيزياء الكلاسيكية، التي بقيت تعمل بكفاءة عالية في الكمبيوتر التقليدي حتى بلوغ الترانزستورات في وحدة المساحة في الدارات الرقمية الإلكترونية المستوى الذري، وتقع، بالضرورة، في مجال عمل الفيزياء الكمومية بتفوق. في هذه الدراسة، نتبع أشهر الخوارزميات والبوابات المنطقية الكمومية التي يتم العمل على تصميمها نظرياً ومخبرياً، مروراً على المفاهيم الأساسية المعتمدة لبناء هذه المنظومة كالتشابك والترابط الكمومي، والتداخل الكمومي والكيوبت. وفي خاتمة الدراسة، نوصي ونترقب العمل على تشكيل فريق عمل علمي عربي يبحث عميقاً في إمكانية ولوج هذه العلوم العصرية من زاويتها النظرية والتقنية.

الكلمات المفتاحية: الحوسبة الكمومية، الترابط والتشابك الكمومي، الدارات المنطقية الكمومية، الكيوبت.

Quantum computation, basic concepts and quantum logical circuits

Jamal Alshoufi, Ittihad Private University, Syria

Abstract

Quantum Computer is a computer that simulates the system of calculations, circuits and logical gates in the classic computer based on quantum physics. The theoretical quantum physics efficiency at solving many complicated physical problems in modern times and its early predictions of discovering quantum algorithm benefiting the development in the computer world, have led many scientists to work on the quantum logic gates theoretically and laboratory.

In this paper, we discussed designing quantum algorithms theoretically and experimentally in the laboratory. Moreover, we presented the quantum basic concepts and principles contributed to building this system such as quantum entanglement, interference and superposition.

In conclusion, it is strongly recommended, as expected, that Arab scientists and research centers in the Middle East will explore more in depth Quantum Computer Science, theoretically and technically, by forming many working groups in the near future.

Keywords: Quantum Computation, Entanglement, Quantum Logical Circuits, Qubit.

Received 27 July 2019; accepted 23 December 2019; published 28 February 2020

© 2020 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License CC BY 4.0, which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

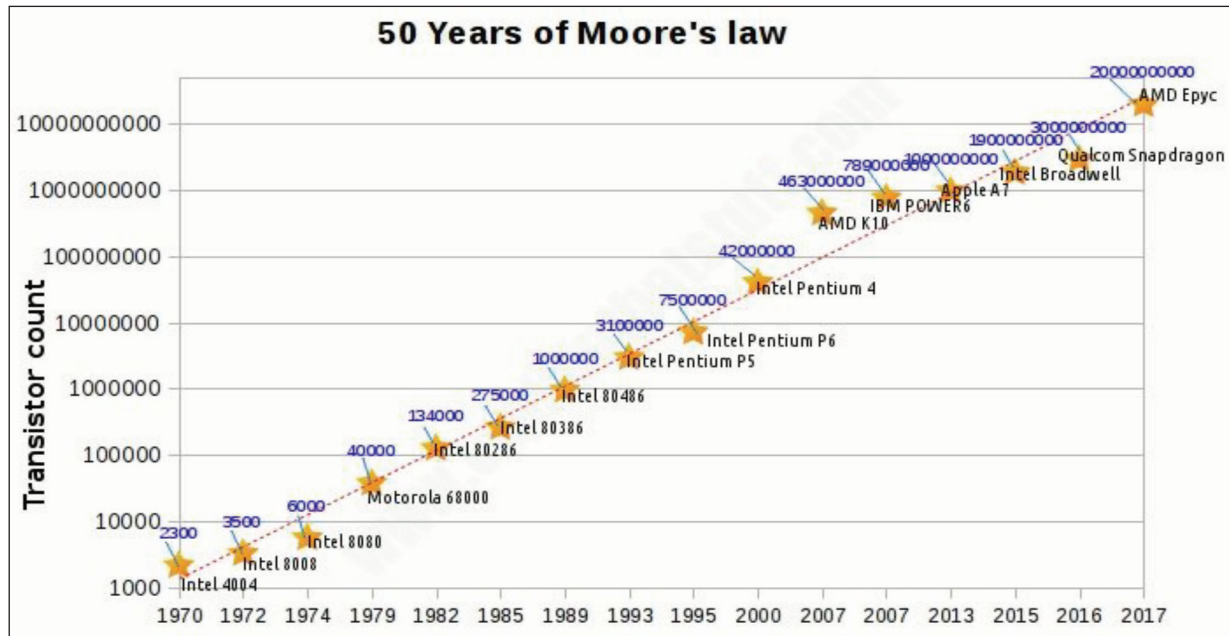
Cite this as: Alshoufi J. Quantum computation, basic concepts and quantum logical circuits. Arabian Journal of Scientific Research 2020;1.5.

<https://doi.org/10.5339/ajsr.2020.5>

البيانات ونقلها وتخزينها، والتي كانت نتيجةً لزيادة أسية في عدد الترانزستورات في وحدة المساحة في الدارات والبوابات الرقمية والمعالجات إلى حد لا يمكن تجاوزه تقنيًا وهو حد البعد الذري، حيث تصبح الظواهر الكمومية الغريبة هي الأكثر هيمنة من الظواهر الفيزيائية الكلاسيكية المعروفة والمألوفة.³

مبكرًا وفي عام 1965، تنبأ Gordon Moore، من شركة Fairchild Semiconductor Corporation، بأن عدد وحدات الترانزستور (Transistors) والأجزاء الإلكترونية الأخرى في الشرائح الإلكترونية والدارات المتكاملة (Integrated Circuits, IC) سيتضاعف كل عام؛⁴ وذلك حتى تكون قادرة على مواكبة متطلبات التكنولوجيا الحديثة من حيث السرعة وقوة معالجة البيانات، وبعد ذلك يعدل مور توقعاته إلى عامين، ثم إلى 18 شهرًا، وهو ما بات يعرف بقانون مور كما هو موضح في الشكل 1.

بات مفهوم الكمبيوتر الكوموي (Quantum Computer, QC) محط الاهتمام الأكبر، في السنوات الأخيرة، في عالم التقنية والأبحاث والدراسات العلمية التي أعادت البحث العلمي الفيزيائي والتقني إلى التركيز على مفاهيم وظواهر الفيزياء الكمومية/ الكوانتية (Quantum Physics) بغية استخدامها في عالم الكمبيوتر بخوارزمياته وبواباته وداراته المنطقية والرقمية، تلك التي يمكنها حل الكثير من المشاكل التقنية التي بدأت تظهر في عالم الكمبيوتر الكلاسيكي.¹ وتشير الدراسات الحديثة إلى التفوق الكمي للحواسيب الكمومية التي تعتمد على معالج فائق التوصيل، ويستخدم خوارزمية كمومية قابلة لإنشاء معالج مؤلف من 53 كيوبت (Qubits) يُدعى (Sycamore) ينجز مهمته خلال 200 ثانية، في حين ينجزه الكمبيوتر الكلاسيكي بـ 10000 عام!² يكمن الأساس التقني الذي قاد العلماء إلى البحث في موضوع الكمبيوتر الكوموي في كيفية زيادة كفاءة الحواسيب تقنيًا من حيث سرعة معالجة



الشكل 1. قانون مور الذي يربط بين معدل عدد الترانزستورات مع زمن تطور الإنتاج التقني.⁵

