

SYRIAN ARAB REPUBLIC
ATOMIC ENERGY COMMISSION (AECS)
DAMASCUS, P.O. BOX 6091



REPORT ON SCIENTIFIC FIELD STUDY
DEPARTMENT OF GEOLOGY



SY0000806

MONITORING OF THE SYRIAN RIFT VALLEY USING RADON
MEASUREMENT TECHNIQUE IN GROUNDWATER

MR. M.AL -HILAL
MR.A.AL-ALI
DR. Y.JUBELI

AECS - G \ RSS 271

JULY 1999

↑ 31 / 48



SY0000806



الجمهورية العربية السورية
هيئة الطاقة الذرية
دمشق - ص.ب. ٦٠٩١

تقرير عن دراسة علمية ميدانية
قسم الجيولوجيا

مراقبة حركية صدع الانهدام السوري باستخدام
تقانة قياسات الرادون في المياه الجوفية

السيد محمد الهلال
السيد أحمد العلي
الدكتور يوسف جبيلي

**PLEASE BE AWARE THAT
ALL OF THE MISSING PAGES IN THIS DOCUMENT
WERE ORIGINALLY BLANK**

الجمهورية العربية السورية
هيئة الطاقة الذرية

قسم الجيولوجيا

مراقبة حركية صدع الانهدام السوري باستخدام
تقانة قياسات الرادون في المياه الجوفية

السيد محمد الهلال
السيد أحمد العلي
الدكتور يوسف جبيلي

تموز ١٩٩٩

عدد ٢٧١ ج / ت د ع

إذاعة النشر:

يسمح بالنسخ والتقليد عن هذه المادة العلمية للاستخدام الشخصي بشرط الاشارة الى المرجع ، اما
النسخ والتقليد لاداف تجارية تغلر مسموح بهما الا بموافقة خطية مسبقة من ادارة الهيئة .

مراقبة حركية صدع الانهدام السوري باستخدام تقانة قياسات الرادون في المياه الجوفية

محمد المسلال، أحمد العلي، يوسف جبيلي

قسم الجيولوجيا-هيئة الطاقة الذرية السورية- ص.ب. 6091 -دمشق-سورية

ملخص:

يتضمن العمل الحالي نتائج قياسات تراكيز غاز الرادون في المياه الجوفية من ستة محطات مراقبة موزعة على امتداد صدع الانهدام السوري بشكل دوري و بفاصل رمبي بين القياسات قدره شهر تقريباً، واستمر العمل من كانون الثاني 1997 وحتى نيسان 1998. دُمجت هذه النتائج مع كافة معطيات الرادون الدورية المقاسة سابقاً في نفس محطات القياس ومنذ بداية العام 1992، وعولجت إحصائياً بغية اعتمادها كأساس هام من أجل تقدير الحلفية الطبيعية للرادون في المياه الجوفية المرتبطة بالصدع الفالقي المذكور. دلت النتائج على أهمية تحديد هذه الخلفية من أجل تمييز قيم الرادون غير العادية أو الشاذة والتي يمكن أن تحصل أحياناً كاستجابة لبعض الحركات الجيوتكتونية أو غير ذلك في منطقة الدراسة.

الكلمات المفتاحية: تراكيز الرادون، مياه جوفية، حلفية طبيعية، قيم شاذة، صدع الانهدام السوري

Monitoring of the Syrian rift valley using radon measurement technique in groundwater

Mohamed Al-Hilal, Ahmad Al-Ali and Youssif Jubeli

Department of Geology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

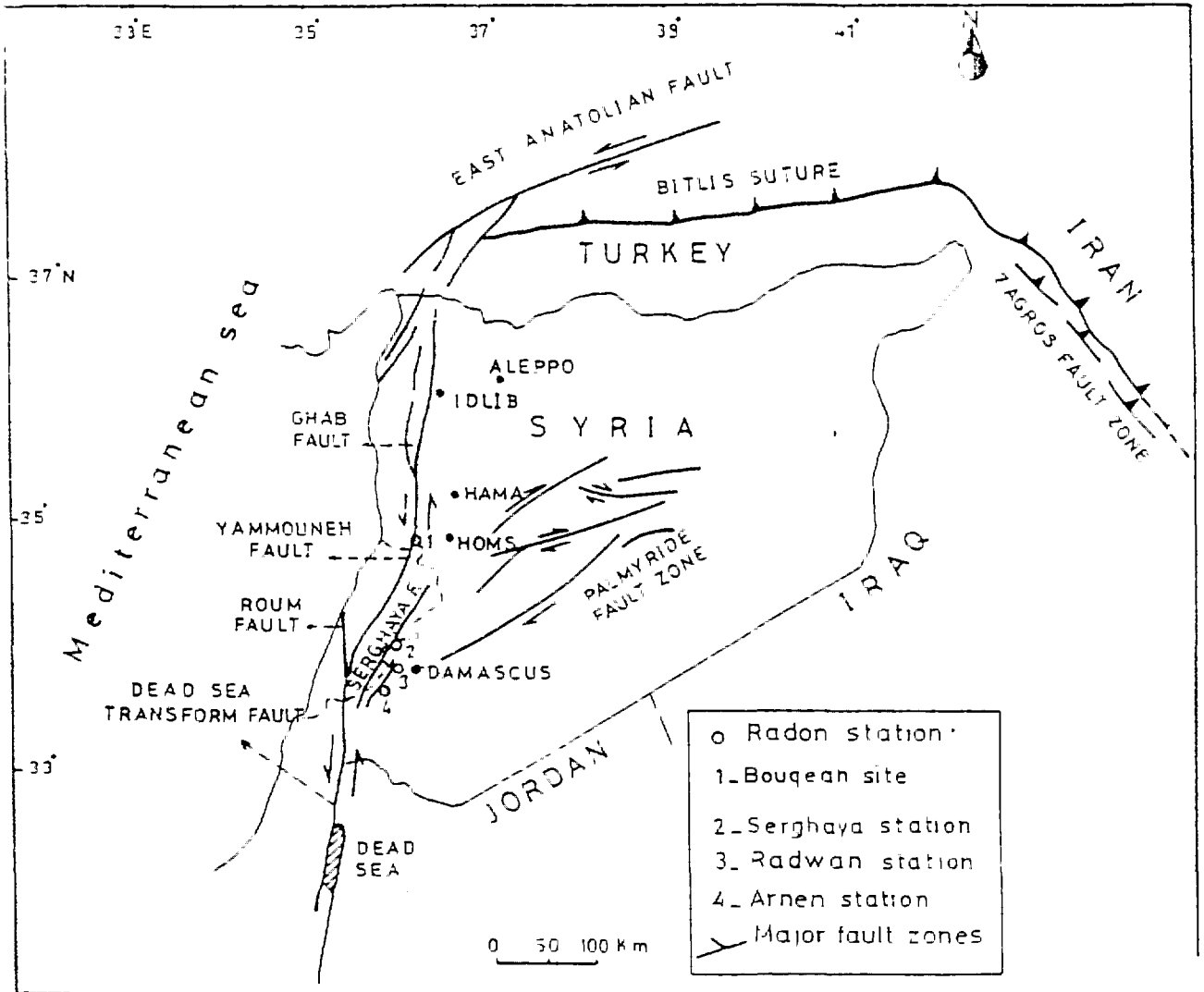
Abstract:

The present study includes the results of groundwater radon concentrations which have been measured monthly from six monitoring stations distributing along the Syrian rift valley from January 1997 to April 1998. This set of data was integrated with our previous results of radon concentrations that were measured periodically from the same stations with time intervals of one month since 1992. The overall results were statistically handled in order to be used as a significant base for estimating the range of natural radon background variations in groundwater along the concerned fault zone. They reveal that only few anomalous radon values were recorded during the given time-window, which might be caused by tectonic disturbances or otherwise in the study region.

