



نمذجة انتقال ملوثات اليورانيوم المنضب جنوب العراق

Modeling Depleted Uranium Contamination in Southern Iraq 2019

د. سعاد ناجي العزاوي
استاذ مشارك في الهندسة البيئية

Dr. Souad Naji Al-Azzawi
Associate Professor in Environmental Engineering



ARAB
Scientific
Community
Organization



Research Paper, 2019

ورقة بحثية

Summery

The environment and human population in Iraq have been exposed to radioactive contamination as a result of using depleted uranium (DU) weapons by US/UK armed forces during first Gulf War in 1991. Same weapons also were used during the military operations of Iraq's invasion and occupation in 2003 and its aftermath in 2004.

Since these weapons were used extensively in specific areas in southern Iraq during Gulf War, 1991, dozens of researches and studies were conducted during the Nineties by Iraqi researchers proved the existence of pollution in large areas of Basra and Nasiriyah and vicinity due to dispersion of the contamination by dust and rain storms. Contamination by Uranium radionuclides continues for hundreds or even thousands of years and its impact on human health is well identified in the international related literature .

The Department of Environmental Engineering at the University of Baghdad in 1996- 2002 conducted series of researches through graduate studies that include: site investigations



Keywords - الكلمات المفتاحية -
#Uranium # Depleted Uranium #
Souad_Alazzawi #Southern_Iraq
#depleted_uranium_contamination

#سعاد_العزاوي #الهندسة_البيئية
#جنوب_العراق #اليورانيوم_المنضب
#ملوثات_اليورانيوم



EMAIL
info@ArSCO.org



WEBSITE
WWW.ARSKO.ORG

نمذجة انتقال ملوثات اليورانيوم المنضب جنوب العراق

Modeling Depleted Uranium Contamination in Southern Iraq

Your text here 1

Dr. Souad Najji Al-Azzawi.

Associate Professor in Environmental Engineering



الدكتورة سعاد ناجي العزاوي
استاذ مشارك في الهندسة البيئية

حاصلة على بكالوريوس في الهندسة المدنية من جامعة الموصل في العراق عام 1976 في الولايات المتحدة، وعلى الماجستير في هندسة الجيوتكنيك من جامعة كولورادو للمناجم الأميركية وعلى الدكتوراة في هندسة الجيولوجيا البيئية كذلك من جامعة كولورادو للمناجم في اختصاص نمذجة انتقال الملوثات بالأبعاد الثلاثة من مواقع النفايات الخطرة والمشعة.

عملت كمهندسة تصاميم إنشائية لمدة خمس سنوات في دائرة مشاريع جامعة بغداد بعد الحصول على البكالوريوس. وبعد الحصول على شهادتي الماجستير والدكتوراة أصبحت عضو هيئة تدريسية في كلية الهندسة في جامعة بغداد عام 1991

شغلت منصب مدير مركز دراسات إعادة الإعمار في العراق لمدة ثلاث سنوات منذ عام 1994، ومدير تحرير مجلة دراسات وبحوث إعادة الإعمار في العراق. ثم منصب رئيس قسم الهندسة البيئية للدراسات العليا لمدة أربع سنوات منذ عام 1997 ثم أول عميد ومؤسس لكلية هندسة الخوارزمي في جامعة بغداد عام 2001.

and exploration programs in areas of military engagements in southern Iraq, modeling radioactive pollution dispersion through environmental elements, and assessing the risk related to the received effective radioactive doses by Iraqi army and residents of contaminated area.

In this paper the mathematical modeling procedure of the pollution dispersion is presented. Modeling contaminants transport covered the areas of (Safwan, Northern Rumaila field, Southern Rumaila field, al Zubair and Jabal Sanam), where DU weapons heavily used during the military operations of the first Gulf War in 1991.

The field and laboratory tests carried out in 1996 were considered limited compared to vast areas of military operations. Therefore, the mathematical modeling process was used with reverse analysis to be able to calculate radionuclides concentration back in 1991 rather than the time of site and laboratory measurement in 1996, and to define further areas contaminated through natural weathering processes.

The simulation and modeling process included the adoption of a conceptual model and the application of a set of internationally recognized equations explained in this paper. The equations were converted into computer programs to calculate the concentration of Uranium radionuclides decay series such as radium-226, thorium-234, and others from time of exploration program in 1996 back to 1991.

Results of this modelling process indicated that contaminants from hundreds of destroyed tanks and artilleries by DU shells in the studied areas have been spreading by wind and rains storms continuously for the period (1991-1996). Calculated contaminated land was found to be 1718 Km². Also, quantities of contaminated water washed away from destroyed artilleries through rainstorms found to be (1886103) m³, and that deposited radionuclides in close by river or surface water channels bed like radium-226, found to be about 14 km²

شغلت منصب نائب رئيس جامعة المأمون الخاصة للعلوم والتكنولوجيا للشؤون العلمية منذ عام 2004 لغاية 2011 ثم رئيس الجامعة. وحالياً أستاذ محاضر في الجامعة الكندية في دبي في الإمارات العربية المتحدة .

خلال مسيرتها الأكاديمية أشرفت على 16 أطروحة ماجستير و 6 أطاريح دكتوراة في الهندسة البيئية ونشرت بحدود 50 بحثاً وتقريراً فنياً في المجلات العلمية والمؤتمرات داخل وخارج العراق في مواضيع التلوث الصناعي والإشعاعي وتلوث المياه السطحية والجوفية وتصاميم منظومات السيطرة على الملوثات.

ومن أهم هذه البحوث إنجاز 12 بحثاً حول التلوث الإشعاعي باليورانيوم المنضب في العراق بعد حرب الخليج الأولى واختيار أفضل المواقع لردم والتخلص من النفايات الصناعية والمشعة في العراق. حاصلة على براءتي اختراع تقنيات حديثة للتخلص من الملوثات الصناعية وخمس جوائز علمية داخل وخارج العراق منها (Nuclear Free Future Award) في ألمانيا عام 2003.

عضو الجمعية الأمريكية لهندسة الجولوجيا البيئية AEG، وعضو جمعية الأكاديميين العراقية وكذلك جمعية الموارد المائية في العراق. وعضو نقابة المهندسين العراقية.

Received 24 January 2019; accepted 31 January 2019; published 27 March 2019

الخلاصة

تعرضت بيئة العراق والسكان للتلوث الإشعاعي نتيجة استخدام أسلحة اليورانيوم المنضب أثناء حرب الخليج الأولى عام 1991 ثم خلال العمليات العسكرية للغزو والاحتلال الأمريكي للعراق عام 2003 ومابعدھا، وكذلك مرحلة السيطرة على حركة مقاومة الاحتلال في المدن العراقية مثل الفلوجة وديالى وبابل وغيرها من المناطق. وحيث إن هذه الأسلحة استخدمت بكثافة في منطقة محدودة المساحة جنوب العراق خلال حرب الخليج الأولى عام 1991، فقد تم إجراء العشرات من البحوث والدراسات من قِبل باحثين متخصصين عراقيين، والتي أثبتت وجود التلوث في مناطق البصرة والناصرية وما حولهما، وكذلك اتساع رقعة التلوث الجغرافية بالعواصف الترابية والمطرية . إلا أن هذه البحوث لم تجد طريقها للنشر في المجلات العلمية العالمية آنذاك بسبب الحصار الاقتصادي والثقافي الذي تم فرضه على العراق. إن التلوث باليورانيوم يستمر لمئات بل لآلاف السنين وإن الآثار الصحية جراء التعرض لهذه الملوثات بين سكان المدن الجنوبية تتفاقم يوماً بعد يوم، فلا بد من الاطلاع على طبيعة المعضلة البيئية التي تعاني منها هذه المناطق.

بعد قيام قسم الهندسة البيئية في جامعة بغداد عام 1996 من إجراء برنامج تحريات موقعية في جنوب العراق، تم اعتماد النتائج في هذا البحث لإجراء عملية النمذجة الرياضية (Mathematical Modeling) لإيجاد تراكيز نويدات اليورانيوم المنضب المشعة لعام 1991، في مناطق منتخبة من جنوب العراق (صفوان، الزبير، حقل الرميلة الشمالي، حقل الرميلة الجنوبي، جبل سنم) والتي تم استخدام أسلحة اليورانيوم المنضب بكثافة فيها خلال العمليات الحربية لحرب الخليج الأولى عام 1991م .

إن برنامج الفحوصات الحقلية والمختبرية الذي تم إجراؤه عام 1996 كان محدوداً نسبياً للمناطق الشاسعة التي امتدت عليها العمليات العسكرية. لذلك تمت الاستعانة بعملية النمذجة الرياضية مع التحليل العكسي رجوعاً لعام 1991م لحساب تراكيز النويدات المشعة وليس وقت قياسها في 1996م.

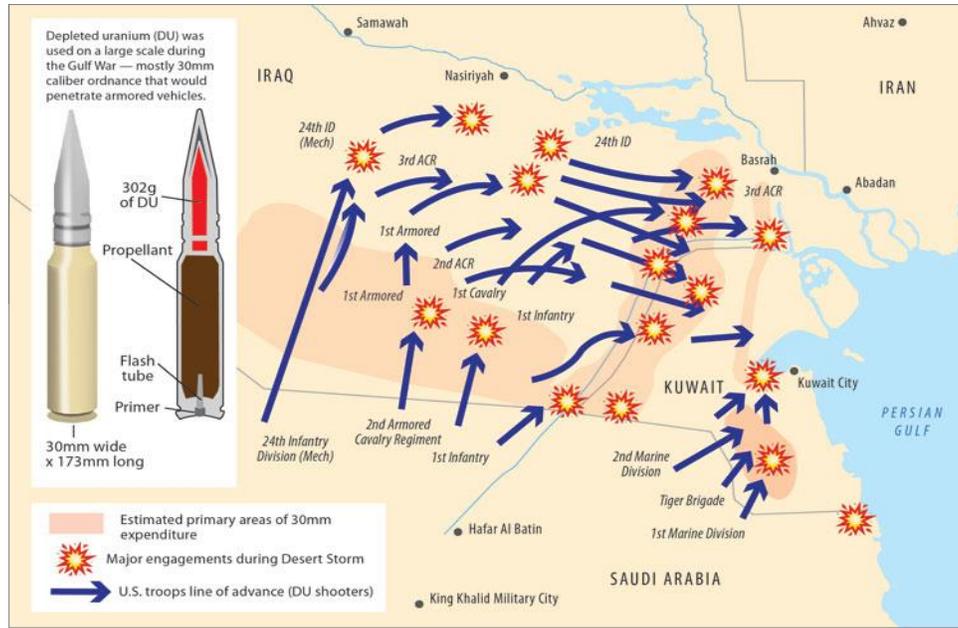
لقد شملت عملية التمثيل والنمذجة الرياضية (Simulation and modelling) اعتماد نموذج افتراضي وتطبيق مجموعة المعادلات المتعارف عليها عالمياً في هذا المجال والتي سيتم توضيحها في هذا البحث. وتم تحويل هذه المعادلات إلى برامج حاسوب لإجراء حسابات تراكيز النويدات الخاصة بسلسلة انحلال اليورانيوم مثل (الراديوم – 226) و (الثوريوم-234) وغيرها من عام 1996م رجوعاً لعام 1991م. ومن هذه النتائج تم إيجاد مساحات التربة والمياه والغطاء الخضري التي تلوثت بالمواد المشعة بعد انتقالها من منطقة لأخرى بالعواصف الترابية والتي تبين أنها بلغت حوالي (1718) كيلومتر مربع. كذلك تم تقدير كميات مياه العواصف المطرية التي نقلت وتلوثت أثناء جريانها سيول بالعناصر المشعة إلى القنوات المائية القريبة. لقد بلغت كميات هذه المياه حوالي (1,886,103) م³. أما ترسبات قاع الأنهار الملوثة بالنظائر المشعة وخاصة نظير الراديوم – 226 فقد بلغت (14) كم². أما الزيادة في التعرض الخارجي نتيجة النشاط الإشعاعي وزيادته عن الحد الطبيعي في المنطقة فقد كان بسبب انبعاث غاز (الرادون-222) من الدروع المدمرة بهذه الأسلحة وتكرار العواصف الترابية المحملة بأكاسيد اليورانيوم المنضب من المساحات الملوثة بها.