مخبرية أولية لتصميم وتصنيع البوابات المنطقية الكمومية (Quantum Log-ical Gates, QLG)، في محاولة لتجاوز تلك المصممة اعتمادًا على أنصاف النواقل والفيزياء الكلاسيكية التي بقيت تعمل بكفاءة عالية في الكمبيوتر التقليدي حتى بلوغها المستوى الجزيئي والذري من حيث العدد في وحدة المساحة، فبات من الصعب تصميم الترانزستور وأسلاك النقل بأبعاد ذرية. ومن المفيد علميًا الإشارة هنا إلى أن العمل وفق الخوارزميات الكمومية لا يعني، بالضرورة، استبدال كافة مكونات الكمبيوتر الكلاسيكي، بقدر الاستفادة من الظواهر الكمومية الفيزيائية في علاج المسائل التي لا يمكن للفيزياء الكلاسيكية علاجها عبر بناء البوابات المنطقية الكمومية التي تسهم في زيادة سرعة معالجة البيانات كميًا،⁷ وبالضرورة أيضًا، إمكانية استخدام الحوسبة الكمومية (Quantum Computation) في معالجة العديد من القضايا العلمية ذات الأوجه الاحتمالية المعقدة التي تحتاج إلى حسابات كلاسيكية تأخذ أزمانًا كبيرة في حلها كلاسيكيًا، ما جعل أفضلية العمل على الحوسبة الكمومية تأخذ مجالًا واسعًا في الدراسات العشوائية الكمية فانقة الاحتمالات (Quantum Walks)،⁸ كما في التطبيقات الحديثة للكيمياء الكمومية (Quantum Chemistry) والجزيئية والبيولوجية، إذ تقدمت التجارب العملية

أدى التطور التقني المتزايد، بدءًا من الترانزستور ثم الدارات المتكاملة ثم المتحكمات الصغيرة (Microprocessor)، إلى ثورة هائلة في عالم التكنولوجيا والحواسيب، وصلت إلى مرحلة يصعب تجاوزها على مستويي سرعة نقل البيانات ومعالجتها وتخزينها في البناء الإلكتروني ذاته، ببواباته وداراته الإلكترونية في الحواسيب الكلاسيكية؛ ذلك أن زيادة عدد الترانزستورات في وحدة المساحة، بحسب مور، سيصل إلى حد البعد الذري، ما يجعل الحسابات الكمومية ضرورةً منطقيةً في محاولة نظرية أوليًا، وذلك لتجاوز مرحلة أنصاف النواقل والعمل على المستوى الذري وقوانينها الكمومية فيما بات يعرف باسم الكمبيوتر الكوموي (QC).⁶

وبالنسبة إلى الكمبيوتر الكوموي فهو كمبيوتر يحاكي منظومة الحسابات في الفيزياء الكمومية الغريبة والمدهشة في عالم الجسيمات ودراسة سلوكها، فهو يجمع، من حيث الأساس العلمي، بين الفيزياء الكمومية وبين دارات وبوابات المنطق التي بُني على أساسها الكمبيوتر الكلاسيكي المعروف اليوم. فالكفاءة النظرية للفيزياء الكمومية في حل الكثير من الألغاز الفيزيائية، وتوقعاتها المبكرة لاكتشاف خوارزمية كمومية تفيد غرض التطور الكبير في عالم الكمبيوتر، قادتا الكثير من العلماء إلى العمل التطبيقي على نماذج

في تحديد وتصنيف التشابك الكمومي الجزيئي حديثاً، كذلك التي اعتمدت اعتماداً رئيساً على تجارب التبعثر للمركب الجزيئي لنظير الهيدروجين الثنائي الموجّه (Oriented hydrogen deuteride) (H^2H) والمعروف بـ (HD)، والهيدروجين الجزيئي،⁹ ويمكن أفراد دراسات أخرى تفي بغرضها وتلم بتقنياتها؛ ذلك أن المجال لمناقشتها لا يتسع في هذه الدراسة.

2- غرض الدراسة وأهميتها

في إطار تلك الفرضيات والتجارب العلمية المخبرية الكثيرة التي قُدم من خلالها الكثير من الأوراق والدراسات العلمية بغية جعل الكمبيوتر التقليدي يعمل على أساس الحسابات الكمومية،¹⁰ نتبع في دراستنا هذه المحاولات التقنية الأكثر شهرة لبناء البوابات والدوائر المنطقية في الحوسبة الكمومية المقترحة، متضمنةً تقديم عرض مركز عن أهم مبادئها الكمومية فيزيائياً وتقنياً، بحيث تشكل أساساً علمياً مكثفاً للطلاب العرب المهتمين بهذا المجال نظرياً، ومن ثم إمكانية تطبيقه عملياً.

ولإفراد مساحة العمل والتفكير في الكمبيوتر الكمومي، فإن الأهمية العلمية تكمن أساساً في الفيزياء الكمومية، ويصبح التطلع التقني المستقبلي قريباً وممكناً، وهذا إن تحقق فإنه لن يشكل ثورة في عالم الحواسيب والتكنولوجيا فحسب، بل سيمثل نقلة نوعية أيضاً في التفكير العلمي عامة؛ وذلك عندما تجد قوانين الميكانيك الكمومي الموصوفة بالغرابة اليوم طريقها إلى التوضيح العلمي والتقني على نحو ملموس لكافة شرائح البشر.

إن علم الميكانيك الكمومي الذي بقي حكرًا نظرياً على مؤسسه من علماء الفيزياء والعاملين المختصين من بعدهم، سيصبح، مع عالم الكمبيوتر الكمومي، علماً ذا قابلية للفهم الأكثر شيوعاً، وذلك عندما ينتقل من مرحلة التجريد الكمي النظري إلى مرحلة المحسوس والملموس والمفيد لكل من يستخدم جهازاً كمبيوتر أو هاتفًا ذكيًا كموميًا.

3- الحوسبة الكمومية

1-3 الكمبيوتر: لمحة تاريخية

على الرغم من التطور الكبير لعلوم الرياضيات والمحاولات الكثيرة التي قُدمها بعض العلماء في السابق لإيجاد آلة عمل حسابية تعمل آلياً، فإن علوم الكمبيوتر لم تأخذ حيز تطورها المتسارع كما نشهده اليوم إلا مع التطور الكبير في فيزياء أنصاف النواقل وعالم الدوائر المتكاملة.

تاريخياً، كانت هناك عدة محاولات لتصنيع كمبيوتر يعمل بصورة أوتوماتيكية، بحيث يربط بين عمل الآلة والذكاء الرياضي المنطقي، كانت أولها محاولة تشارلز باباج (Charles Babbage) في عام 1822، لتطوير محرك يعمل على حساب عدة مجموعات من الأرقام وطباعة ونسخ النتائج،¹¹ لكنه لم يتمكن من إكمال تصنيع حاسبه لعدم كفاية التمويل، حتى قام متحف لندن للعلوم في عام 2000 بإكمال مشروعه في مئوية ميلاده الثانية. ولاحقاً، اعتمد عالم الرياضيات الشهير آلان تورينج (Alan Turing)، في عام 1936، على محاكاة سلسلة من التعليمات المنطقية تأسيساً لنظريات أساسية لعمل الحواسيب وأجهزة الكمبيوتر، تعتبر اليوم من الأسس النظرية الأولى لعمل أجهزة الكمبيوتر.¹² وبعد ذلك، وفي عام 1937، بدأت الولايات المتحدة الأميركية العمل على تطوير أجهزة الكمبيوتر الرقمية، أدى ذلك إلى تصنيع جهاز «إينياك» (Electronic Numerical Integrator Analyzer and Computer, ENIAC) في عام 1946، الذي شغل مساحةً تقدر بـ 1800 قدم مربع، واستخدم ما يقرب من 18000 أنبوب مفرغ للحسابات الرقمية، ويعتبر