Key words Radon concentrations, Groundwater, Background, Anomalous values, Syrian rift valley

تطورت الصفيحة التكتونية العربية كنتيجة لانفتاح البحر الأحمر مند منتصف الحقب الثالث، وقد امتد هذا التطور شمالا بشكل لاحق على امتداد صدع البحر الميت الانزياحي والذي يمثل الآن الحدود العربية ضد الصفيحة و يفصلها عن الصفيحة الأفريقية. أما الحدود الشمالية لهذه الصفيحة التكتونية فتتمثل في نطاق درزة تنس و صدع شرق الاناضول في جنوب تركيا، كما ويمثل نطاق فوالق زاغروس في غرب ايران حدودها الشرقية والشمالية الشرقية حيث تقع مناطق التلاقي والتصادم بين الصفيحة العربية والصفيحة الأوربية-الاسيوية في غرب وشمال غرب ايران وفي جنوب تركيا (الشكل 1). يمثل نظام صدع البحر الميت الانزياحي اليساري مظهرا بنويا مميزا في منطقة المشرق العربي يرتبط مباشرة بحركة الصفيحة العربية و نشاطها التكتوني، و يتألف امتداده الشمالي بشكل رئيسي من صدع اليمونة في لبنان وصدع سرغايا المتفرع عن النظام العام لصدع البحر الميت في جنوب غرب سورية. يندمج صدع اليمونة اللباني مع صدع الغاب السوري قرب سهل البتجة في غرب سورية، حيث يمتد الأخير نحو الشمال متفرعا الى العديد من الصدوع الفالقية التي تفصل بينها الاهدامات مثل اهدام مصياف ثم اهدام الغاب الذي يتفرع بدوره شمالا الى حزير هما: اهدام حسر الشعور في الغرب و اهدام سهل الروج في الشرق، وينتهي الأمتداد الشمالي لنظام صدع البحر الميت باندماحه مع صدع شرق الاناضول قرب الحدود الدولية السورية-التركية. و جدير بالذكر أن نوه بأن هذا النظام الثالثي وما يحتويه من صدوع تكتونية كبيرة قد لعب في الماضي دورا هاما في توليد العديد من الهزات الأرضية التي حلقت شواهد متعددة من مظاهر الخراب والدمار في المنطقة ولاسيما في المناطق القريبة أو المتأثرة بسطقات صدوع اليمونة وسرغايا والغاب وصدع شرق الأناضول [1, 2, 3, 4, 5].

ان الخصوصية التكتونية لهذا النظام والحلفية التاريخية لنشاطة الزلزالي اضافة الى ملاحظة اردباد وتيرة حدوث الهزات الأرضية الخفيفة والمتوسطة احيانا على مساره الشمالي خلال السنوات الأخيرة يعتبر مؤشرا على حركية هذا الصدع التكتوني، الأمر الذي يستدعي توظيف وتظافر كافة الجهود والامكانيات العلمية المتوفرة والرامية الى مراقبة حركيته ورصد سلوكه التكتوني والزلزالي باستمرار بغية المساهمة في تخفيف المحاطر الزلزالية التي يحتمل أن تسببها. ولعل من أهم التقانات التي يمكن أن تساهم في تعزيز هذا الهدف هي الرصد الزلزالي المستمر في المنطقة و متابعة تحريات مظاهر التكتونيك الحديث على مسار هذا الصدع الفالقي إضافة إلى مراقبة تغيرات تراكيير غاز الرادون في مياه الينابيع والآبار الحرفية المرتبطة به. وفي هذا السياق وصغت مسهجه لتنفيذ قياسات دورية لتراكيير غاز الرادون في مياه العديد من الآبار والينابيع المنتشرة على الامتداد الشمالي لصدع البحر الميت في غرب سورية وتمعدل مرة كل شهر تقريبا وعلى أساس مراقبة طويلة الأمد (Long - Term Monitoring) استمرت منذ بداية العام 1992 وحتى نيسان 1998. وتقت كافة معطيات الرادون المقاسة خلال عام 1992 في [6]، كما وثقت نتائج القياسات اللاحقة خلال عامي 1993 و 1994 في [1]، وخلال عام 1995 في [7] وخلال عام 1996 في [8].



(الشكل 1) رسم تخطيطي بين مواقع أهم السمات التكتونية الإغريقية في سورية و ما حولها .
 موضحاً عليه توزيع مواقع محطات مراقبة غاز الرادون في المياه الجوفية على مسار صدع الإكدم
 السوري (معدلة عن Chaimov et al., 1990)

2- الهدف

هدفت الأعمال التي قام بها [1] إلى تقدير مجال تغيرات الخلفية الطبيعية (Background) لغاز الرادون في المياه الخوفية لبعض محطات المراقبة الموزعة على مسار الامتداد الشمالي لنظام صدع البحر الميت في غرب سورية اعتماداً على تحليل كافة المعطيات الدورية المسجلة سابقاً في المنطقة ، وذلك من خلال اعتماد قيمة المترسب الحسابي للتقيم مضافاً إليها ضعف قيمة الانحراف المعياري لكافة المعطيات التابعة لكل محطة مراقبة . الأمر الذي يمكن أن يساعد بالتالي على فصل القيم المألوفة أو العادية للرادون عن القيم الشاذة أو الواقعة خارج مجال التغيرات العادية والتي يحتمل أن تحصل كاستجابة لحركية هذا الصدع العالقي أو كتنشيطه لنشاطه الزلزالي في المنطقة . لذلك ، فإن العمل الحالي يهدف إلى متابعة تحليل معطيات الرادون المقاسة سابقاً ومستقر تقس المتحى سعياً لتحديد أدق وأكثر شمولية لمجال تغيرات الخلفية الطبيعية للرادون (Background) في عدة مناطق من مسار الصدع كما ويهدف أيضاً ومن خلال مراقبة الرادون طويلة الأمد إلى فرز وتمييز المقاطع التكوينية منه والتي تبدي عدم استقرار وتظهر تذبذبات كبيرة نسبياً من حيث مستوى الرادون مقارنة مع المقاطع الأخرى ، الأمر الذي يمكن أن يعكس على المدى الطويل مناطق الاجهادات الأعظمية (Stress - buildup) على مسار هذا الصدع الهام ، وبالتالي المساهمة في تخفيف المحاطر الزلزالية في المنطقة.