إن المعلومات التي تم إيجادها من خلال عملية النمذجة الرياضية تم معايرتها بالفحوصات الموقعية، ثم تم استخدامها لإيجاد معاملات الانتقال إلى الغطاء الخضري وعناصر السلسلة الغذائية وإلى الإنسان لتحديد الجرعة الإشعاعية الكلية والمكافئة التي تعرض إليها وتناولها سكان هذه المناطق والقوات المسلحة العراقية والأمريكية في بحوث لاحقة، علماً بأن هذه المشكلة لازالت قائمة، لأن هذه الملوثات تبقى في البيئة لمئات السنين في حال لم تتم إجراءات التنظيف الخاصة بالمواد المشعة.

Results of this modeling process were calibrated with site and laboratory tested samples and measurements, and then used to find transfer coefficients from land to vegetative cover and food chain stuff components. Transfer coefficients are important to define internal radioactive doses humans' body received as will explained in next related paper.

1.0 المقدمة

لقد قُدرت كميات اليورانيوم المنضب التي تم إطلاقها أثناء العمليات العسكرية لحرب الخليج الأولى من قبل القوات الأمريكية والبريطانية عام 1991م بحوالي (300-800) طن¹، وأن هذه الكميات تم إطلاقها على القوات العراقية التي كانت تنسحب من الكويت على الطريق البري الذي يربط الكويت بالبصرة جنوب العراق ثم شمالاً لبقية محافظات العراق (شكل 1 و 2)². ولذلك تركز وجود اليورانيوم المنضب في المناطق الحدودية مع الكويت وغرب مدينة البصرة شمالاً لغاية محافظة ذي قار والديوانية في العراق.

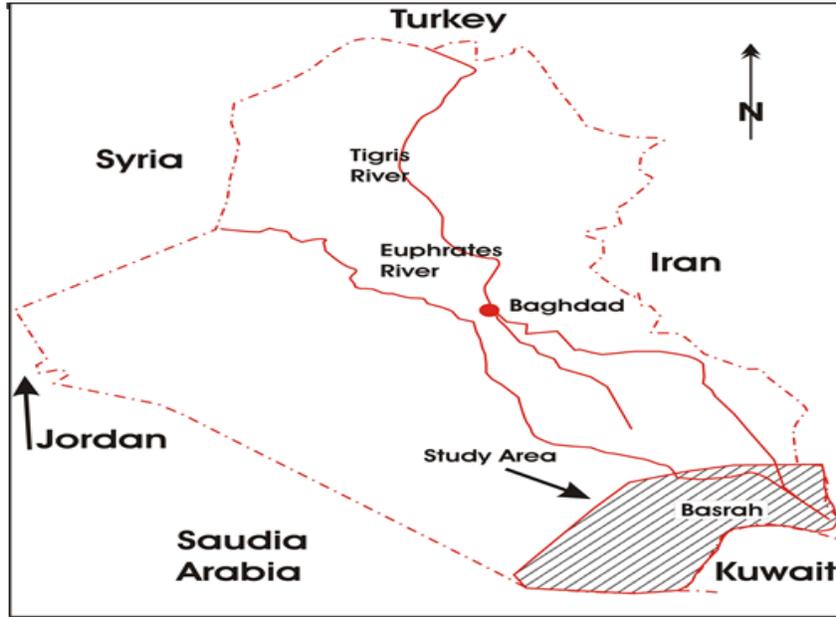


شكل 1 : المناطق التي استُخدمت فيها القوات الأمريكية والبريطانية اليورانيوم المنضب في حرب الخليج 1991².

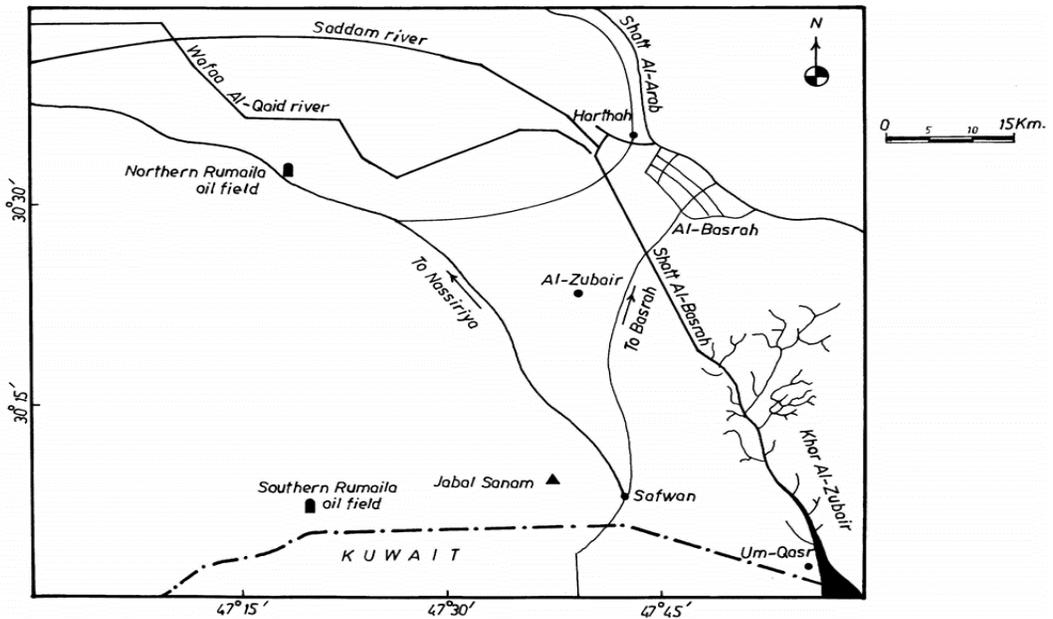


شكل 2 : (طريق الموت) بين الكويت والبصرة والذي استُخدمت فيه القوات الأمريكية والبريطانية قذائف اليورانيوم المنضب³

ولغرض إيجاد مساحات التلوث باليورانيوم المنضب وانتشارها في عناصر البيئة غير الأحيائية (الهواء، المياه، التربة) والأحيائية ومن ضمنها سكان مناطق الدراسة كان لابد من إجراء عملية تمثيل ونمذجة انتقال الملوثات من مواقع الدروع والآليات العسكرية التي تم تدميرها بأعتدة اليورانيوم المنضب (Depleted Uranium) من المناطق التي أخذت القياسات الموقعية فيها عام 1996م، وثبت وجود تلوث إشعاعي عالي فيها وهي مناطق (صفوان، الزبير، جبل سنام، حقل الرميلة الشمالي، حقل الرميلة الجنوبي) شكل (3 و 4) إلى المناطق المجاورة⁴.



شكل 3 : المناطق التي شملها البحث جنوب العراق

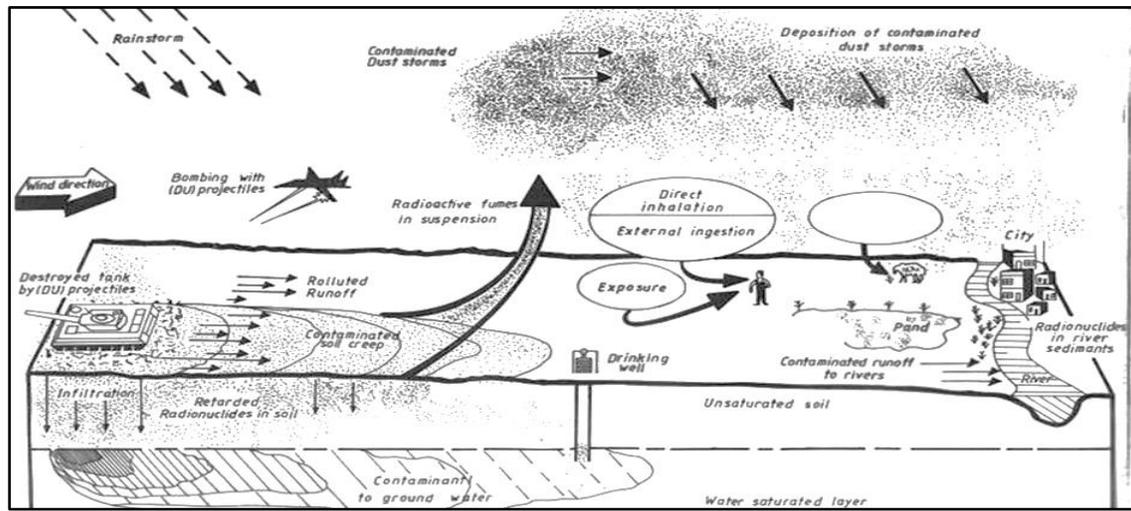


شكل 4 : مناطق العمليات العسكرية التي ثبت وجود التلوث باليورانيوم المنضب فيها بالتحريات الموقعية والفحوصات المختبرية⁴.

وسيتم في هذا البحث استعراض الخطوات التي تم اتباعها في عملية النمذجة والتمثيل (Simulation and modelling) لإيجاد مساحات الأراضي وحجوم المياه وتراكيز نويدات اليورانيوم المنضب التي امتدت إليها هذه الملوثات من مواقع الدبابات والاليات المدمرة غرب وجنوب البصرة للمناطق السكنية المجاورة.

2.0 التمثيل والنمذجة الرياضية لتحديد انتقال الملوثات المشعة للمناطق السكنية القريبة:

لإنجاز ذلك في هذا البحث تم وضع نموذج افتراضي (Conceptual Model) (شكل 5) لتحديد العناصر والعوامل الطبيعية والأخرى التي تتحكم في آليات انتقال الملوثات المشعة من مواقع الآليات المدمرة. كذلك تم تحديد واستخدام مجموعة من المعادلات المنطق عليها عالمياً لحساب انتشار التوزيع الكتلّي لتراكيز النظائر المشعة في قذائف اليورانيوم المنضب من مناطق الدروع المدمرة إلى الهواء، الماء، والتربة ليتم بعدها توظيف نتائج هذه المعادلات لإيجاد تراكيز الملوثات في عناصر السلسلة الغذائية ثم إلى الإنسان ⁴ ⁵.