هذا الجهاز أول جهاز كمبيوتر رقمي في العالم.¹³

كان التطور العلمي المتقدم في عالم الكمبيوتر متتابعاً ومتلاحقاً مع التقدم التقني في ثورة التكنولوجيا والمعلومات، إذ تم الانتقال من جيل إلى آخر في أجهزة الحواسيب من حيث القدرة والكفاءة المتمثلة بسرعة المعالجة ونقل البيانات، وذلك بالانتقال من الترانزستور إلى الدارات المتكاملة ولاحقاً إلى المتحكمات الصغرية، ومن ثم الوصول اليوم إلى ما بات يُعرف بـ «عالم النانو تكنولوجي»، ومستقبلها الممكن، على مستوى الحواسيب، في الحاسب الكمومي والأجهزة الذكية. ترافق هذا مع تطور في الخوارزميات واللغات البرمجية بدءاً من الكوبول (Cobol) إلى (C++) وما بينهما و/ أو ما بُني عليها من خوارزميات ولغات برمجية تحاول حل مشكلتي سرعة المعالجة والنقل على نحو متتالٍ ومتقدم.¹⁴

الكمبيوتر عموماً، سواء الكلاسيكي أو الكمومي، يمكن توصيفه، باختصار، بأنه يقوم على ثلاثة أسس علمية: لغة برمجية، وخوارزمية رياضية، وقدرة تقنية إلكترونية تمثلت بالبوابات والدوائر المنطقية والرقمية، على أن تكون الأسس الثلاثة هذه متوافقة مع بعضها البعض.

2-3 الكيوبت (Qubit) والحساب الكمومي

1-2-3 الخلفية الفيزيائية للحوسبة الكمومية

حديثاً، ومنذ أن وضع ريتشارد فاينمان (R. Feynman) الأسس النظرية لإمكانية إنشاء حوسبة كمومية، تعتمد على الأسس النظرية والتطبيقية للميكانيك الكمومي، حتى بدأت الدراسات النظرية في محاولة بناء الدارات والبوابات المنطقية في الحوسبة الكمومية. اقترح فاينمان إمكانية الاستفادة من الميكانيك الكمومي، متوقعاً قوةً فائقة الأداء لأجهزة الكمبيوتر الكمومية، إذ إن أي محاكاة كلاسيكية للحالة الكمومية ستطوي على تباطؤ كبير مقارنةً بالتطور الطبيعي للحدث؛ وذلك لأن كمية المعلومات المطلوبة لوصف الحالة الكمومية كلاسيكياً ستتمو نمواً كبيراً في الوقت ذاته،¹⁵ وقد اعتبر فاينمان ذلك فرصةً للعمل بدلاً من اعتبارها عقبة؛ فالميكانيك الكمومي يقدم رؤية كمومية للحدث، من حيث مثبوتية المظهر الجسيمي والموجي الميكروية وحوادث التراكب والترابط والتداخل الكمومية الناشئة عنها. تلك القوانين والمبادئ الكمومية المختلفة والمغايرة في طرقها ومنطقها عن القوانين الفيزيائية الكلاسيكية المعروفة جيداً تحكم وتحدد عالم الحسيات المرئي والحركة المرصودة بشرياً بإحكام، وذلك بحكم طبيعة الحواس البشرية وقوانينها الحاكمة.

مكنت نظريات وأفكار الفيزياء الكمومية من الغوص عميقاً في ماهية المواد وبنائها على المستوى الذري وما دونه، سواء بظواهره الجسيمية دون الذرية أو الموجية، لتشكل جملةً من المفاهيم والقوانين في الفيزياء الحديثة في بدايات القرن العشرين، وبالأخص الكمومية منها (التي من الممكن العودة إليها تفصيلاً)،¹⁶ الأساس العلمي لثورة التقنية اليوم؛ وذلك بدءاً من الجسم الأسود وإشعاعه لدى ماكس بلانك (Max Planck's Black Body) (Radiation) ومبدأ مثبوتية الموجة - الجسيم لديبرولي (Louis De Broglie's Wave-Particle Duality)، ثم مبدأ الشك أو اللايقين لفيرنر هايزنبرغ (Werner Heisenberg's Uncertainty Principle)،¹⁷ مروراً بتفاعلات الفوتون مع المادة (Photon Interactions with Matter) ومنها المفعول الكهروضوئي لدى أينشتاين (Albert Einstein Photoelectric Effect)،¹⁸ والبنية الذرية وطيف ذرة الهيدروجين، والإثارة والسويات الطاقة، لدى نيلز بوهر (Niels Bohr's Atomic Structure)، كما البنية الدقيقة وفوق الدقيقة (Fine and Hyperfine Structure)، والسبين النووي والإلكتروني (Nuclear and

(Electronic Spin)¹⁹، وصولاً إلى الترابط والتشابك الكمومي (Quantum Entanglement) والتراكب الكمومي (Quantum Superposition) كما ضمنها بيتر شور (Peter Shor) في الكمبيوتر الكمومي وحساباته المعقدة.²⁰

2-2-3 البت والكيوبت (Bit & Qubit)

كانت البوابات المنطقية والدوائر الإلكترونية المتكاملة، ولا تزال، تعتمد أساساً في بنائها على الخوارزميات الرياضية والجبر المنطقي البولياني، نسبة إلى العالم الإيرلندي جورج بول (George Boole)،²¹ الذي يمثل الأساس النظري والآلية المستقرة لعمل أجهزة الكمبيوتر اليوم. فعلى الرغم من التطوير المتزايد في عالم الكمبيوتر كما توقعه مور، فإن البوابات المنطقية هذه بقيت تعتمد على الخوارزميات ذاتها وأنظمة العد الثنائي والثماني المحملة والمبرمجة في الدوائر الإلكترونية المتكاملة وبواباتها المنطقية المبينة في الشكل 2.

	x	y	F
AND	0	0	0
	0	1	0
	1	0	0
	1	1	1

	x	y	F
OR	0	0	0
	0	1	1
	1	0	1
	1	1	1

	x	F
Inverter	0	1
	1	0

	x	F
Buffer	0	0
	1	1

	x	y	F
NAND	0	0	1
	0	1	1
	1	0	1
	1	1	0

	x	y	F
NOR	0	0	1
	0	1	0
	1	0	0
	1	1	0

	x	y	F
Exclusive-OR (XOR)	0	0	0
	0	1	1
	1	0	1
	1	1	0

الشكل 2. البوابات المنطقية الرئيسية: (AND, OR, NOT, COPY, NAND, NOR, XOR) وجداولها البوليانية.²¹

كما هو معروف جيداً، تشمل الدوائر والبوابات المنطقية هذه العديد من البوابات المنطقية، منها على نحو رئيس: (NOT, AND, OR, COPY) وإمكانية جمع عدد منها في بوابات أخرى من قبيل (NOR, NAND, XOR)، بحيث تؤدي كافة متطلبات العمل في الحواسيب الكلاسيكية المعروفة اليوم على نحو مستقر.²² كما يمثل البت (Bit) الأساس الرقمي لبناء هذه البوابات، ويأخذ إحدى قيمتين (0=False أو 1=True) ويعرف هذا بنظام العد الثنائي (Binary Code System)،²³ إذ يمثل (1) تنفيذ الأمر وهو يعني مرور فولتية تقدر بـ 5 فولتات، أو الأمر (0) عند عدم مرور فولتية، بحيث يكون تنفيذ الأمر في الحاسب الكلاسيكي ببواباته المنطقية بإجراء أحد الأمرين فقط.