3- آلية تحرر وانتقال غاز الرادون :

الرادون غاز مشع يتشكل طبيعي عن تفكك عنصر الراديوم ($^{226}\text{Radium}$) الذي ينتج بدوره عن تفكك عنصر اليورانيوم ($^{238}\text{Uranium}$). ونظراً لكون الرادون غاز ضعيف الفعالية الكيميائية ، لذلك فإنه ينطلق باستمرار من صخور مصدره ويصحب حرراً للانتشار في البيئات الجيولوجية المحيطة ومن ثم الهروب إلى الغلاف الجوي دون أن يستهلك في تفاعلات كيميائية أو يشكل مركبات تحول دون هجرته وانتقاله إلا أن عمره النصفى القصير نسبياً (3.82 يوم) يمكن أن يؤدي في معظم الأحيان إلى تفككه إلى عنصر البولونيوم الصلب ($^{218}\text{Polonium}$) قبل أن يتمكن من بلوغ السطح . ويقدر معدل تحرر أو دفع الرادون من السطح بوحدة (بيكرل/متر مربع/ثانية) ويعتمد ذلك على آلية معقدة تبدأ من تشكل ذرة الرادون (Radon Atom) نتيجة تفكك ذرة الراديوم ضمن الحبة الصلبة (Solid Particle) بإطلاق جسيمة ألفا وبالتالي ارتداد ذرة الرادون إلى مسافة معينة بفعل طاقة الارتداد (Recoil Effect). لذلك فإن جزءاً كبيراً من ذرات الرادون يحتمل أن تبقى محبوسة ضمن الحبة الصلبة ولا يفسح لها المجال للتحرر والخروج إلى سطح الحبة وهذا يعتمد على محتوى الحبة من عنصر الراديوم وموقع هذا العنصر ومدى تجانسه وتوزيعه ضمنها وعلى الجهة التي ارتدت إليها ذرة الرادون المتشكلة بمقدار طاقة الارتداد [10 9]. ويحدد الجزء (Portion) من ذرات الرادون التي تتمكن أو يتاح لها التحرر من الطور الصلب الحاوي على الراديوم والتي تشكلت فيه أصلاً لتصبح حرة الانتشار ضمن الحبات القلرية والفراغات المسامية المحيطة بمعامل الإنشاق (Radon Emanation)

(Coefficient) [11]. تنتشر بعد ذلك درات الرادون ضمن المسامات والفراغات للوسط الصحري وتتحرف كأي غاز من غازات التربة أي أنها تخضع إلى قوانين الانتشار (Diffusion). وتخضع عملية انتشار الرادون وحركته ضمن الأوساط الصحرية إلى العديد من العوامل من أهمها مسامية ونقودية الوسط ودرجة توافر الشقوق والكسور ومحتوى الرطوبة وحجم الحبات الفلزية وطبيعة تركيبها الليتولوجي وتأثير العوامل المناخية المختلفة إضافة إلى وتيرة حركة المحاليل ضمن الأوساط الجيولوجية تحت السطح. أما الجزء من درات الرادون (Fraction) التي يتاح لها الوصول إلى السطح الخارجي وبالتالي الهروب إلى الغلاف الجوي المحيط (Atmosphere) فيعبر عنها بمعامل الإصدار أو الدفق (Exhalation Coefficient Rate) أو (Flux Rate) ويقدر بوحدة (بيكرل / متر مربع/ثانية) [12].

يتغير عادة تركيز غاز الرادون في المياه الجوفية تبعاً لحركة القشرة الأرضية حول الحامل المائي بفعل عوامل تكوينية متعددة مثل الانضغاط (Compression) والتمدد (Expansion) أو عمليات اللي والقتل (Tilting) والتي تسبب عادة نتيجة لحركة الصفائح التكتونية بالنسبة للصدع الرئيسي وخاصة قبل وأثناء حدوث الهزات الأرضية وتؤدي في أغلب الأحيان إلى تشكيل شقوق جديدة في صخور القشرة الأرضية وحدث تشوهات للطبقات الحاملة للمياه الجوفية، وبالتالي حصول تغيرات في نظام وتيرة حركية تلك المياه، الأمر الذي من شأنه أن يعزز إطار التفاعل بين المياه الجوفية وبين الصخور ويزيد من وتيرة حل بعض المكونات الفلزية ولاسيما العناصر المشعة مثل الراديوم واليورانيوم وبالتالي قميثة الظروف الملائمة لتحرر وإصدار المزيد من غاز الرادون وازدياد وتيرة انتشاره إلى المحاليل الجوفية. لذلك فإن المراقبة المستمرة أو الدورية لتعابير تراكيز الرادون في المياه الجوفية المرتبطة بطاقات الصدوع التكتونية النشطة تعتبر بمثابة مؤشر هام يساهم في مراقبة حركية تلك الصدوع ورصد نشاطها وسلوكها التكتوني مع الزمن بالاعتماد على مدى استقرار أو تدسذب مستوى الرادون في مواقع المراقبة [1,11,12,13,14,15,16,17,18,19].

4-محطات مراقبة الرادون:

بغية الحصول على معطيات رادون ذات موثوقية فإن مراقبته تتطلب اختيار مواقع محددة ومختارة بعناية على مسارات الصدوع المولدة للزلازل وبشكل خاص تلك الواقعة على تقاطع أو تلاقي الكسور الأرضية الصخمة أو الواقعة على الصدوع الثانوية الهامة المتفرعة عن النظام العام لطاق الصدع الرئيسي. وضمن هذا الإطار فقد تم تحديد مواقع محطات مراقبة غاز الرادون في المياه الجوفية على مسار صدع الانحدام السوري بالاعتماد على معطيات الرلالية التاريخية السورية وما حولها [20]، وعلى بعض معطيات مظاهر سائط التكتونيك الحديث في المنطقة [21,22]، إضافة إلى اختبارات جيولوجية وحيونكتونية تتعلق بطبيعة مسار الصدع نفسه. شملت مواقع قياسات الرادون، (الشكل 1)، كل من محطة عرنة (Arneh Station) والتي تعد حوالي 45 كم إلى الجنوب الغربي من مدينة دمشق وتقع على خط الطول 35.90E وخط العرض 33.36N في قلب

محدد الحرمون المخلع نكتوبيا بالصدوع الفالقية، والذي يمثل منطقة تلاقي نظام الطي التدمري ذو الاتجاه العام (NE-SW) مع نظام صدع البحر الميت (N-S)، لذلك يلاحظ في هذه المنطقة كثرة الينابيع الفالقية ووفرة الآبار الارتوازية. نفذت قياسات الرادون الدورية في محطة عرنة بمعدل مره كل شهر ومدد بداية العام 1994 وحتى نيسان 1998 وتمثل المحطة بئر ارتوازي عمقه 260 متر ينبع من توضعات أعلى الترياس ويحترق تشكيلات الجوراسي الكربوناطية .

أما محطة عين رضوان (Radwan Station) فتبعد حوالي 30 كم إلى الغرب من مدينة دمشق وتقع على حط طول 36.06 E وخط عرض 33.45 N وتمثل تبع تندفق مياهه الفالقية باستمرار من توضعات النيوجين الحطامية على الامتداد الغربي لفاق دمشق وبالقرب من منطقة التقاء مع نظام صدع الانهدام السوري. نفذت قياسات الرادون في مياه بئر رضوان دوريا وبمعدل شهري اعتبارا من بداية العام 1995 وحتى نيسان من عام 1998.