شكل 5 : النموذج الافتراضي لمقطع من العمليات العسكرية التي استخدمت فيها قذائف اليورانيوم المنضب ⁵.

ولغرض التأكد من كفاءة تمثيل النموذج الافتراضي لواقع التلوث في المنطقة تم استخدام نتائج القياسات الموقعية والفحوصات المخبرية التي تم أخذها خلال عام 1996م (الجدول 1,2,3) لإيجاد بعض المتغيرات في المعادلات الخاصة بانتقال ملوثات أكاسيد ونويدات اليورانيوم المنضب للمناطق المجاورة. وحيث أن المطلوب هو حساب الأضرار المباشرة وغير المباشرة ابتداءً من عام (1991م)، فقد تم استخدام التحليل العكسي (Reverse Analysis) لحساب تراكيز المواد المشعة في عناصر البيئة المذكورة للأعوام (1995م، 1994م، 1993م، 1992م، 1991م).

جدول 1 : بعض قيم التعرض الإشعاعي التي تم قياسها لمناطق البحث ⁴ ⁵.



رمز النموذج	قيمة التعرض الاشعاعي $\mu\text{R/h}$								
S-1-1	7.9	S-1-8	7.7	SN-2-4	89.4	R-1-1	81.7	RK-2-3	51.3
S-3-1	7.6	S-1-9	7.7	SN-2-6	9.5	R-1-6	75.3	RK-2-5	98.3
SO-1-1	7.4	S-1-10	7.9	SN-2-7	9.3	R-1-7	8.4	RK-2-6	9.1
S-1-3	7.6	S-2-1	28.0	S-3-2	7.0	R-1-8	8.2	RK-2-7	8.9
SA-1-3	7.0	S-2-2	28.6	S-4-1	15.1	R-2-1	8.9	RK-3-1	42.0
SA-1-4	7.1	S-2-3	28.3	S-4-2	15.3	R-3-1	59.6	RK-3-2	43.1
SA-1-5	7.3	S-2-4	79.3	S-4-3	15.2	R-3-2	58.6	RK-3-3	42.8
SA-1-6	7.3	S-2-5	8.1	S-4-4	83.2	R-3-3	59.0	RK-3-4	92.1
SA-1-7	7.3	S-2-6	8.0	S-4-5	8.9	R-3-5	80.6	RK-3-6	9.8
SA-1-8	7.4	S-2-7	30.1	S-4-6	8.5	R-3-6	8.2	RK-3-7	9.3
SA-1-9	7.4	S-2-8	30.5	S-5-1	16.9	R-3-7	8.0	RK-4-1	43.0
SA-1-10	7.6	S-2-9	30.2	S-5-2	17.1	R-4-1	45.3	RK-4-2	43.3



S-1-4	7.3	S-2-10	82.4	S-5-3	16.3	R-4-2	46.1	RK-4-3	43.3
SA-1-11	7.2	S-2-11	8.2	S-5-4	92.1	R-4-3	43.2	RK-4-5	87.2
SA-1-12	7.5	S-2-12	8.1	S-5-5	9.3	R-4-4	78.2	RK-4-7	8.2
Z-1-2	7.1	SN-1-1	36.9	S-5-6	9.1	R-4-5	8.2	RK-4-8	8.2
Z-1-3	7.3	SN-1-2	36.8	S-6-1	14.3	R-4-6	8.2	S-7-1	49.5
Z-1-4	7.3	SN-1-3	36.9	S-6-2	14.5	RK-1-1	80.8	S-7-2	48.1
S-1-5	7.9	SN-1-4	184.5	S-6-3	14.4	RK-1-2	78.3	S-7-3	48.9
S-1-6	7.5	SN-1-7	9.4	S-6-5	75.4	RK-1-3	79.8	S-7-4	101.7
Z-1-5	7.4	SN-1-8	9.4	S-6-6	8.3	RK-1-4	152.3	S-7-7	9.5
Z-1-6	7.5	SN-1-10	9.0	S-6-7	8.2	RK-1-6	9.3	S-7-8	9.3
Z-1-7	7.6	SN-2-1	17.0	R-1-3	51.7	RK-1-7	9.0	SH-1-1	9.2
Z-1-8	7.1	SN-2-2	17.1	R-1-4	51.1	RK-2-1	51.3	SZ-1-1	10.3

ملاحظة: النماذج المظلة تمثل قيم التعرض الإشعاعي الأعلى من الخلفية الطبيعية لمنطقة الدراسة والبالغة (7) $\mu\text{R/hr}$.

جدول 2 : نتائج الفحوصات المختبرية لنماذج التربة من مناطق البحث ^{4, 5}.

رمز النموذج	U-235	Th-234	Ra-226	Bi-214	Pb-214



							RK-1-1	901	5570 0	3620 5	50.8	53.4
							RK-1-2	937	4210 0	2500 0	52.7	50.4
							RK-1-3	488	2110 0	1370 0	36.7	34.9
							RK-1-6	10.2 3	633	405	30.2	39.7
							RK-2-1	531	4090 0	2165 0	60.1	51.9
							RK-2-2	212	2330 0	1780 0	58.0	55.3
							RK-2-3	81	1180 0	7120	49.3	50.1
							RK-2-6	7.1	950	673	44.8	40.1
							RK-3-1	412	3735 0	1961 0	58.3	57.3
							RK-3-2	198	2170 0	1530 0	56.1	51.5
							RK-3-3	73	9125	6134	50.0	52.1
							RK-3-6	6.9	812	495	38.3	35.9
							RK-4-2	115	2301 0	1125 0	50.1	50.3
							RK-4-3	60	1320 0	8340	50.7	47.3
							RK-4-7	3.2	512	317	42.1	42.3



							S-7-1	86.3	6010	4310	44.9	47.1
							S-7-3	8.3	2120	1910	41.9	39.9



جدول 3 : تركيز النويدات المشعة في بعض نماذج مياه وترسبات القنوات المائية والمياه الجوفية في منطقة الدراسة 4، 6.

رمز النموذج	Ra-226	Bi-214	Pb-214
S1	81.6	175	62.5
	90.2	160	60.1
S2	102	207	62.7
	98	198	59.3
S3	70.6	158	148
	81.3	142	137
S4	32.5	12.4	30.2
	40.1	18.3	33.1
W1	48	114	37.7
	37	108	35.2
W2	23	47	39
	28	52	43

نموذج ترسبات قنوات مائية: S نموذج مياه سطحية: W

2.1 جمع ودراسة وتحليل المعطيات عن طبيعة المنطقة:

تم جمع ودراسة كافة المعلومات الخاصة بطبيعة المنطقة الطبوغرافية والمناخية والهيدرولوجية والجيومورفولوجية وكذلك توزيع آليات الجيش العراقي العسكرية التي تم تدميرها ضمن مناطق الدراسة وتحديد نسبة ما تم تدميره منها باستخدام قذائف اليورانيوم من المجموع الكلي . ولغرض تحديد المساحات التي انتشرت فيها ملوثات اليورانيوم المنضب تم دراسة كافة العوامل والمكونات الطبيعية لبيئة منطقة الدراسة ومنها:

2.1.1 الظروف المناخية:

لقد تمت دراسة كافة العناصر المناخية من الأمطار ودرجات الحرارة ونسبة التبخر والرياح وسرعتها والعواصف الترابية وكافة المعلومات التي تساهم في حساب انتشار وانتقال هذه الملوثات من مواقع الأهداف المصابة إلى أراضي المناطق السكانية المحيطة والقنوات المائية والغطاء النباتي سواء بالرياح أو بالسيول أو المياه الجوفية، وغيرها. وكما سنرى لاحقاً، أن كافة هذه المعلومات تم استخدامها بالإضافة لحسابات



نمذجة وانتشار الملوثات لتحديد الجرعة الإشعاعية التي استلمتها أجساد سكان المنطقة وحساب معاملات الخطورة المتوقعة من هذه الجرعة.

والجداول (4) (5) (6) توضح كميات السقوط المطري الشهري ومعدلات سرعة الرياح واتجاهاتها في منطقة الدراسة⁷. كذلك توضح الأشكال (6) (7) اتجاهات الرياح السائدة والعواصف الترابية عام 1991م والسنوات التي تلتها. ولا بد من الملاحظة هنا أن اتجاهات الرياح السائدة في العراق هي من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي أي باتجاه مناطق الكويت والخليج العربي.

جدول 4 : معدل السقوط المطري الشهري في منطقة الدراسة جنوب العراق (ملم) ⁷.

سنة	ك2	شباط	اذار	نيسان	ايار	حزيران	تموز	ا ب	ايلول	ت1	ت2	ك1	Total
1990	11.2	18.12	7.3	1.6	0.25	0	0	0	0	0	3.0	0.57	42.05
1991	56.3	39.3	32.4	14.95	0.001	0	0	0	2.9	61.65	2.1	21.75	241.4
1992	19.13	10.31	29.92	4.75	0.85	0.001	0	0	0	0	36.75		130.2
1993	51	26.82	3.57	55.47	8.67	0.001	0	0	0	5.925	8.75	3.1	163.3
1994	25.1	1.12	14.3	6.325	1.37	0	0	0	0.001	18.5	38.875		132.7
1995	21.9	20.17	12.77	25.4	3.1	0.001	0	0	0.001	0	3.65	32.9	119.9

جدول 5 : اتجاهات الرياح السائدة خلال أشهر السنة في مناطق الدراسة ⁷.

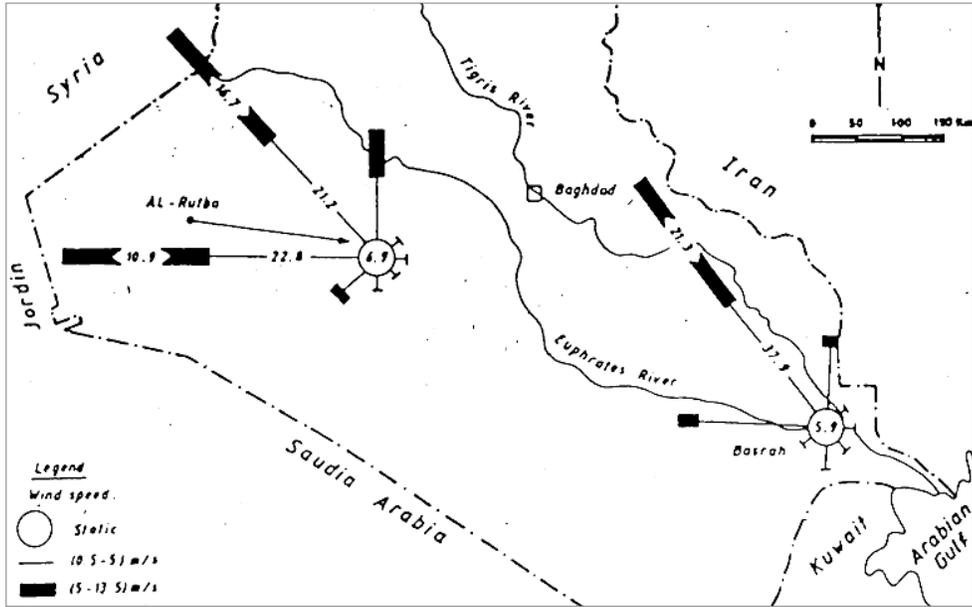
سنة	ك2	شباط	اذار	نيسان	ايار	حزيران	تموز	ا ب	ايلول	ت1	ت2	ك1
1990	W/N W	NW	NW/ W	NW	NW N	NW/ W	NW/ W	W/N W	W/N W	N W	w	W
1991	NW	W/N W	NW/ W	NW/ W	N W	NW	NW	NW	NW	NW	N W	W