يتمثل السؤال الأساسي في الحوسبة الكمومية في: ما هو التابع القابل للحساب كمومياً ويعطي الاتساق ذاته في حسابات الجبر البوليانى والبوابات المنطقية الكلاسيكية التي بنتها أنصاف النواقل؟ فالتوابع الهاملتونية (Hamiltonian) قدمت حلولاً كمومية مهمة في عالم ما دون الذرية، إذ

إن إمكانية حل جملة من المدخلات على مستوى الكيوبت (Qubit) في الكمبيوتر الكمومي،²⁴ يمكنها أن تقدم مخرجات على القدرة ذاتها من الخرج في الكيوبت والحوسبة الكمومية.

الكيوبت عبارة عن نظام كمومي يتم فيه استرجاع الحالتين البوليانيتين (0 و 1) بواسطة زوج محدد في الفيزياء الكمومية يرمز إليهما بـ ($|1\rangle$ Or $|0\rangle$)، بحيث يمثل الكيوبت حالتين كموميتين يمكن محاكاتها بسويتين كموميتين خاصتين (Eigenstates). فإذا كان الكيوبت يمثل إحدى الحالتين الكموميتين ($|0\rangle$ Or $|1\rangle$)، فإنه سيخضع لحالة التراكب والتداخل الكمومي أيضاً، وهذا يمثل عدداً من الحالات لا حصر لها كمومياً؛ ما يجعل الكمبيوتر الكمومي يتفوق أسياً على قرينه الكلاسيكي الذي لا يحيل سوى على إحدى القيمتين للبت (Bit) وفق البوابة المنطقية؛ ومن ثم يمكن كتابة أي حالة نقية أخرى من الكيوبتات (جمع كيوبت Qubits) في صورة تراكب كمومي في النظام المجهرى، كالسبين الإلكتروني أو النووي ذي التوجهين الأعلى والأدنى مغناطيسياً، أو نموذج الذرة كاملاً عند إثارتها من سويتها الطاقية الأساسية الذرية إلى سويات أعلى، أو الفوتون المستقطب ليزرّاً، حيث تسمى مجموعة من الكيوبتات (n) السجل الكمومي في الحجم (n).²⁵

الحسابات الكمومية قابلة للعكس المنطقي والفيزيائي، وبما أن أي مسألة يمكن حلها كلاسيكياً يمكن محاكاتها كمومياً، فإن من الممكن تصنيع حالات متعددة من الكيوبت تستطيع حل مشكلات الحواسيب الكلاسيكية. فالمميزات الحديثة للكمبيوتر الكمومي من حيث التراكب (Superposition) والتداخل بين الكيوبتات (Qubit's Interferences) والتشابك أو الترابط الكمومي (Entanglement) ستسمح لأجهزة الكمبيوتر الكمومية بحل كثير من المشاكل الحسابية، من أهمها البحث في قواعد البيانات والمعاملات العائمة على نحو أسرع أسياً مما يمكن أن يقوم به أي كمبيوتر تقليدي؛ إذ بسبب الترابط والتداخل الكموميين للجزيئات فإن الشبكات الكمومية ستكون أكثر فاعلية من أي نظرية إحصائية كلاسيكية أخرى.²⁶

لقد تمت الاستفادة من التداخل الكمومي كظاهرة فيزيائية مذهشة تجعل نظرية الكم بطبيعتها مختلفة جذرياً عن الفيزياء الكلاسيكية وإحصائها في الانتقال من الحسابات الكلاسيكية الرقمية المتعلقة بالنظام الثنائي إلى الحسابات الكمية المتعلقة بالحوسبة الكمومية. فالتداخل كمومياً، لا يقتصر على الفوتونات الضوئية، بل على الجسيمات أيضاً، كالإلكترونات والنيوترونات والذرات أو حتى الجزيئات، وبالضرورة يمكن استخدام درجات حرية كمومية أكثر خارجية وداخلية، وبناء عليه، فإن نظاماً كمومياً لا يتجاوز بضع مئات من الكيوبتات، موجوداً في فراغ هيلبرت الكمومي (Hilbert)، يتطلب نموذجاً من المحاكاة في الكمبيوتر الكلاسيكي التي تعتمد العمل على مصفوفات كبيرة الأبعاد بشكل كبير من حيث إجراء الحسابات على كل حالة فردية يتم تمثيلها مصفوفياً، ما يعني وقتاً أطول أسياً مقارنةً بالكمبيوتر الكمومي الأولي.²⁷

3-3 البوابات المنطقية الكمومية

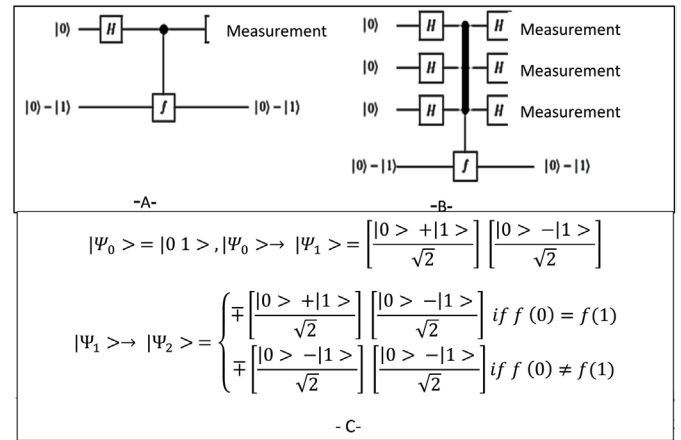
في هذا الجزء من الدراسة سنحاول إلقاء الضوء على الخوارزميات والتطبيقات الكمومية الأكثر شيوعاً في تصميم الدوائر والبوابات المنطقية الكمومية، التي لا زالت تعتبر إلى اليوم مخبرية قيد الدراسة والتطوير.

1-3-3 خوارزمية دويتش

بحسب دويتش، فإن البوابات المنطقية الكمومية (QLG) هي جهاز يقوم بإجراء عملية أحادية ثابتة على وحدات الكيوبت المحددة في فترة زمنية محددة، والشبكة الكمومية عبارة عن جهاز يتكون من بوابات منطقية كمومية

تتم مزامنة خطواتها الحاسوبية، ويتم توصيل مخرجات البوابات عن طريق الأسلاك بمدخلاتها، وحجم الشبكة هو عدد البوابات التي تحتويها.²⁸ في الكمبيوتر الكلاسيكي، يبقى البت محدداً بقيمة معينة معروفة وقابلة للملاحظة، بينما في الكمبيوتر الكومبي فإن الكيوبت يحتاج دائماً إلى دراسة احتماليته التشابكية والتداخلية الكومبية، وإجراء تصحيحات كومبية عليه، خاصة فيما يتعلق بالبوابات التي تطلب العمل على أكثر من كيوبت واحد؛ فقد أظهرت الخوارزميات الكومبية الأولى مزايا حسابية كومبية من دون التعقيد الحسابي المقاس بخصائص القياس لأحجام الشبكة. وقد تم اكتشاف القدرة الحسابية للتداخل الكومبي عن طريق حساب عدد المرات التي يجب فيها تقييم بعض الوظائف المنطقية من أجل العثور على إجابة لمشكلة معينة. افترضت خوارزمية دويتش، المعروفة بالصندوق الأسود (Black Box)، أنه بالنسبة إلى إحدى هذه الوظائف الكومبية، التي تعد ثابتة أو متوازنة (بمعنى أنه يحتوي على عدد متساوٍ من المخرجات: 0 مثل 1)، وذلك بهدف تحديد أي من الخواص المميزة للوظيفة بالفعل كومبياً؛ إذ تتطلب أي خوارزمية كلاسيكية لحل هذه المشكلة القيام بـ $(2^{n-1} + 1)$ من العمليات قبل تحديد الإجابة بكل تأكيد.