تقع محطة سرغايا (Serghaya Station) على حط طول 36.17E وخط عرض 33 81N وتبعد حوالي 50 كم إلى الشمال الغربي من مدينة دمشق وتمثل نعا فالقبا تندفق مياهه من نطاق التماس الفاصل بين توضعات رباعية رملية وبين تشكيلات حطامية نيوجينية وتتميز هذه المحطة بوقوعها على صدع هام متفرع عن النظام الفالقي الرئيسي ويدعى محليا بفاق سرغايا وهو قريب ومواز لفاق اليمونة اللباني الذي يتميز بدوره بأشرف محلي نحو الشمال الشرقي بالنسبة للمنحى العام لمسار الصدع المشرقي كما ويتميز بكثرة حدوث الزلازل على مساره تاريخيا. استمرت مراقبة غار الرادون في محطة سرغايا منذ بداية العام 1992 وحتى نيسان 1998. بعد موقع البقعة (Bouqeah Site) حوالي 35 كم إلى الغرب من مدينة حمص ويشمل ثلاثة محطات مراقبة تقع جميعها ضمن منخفض انهدامي يدعى محليا بسهل البقعة الذي يتميز بموقع تكتوني هام وحساس حيث اندماج صدع اليمونة اللباني مع صدع الغاب السوري . تمثل المحطة الاولى في سهل البقعة بئر ارتوازي عمقه حوالي 150م (Artesian Well Station) ويقع على خطي طول 36.35E و عرض 34 76 وتراوح درحة حرارة مياهه 25-26 درحة مئوية وتتميز برائحة كبريتية. أما المحطتين الثانية والثالثة فيمثلان بجان يقع الأول على الجانب الشرقي لسهل البقعة عند حط الطول 36.39E وخط العرض 34.75N ويدعى محطة أم جامع (Aum Jammee Station)، بينما يقع الثاني على الجانب الشمالي الغربي لسهل البقعة عند حط الطول 36.32E وخط العرض 34.35N ويدعى عين العجور (Ain Ajooz Station). تندفق مياه البقعة باستمرار من حط التماس الجيولوجي الفاصل بين التوضعات الرباعية الحديثة وبين التوضعات النيوجينية الحطامية في المنطقة. بدأت قياسات غاز الرادون في مياه البئر الارتوازي بسهل البقعة في بداية عام 1993 نيسان بدأت مراقبة مياه نعي أم جامع وعين العجور منذ بداية عام 1992 واستمرت القياسات بمعدل شهري حتى نيسان 1998.

5-طرائق القياس

استخدام الجهاز (WG-1001 Vacuum Water Degassing System) صنع شركة بايلون الكندية من أجل تخليّة غار الرادون من العينة المائية . تعتمد آلية القياس على تحرير الغاز المنحل في عينة مائية حجمها 190 مل وتسرّعة في حلية وميضية مغلقة (Locus Scintillation Cell) من النموذج 110A مطلية كلياً من الداخل بمادة كبريت التوتياء المنشط بالفضة (Zns(Ag)، وتعتبر مدة خمس دقائق لاستمرار تدفق الفقاعات الغازية منذ بدء ظهورها في العينة المائية كافية لتخليّة حوالي 70% من محمل غاز الرادون المنحل في العينة . تفصل بعد ذلك الخلية الوميضية عن النظام وتوضع في جهاز التعداد أو كاشف الرادون (Radon Detector-RM) صنع شركة بايلون الكندية، ليصار بالتالي إلى تحديد سناط الفا لحلال دقيقة واحدة (عدة في الدقيقة، CPM)، ويتم تسجيل ذلك مع كافة المعطيات المتعلقة بزمن أخذ العينة المائية ودرجة حرارتها ورقم الخلية المستخدمة في القياس وزمن القياس الأولي في جداول خاصة بذلك . ثم يكرر القياس خلال زمن قدره عشر دقائق (عدة في عشر دقائق) . وأخيراً يعاد قياس سناط الفا لنفس الخلية بعد مضي ثلاث ساعات على زمن القياس الأولي، وهو الزمن اللازم لحصول توازن بين الرادون ونواتج تفككه ، حيث يجري القياس عندئذ على أربعة مراحل مدة كل مرحلة خمس دقائق ثم يحسب الوسطي (عدة في الدقيقة) ويعتبر هذا بمثابة القراءة الأخيرة والتي تعبر عن نشاط الرادون في العينة المائية المقاسة . ويمكن تحويل هذا النشاط إلى تراكيز مكافئة لغاز الرادون وفق المعادلة التالية:

$$^{222}\text{Rn (pCi/L)} = \frac{(C-B) \times 1000}{F \times 6.66 \times D \times S \times V}$$

حيث :

C : معدل التعداد الكلي لسناط ألفا (عدة في الدقيقة CPM) .

B : معدل الخلفية الطبيعية (Background) للخلية المستخدمة (عدة في الدقيقة CPM) .

F : مردود تعداد الخلية و يساوي 0.745 بالنسبة للحلّايا من النموذج 110 A .

D : مردود تحرر العار و يساوي 0.70 بالنسبة للحلّايا 110 A و من عينة مائية حجمها 190 ml و زمن تدفق للفقاعات الغازية قدره حدود 5 دقائق .

S : معامل تصحيح تفكك الرادون اعتباراً من زمن جمع العينة Ts و حتى زمن التعداد النهائي Tc بعد مضي ثلاث ساعات و يساوي 0.9776

V : حجم العينة المائية المقاسة و يساوي 190 مل .

الحدول (1) تراكيز غاز الرادون في المياه الجوفية المرتبطة بصدع الانهدام السوري (مقدره بـ pCi/L)

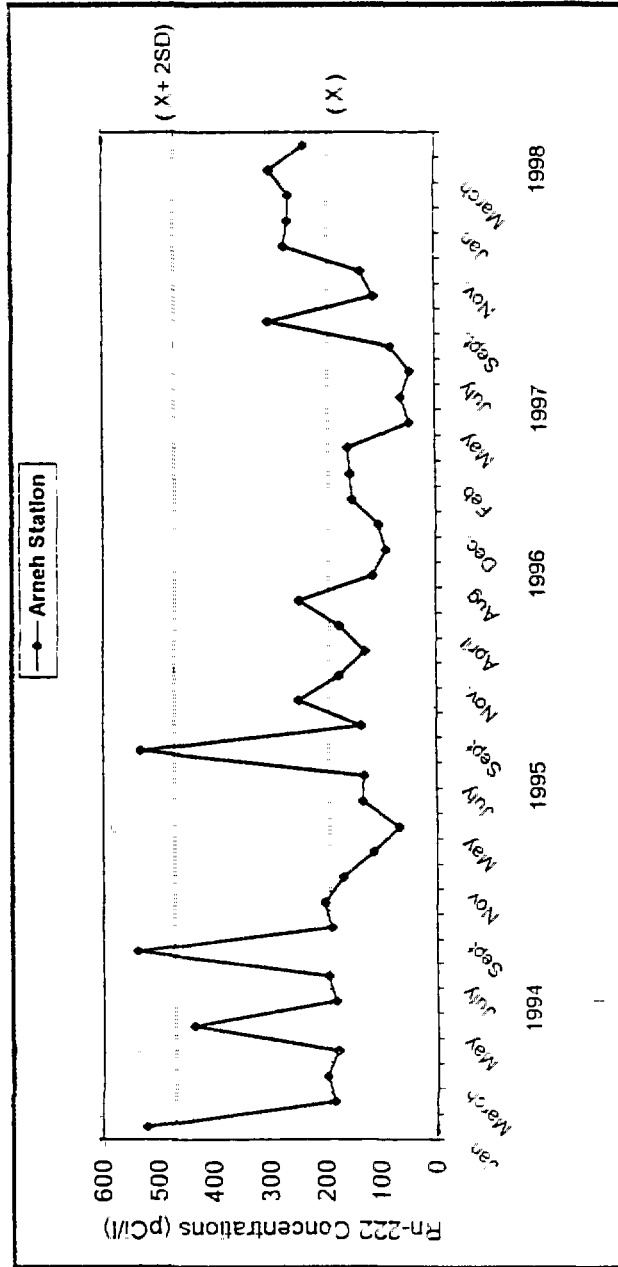
Year	Month	نوع عرنة (250m)	نوع رضواو	نوع سرعايا	نوع أم جامع	ارتوازي القبة (150m)	نوع المحور
1992	Jan.			99.2	110		99.2
	Feb.			131.75	124		167.4
	March			102.3	85.25		94.55
	Apr.			100.75	82.15		97.65
	May			82.15	79.05		99.2
	June			125.55	75.95		91.45
	July			144.15	193.75		148.8
	Aug.			156.55	97.65		209.25
	Sept.			133.3	111.6		158.1
	Oct.			125.55	108.5		153.45
	Nov.			120.9	79.05		103.85
1993	Jan.			102.3		108.5	
	Feb.			292.95		220.1	
	March			148.8		348.75	
	April			119.35		120.9	
	May			248		300.7	
	June			237.15		148.8	
	July			323.95		153.45	
	Aug.			198.4		153.45	
	Sept.			130.2		168.95	
	Oct.			173.6		147.25	
	Nov.			348.75		289.85	
	Dec.			153.45		124	
1994	Jan.	522.35		65.1		111.6	
	Feb.	184.45		97.65		153.45	
	March	198.4		292.95		110.05	
	April	179.8		89.9		99.2	
	May	435.55		79.05		248	
	June	181.35		99.2		114.7	
	July	195.3		286.75		105.4	
	Aug.	537.85		91.45		306.9	
	Sept.	189.1		86.8		122.45	
	Oct.	201.5		108.5		100.75	
	Nov.	167.4		178.25		85.25	
1995	April	113.15	122.45	41.85	46.5	60.45	68.2
	May	66.65	74.4	46.5	51.15	62	68.2
	June	131.75	173.6	43.4	43.4	40.3	34.1
	July	130.2	263.5	34.1	46.5	43.4	60.45
	Aug.	531.65	226.3	89.9	48.05	48.05	62
	Sept.	134.85	190.65	40.3	199.95	243.35	31
	Oct.	249.55	283.65	46.5	44.95	54.25	27.9
	Nov.	175.15	199.95	38.75	43.4	41.85	62
	Dec.	127.1	117.8	21.7	86.8	62	127.1
1996	April	175.15	217	89.9	57.35	38.75	96.1
	June	248	361.15	161.2	54.25	176.7	31
	Aug.	113.15	114.7	62	27.9	41.85	21.7
	Oct.	88.35	52.7	18.6	23.25	24.8	27.9
	Dec.	102.3	134.85	18.6	43.4	32.55	37.2