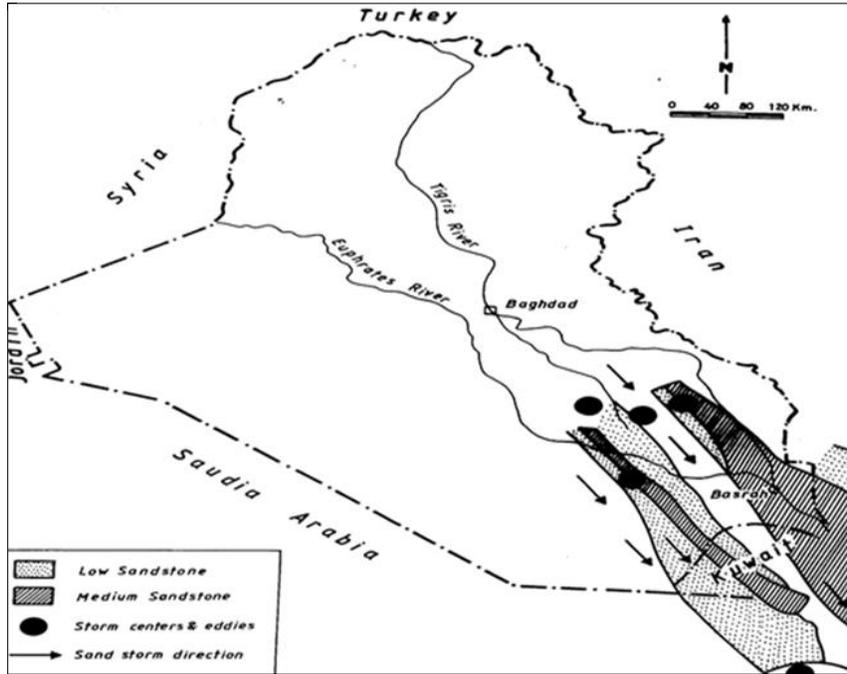
1992	NW	NW	NW	NW	NW N	NW	NW	W	NW	W	w	W
1993	NW	W	NW/ W	SE/N W	N W	WN W	W/N W	NW	W	W	N W	N W
1994	W	W	W/S E	W/N W	W	W	W	W	W	NW	SE	W

جدول 6 : معدل سرعة الرياح الشهرية (م/ث) للسنوات م 1990م - 1994م في منطقة الدراسة ⁷.

شهر سنة	ك2	شباط	اذار	نيسان	ايار	حزيران	تموز	اب	ايلول	ت1	ت2	ك1
1990	2.7	3.4	4.3	4.6	5.4	6.2	5.3	5.7	4.8	3.1	2.5	2.6
1991	4.2	3.7	3.5	5.1	4.2	5.1	6.9	5.3	5.0	2.6	3.3	3.8
1992	3.3	4.1	3.4	4.2	4.3	5.8	6.9	3.7	2.6	2.4	2.6	3.3
1993	2.4	3.1	4.1	4.2	3.8	5.4	5.4	4.1	3.4	1.7	3.7	2.3
1994	3.9	3.6	3.7	3.4	4.1	5.5	5.4	5.5	2.5	2.9	4.1	3.2
Mean	3.3	3.6	3.8	4.3	4.4	5.6	5.96	4.9	3.7	2.5	3.2	3.1



شكل 6 اتجاهات الرياح السائدة في مناطق الدراسة جنوب العراق 7.

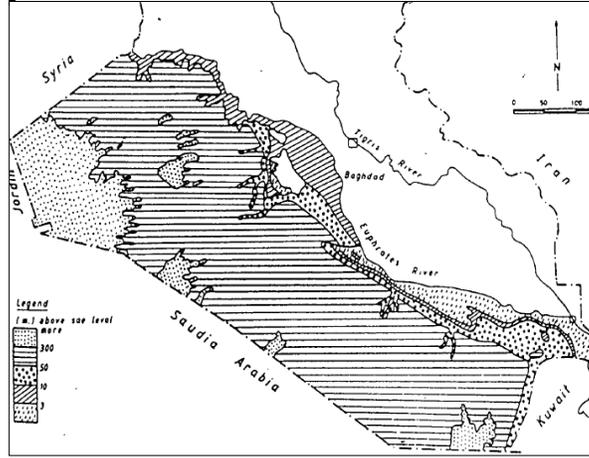


شكل 7: اتجاه العواصف الترابية والرملية السائد في مناطق الدراسة 8.

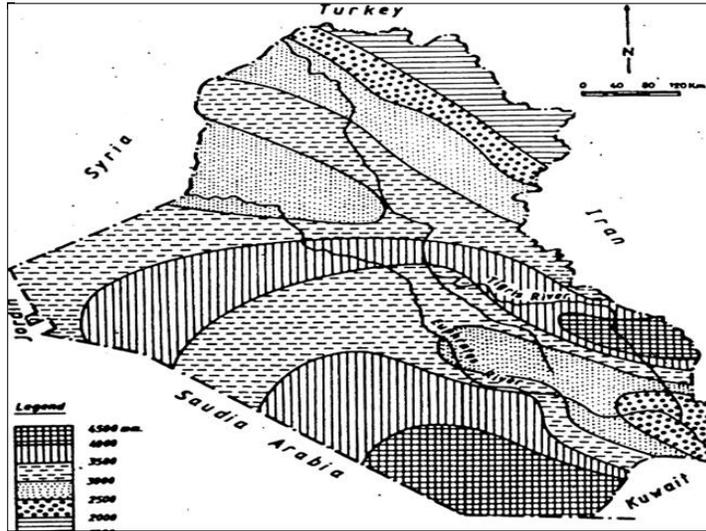
2.1.2 المعلومات الجيوغرافية الأخرى

لقد تمت دراسة كافة المعلومات والمخططات والتقارير الفنية التي تخص الجوانب التالية: (جيولوجيا المنطقة، جيومورفولوجيا وطبوغرافية المنطقة، هايدرولوجي وهيدروجيولوجيا المنطقة، نوع التربة والعواصف الرملية، الغطاء الخضري والتوزيع الأحيائي لمنطقة الدراسة، معلومات أخرى). والأشكال

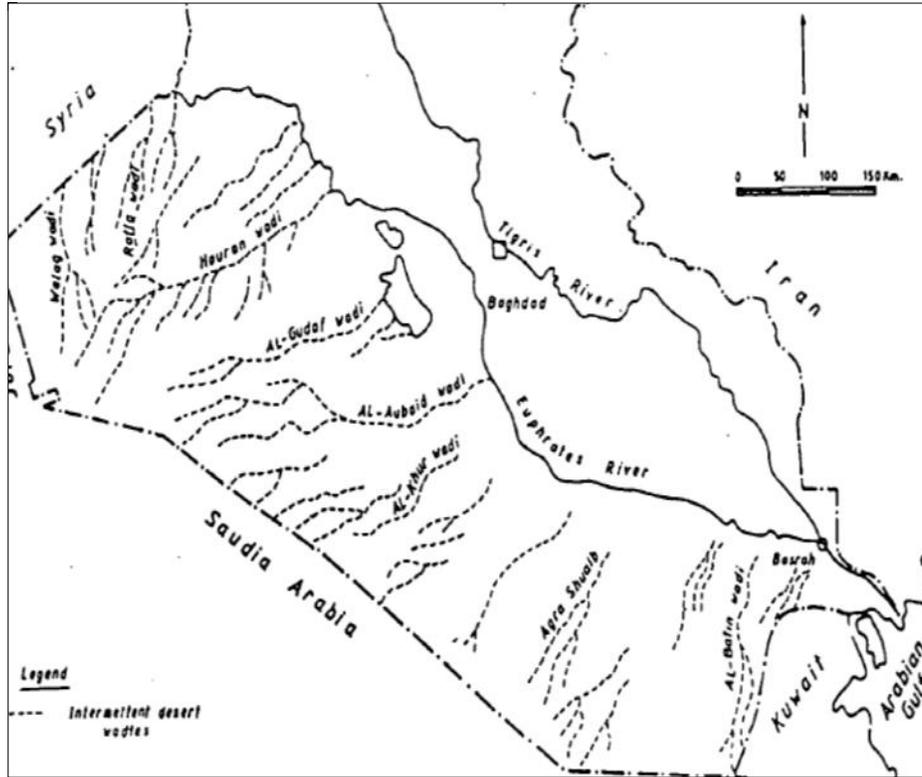
(8,9,10) توضح خلاصات للمعلومات التي تمت دراستها عن المنطقة⁹. لقد ساهم فهم طبيعة المنطقة وحركة المياه السطحية فيها والجوفية وتوزيع الغطاء الخضري وكذلك طبيعة التربة والتضاريس في برنامج توزيع القياسات الحقلية واتجاهات جمع النماذج حول الأهداف العسكرية المدمرة ثم دورها الأساسي في عملية النمذجة الرياضية لحسابات انتشار وانتقال الملوثات المشعة في المنطقة في عناصر البيئة المختلفة.



شكل 8 : الخارطة الطبوغرافية لمنطقة الدراسة⁹.



شكل 9: خارطة توزيع معدل التبخر السنوي في العراق⁹.



شكل 10: الخارطة الهيدرولوجية لمنطقة الدراسة⁹.

2.2 المعطيات المتوفرة لعملية التمثيل والنمذجة الرياضية:

2.2.1 انتقال الملوثات المشعة في الهواء :

بقصف وارتطام قذائف اليورانيوم المنضّب بالهدف تنفجر وحوالي 70% من القذيفة يتأكسد ويتشظى مولداً غيوم تلوث ناجمة عن احتراق المادة المتفجرة في القذيفة (Ignition) وهي غيوم أكاسيد اليورانيوم، لونها رمادي إلى فضي تنتقل في الهواء بآليات التعلق (suspension) لمسافات تزيد عن 40 كيلومتر¹⁰ ثم تترسب على التربة والغطاء الخضري ويقوم الإنسان أثناء ذلك باستنشاقها أينما تواجد على طريق مساراتها. أما جسم القذيفة فإنه يتشظى إلى أجزاء صغيرة تنتشر الأجزاء الثقيلة منه ضمن حدود 5-7 متر حول الهدف المدمر¹⁰. وحسب حجم ووزن هذه الجزيئات فإن طرق الانتقال والانتشار في الهواء سيكون وفق إحدى هذه المعادلات:

- غيوم التلوث الناتجة عن احتراق وقود القذيفة حال الارتطام بالهدف أو الآلية والتي تحدها المعادلة التالية¹¹ :

$$C_a = \frac{Q}{\pi n \sigma_z \sigma_y}$$

حيث تمثل كل من:
C_a: تركيز الملوثات أثناء انتقالها



بالهواء (gm/m^3)
 Q: مقدار انبعاث المواد الملوثة من
 المصدر (gm/s)
 u: سرعة الرياح (m/s)
 π : النسبة الثابتة (3.14159).
 $\sigma_z \sigma_y$ معاملات الانتشار والتشتت
 وتستخرج من البيانات التي تعتمد على
 الأنواء الجوية وحالات الطقس في
 المنطقة (m^2).