وبحسب خوارزمية دويتش الكومبية، الموضحة في الشكل 3، تحل هذه المشكلة مع تقييم كمومي واحد، لذلك وبحسب دويتش، من خلال قياس البتات الأولى (n)، والممكن تحديدها على وجه اليقين بأنها متوازنة، يمكن بناء بوابة منطقية من ثلاثة كيوبتات بمتابعة تحويلات خوارزمية هادامارد (Hadamard)، وذلك بإجراء تقييم للوظيفة الكومبية، ومتابعة التحويلات التسلسلية الكومبية وفق التتابع والحلول الهاملتونية؛ وهو ما يسمى التداخل الكومبي كحالة نمطية عامة تستلزم متابعة دراستها والبحث عن إمكانية التحكم فيها وفي نتائجها.²⁹

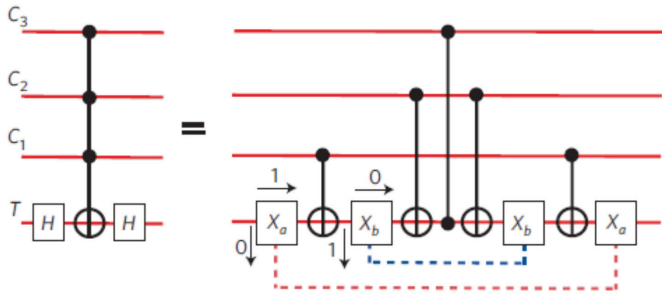


الشكل 3. خوارزمية دويتش ممثلة بكيوبت وحيد (A)، وإمكانية تعميمها بـ (n) من الكيوبتات (B)، وذلك باستخدام حلول معادلات هاملتون الكومبية (C).²⁹

2-3-3 خوارزمية توفولي وهادامارد

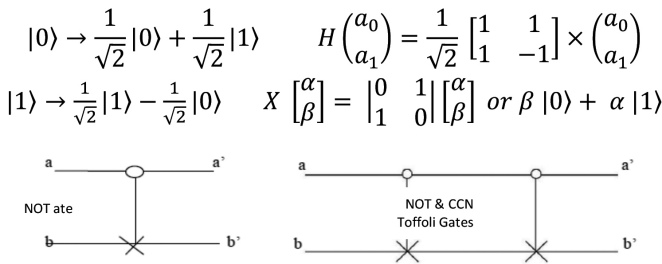
اتجهت الدراسات الكومبية الحديثة نحو التحكم التقني بالكيوبت في البوابات المنطقية واحتمالاتها المتعددة الناتجة من مفهوم الترابط والتشابك الكومبي، خاصة تلك المتعلقة بالبوابة المنطقية لتوفولي (Toffoli) القابلة للتحكم في ثلاثة كيوبتات، بحيث يتم التحكم في دخل وخرج المعلومات ببوابة منطقية ثنائية الكيوبت تمثل الحالة الأساسية، ويتم ربطها ببوابات منطقية يمكنها التحكم في مستويات الكيوبت الأخرى كما هو موضح في الشكل (4). وجدت الدراسة ذاتها أن بناء هذه البوابة يخضع للانزياح الطوري الزاوي فقط ويكافئ منطقياً خوارزمية توفولي بكيوبت واحد أو اثنين.³⁰ وباستخدام خوارزمية هادامارد، المعتمدة على الكيوبت الأساسي

$|0\rangle$ Or $|1\rangle$ ، والتي تمثل حالة السبين النووي ودورانه المحوري القابل للعكس كمومياً بالمصفوفة الواحدة، تمت دراسة البوابات المنطقية الكومبية القابلة للعكس. دراسة الاحتمالات الكومبية تم تمثيلها مصفوفياً، بحسب مقترحات باولي (Pauli)، بأحد أشكال الدوران حول المحاور X, Y, Z ، وتمثل البوابة (NOT) بالدوران حول المحور بزواوية (π) ، والاختلاف بينهم فقط هو محور الدوران. كما أن بوابة الانزياح الطوري (Phase shift gates) التي تعتمد على نموذج كرة بلوخ (Bloch Sphere) الدوراني، وفيها احتمال قياس الحالات الأساسية $|0\rangle$ Or $|1\rangle$ ولا يتغير بعد تطبيق البوابة الكومبية، لكنها قابلة للتعديل الطوري.



الشكل 4. نموذج بوابة منطقية قابلة للتحكم في مستويات ثلاثة كيوبتات.³⁰

في حين يبين الشكل 5 معادلات النموذج الهاملتوني لبناء هذه البوابة مع شكل تمثيلي للبوابة (NOT) والبوابة العكسية القابلة للتحكم (CCN) بحسب توفولي. بينما بوابات التحكم (Controlled gates) تعتمد على كيوبتين، حيث يعمل كيوبت واحد أو أكثر كعنصر تحكم في بعض العمليات.³¹ Hadamard gate: $H(a_0 |0\rangle + a_1 |1\rangle) = 1/\sqrt{2} [(a_0 + a_1)|0\rangle + (a_0 - a_1)|1\rangle]$

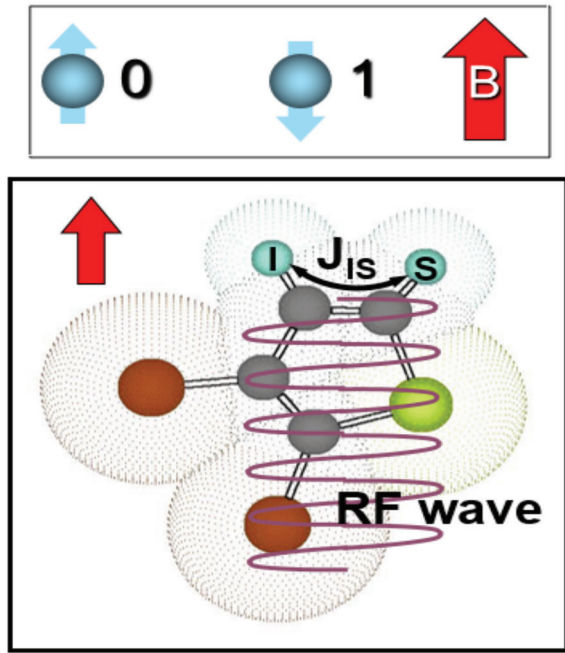


الشكل 5. خوارزمية هادامارد باعتماد نموذج هاملتون الكومبي، مع تمثيل للبوابة (NOT) والبوابة القابلة للعكس والتحكم (CCN) بحسب خوارزمية توفولي.³¹

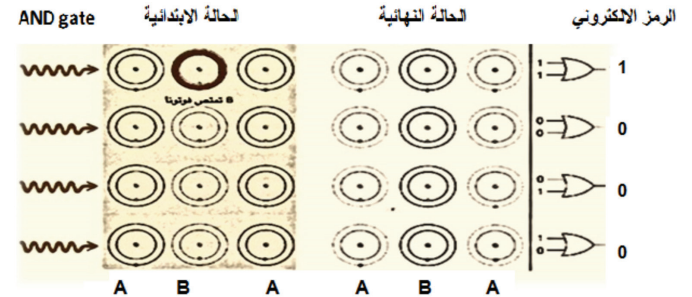
3-3-3 خوارزمية غروفر والسبين الإلكتروني

اقترح غروفر أن خوارزمية البحث الكومبية تسمح بإجراء بحث فعال عن أحد العناصر (K) ضمن مساحة البحث ذات الحجم (n)، وتم توصيف هذه الخوارزمية بنظام ثنائي يتيح عدد (n) من المدخلات، ونتيجة البحث هذه تحيل إلى القيمة (1). وبحسب غروفر، فإن أفضل الحلول لخوارزمية كلاسيكية تعمل على إجراء مدخلات بعدد (n) عشوائياً، وهذا ما يكافئ إجراء (n) عملية إجرائية. بينما تقوم الخوارزمية الكومبية بالبحث عن العنصر المحدد بعدد يكافئ الجذر التربيعي للعمليات (n) في الحالة الكلاسيكية، ما يعني إمكانية توفير الوقت اللازم للبحث كمومياً في إجراء العمليات الحسابية على نحو كبير جداً.³²