تتمة الجدول (1)

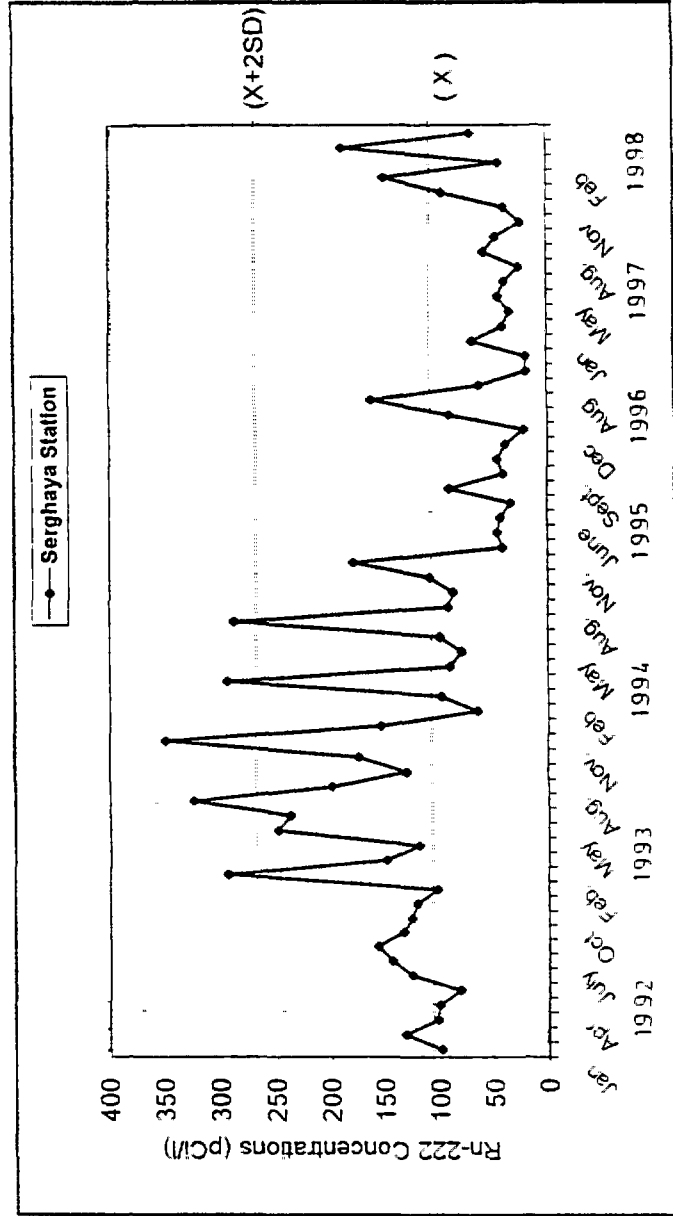
1997	Jan	150.35	72.85	68.2	35.65	49.6	24.8
	Feb	153.45	63.55	40.3	23.25	43.4	21.7
	Mar	156.55	75.95	34.1	40.3	51.15	23.25
	May	44.95	198.4	44.95	13.95	13.95	26.35
	June	60.45	66.65	38.75	80.6	34.1	46.5
	July	43.4	32.55	24.8	37.2	40.3	15.5
	Aug	79.05	158.1	57.35	85.25	100.75	119.35
	Sept.	302.25	108.5	46.5	24.8	34.1	26.35
	Oct.	111.6	79.05	23.25	32.55	41.85	57.35
	Nov.	133.3	96.1	38.75	65.1	37.2	44.95
	Dec.	273	257	96	110	98	42
1998	Jan	266	380	149	101	104	34
	Feb	263	132	44	125	91	54
	March	299	180	187	102	234	156
	April	237	170	70	82	113	74
Max		538	380	349	200	349	209
Min		43	32	19	14	14	16
Mean(X)		199	159	111	73	113	74
SD		124	89	80	42	82	50
X-2SD		447	337	271	157	277	174
X+3SD		571	426	351	199	359	224

جدول (2): نتائج احصائية لخمّل قياسات غاز الرادون المقاسة دورياً وبمعدل شهري على فائق الارتفاع السوري خلال الفترة من 1992 الى 1998