- تلوث الهواء الناتج عن وجود الشظايا والأهداف المصابة في المنطقة: إن أجزاء القذائف والدروع المتأينة نتيجة الارتطام بها وكذلك الشظايا تعتبر مصدراً مستمراً (continuous source) لانبعاث غاز الرادون المشع (R_n-222) في منطقة الدراسة. لقد تم حساب تركيز غاز الرادون في هواء التربة الملوثة من خلال المعادلة التالية وبواسطة جهاز (Vibrating-reed Electrometer) ¹²:

$$C_s(Z) = 5.15 \times 10^8 \times (V/R_x) P(\lambda_{R_n} T)_{exp}$$

حيث تمثل كل من:
 $C_s(Z)$: تركيز الرادون (R_n-222) في
 هواء التربة (Pci/ Cm^3)
 V: القيمة المسجلة في جهاز قياس تركيز
 الرادون (mV).
 R_x : مقاومة الدخول للجهاز (Ω).
 P_{exp} : معامل التصحيح لتخفيف هواء
 التربة.
 λ_{R_n} : ثابت انحلال غاز الرادون (s^{-1}).
 T: الوقت بين النمذجة والقياس (s).

- أما قياس انبعاث غاز الرادون (R_n-222) في الهواء بالاعتماد على تركيز النظير (R_a-226) في التربة فيتم وفق المعادلة التالية ¹³:

$$R_n = \lambda_{R_n} \times C_{soil R_a} \times \rho_{soil} \times F_r \times L_{R_n}$$

حيث يمثل:
 R_n : كمية انبعاث غاز الرادون (R_n-222)
 ($\text{Bq/m}^2 \cdot \text{s}$).
 λ_{R_n} : ثابت انحلال (R_n-222)
 بوحدات (s^{-1}) ويمكن حسابه باستخدام
 المعادلة ¹⁴:
 $t_{1/2} = \text{Ln}2 / \lambda$
 $C_{soil R_a}$: تركيز نظير الراديوم في التربة
 (Bq/kg).
 ρ_{soil} : كثافة التربة (kg/m^3).
 F_r : سهولة الانبعاث لغاز الرادون (R_n-
 222).

L_{R_n} : طول مسار انتشار (R_n-222)
 خلال التربة (m) ويتم حساب L_{R_n} من
 المعادلة التالية ¹⁵:
 Δ_{eff} : معامل انتشار (R_n-222) بوحدات
 (m^2/s).
 ρ_{soil, P_s} : مسامية التربة.

$$L_{R_n} = \sqrt{\Delta_{eff} / \lambda_{R_n} \rho_{soil, P_s}}$$



2.2.2 طرق انتقال الملوثات المشعة في التربة

عند اصطدام إطلاقة يورانيوم منصّب (DU) بألية مدرعة فإن 70% من الإطلاقة يتأكسد وتتبعثر هذه الأكاسيد على شكل دقائق صغيرة داخل وحول الهدف المصاب وبالرغم من أن 60% من هذه الدقائق تكون بقطر أقل من (5) مايكرون وأن التلوث بهذه الدقائق والأكاسيد سينتقل لمسافات محددة ثم يترسب وفق المعادلة التالية¹⁶:

$$V_d = \frac{2GR^2(S - A)}{9C}$$

حيث يمثل:

Vd: سرعة الترسيب للدقائق المنتقلة (cm/s).

G: قيمة التعجيل الأرضي (980 cm/s²).

R: نصف قطر الدقائق المتطايرة (Cm).

S: كثافة الدقائق (gm/cm³).

A: كثافة الهواء تحت الضغط الجوي وهي

(1.213*10⁻³ gm/cm³).

C: معامل لزوجة الهواء تحت ضغط جوي واحد وهي

(1.827*10⁻⁴ poise).

أما بقية الأجزاء والشظايا فتنشر في دائرة بقطر (5-

7) متر حول الهدف المدمر [10].

فإن آلية انتقال هذه الملوثات في التربة تعتمد لدرجة كبيرة على طبيعة وتركيب التربة وحركة الرياح السائدة في المنطقة، وإن هذه الرياح تساهم بتعرية التربة الحاوية على هذه الملوثات فتنقلها لمسافات قصيرة أو طويلة اعتماداً على شدة هذه الرياح وقطر دقائق التربة والملوثات، وبشكل عام فإن انتقال الملوثات في التربة يتم بالطرق التالية:

• الانتقال السطحي للملوثات مع التربة (Surface Migration of Radionuclides with soil)

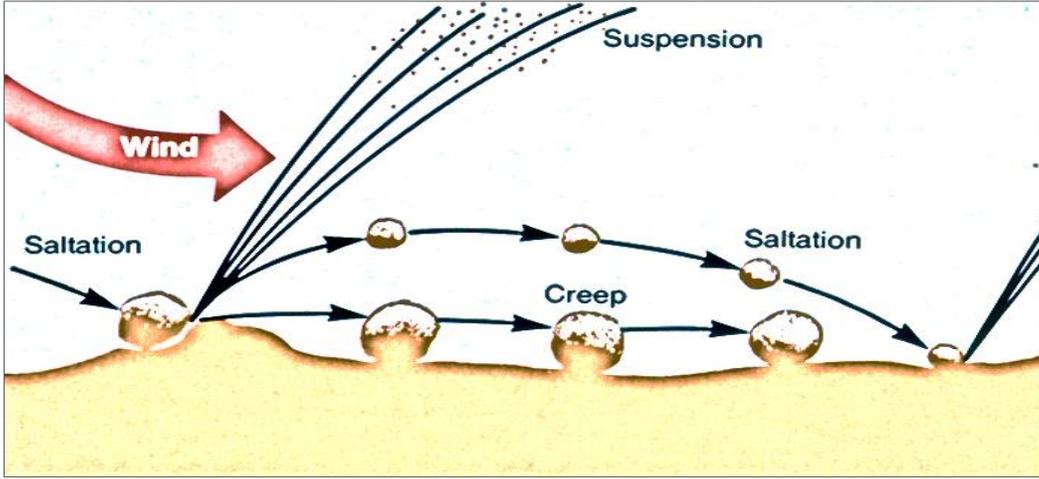
وذلك عن طريق¹⁷:

أ - الوثب (Saltation).

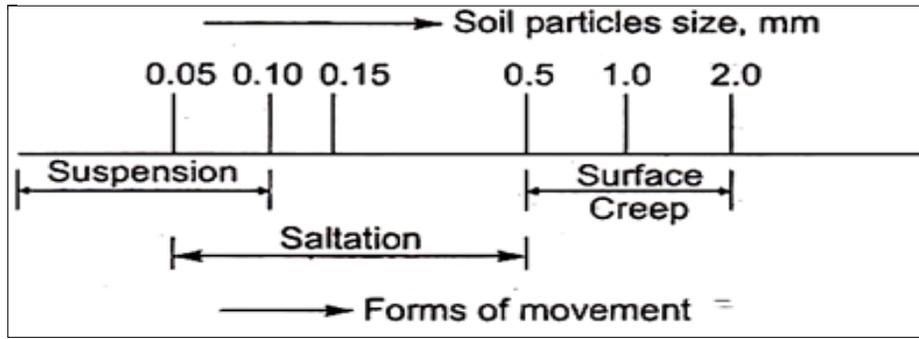
ب - الزحف (Creeping).

ج - التعلق في الهواء (Suspension)

إن انتقال التربة والملوثات بإحدى هذه الآليات (الموضحة في الشكل 11) يعتمد بدرجة كبيرة على العلاقة بين قطر دقائق التربة ونوعها وسرعة الرياح في مناطق الدراسة. كذلك يبين (الشكل 12) تأثير سرعة الرياح وحجم دقائق التربة على سيطرة إحدى هذه الآليات الثلاثة في انتقال التربة والملوثات المشعة معها من منطقة المصدر للمناطق المجاورة¹⁸.



شكل 11: آليات انتقال التربة والتعرية بالرياح¹⁷.



الشكل 12: قطر حبيبات التربة التي تنتقل بالرياح بآليات الزحف أو الوثب أو التعلق¹⁸.

لقد تم دراسة منطقة البحث بشكل مستفيض من النواحي المناخية ومنها اتجاه وسرعة الرياح والطوبوغرافية وطبيعة التربة¹⁹ وكذلك تم تحديد حركة الكتلان الرملية (شكل 7)

وتبين أن معظمها ينتقل بالاتجاه الجنوبي الشرقي، وبذلك فإن الكثير من هذه الملوثات رجعت إلى الأراضي الكويتية بالعواصف التي تلت القصف الجوي والبري الأمريكي البريطاني بهذه الأسلحة.

أما المعادلات التي تحدد الانتقال والانتشار السطحي لهذه الملوثات في التربة ولمسافات بعيدة فقد اعتبرت آلية التعلق هي السائدة وخاصة بوجود العواصف الترابية في المنطقة والذي يشبه إلى درجة كبيرة الانتقال والانتشار في الهواء من مصدر نقطي محدد (point source)، ولكن في هذه الحالة سيكون المصدر هو مساحة التربة الملوثة (Area Source)، ونستطيع تطبيق المعادلة (1) التي ذكرت سابقاً مع تغيير الشروط الحدودية لها آخذين بعين الاعتبار أن قيمة معدل سرعة الرياح لأغراض الانتقال في الأشهر التي تزداد فيها العواصف الترابية والرملية (حزيران، تموز، آب) اعتبرت (6 متر/ ثانية)⁷.

وبعد إيجاد قيمة (C_a) يتم إيجاد تراكيز الملوثات المشعة على سطح التربة بالمعادلة¹¹ :

حيث تمثل:

C_s : تركيز الملوثات على سطح التربة لكل ثانية (gm/m^2 .s)

$$V_d \times C_s = C_a$$



V_d : سرعة الترسيب للدقائق المنتقلة (m/s).

2.2.3 انتقال الملوثات المشعة في مقد التربة (Migration through soil profile)

إن ترشح هذه الملوثات أو النظائر المشعة في مقد التربة يتم من خلال المياه السطحية (Surface runoff) التي تترشح وتجري بين مسامات التربة ثم الطبقات الأرضية الأخرى، وحيث أن هذه المواد عناصر ثقيلة بالأساس وقابليتها للذوبان في المياه قليلة جداً، فإن الكثير منها سوف يتم صده وإيقافه في الطبقة السطحية من التربة. لقد تم استخدام معادلة انتقال الملوثات (بالحمل-الانتشار) (Advection – Dispersion Eq.) لتمثيل انتقال هذه الملوثات في مقد التربة وكما يلي²⁰:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \theta \frac{\partial c}{\partial t} = \theta D_s \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} - Q$$

حيث أن كل من:
c: تركيز المادة المشعة في ماء التربة (gm/cm³)

θ : المحتوى المائي للتربة (cm³/cm³).
 D_s : معامل الانتشار الحركي للتربة (cm²/h).

v: سرعة الترشح للمياه الجوفية أو المياه المترشحة (cm/h).

s: كمية المادة الملوثة الممتزة على وحدة حجم من التربة (gm/cm³).