أظهرت الدراسات الكومبية الأولى إمكانية بناء بوابة منطقية كمومية مؤلفة من كيوبت وحيد سهلة التنفيذ، إذ يتم استخدام إثارة ليزرية لذرة وحيدة من سويتها الطاقية الأساسية، وتكون سهلة التحكم فيها من خلال التحكم في طول موجة الليزر وتردده. وبحسب نموذج ذرة الهيدروجين لبور، فإن الفرق الطاقى بين السوية الأساسية المستقرة (E1) وسوية الطاقة المثارة



الأولى (E2) يتناسب كمياً مع طول موجة الليزر (امتصاص الذرة لفوتون ضوئي بطاقة محددة تكافئ الفرق الطاقى بين السويتين). فإذا أخذت الذرة الكيوبت ($|0\rangle$) للحالة الكمومية والذرة بسوية طاقة مستقرة، فإن الذرة وهي بحالة إثارة تعطى بالكيوبت ($|1\rangle$)، وبناء عليه، فإنه من السهولة بمكان بناء البوابة (NOT) بمجرد إثارة الذرة بطول موجي محدد، والعكس صحيح. بينما التحكم في كيوبتين بدا صعباً في البداية، فمن أجل تصميم بوابة كمومية منطقية مؤلفة من كيوبتين من وجهة نظر تجريبية، يكفي البحث في اكتمال الشروط الديناميكية فيزيائياً، وذلك من قبيل مواءمة الشروط الكمومية على الحالة الكلاسيكية لبناء البت أساساً، ومثال ذلك البوابة (AND) التي تطلب وجود ثلاث ذرات (ثلاثة كيوبتات) كما هو موضح في الشكل 6.³³



الشكل 6. البوابة المنطقية الكمومية باستخدام إثارة ذرة الهيدروجين.³³

كما واقترح تصميم البوابة المنطقية (NOT) من الحالة السبينية للإلكترون في ذرة (^{19}Be)، وذلك بتبريدها إلى السوية الطاقة الأرضية، وعلى أسس البنية فوق الدقيقة، باستخدام ليزر (طول موجته 313 nm، وعرضه الترددي 19.4 MHz) ويتم بناء البوابة باستخدام الإثارة الليزرية لرامان (Ra-man)، وذلك للتحكم في الكيوبت السبيني الذي يُمثل بقيمتي الكيوبت المنطقية، وذلك بحسب توجه سبين الإلكترون إلى الأعلى أو الأدنى فيزيائياً وكمومياً، أي: $|S = \uparrow\rangle = |0\rangle$ or $S = \downarrow\rangle = |1\rangle$ التي تقابل البت الكلاسيكي (0 or 1) بحيث تكون النتيجة أن البوابة (NOT) هي مقلوب الحالة السبينية بالإثارة.³⁴

4-3-3 السبين النووي

في دراسات كمومية أخرى لتكوين بوابة كمومية منطقية باستخدام كيوبت وحيد، تم استخدام السبين النووي لذرة الهيدروجين، وذلك باستخدام توزيع تابع الكثافة لإحصاء مكسويل - بولتزمان (Maxwell-Boltzmann)، الذي يتطلب حجماً قليلاً من الذرات قابلة للتحكم في شروط التجربة من حيث الضغط ودرجة الحرارة، كما يتطلب عمليات حسابية كبيرة من حيث السرعة والموقع وما يرافقها من مشاكل حسابية (بحسب هازينبرغ) يعمل عليها الميكانيك الكمومي إحصائياً. ولهذا الغرض، تم استخدام جداول التجاوب النووي المغناطيسي (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) لنوى ذرات الهيدروجين لتصميم الكيوبت، وذلك باستخدام حقل مغناطيسي خارجي بقيم متغيرة تؤدي إلى تغيرات في عزوم السبين النووي لذرة الهيدروجين.³⁵ وباستخدام السبين النووي، والتجاوب النووي المغناطيسي (NMR) الذي يؤمن عزم دوران سبيني نووي بمقدار (π) التي توافق حالتين كموميتين من دوران السبين، تلك التي تؤمن كيوبت ($|0\rangle$ or $|1\rangle$) على نحو متعاكس، ما يجعل البوابة (Not) سهلة التنفيذ منطقياً. عموماً، رُشح تسلسل الإثارة الانتقائي مزدوج الدوران السبيني للمساهمة في هذه المجموعة من البوابات؛ ذلك أن إنشاء معامل هاملتوني فعال لا يمكن الوصول إليه بسهولة بالوسائل التقليدية، وهو قد يكون مفيداً في توليد حالات متعددة من الترابط الكمومي.³⁶ يوضح الشكل 7 كيفية تمثيل التفاعل السبيني النووي مع حقل مغناطيسي وتمثيله كمومياً استناداً إلى الحلول الهاملتونية.

الشكل 7. نموذج تمثيلي لتفاعل السبين النووي مع حقل مغناطيسي خارجي حيث يمثل الكيوبت بحسب العزم السبيني النووي بحالتين كموميتين ($|0\rangle$ or $|1\rangle$).³⁶

في حالة تجريبية في دراسة أخرى، تم استخدام حالة نقية من السبين النووي، وفق كيوبتين، تمثل الحالة الأساسية سبيناً نووياً نقياً لزوج من نوى الهيدروجين الناشئة عن تفاعل كيميائي يشتمل على بارا-هيدروجين (Para Hydrogen). وأثبتت الدراسة أن التجاوب المغناطيسي غير مناسب لاستخلاص حالات نقية من الكيوبت الأساسي من الهيدروجين؛ وذلك لصغر الثغرة الطاقة بحسب مفعول زيمان في البنية فوق الدقيقة (Zeeman & Hyperfine Structure)، والحالات الكمومية الناتجة من التشابك غير قابلة للفصل³⁷، لكن الدراسة مكنت القول من إمكانية النجاح في استخلاص الحالة الأساسية للسبين النووي عند استخدام تفاعل كيمائي ينتج الحالة الجزيئية للبارا-هيدروجين.

5-3-3 المصائد الأيونية

مع التقدم في بناء بوابات منطقية كمومية قابلة للتحكم على نحو وثيق، قُدِّم عدد من الدراسات الكمومية على نظام المصائد الأيونية (Trapped-Ion System) باستخدام الكيوبت الضوئي وكيوبت الأمواج الراديوية (RF Qubit)، تلك التي سمحت ببناء البنية الأساسية لنموذج محاكاة كمومي فعال لبناء البوابة المنطقية (NOT & COPY) باستخدام المصائد الأيونية للفرميونات والبوزونات (Fermions & Bosons)، بحيث يتم استخدام سويتين شبه مستقرتين للإلكترون توافقان الانتقال الضوئي لترقيم الكيوبت الأول، واستخدام المستوى الثالث الموافق للانتقال الطاقى بين سويتين طاقتين في البنية فوق الدقيقة (مفعول زيمان) للكيوبت الثاني.³⁸

6-3-3 الصعوبات التقنية والإمكانية المستقبلية

لا زالت الصعوبات التقنية في إنجاز الكمبيوتر الكمومي تطبيقاً ماثلة إلى اليوم، وتتعلق على نحو رئيس بالقدرة على التحكم في الظواهر الكمومية الناتجة من البنى الذرية في تداخلها وترابطها وبواباتها المنطقية (الكيوبت) الممكنة، وهنا ثمة محاولات عدة للتغلب على نتائج هذه الظواهر الفيزيائية الكمومية المسماة بالضجيج والتشويش، بحيث يمكن العمل وفق بيئة كمومية ذات مقاييس كمومية متوسطة الضجيج (Noisy Intermediate-Scale Quantum, NISQ)، وذلك باستخدام الدراسات النظرية التقريبية الممكنة للتحكم في الضجيج الكمومي وفق خوارزمية التحسين التقريبي الكمومية