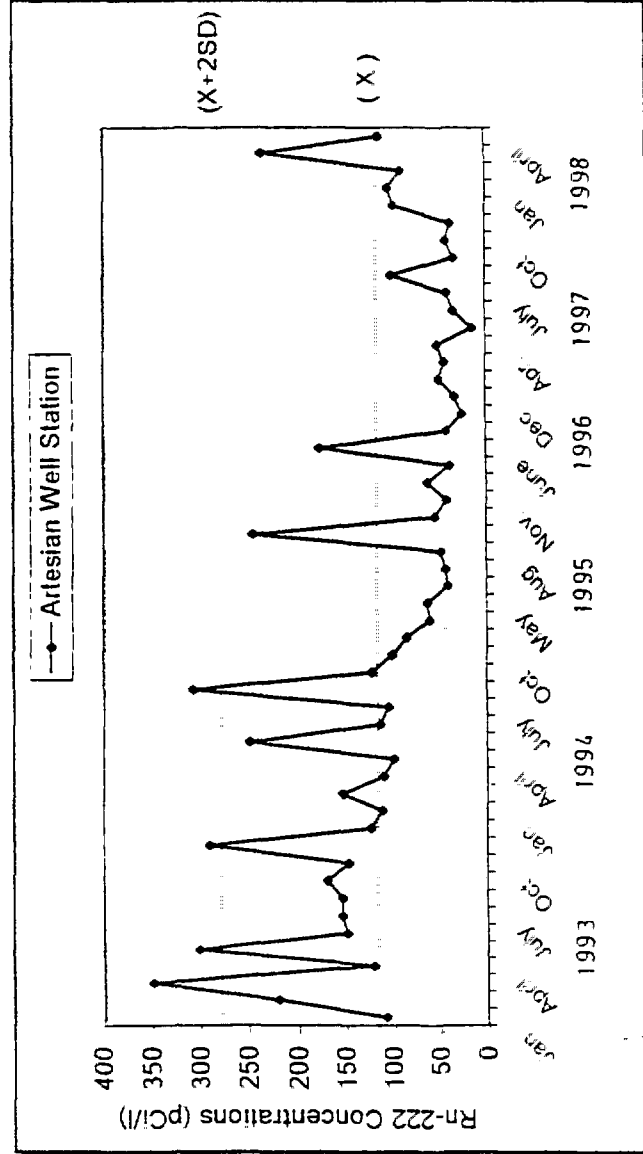
	نوع عرنة بيكو كوري/التر	نوع رسوا بيكو كوري/التر	نوع سرعايا بيكو كوري/التر	نوع أم جامع بيكو كوري/التر	نوع التقيعة الارتوازي بيكو كوري/التر	نوع العوز بيكو كوري/التر
العدد الاحتمالي لقياسات الرادون	40	29	63	40	52	40
القيمة العظمى (Max.)	538	380	349	200	349	209
القيمة الدنيا (Min.)	43	32	19	14	14	16
وسطى القيم (X)	199	159	111	73	113	74
الانحراف المعياري للقيم (SD)	124	89	80	42	82	50
(X+2SD)	447	337	271	157	277	174
عدد الحالات التي تجاوزت المحال المحدد بـ (X+2SD)	3	2	5	2	4	1



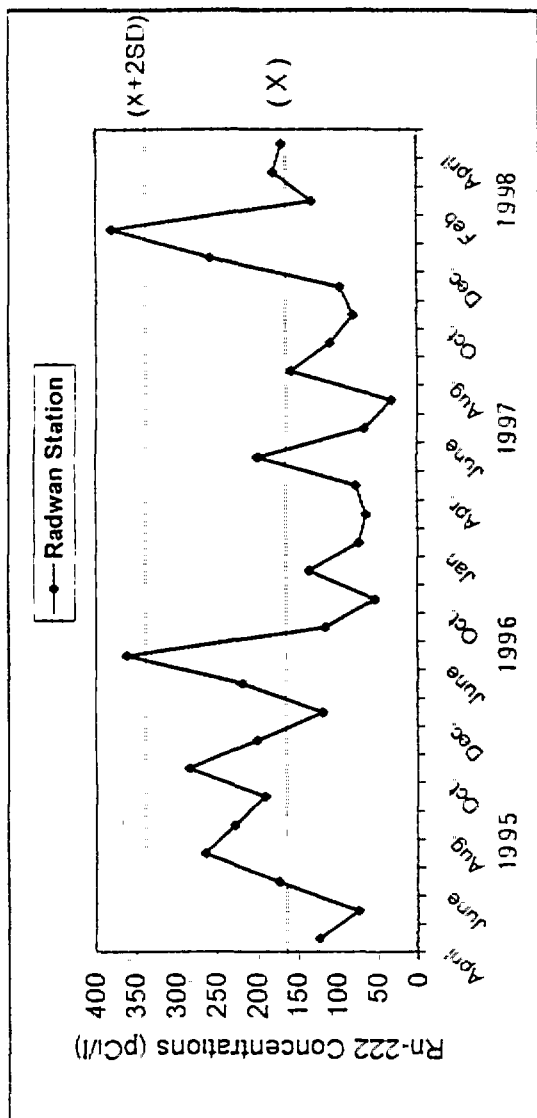
(الشكل 2): تغيرات تراكيز غاز الرادون في المياه الجوفية التابعة لمحطة بئر عرنة
 (X المتوسط الحسابي، SD الانحراف المعياري)



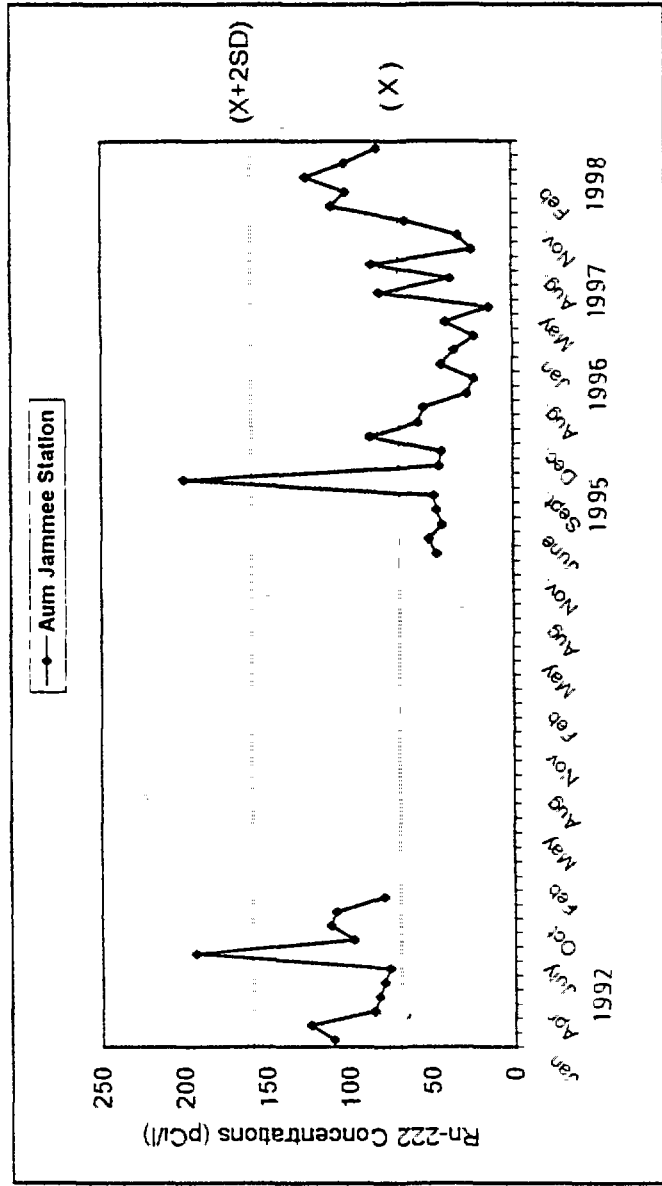
الشكل (3): تغيرات تراكيز غاز الرادون في المياه الجوفية التابعة لمحطة نبع سرغايا
(X المتوسط الحسابي، SD الانحراف المعياري)