Q: معدل النقصان من مصدر التلوث (gm/cm³/h).

T: الزمن (hr).

x: طول عمود التربة (cm).

وبفرض حالة التوازن بين (s, c)

حيث تمثل:
K: معامل التوزيع للملوث في مقد التربة (Distribution Coefficient cm³/g).
 ρ : كثافة التربة في المنطقة (gm/cm³).

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \rho K \frac{\partial c}{\partial t}$$

وفي حالة الملوثات المشعة وبوجود الامتزاز (Adsorption) تصبح المعادلة:

$$\theta D_s \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} - \lambda c = \theta \frac{\partial c}{\partial t} + \rho K \frac{\partial c}{\partial t}$$

2.2.4 انتقال الملوثات المشعة في المياه السطحية والجوفية

تنتقل النويدات المشعة بالمياه السطحية عن طريق السيول الناجمة عن العواصف المطرية. إن السيول تجرف معها التربة الملوثة من الأهداف المصابة بقذائف اليورانيوم المنضّب إلى أقرب مصدر مائي سطحي



(نهر، هور، بحيرة، إلخ) وفي المصدر المائي هذا تترسب التربة والمواد المشعة معها في القعر أو تجري مع مياه المصدر مع الترسبات العالقة (Suspended load). إن النويدات المشعة تمتزج مع هذه الترسبات كيميائياً أو فيزيائياً (Chemical or Physical adsorption) حيث أن هذه النويدات قليلة الذوبان عموماً في المياه، وهي كذلك من المعادن الثقيلة. إن عملية الامتزاز التي تحدد تراكيز النويدات المشعة بين المياه والتربة ممكن تحديدها بالمعادلة ²¹:

$$K_d = \frac{\mu\text{g}/\text{kg}}{\mu\text{g}/\text{m}^3}$$

حيث يمثل:

K_d : معامل التوزيع (Distribution Coefficient) لتركيز النويده بين التربة والماء حول قيمة محددة لكل نويده.

أما انتقال وهجرة المواد المشعة في التربة والطبقات الأرضية النفاذة المشبعة بالمياه الجوفية فيتم وفق المعادلة ²²:

$$R \frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} - R \lambda c$$

حيث تمثل:

R : معامل الإعاقة في التربة ويساوي $1 + \frac{\rho K_d}{\theta}$

ρ : كثافة التربة (Kg/m^3)

K_d : معامل التوزيع (m^3/s)

θ : معامل الرطوبة (%).

D : ثابت الانتشار والتشتت (m^2/s)

c : تركيز الملوثات (gm/m^3)

x : المسافة (m)

v : سرعة ترشح أو جريان الماء في التربة (m/hr)

t : الزمن (yr)

λ : ثابت الانحلال $1/(\text{Yr.d})$

3.0 التمثيل والنمذجة الرياضية لانتقال الملوثات المشعة في عناصر البيئة المختلفة في منطقة الدراسة:

3.1 . وضع النموذج الافتراضي لتوزيع الكتلة المشعة في عناصر البيئة المختلفة (The conceptual model)



لقد تم وضع واعتماد النموذج الافتراضي الموضح في الشكل (5) لإجراء عملية حسابات انتقال وانتشار كتلة اليورانيوم المنضّب ونظائره الأخرى في المسالك البيئية وعناصرها المختلفة في منطقة الدراسة. ومن خلال المعلومات التي تم جمعها فإن النموذج الافتراضي يوضح ما يلي:

- I. قصف أو تدمير درع واحد بقذائف يورانيوم منضّب من طائرة أو حوامة A-10 Thunderbolt.
- II. إن كتلة اليورانيوم التي يحتويها كل نوع من القذائف تم توضيحها في (جدول 7) ستوزع حال ارتطامها بالهدف إلى غيمة دخان رمادي إلى فضي ناتجة من الانفجار واحترق العبوة التي تسقط وترسب على التربة المحيطة بعد أن تنتشر وفق المعادلة (1). أما أجزاء القذيفة والهدف المدمر الذي تأين وتلوث بارتطام القذيفة به فإن 70% من هذه الشظايا سيتوزع على مساحة مربع بالعرض (5 × 8) متر² على التربة المحيطة بالدرع المصاب اعتماداً على حجم الهدف العسكري الذي تم تدميره وحجم أعتدة اليورانيوم المنضّب التي استخدمت¹⁰.

جدول 7: الأسلحة التي يتم فيها استخدام ذخائر وقذائف اليورانيوم المنضّب في الولايات المتحدة الأمريكية²³

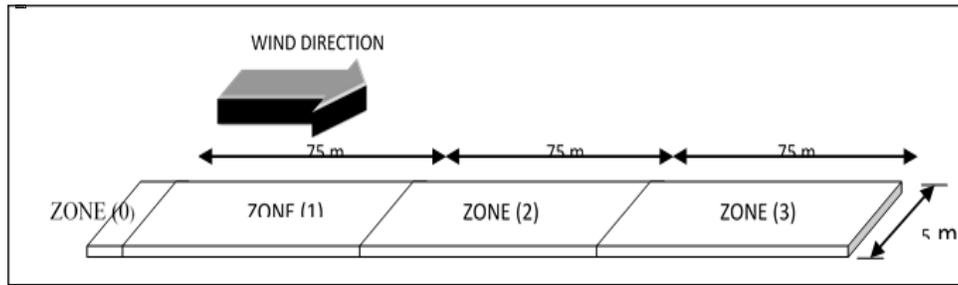
Cartridge	Caliber (mm)	Type of Weapon	DU Weight
GAU-8	30	Air Force A- 10A Thunder bolt II	300 gm
PGU-14	30	Navy Version	300 gm
M735A1	105	US Army – Tanks M1 and M60 equipped with an M68	2.2 kg
M774	105	US Army	3.4 kg
M827	120	US Army – Tanks M1, M60 and Tanks MIA1, MIA2, “abrams”	3.1 kg
M829 (E1&E2)	120	US Army – Tanks M1, M60 and Tanks MIA1, MIA2, “abrams”	4.0 kg
M829 (A1&A2)	120	US Army – Tanks M1, M60 and Tanks MIA1, MIA2, “abrams”	4.9 kg
M833	105	US Army – Tanks M1, M60 equipped by EX35-105 mm	3.7 kg

XM919	25	US Army – Bradley Fighting Vehicle	85 kg
XM900E1	105	US Army – Tanks M1, M60	10 kg
ADAM & PDM	Land Mines	US Army –155 mm howitzer	0.1 gm

III. إن الكتلة المشعة التي تشظت وتناثرت ستنقل وتنتشر في المسالك البيئية (Environmental Pathways) وعناصرها كما يلي:

1. في الهواء – نتيجة انتقال غيمة التلوث مباشرة وتم تطبيق (معادلة 1) أو
2. بالعواصف الترايية سنوياً بعد ترسبها على التربة المحيطة بالهدف وفق (المعادلة 6).
3. وفي التربة يتم انتقال المواد المشعة إلى المساحات المجاورة وباتجاه الرياح السائدة بطرق:

- التعلق ثم الترسب مرة ثانية (معادلة 6)،
- الزحف ثم، الوثب، وحيث أن طبيعة المنطقة رملية لذلك يمثل الانتقال بالزحف والوثب حوالي 75% من الحركة الكلية ويفقد المتر المربع الواحد من الأرض سنوياً حوالي (43.2%) من التربة، أما مسافة الحركة السنوية للتربة الرملية لمثل منطقة الدراسة فتبلغ بحدود (75) متر²⁴ حيث تمتد المساحة الملوثة على شكل شريط طولي باتجاه حركة الرياح السائدة وتنقسم بذلك إلى عدة أقسام، وكل منها يمثل أحد الأعوام، فالقسم الأول يمثل الحيز 1 (Zone 1) في الشكل (13) والذي يمثل انتشار الملوثات لعام 1991 م يليه القسم الثاني أو الحيز (Zone 2) والذي يخص عام 1992 م ويستمر لغاية 1996 م، و يبلغ عرض و طول كل حيز (75m, 5m) على التوالي⁴.



شكل 13: أنطقة حركة التربة السنوية باتجاه الرياح السائدة في منطقة الدراسة⁴

4. انتقال الملوثات المشعة في المياه حيث تنجرف مع السيول الناتجة من العواصف المطرية السنوية ثم إلى القنوات المائية المجاورة، أو بالترشح المباشر عن طريق المياه الجوفية السطحية في نفس مناطق إصابة الدروع (معادلة 11 و 12) أو المياه الجوفية العميقة⁶.

IV. لقد تم الأخذ بنظر الاعتبار اختلاف تراكيز اليورانيوم المنضب لكل مجموعة من الأهداف العسكرية التي تم تدميرها بهذه القذائف بسبب تباين حجوم إطلاقات اليورانيوم المنضب التي استخدمت،

واختلاف عدد الإطلاقات المستخدمة لتدمير الدرع الواحد. وتم حساب تراكيز الملوثات المشعة بوحدات القياس $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ولتحديد الكتلة الكلية للمواد المشعة حسب حجم القذيفة المستخدمة والموضحة في جدول (7) لتفجير نوع معين من الدروع أو الآليات تم استخدام ثلاث مجاميع من التراكيز للملوثات المشعة وكما يلي²⁵:

- A. ملوثات ناتجة عن تدمير 1234 آلية بقذائف يورانيوم منصّب كبيرة وبتركيز عالي.
- B. ملوثات ناتجة عن تدمير 1430 آلية بقذائف يورانيوم منصّب متوسطة وبتركيز متوسط.
- C. ملوثات ناتجة عن 3060 آلية مدمرة بقذائف يورانيوم منصّب صغيرة وبتركيز واطئ.

V. لقد تم تقدير مجموع الآليات المدمرة المتواجدة في الأراضي العراقية بحوالي 5724 آلية وهي جزء من الآليات التي ادعت القوات الأمريكية والبريطانية تدميرها على مايسمى (بطريق الموت) حيث كانت هذه الآليات التي يقودها الجيش عند انسحابه من الكويت متجهة من مدينة الكويت العاصمة إلى البصرة ثم شمالاً للناصرية والكويت (شكل 2)، وحسبما تم نشره من مصادر صحفية أمريكية كانت ترافق القوات الأمريكية في جبهات القتال²⁶،²⁷ وبذلك فإن انتقال وانتشار هذه الملوثات في المسالك والعناصر البيئية التي ذكرت سابقاً تم حسابه على أساس الهدف الواحد أولاً ثم ضرب النتائج حسب مستوى تلوثه (عالي، متوسط، واطئ) بأعداد الدروع والآليات المذكورة في أعلاه في منطقة الجنوب لاستخراج مجموع المساحات التي تلوثت للتربة وكذلك حجوم المياه السطحية والجوفية الملوثة. إن هذه النتائج ستستخدم في بحث لاحق لإيجاد معاملات انتقال المواد المشعة من التربة إلى النبات ثم إلى حيوانات الرعي فالإنسان.