وقد أظهرت النتائج أنه باستخدام خوارزمية شور (Shor) الكمومية، التي هي خوارزمية رياضية كمومية تعمل على حساب المعاملات الصحيحة وفق زمن تكرارات كثيرة الحدود من رتبة $(\log N)$ وذلك لتجاوز مشكلة الحسابات العائمة الكلاسيكية، وفق تقنية الرنين المغناطيسي النووي NMR متعدد الكيوبتات، يمكن الوصول إلى حسابات كمية مذهلة، حيث سجلت خوارزمية شور الرقم القياسي في إمكانية إجراء الحسابات الرياضية لأكثر رقم صحيح وفقاً لهذه الخوارزمية التي تستخدم بوابة منطقية كمية من رتبة $O((\log N)^2 (\log \log N) (\log \log \log N))$.⁴⁰

حديثاً، تسعى الشركات العملاقة في عالم الكمبيوتر من قبيل (IBM, Google, Microsoft) لتحقيق تقدم في دراساتها الكمومية بغية تحقيق إنجاز وسبق تقني في عالم الكمبيوتر الكمومي. وقد توجهت هذه الشركات بأبحاثها ودراساتها نحو الكيمياء الكمومية/ الكوانتية، والتركيز على الحالات الجزيئية للمادة وحالاتها الكمومية الإحصائية، والتي قدمت نتائج أولى متقدمة في هذه الحوسبة الكمومية، وذلك باستخدام خوارزمية الحلول الخاصة للحالات الكمومية المتغيرة (Variational Quantum Eigensolver, VQE)، على خلفية كمومية جزيئية تعتمد الحلول الكمومية لمصفوفة هاملتون، التي تحدد حلولها الحالة الأساسية الطاقة الكمومية للنظام الجزيئي، وبالنتيجة إمكانية تحديد الكيوبت الكمومي بعد تحديد القيم الخاصة (Eigenvalue) للحلول الكوانتية الجزيئية.⁴¹ وباعتماد الكيمياء الكمومية أيضاً، استخدمت ظاهرة التفاعل إلكترون - فونون (Electron-Phonon) لبناء خوارزمية كمومية ذات دقة مناسبة لفرغ هيلبرت، وتزداد حجمًا على نحو خطي مع تزايد عدد الفونونات المتولدة، وذلك اعتماداً على دراسات المصادات الأيونية. وخلصت الدراسة إلى أنه يكفي عدد صغير من الكيوبتات ($n = 6,7$) لإجراء محاكاة لأنظمة الاقتران الإلكتروني - الفونوني بمستوياتها الضعيفة والمتوسطة والقوية مع نتائج ذات وثوقية أكثر.⁴²

4- خاتمة واقتراحات وتوصيات

في خلاصة وختام هذه الدراسة، حاولنا إلقاء الضوء على المفاهيم المؤسسة لمفهوم الكمبيوتر الكمومي، خاصة تلك المتعلقة ببواباته المنطقية الكمومية (QLG). هذا مع إدراكنا أن دراسة واحدة وأكثر غير كافية للإلمام به كعلم نظري مع تطبيقاته التقنية الآن؛ إذ إن المنطقة العربية لا زالت قليلة الاهتمام بالعلوم العصرية هذه، وتندر تلك المراكز البحثية المتخصصة في هذا المجال، لذلك يبدو من الصعوبة بمكان إنتاج الجديد فيه.

على أي حال، وفي خاتمة دراستنا يمكننا اقتراح واستخلاص ما يلي:

- في الكمبيوتر الكمومي (QC)، يمكن القول إن اعتماد عدد الكيوبتات القليلة التي يمكنها إنجاز مهمات لا يستطيع إنجازها الحاسب الكلاسيكي بأخر نسخة متطورة له ليس حلاً نهائياً وكافياً، فحتى إن كان عدد الكيوبتات

المراجع

قليلاً جداً في الحاسب الكمومي قياساً بالعدد الهائل من الترنزستورات في الكمبيوتر الكلاسيكي، إلا أن إمكانية التحكم والسيطرة على حالات التشابك والتداخل الكمومي تبدو صعبة تقنياً اليوم، لكنها تبقى محاولات متقدمة تقنياً.

- تتم الحوسبة الكمومية في بناء البوابات المنطقية للكمبيوتر، اليوم، اعتماداً على بيئة العمل الكلاسيكية التي بنيت عليها بوابات الكمبيوتر ذاتها، وبالضرورة ثمة فرض علمي مفاده أن من الممكن العمل النظري على إنتاج نظام عد كمومي (Quantum Code System, QCS) يتناسب واتساع ظواهر الفيزياء الكمومية واحتمالاتها المتعددة، بحيث لا تتقيد فقط بطرق العد الكلاسيكية في أنظمة العد الثنائي، وتبدو هذه من النقاط الممكن العمل عليها نظرياً على أسس الميكانيك الكمومي/ الكوانتي؛ فالبقاء ضمن بيئة العمل الكلاسيكية منطقياً وبناء البوابات الكمومية على أساسها يبدو أنهما من العوامل التي تؤخر التقدم في الكمبيوتر الكمومي وتحويله من حالات تجريبية مخبرية إلى كمبيوتر متاح للعموم بمواصفات مذهلة حال تحقيقه.
- يمكن إجراء دراسات متقدمة تقوم على الجمع بين حالتين كموميتين مختلفتين (Qubits 2) في بوابة منطقية كمومية واحدة، كالسبين الكمومي الناتج من التجاوب المغناطيسي النووي (NMR) بحقل مغناطيسي خارجي بكيوبت أولي، والإثارة الذرية بمنبع ليزري ذي طول موجة محدد بكيوبت ثانٍ، ويبدو هذا الأمر مجال دراسة كمومية قد تكون واعدة في المستقبل القريب.

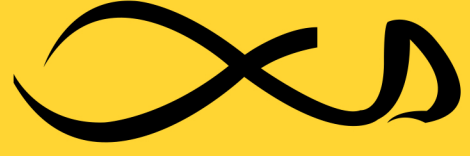
أيًا تكن النتائج الحالية في مستقبل الحوسبة الكمومية، فإنه من الضروري التوصية بضرورة دخول هذا المجال العصري عربياً، إذ نعتقد أنه حان الوقت المناسب لأن تبادر الجامعات العربية ومراكز البحث المتخصصة لولوج هذا المجال من البحوث والعلوم الحديثة المتعلقة بالحوسبة الكمومية؛ بحيث يتم تشكيل فرق عمل علمية وتقنية متعددة ومتواصلة، تبحث في شطري البحث العلمي: النظري الكمومي المجرد، والتطبيقي التقني المخبري. وهي مهمة تُلقى على عاتق الباحثين العرب من جهة، وعلى المراكز البحثية العلمية العربية ومنظماتها العملية وحكوماتها الداعمة من جهة أخرى؛ إذ إنه على أقل تقدير، يمكن القول إن البحث العميق في الفيزياء الكمومية وتطبيقاتها الحديثة حالة علمية مهمة يجب تعميمها، كما أن نقل الفيزياء الكمومية إلى عموم الناس عبر الحواسيب الكمومية الممكنة بالاستخدام والاستثمار اليومي سيكون له نتائج مهمة على التفكير العلمي خاصة، والبشري عامة؛ حين يبدأ البشر بتلمس نتائج هذا العلم الذي لا زال حكرًا على الأخصائيين الفيزيائيين النظريين والتطبيين فقط.