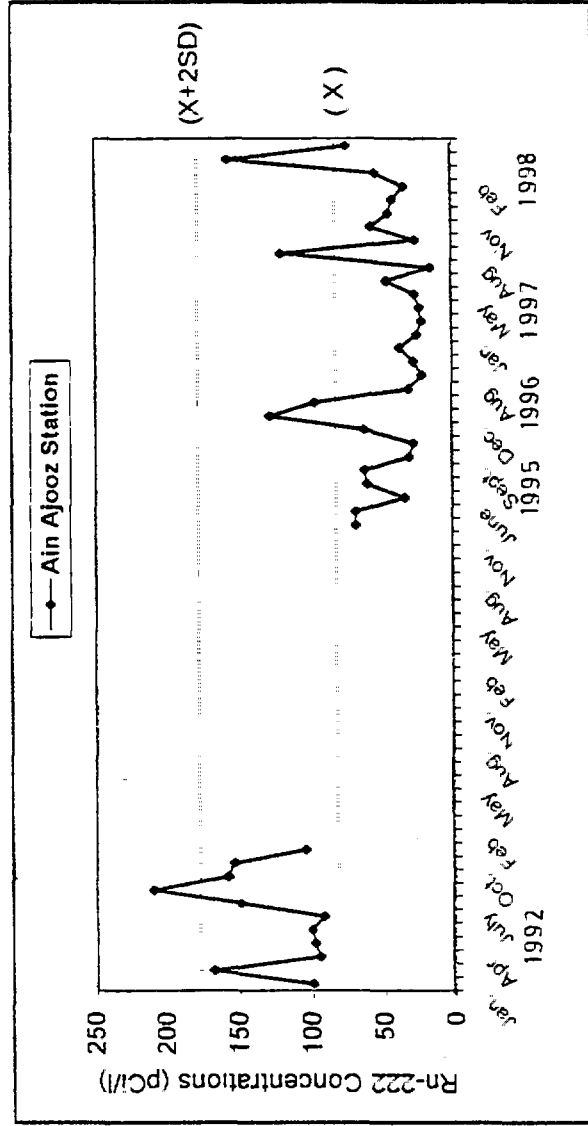
(الشكل 4): تغيرات تراكيز غاز الرادون في المياه الجوفية التابعة لمحطة بئر ارتوازي القيمة المتوسط الحسابي، SD الانحراف المعياري



(الشكل 5): تغيرات تراكيز غاز الرادون في المياه الجوفية التابعة لمحطة نبع رضوان (X المتوسط الحسابي، SD الانحراف المعياري)



(الشكل 6): تغيرات تراكيز غاز الرادون في المياه الجوفية التابعة محطة نبع أم جامع (X المتوسط الحسابي، SD الانحراف المعياري)



(الشكل 7): تغيرات تراكيز غاز الرادون في المياه الجوفية التابعة لمخطة نبع عين المعجوز (X المتوسط الحسابي، SD الانحراف المعياري)

6- النتائج ومناقشتها

يتضمن الجدول (1) نتائج قياسات تراكيز الرادون في المياه الجوفية على مسار الامتداد الشمالي لنظام صدع البحر الميت في غرب سورية (صدع الانهدام السوري). ويتضح من هذا الجدول بان مراقبة مستوى الرادون على مسار هذا الصدع الهام قد تمت من خلال قياس تراكيزه بشكل دوري وبمعدل مرة كل شهر تقريبا وذلك في مياه بعض الآبار الجوفية العميقة مثل بئر عرنة (260م) وبئر البقيعة الارتوازي (150م) وكذلك في مياه بعض الينابيع المرتبطة مباشرة مع النطاق الفالقي المذكور مثل ينابيع عين رضوان وسرغايا وام حسامع وعين العجوز. وعلى الرغم من أن المراقبة الدورية للرادون لم تكن أحيانا متواصلة تماما بشكل شهري خلال الفترة ما بين عامي 1992 و 1998 بالنسبة لكافة محطات القياس ، إلا إنه يمكن اعتبارها بشكل عام بمثابة مراقبة طويلة الامد (Long-Term Monitoring)، وقد ساعدت تلك القياسات إلى حد كبير على كشف المستوى الحقيقي لتراكيز غاز الرادون وتحديد مجال تغيراته الطبيعية في المنطقة. ونظرا لعدم كفاية قياس واحد للرادون شهريا للربط أو للمضاهاة مباشرة مع حوادث زلزالية محددة، حيث من المحتمل أن تحدث العديد من الهزات الأرضية خلال الشهر الواحد وبالتالي فمن الصعب استخدام معطيات الرادون المقاسة على أساس شهري لإغراض ما يدعى بالتنبؤ الزلزالي. لذلك فأن المقارنة المباشرة بين قراءات الرادون أو بعضها وبين السجل الزلزالي للمنطقة لن تخدم كثيرا الهدف المنوط بهذا العمل، الأمر الذي دفعنا خلال هذه المرحلة لتركيز الجهود نحو الاستفادة من هذا الكم من معطيات الرادون لاستخدامها كأساس هام من أجل تقدير الخلفية الطبيعية للرادون (Background) وتحديد مجال تبايرية العادية على امتداد صدع الانهدام السوري ، واعتماد هذا المجال كقاعدة للفصل بين قراءات الرادون العادية والتي تقع ضمن المجال المحدد وبين القيم التي يمكن أن تكون غير عادية أو شاذة عن هذا المجال والتي يحتمل أن تعزى عندئذ إلى عوامل تحدد في كل حاله ومنها العوامل التكوينية المختلفة التي تصيب عادة صحور القشرة الارضية وخاصة في مناطق الصدوع الفالقية المعرضة للحوادث الزلزالية.

لقد تم تحديد مجال تغيرات الخلفية الطبيعية لتراكيز الرادون بالاعتماد على مبدأ حيوكيميائي إحصائي يستند إلى حسن تقدير المتوسط الحسابي (X) لكافة القيم المسجلة في كل محطة مراقبة، مضافا إليه ضعفي قيمة الانحراف المعياري للقيم (2SD). وبالتالي فإن القيم الواقعة خارج المجال (X+2SD) فقط يمكن التعامل معها باعتبارها قيم شاذة عن المؤلف [17]. أما باقي القيم المتأرجحة سلبا أو إيجابا ولكن ضمن المجال المحدد أعلاه فتمثل قيما عادية تعكس طبيعة تذبذبات مستوى تراكيز الرادون كعاز يتميز عادة بعدم الاستقرار وعدم الثبات في الطبيعة نتيجة العديد من المؤثرات مثل العوامل الهيدروجيولوجية والمناخية والجيولوجية المختلفة. واعتمادا على ما سبق، فإن الجدول (2) يبين بأنه وعلى الرغم من أن محطة عرنة على سبيل المثال قد خضعت إلى مراقبة دورية لمدة أربعون شهرا إلا أن قيم الرادون التي شذت عن مجال التغيرات الطبيعية المحدد في هذه الدراسة (X+2SD) كانت فقط ثلاثة قيم (الشكل 2)، ومن ثلاث وستون قياسا للرادون في محطة سرغايا