3.2 حسابات توزيع كتلة الملوثات المشعة في الهواء والتربة والمياه :

لقد تم وضع برامج على الحاسوب بلغة بيسك (BASIC) لحساب التراكيز الكلية للملوثات المشعة من المعادلات التفاضلية التي ذكرت سابقاً لكل حيز موضح في النموذج الافتراضي (شكل 13) ولأعوام 1991 م ولغاية 1996 م ، وبعد وضع البرامج الخاصة بحل المعادلات التفاضلية الخاصة بتلوث التربة والمياه تم استخدامها آخذين بنظر الاعتبار حسابات التراكيز الأولية من المصدر حسب نوع القذيفة وحجمها وكتلة المادة المشعة الموجودة فيها مع عمر النصف والفاعلية النوعية لكل منها وكذلك إدخال معلومات عن التربة (كثافة، الكمية المنجرفة) وتقسيم كميتها المنقولة بالرياح ما بين (الزحف والوثب) من جهة والتعلق من جهة أخرى، وتحديد المسافة السنوية لحركة التربة بواسطة الرياح السائدة، ثم حساب كمية المواد الملوثة المشعة المنتقلة سنوياً من المصدر (الحيز 0) إلى باقي المناطق مع تكرار هذه الخطوة كل سنة آخذين بنظر الاعتبار تغير التراكيز عند المصدر. وتبين الجداول (8,9,10) تراكيز المواد الملوثة المشعة في التربة بوحدات ($\mu\text{g}/\text{m}^2$) والنتيجة عن الأهداف المدمرة بتراكيز (عالية، متوسطة، واطئة) وعلى التوالي. أما كمية المياه الملوثة فتعتمد بدرجة كبيرة على كمية الأمطار الساقطة على المنطقة وكذلك طبيعة التربة الملوثة ومساحتها. فيما يعتمد موضوع نقل هذه الملوثات إلى الأنهار والمساحات المائية أو إلى المياه الجوفية في المنطقة على عوامل متعددة تم تحديدها مسبقاً مثل كمية المياه التي تتبخر أو تترشح إلى الطبقات الأرضية. ومن الدراسات السابقة للمنطقة تم اعتبار نسبة 4.2% من كمية الأمطار الساقطة تتحول إلى سيول مناسبة لطبيعة المنطقة وظروفها المناخية وأن حوالي 26.3% من هذه الأمطار يترشح للمياه الجوفية⁶. علماً أن هنالك عامل الإعاقة (Retardation Factor) للملوثات المشعة في التربة غير المشبعة والذي يؤخر



وصولها للمياه الجوفية مباشرة . وبعد حل المعادلة (12) الخاصة بتلوث المياه عددياً ثم الحصول على النتائج في الجدول (11) والتي تمثل كمية الملوثات المشعة الكلية المنتقلة للمياه السطحية والجوفية⁶

جدول 8: تراكيز نويدات اليورانيوم المنضب في التربة المحيطة بهدف مدمر مستوى تلوث عالي⁵ ($\mu\text{g} / \text{m}^2$)

السنة الحيز	1991	1992	1993	1994	1995	1996	المساحة (m^2)
0	$3.62 \cdot 10^9$	$3.31 \cdot 10^9$	$3.03 \cdot 10^9$	$2.77 \cdot 10^9$	$2.53 \cdot 10^9$	$2.32 \cdot 10^9$	8
1	$4.9 \cdot 10^6$	$8.97 \cdot 10^6$	$1.23 \cdot 10^7$	$1.5 \cdot 10^7$	$1.72 \cdot 10^7$	$1.9 \cdot 10^7$	375
2	755.65	$5.7 \cdot 10^5$	$1.3 \cdot 10^6$	$2.15 \cdot 10^6$	$3.1 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	375
3	251.9	249.5	$8.3 \cdot 10^4$	$2.12 \cdot 10^5$	$3.9 \cdot 10^5$	$6.1 \cdot 10^5$	375
4	151	148.3	146.4	$1.35 \cdot 10^4$	$3.7 \cdot 10^4$	$7.3 \cdot 10^4$	375
5	94.5	92.6	91.2	90	$2.35 \cdot 10^3$	$7.7 \cdot 10^3$	375
6	65	63.4	62.3	61.4	60.58	$4.3 \cdot 10^2$	375
RS1	38.7	37.9	37.23	36	35.2	34.4	2925
RS2	7.18	7.03	6.85	6.68	6.54	6.4	45000
RS3	0.173	0.17	0.165	0.162	0.157	0.154	250000
مساحة التربة الملوثة بأليات الزحف والوثب (m^2)	383	758	1133	1508	1883	2258	
مساحة التربة الملوثة بأليات التعلق وإعادة الترسب (m^2)	29980 0	29942 5	29905 0	29867 5	29830 0	29792 5	



المساحة الكلية للتربة الملوثة من هدف واحد (m ²)	30018 3	30018 3	30018 3	30018 3	30018 3	30018 3	
--	------------	------------	------------	------------	------------	------------	--

الأراضي بين مسافة (415-1000) من الهدف (متر): RS1:

الأراضي بين مسافة (1000-10000) من الهدف (متر): RS2:

الأراضي بين مسافة (10000-60000) من الهدف (متر): RS3:

جدول 9: تراكيز نويدات اليورانيوم المنضّب في التربة المحيطة بهدف مدمر مستوى تلوثه متوسط (µg /m²)⁵

السنة الحيز	السنة							Area (m ²)
	1991	1992	1993	1994	1995	1996		
0	1.92*1 0 ⁹	1.75*1 0 ⁹	1.61*1 0 ⁹	1.47*1 0 ⁹	1.34*1 0 ⁹	1.23*1 0 ⁹	8	
1	2.59*1 0 ⁶	4.75*1 0 ⁶	6.52*1 0 ⁷	7.95*1 0 ⁶	9.12*1 0 ⁶	1.01*1 0 ⁷	375	
2	400.5	3.02*1 0 ⁵	6.89*1 0 ⁶	1.14*1 0 ⁶	1.64*1 0 ⁶	2.12*1 0 ⁶	375	
3	133.5	132.24	4.4*10 4	1.12*1 0 ⁵	2.07*1 0 ⁵	3.23*1 0 ⁵	375	
4	80.03	78.6	77.6	7.16*1 0 ⁴	1.96*1 0 ⁴	3.87*1 0 ⁴	375	
5	50.085	49.08	48.34	47.7	1.25*1 0 ³	4.08*1 0 ³	375	
6	34.45	33.6	33.02	32.54	32.11	228	375	
RS1	20.5	20.1	19.73	19.08	18.66	18.23	2925	
RS2	3.8	3.73	3.63	3.54	3.47	3.4	45000	
RS3	0.092	0.09	0.087	0.086	0.083	0.082	25000 0	
مساحة التربة الملوثة بآليات الزحف	383	758	1133	1508	1883	2258		

(m ²) والوثب							
مساحة التربة الملوثة بالآيات التعلق واعادة الترسيب (m ²)	29980 0	29942 5	29905 0	29867 5	29830 0	29792 5	
المساحة الكلية للتربة الملوثة من هدف واحد (m ²)	30018 3	30018 3	30018 3	30018 3	30018 3	30018 3	

الأراضي بين مسافة (415-1000) من الهدف (متر): RS1

الأراضي بين مسافة (1000-10000) من الهدف (متر): RS2

الأراضي بين مسافة (10000-60000) من الهدف (متر): RS3

جدول 10: تراكيز نويدات اليورانيوم المنضّب في التربة المحيطة بهدف مدمر مستوى تلوث قليل ($\mu\text{g}/\text{m}^2$) ⁵

السنة الحيز	1991	1992	1993	1994	1995	1996	Area (m ²)
0	2.17*10 ⁸	1.99*10 ⁸	1.82*10 ⁸	1.66*10 ⁸	1.52*10 ⁸	1.39*10 ⁸	8
1	2.94*10 ⁵	5.38*10 ⁵	7.38*10 ⁵	9*10 ⁵	1.03*10 ⁶	1.14*10 ⁶	375
2	45.34	3.42*10 ⁴	7.8*10 ⁴	1.29*10 ⁵	1.86*10 ⁵	2.4*10 ⁵	375
3	15.114	14.97	4.98*10 ³	1.27*10 ⁴	2.34*10 ⁴	3.6*10 ⁴	375
4	9.06	8.898	8.784	810	2.22*10 ³	3.38*10 ³	375
5	5.67	5.556	5.472	5.4	141	462	375
6	3.9	3.8	3.738	3.68	3.635	25.8	375
RS1	2.32	2.274	2.234	2.16	2.112	2.064	2925
RS2	0.431	0.422	0.411	0.4	0.392	0.382	45000
RS3	0.0104	0.0102	0.001	0.0097	0.0094	0.0092	25000



							0
مساحة التربة الملوثة بآليات الزحف والوثب (m ²)	383	758	1133	1508	1883	2258	
مساحة التربة الملوثة بآليات التعلق وإعادة الترسب (m ²)	299800	29942 5	29905 0	29867 5	29830 0	29792 5	
المساحة الكلية للتربة الملوثة من هدف (m ²) واحد	300183	30018 3	30018 3	30018 3	30018 3	30018 3	

الأراضي بين مسافة (1000-415) من الهدف (متر): RS1

الأراضي بين مسافة (10000-1000) من الهدف (متر): RS2

الأراضي بين مسافة (60000-10000) من الهدف (متر): RS3

جدول 11: مجموع مساحة الأراضي الملوثة باليورانيوم المنضب للفترة (1991-1996) ²⁵

		السنة					
		1991	1992	1993	1994	1995	1996
مجموع مساحة التربة الملوثة (m ²)	A	472622	935372	1398122	1860872	2323622	2786372
	B	164690	1083940	1620190	2156440	2692690	3228940
	C	1171980	2319480	3466980	4614480	5761980	6909480
	D	1.716*1 0 ⁹	1.714*1 0 ⁹	1.712*1 0 ⁹	1.71*10 ⁹	1.707*1 0 ⁹	1.705*10 ⁹

A: التلوث الناتج عن تدمير هدف عسكري بقذيفة عالية التركيز
B: التلوث الناتج عن تدمير هدف عسكري بقذيفة متوسطة التركيز

C: التلوث الناتج عن تدمير هدف عسكري بقذيفة قليلة التركيز
D: التلوث الناجم عن آلية تعلق النويدات المشعة بالهواء من كافة الأهداف التي تم تدميرها باليورانيوم المنضب في مناطق الدراسة

3.3 حجم المياه السطحية والجوفية التي تلوثت من استخدام الأسلحة الإشعاعية والتي تجاوز فيها تركيز الراديوم الحد الطبيعي البالغ (40 بكرل/لتر) هي كما يلي :

جدول 12: حجوم المياه الملوثة بنويدات اليورانيوم المنضب في القنوات المائية لمنطقة الدراسة⁶.