وختاماً، إن دخول هذا المعترك العلمي عربياً سيشكل نقلة نوعية في إطار التنمية والتقدم التقني والعلمي، وخطوة عصرية مهمة أصبح لا بد منها، بدل الاكتفاء بالنقل واستيراد التقنية جاهزة.

- 1 Resch S, & Karpuzus UR. Quantum Computing: An Overview Across The System Stack. Ithaca: Cornell University Press; 2019. arXiv:1905.07240.
- 2 Arute F, Arya K., Babbush R, et al. Quantum Supremacy Using A Programmable Superconducting Processor, Nature Research Journal. 2019;574(7779): 505-510.
- 3 Gotarane MV, Gandhi SM. Quantum Computing: Future

- Computing. International Research Journal of Engineering and Technology. 2016;3(2): 1424-1427.
- 4 Moore GE. Cramming More Components onto Integrated circuits, IEEE Explore. 1998;86(1): 82-85.
- 5 IEEE Spectrum, Special Report: 50 Years of Moore's Law, 2015. Available from: <http://bit.ly/2uuHkl4>
- 6 Grambling E, Horowitz M. Quantum Computing: Progress and

- Prospects. Washington, DC: The National Academies Press; 2018. 202 p.
- 7 Brassard G, et al. Quantum Computing. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA. 1998; 95: 11032-11033.
 - 8 Lovett NB. Application of Quantum Walks on Graph Structures to Quantum Computing. Leeds, UK: School of Physics & Astronomy, University of Leeds; 2011. 211 p.
 - 9 Li J, Kais S. Entanglement Classifier in Chemical Reactions. Science Advances. 2019;5(8): 1-7.
 - 10 Cattaneo G, Leporati A, Leporini R. Quantum Conservative Many-valued Computing. Fuzzy Sets and Systems. 2008 May 1;159(9): 1001-1030.
 - 11 Bullock S. Charles Babbage and the Emergence of Automated Reason. In: Husbands P, Holland O, Wheeler M, editors. The Mechanical Mind in History. Cambridge, MA: The MIT Press; 2008. pp. 19-39.
 - 12 Bowen JP. Alan Turing: The Founder of Computer Science. In 2013 British Society of the History of Mathematics conference, Gresham College, UK; 2013.
 - 13 Goldstine HH, Goldstine A. The Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC). In: Randell B, editor. The Origins of Digital Computers. Berlin/ Heidelberg: Springer-Verlag; 1982. pp. 359-373.
 - 14 IBM Corporation. Language Environment Writing Interlanguage Communication Applications. New York: International Business Machines (IBM) Co.; 2019. 256 p.
 - 15 Feynman RP. Simulating Physics with Computers. International Journal of Theoretical Physics. 1982;21(6-7): 467-488.
 - 16 Gabbay DM, et al. Handbook of Philosophy of Physics "Part A". Netherland: Elsevier; 2007. 1524 p.
 - 17 هايزنبرغ، ف. المبادئ الفيزيائية للنظرية الكمومية. ترجمة محمد صبري عبد المطلب وانتصارات محمد حسن الشبكي. ط 2. دبي: كلمة للترجمة والنشر؛ 2011. 178 ص.
 - 18 Livesey DL. Atomic and Nuclear Physics. London: The University of British Columbia, Blasidell Publishing Company; 1966. 543 p.
 - 19 Yarwood J. Atomic and Nuclear Physics. Cambridge: The University of Tutorial Press Ltd.; 1973. 627 p.
 - 20 Shor PW. Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer. Society for Industrial and Applied Mathematics Journal on Computing. 1997;26(5): 1484-1509.
 - 21 MacFarlane A. Lectures on Ten British Mathematicians. London: Chapman and Hall; 1916. Chapter (4).
 - 22 Mano MM, Ciletti MD. Digital Design with Introduction to the Verilog HDL. 5th Edition. Hoboken, NJ: Pearson Education Inc.; 2013. 547 p.
 - 23 Glaser A. History of Binary and Other Non decimal Numeration. Washington, DC: Library of Congress; 1981. 231 p.
 - 24 Scheck F. Quantum Physics. Berlin/ Heidelberg: Springer; 2007. 741 p.
 - 25 Nath J, et al. Application of Decision Diagram to Design Quantum Circuits. Journal of Global Research in Computer Science. 2012;3(3): 5-8.
 - 26 Muthukrishnan A. Classical and Quantum Logic Gates: An Introduction to Quantum Computing. Quantum Information Seminar. Rochester Center for Quantum Information (RCQI); 1999. 22 p.
 - 27 Levitt MH. Spin Dynamics Basics of Nuclear Magnetic Resonance. 1st edition. New York: Jon Wiley and Sons; 2001. 686 p.
 - 28 Deutsch D. Quantum Computational Networks. Mathematical and Physical Sciences. 1989;425(1868): 73-90.
 - 29 Deutsch D. Quantum Theory, the Church-Turing Principle and the universal Quantum Computer. Proceeding of the Royal Society of London. A Mathematical and Physics Science. 1985;400(1818): 97-117.
 - 30 Benjamin P, et al. Simplifying Quantum Logic Using Higher-dimensional Hilbert Spaces. Nature Physics. 2009;5: 134-140.
 - 31 Aruna AG, et al. A Study on Reversible Logic Gates of Quantum Computing. International Journal of Computer Science and Information Technologies. 2016;7(1): 427-432.
 - 32 Grover LK. Quantum Computers can Search Arbitrarily Large Databases by Single Query. Physical Review Letters. 1997;79(23): 4709-4712.
 - 33 Ekert A, et al. Basic Concepts in Quantum Computation. Oxford, UK: Centre for Quantum Computation, University of Oxford; 2008. 46 p.
 - 34 Monroe D, et al. Demonstration of Fundamental Quantum Logic Gate. Physical Review Letters. 1995;75(25): 4714-4717.
 - 35 Suratgar AA, et al. Design of a Qubit and a Decoder in Quantum Computing Based on a Spin Field Effect. Journal of Applied Research and Technology. 2012;10(2): 152-160.
 - 36 Jones JA, Hansen RH, Mosca M. Quantum Logic Gates and Nuclear Magnetic Resonance Pulse Sequences. Journal of Magnetic Resonance. 1998;135(2): 353-360.
 - 37 Anwar MS, Blazina D, Carteret HA, et al. Implementing Grover's Quantum Search on A Para-hydrogen Based Pure State NMR Quantum Computer. Chemical Physics Letters. 2004;400(1-3): 94-97.
 - 38 Lamata L, Mezzacapo A, Casanova J, et al. Efficient Quantum Simulation of Fermionic and Bosonic Models in Trapped Ions. EPJ Quantum Technology. 2014;1(9), 13 p.
 - 39 Preskill J. Quantum Computing in the NISQ era and Beyond. Quantum. 2018; 2: 79-99.
 - 40 Martin-Lopez E, et al. Experimental Realization of Shor's Quantum Factoring Algorithm Using Qubit Recycling. Nature Photonics. 2012;6(11): 773-776.
 - 41 Miceli R, McGuigan M. Quantum Computation and Visualization of Hamiltonians Using Discrete Quantum Mechanics and IBM QISKit. New York Scientific Data Summit (NYSDS). IEEE Conference. New York, USA; 2018.
 - 42 Macridin A, Spentzouris P, Amundson J, et al. Electron-Phonon Systems on a Universal Quantum Computer. Physical Review Letters. 2018;121(11-14): 110504.



المجلة العربية للبحث العلمي
Arabian Journal of Scientific Research