المجموع	1996	1995	1994	1993	1992	1991	حجم المياه الملوثة m ³	
423316	12185 8	84776	75323	69583	37032	3474 4	*A	
490592	14121 5	98241	87287	80638	42914	4029 7	*B	
972194	30217 5	21022 2	18678 2	17255 3	91831	8631	*C	
m ³ 1886103							14	مساحة الرسوبيات المائية الملوثة (km ²)

A : * عالية التركيز B : * متوسطة التركيز C : * واطئة التركيز

4.0 النتائج والمناقشة :

لقد دلت نتائج إجراء عملية النمذجة الرياضية لانتقال الملوثات المشعة في مسالك وعناصر البيئة المختلفة غير الأحيائية للمناطق التي تعرضت للتلوث الإشعاعي في جنوب العراق على ما يلي:

4.1 إن الدرع المدمر الواحد يلوث التربة بمساحة تقدر بـ (375) متر مربع سنوياً بواسطة عمليات الزحف والوثب أي أن المساحة الكلية الملوثة تقدر بـ (2258) متر مربع بعد مرور 6 سنوات، وأن تراكيز المواد المشعة في التربة وبالقرب من الدرع الواحد لسنة 1991 م هي (3.62×10^9 , $\mu\text{g}/\text{m}^2$, 1.92×10^9 , 2.17×10^9) $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ²⁵ للدروع المدمرة بتراكيز عالية، متوسطة، واطئة على التوالي وحسب نوع القذيفة المستخدمة للتدمير أي أن مجموع مساحة التربة الملوثة بالعناصر المشعة للفترة من (1991-1996) بلغت (1.782×10^9) م² ولمختلف التراكيز.

4.2 إن حسابات تراكيز الملوثات المشعة في المياه تشير إلى أن مجموع كميات المياه الملوثة الناجمة من مساحات التربة الملوثة هي كما يلي:

- إن كمية المياه الملوثة بالمواد المشعة الواصلة للمسطحات المائية عن طريق السيول للأعوام (1991-1996م) بلغت (423318م³) من الدروع المدمرة بتركيز عالية و(490591م³) من الدروع المدمرة بتركيز متوسطة و(972194م³) من الدروع المدمرة بتركيز واطئة، وعلى ذلك فإن مجموع المياه الملوثة التي وصلت المسطحات المائية عن طريق السيول بلغت (1,886,103م³)⁶.
 - إن كميات الملوثات المشعة التي وصلت للمياه الجوفية والمتمثلة في الجدول (11) يعتبرها البعض ليست ذات أهمية ولا تزيد كثيراً عن الخلفية الإشعاعية الطبيعية لهذه العناصر في المنطقة والسبب هو بقاؤها في التربة السطحية لإعاقتها بآلية الأدمصاص (Adsorption) بحبيبات التربة، ولكن بمرور الزمن وبتحولها إلى مركبات أخرى بفعل الترشيح وغسل المياه المستمر للتربة والتبادل الأيوني تنتقل هذه النويدات إلى المياه الجوفية الأعمق أو يتم تمثيلها في الأنسجة النباتية القريبة وعموم الغطاء الخضري في المنطقة ثم إلى الأحياء الأعلى في السلسلة الغذائية ومنها الإنسان.
 - إن كمية الملوثات المشعة التي انجرفت كترسبات مع السيول أو الترسب المباشر للدقائق العالقة على المسطحات المائية أثناء العواصف الرملية والترابية ثم ترسبت في قعر هذه القنوات المائية في المنطقة مثل خور الزبير وشط العرب ووديان تجمع مياه الأمطار الموسمية كان قد بلغ حوالي (14) كيلومتراً مربعاً كمساحة، وهذا يشمل حسابات التلوث من دروع مدمرة بقذائف ذات تركيز عالي، متوسط، واطئ وكذلك لكل من العناصر المشعة (Ra-226, U₂₃₅, U₂₃₈).
- 4.3 تمت مقارنة نتائج النمذجة الرياضية لتراكيز النويدات المشعة في التربة لعام 1996م بعد تحويلها لنشاط إشعاعي ببعض نتائج فحوصات التربة الموقعية المذكورة في جدول (2) ووجد أن قيم النشاط الإشعاعي للثوريوم – 214 الذي يمثل نشاط اليورانيوم- 238 في الحيز 0 قرب الدبابة المدمرة مقارب لقيمه من النمذجة الرياضية الذي أجريت في هذا البحث.

5.0 الاستنتاجات :

- 5.1 لقد أشارت عملية النمذجة الرياضية (Mathematical Modeling) لانتقال الملوثات المشعة للمناطق المنتخبة في المنطقة الجنوبية استنتاجات مهمة من الممكن الاستفادة منها في حسابات تقدير الأضرار الصحية المستقبلية لعناصر البيئة الاحيائية والتهبؤ لمثل هذه الحالات، وكذلك محاولة إجراء المعالجات المناسبة لتنظيف البيئة من هذه الملوثات و إجراء المزيد من البحوث الموقعية والمختبرية للتأكد من نتائجها.
- 5.2 إن المساحات الكلية الملوثة من التربة والتي تم الحصول عليها من عملية النمذجة الرياضية هي (1718) كيلومتراً مربعاً (0.25%) منها ملوثة بتركيز عالية و(0.5%) منها ملوثة بتركيز متوسطة و(99.25%) منها ملوثة بتركيز واطئة. إن مساحة التربة الملوثة بتركيز عالية ومتوسطة تبلغ حوالي (12.9) كم² وبعمق (1) متر وهي مصدر مستمر لانبعاث غاز الرادون (R_{n-222}) الذي يستنشقه المواطنون بشكل مستمر.
- 5.3 ان المناطق الملوثة بأكاسيد ونويدات انحلال اليورانيوم المنضب بتركيز عالية تعتبر مصادر تلوث مستمرة (continuous area source)، لأنها تصبح عالقة في الجو مع كل عاصفة رملية في المنطقة مما يعرض السكان والبيئة الاحيائية لجرعات اشعاعية اضافية ترفع من مستويات معاملات الخطورة للاصابة بالأمراض الناجمة عن مثل هذا النوع من التلوث.

المصادر:

- Dietz, Leonard A, 1997. DU Spread and Contamination of Gulf Veteran and Others. 1
“Metal of Dishonor”. International Action Center, New York .PP.145.
- The Highway of Death <https://www.amusingplanet.com/2016/05/the-highway-of-death.html>. 2
- VetsHQ: Gulf War Exposures. <https://www.vetshq.com/gulf-war-exposures/> 3
- العزاوي، سعاد ناجي ومعروف، بهاء الدين حسين، صالح ومقدام عبد الرحمن، والحلي، وليد مجيد والساجي، محمد ومكوار، احمد جدعان، "التلوث البيئي الناجم عن استخدام قذائف اليورانيوم المستنفذ في العدوان على العراق عام 1991 م". مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية، المجلد 6، العدد 2 لعام 1999 م، بغداد، العراق. 4
- الحلي، وليد مجيد، "تأثير استخدام الأسلحة الإشعاعية على التربة والهواء في مناطق منتخبة من جنوب العراق" رسالة ماجستير، قسم الهندسة البيئية للدراسات العليا، كلية الهندسة، جامعة بغداد، 1998 5
- الساجي، محمد عبد الواحد، "تأثير الأسلحة الإشعاعية على المياه السطحية والجوفية في مناطق منتخبة من جنوب العراق" رسالة ماجستير، قسم الهندسة البيئية للدراسات العليا، كلية الهندسة، جامعة بغداد، 1998. 6
- هيئة الأنواء الجوية العراقية، معلومات وقياسات، وزارة النقل والمواصلات، بغداد/ العراق (1996-1990) 7
- (K.S.C.) Kuwait Oil Comp. “Physical Damage to the Desert Surface”. Contract No. 93B343, ERM/6.513B (1993). 8
- مركز الفرات لدراسة وتصاميم مشاريع الري. "الخطة الاستراتيجية لتنمية الصحراء الغربية"، وزارة الزراعة والري. بغداد/ العراق، 1988 9
- ¹⁰Fahey, D. 1997. Collateral Damage:” How U.S. troops were exposed to Depleted Uranium During the Gulf War”. Metal of Dishonor. International Action Center, New York. PP 28. 10
- IAEA; “Genetic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer Radionuclides from Routine Release”; Safety Series No. 52, Vienna, 1982. 11
- Kataoka, T., Ikebe, Y.; Minato, S.; Ishida, K. “Detailed Evaluation of Natural Gamma-Radiation Field Due to Uranium (U-238) Series”, Journal of Nuclear Science and Technology; Vol. 19, No. 6; pp. 482-490; June 1982. 12
- (UWSC) United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation; “Sources Risks and Effects of Ionizing Radiations”, United Nations, 1988. 13
- Glasston, S. and Sesonske, A., “Nuclear Reactor Engineering”, 3rd ed.; Van Nostrand Reinhold; 1981. 14

- Landa, E. R. "Geochemical and Radiological Characterization of Soils from Former Radium Processing Sites", Health Physics; Vol. 46, No. 2, Program on Press; Ltd Feb. 1984. 15
- Dietz, L. A. "DU spread and Contamination of Gulf War Veterans and Others" in revised edition of Metal of Dishonor". International Action Center, New York, 1997. 16
- USDA, Soil Conservation Service. "Soil Erosion by Wind". Agriculture Information Bulletin 555. Washington, DC. 1989. 17
- Hudson N. Soil Conservation. 2nd edition. Cornell University Press. Ithaca. 1973. 18
- Selim, H. M. and Mansell, R. S. "Analytical Solution of the Equation for Transport of Reactive Solutes Through Soils", Water Resources Research; Vol. 12; No. 3; America Geophysical Union, June 1976. 19
- Lacy, W. J. and Strangler, M. J., "The Post Nuclear Attack, Water Contamination Problem", Health Physics, No. 8, PP. 423-427 (1981). 20
- Lester, D. H.; Jansen, G., and Burkholder, H. C., "Migration of Radionuclide Chains Through An Adsorbing Medium", AIChE Symposium. Series 71 (1975). 21
- Chepil W. S. and Woodruff, N. P., "The Physics of Wind Erosion and Its Control", Advances in Agronomy; Vol. 15, 1963. 22
- Depleted Uranium Education Project; "Metal of Dishonor". International Action Center, New York (1997). Appendix II. 23
- شاكر، سحر نافع "جيو مورفولوجية الكتلان الرملية للمنطقة المحصورة بين الكوت- الديوانية-الناصرية رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة بغداد، 1985 . 24
- العزاوي، سعاد ناجي، بهاء الدين حسين معروف، مقدم محمود صالح، محمد عبد الواحد الساجي، وليد الحلبي، وأحمد جدعان. "الأضرار الناجمة عن استخدام العدوان الأمريكي الأسلحة الإشعاعية ضد الإنسان والبيئة في العراق عام 1991م" جامعة بغداد - كلية الهندسة - قسم الهندسة البيئية للدراسات العليا، تقرير فني غير منشور، 157 صفحة) . 1997 . 25
- Turnley, P., News Week Magazin, Jan20, 1992 26
- By Rick Atkinson and Steve Coll. Bush Orders Cease-Fire. Washington Post Staff Writers, Thursday, February 28, 1991; Page A01. 27