كان هناك فقط خمس قيم وقعت خارج المجال المذكور (الشكل 3). كما وقد شذت أربع قيم فقط عن مجال التعيرات الطبيعية للرادون في بشر البقعة الارتوازي بالرغم من مراقته دوريا لمدة اثنان وخمسون شهرا (الشكل 4). أما بالنسبة لناقي محطات المراقبة فان عدد احالات التي تجاوزت فيها تراكيز الرادون المجال الإحصائي المذكور أعلاه كان أقل مما سبق، حيث تم تسجيل حالتين شاذتين للرادون فقط من أصل 29 قياسا في محطة نبع رضوان (الشكل 5)، وسجل نفس عدد الحالات الشاذة ولكن من أصل أربعون قياسا للرادون في محطة أم جامع (الشكل 6)، بينما أظهرت محطة عين العجوز حالة شذوذ واحدة فقط للرادون تجاوزت مجال تغيراته الطبيعية بالرغم من مراقبتها لمدة أربعون شهرا (الشكل 7). ومن هنا يمكن الاستنتاج بأن معظم تراكيز الرادون المقاسة في محطات المراقبة الموزعة في مواقع متعددة من مسار صدع الانهدام السوري على مدى أكثر من ستة سنوات وعلى الرغم من طول مدة المراقبة وتباين تراكيز الرادون في المحطات بين فترة وأخرى، إلا أن معظمها يقع بشكل عام ضمن مجال التغيرات الطبيعية للرادون (Radon Natural Variations) في المنطقة. الأمر الذي يمكن أن يقودنا للقول بأن كافة قياسات الرادون الواقعة تحت القيم 447 pCi/L بالنسبة لمحطة عرنة و 337 pCi/L في محطة عين رضوان و 271 pCi/L في نبع سرغايا و 157 pCi/L في نبع أم جامع و 277 pCi/L في بشر البقعة الارتوازي و 174 pCi/L في محطة عين العجوز، هي في الواقع قراءات عادية تشمل على الأغلب تأرجحات الخلفية الطبيعية للرادون في تلك المواقع ولا تعكس بالضرورة حركات تكوينية أو زلزالية هامة. إن ضغط الإطار العام للتأرجحات الطبيعية للرادون ضمن مجال محدد، وليس كقيمة مطلقة، ولا سيما على مسار صدع الانهدام السوري يمثل خطوة هامة جدا تساعد العاملين في هذا المجال على التمييز بين تغيرات الرادون المألوفة وإمكانية فصلها عن بعض القيم الشاذة التي يمكن عندئذ ربطها مع مسيبتها البيئية والجيولوجية المختلفة. الأمر الذي من شأنه أن يساهم في معالجة معطيات الرادون وتفسيرها بالشكل الصحيح سعيا إلى مساندة التقانات الأخرى مثل أعمال الرصد الزلزالي المستمر وتحريات مظاهر التكتونيك الحديث في المنطقة، بغية الوصول إلى أفضل النتائج الممكنة والرامية إلى تخفيف المخاطر الزلزالية والبيئية في بلدنا.

إن مراقبة تغيرات تراكيز غاز الرادون في المياه على مسار صدع الانهدام السوري ومعالجتها بشكل متكامل وفق برنامج قياس طويل الأمد لا تساعد فقط على تقدير الخلفية الطبيعية للرادون وتحديد مجال تغيراته الطبيعية في المنطقة فحسب، بل يمكن أن تساهم أيضا في تقييم حركية هذا الصدع و طبيعة نشاطه التكتوني، الأمر الذي يتعدى تحقيقه من خلال مراقبة لفترة زمنية قصيرة (سنة أو ستان...). ومعنى آخر فان نتائج أعمالنا الحالية و المتنية على معالجة و تحليل كافة معطيات الرادون و النظر إليها بشكل متكامل منذ بداية العام 1992 و حتى 1998 تبين بان معظم تراكيز الرادون المقاسة على الصدع المذكور و خلال مدة مراقبة طويلة نسبيا تقع ضمن مجال حدود الخلفية الطبيعية باستثناء عدد محدود جدا من القراءات الشاذة والتي تم تمييزها وفصلها، الأمر الذي يسمح بالاستنتاج و بدرحة مقبولة من الوثوقية بان صدع الانهدام السوري لا يدي حركية مميزة أو نشاط تكتوني كبير، بل انه يمثل على الأرجح صدعا تكتونيا ذو نشاط متوسط أو ربما أقل من المتوسط من

وحدة نظر مراقبة تغيرات تراكيز الرادون على المدى الطويل. هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى فإن الجدول (2) يبين أيضا بأنه وبالرغم من أن معظم معطيات الرادون المسجلة في مواقع متاعدة نسبيا على امتداد صدع الانهدام السوري تبدو متأرجحة ضمن مجال الخلفية الطبيعية المحدد في الإطار (X+2SD) إلا أن مدى تأرجحها الطبيعي يبدو متباينا بين محطة وأخرى، الأمر الذي يشير إلى تباين في تراكيز الرادون و في استقرار مستوى تلك التراكيز بين موقع وآخر من مسار الصدع، و يُحتمل أن يعزى هذا التباين إلى مدى حساسية المحطات المختلفة لتغيرات الرادون الناجمة عن الإجهادات الأرضية المرتبطة بالطبيعة الجيوتكتونية لكل موقع من مواقع المراقبة، إضافة إلى الدور الهام التي يمكن أن تلعبه الطبيعة الهيدروجيولوجية للثرائ أو النع ولاسيما تراكيب التشكيلات الجيولوجية الحاملة للمياه الجوفية التي يجري عمليا قياس و مراقبة غاز الرادون فيها. واعتمادا على ما جاء في بعض نتائجنا السابقة [6,7,8] حيث افترضنا أن عدم استقرار تراكيز الرادون في بعض محطات المراقبة مرتبط بشكل رئيسي بالطبيعة التكتونية المتميزة لتلك المواقع ووقوع بعضها في منطقة تقاطع أنظمة الفالق هامة كما هو الحال بالنسبة لمحطة عرنة حيث التقاء نظام الصدع المشرقي الكبير مع نظلم الطي الفالقي التدمري، ووقوع محطة بئر ارتوازي البقعة عند اندماج صدع اليمونة اللباني مع صدع الغلاب السوري قرب سهل البقعة مما يكسيها أهمية خاصة عند تمفصل هذين الصدعين الكبيرين. فان عملنا الحالي يبرز أهمية تلك المواقع واعتبارها بمثابة مقاطع تكتونية تتميز بنشاط وحركية أكثر من باقي مقاطع الصدع الأخرى ، وبالتالي إمكانية فرز المقاطع التكتونية من الصدع بحسب درجة حركتها ونشاطها النسبي اعتمادا على مدى استقرار أو تذبذب مستوى الرادون في المياه الجوفية على المدى الطويل. الأمر الذي يمكن أن يساهم في فهم طبيعة الحركة التكتونية و مدى تحاسنها على الامتداد العام للصدع، وهذا بدوره يمثل خطوة إلى الأمام ضمن الإطار العام الرامي إلى تخفيف المخاطر البيئية على مسار صدع الانهدام السوري.

7- خاتمة واستنتاجات

على الرغم من أن معطيات الرادون المقاسة في المياه الجوفية المرتبطة بصدع الانهدام السوري بشكل دوري ومعدل مره كل شهر تعتبر غير كثيفة بشكل كاف يسمح باستخدامها لإغراض المراقبة الدقيقة للأحداث الزلزالية في المنطقة، إلا أن نتائج العمل الحالي بينت أهمية وفائدة تلك المعطيات في المناحي التالية:

7.1 - تقدير الخلفية الطبيعية للرادون وتحديد مجال تغيراته العادية في كافة محطات المراقبة الموزعة على مسار الصدع اعتمادا على حساب متوسط القيم (X) المقاسة بشكل دوري ومتكرر ولمدة أكثر من ست سنوات مضافا إليها ضعف قيمة الانحراف المعياري (2SD).

7.2 - اعتمادا على المدى الإحصائي المحدد في هذا العمل ($X+2SD$)، فقد تبين بأن أغلب قراءات الرادون المسجلة في مواقع متعددة من مسار صدع الالهدام السوري خلال فترة المراقبة من 1992 إلى 1998 تعتبر قيسا عادية غير شاذة ويتبع معظمها ضمن مجال حدود الخلفية الطبيعية لغاز الرادون، الأمر الذي يسمح لنا بالاستنتاج بأن هذا الصدع لا يبدي نشاطا تكتونيا بدرجة كبيرة بل إنه على الأرجح متوسط النشاط التكتوني أو ربما أقل من ذلك، وفقا لنتائج مراقبة تغيرات تراكيز غاز الرادون في المياه الجوفية على المدى الطويل.

7.3 - بالرغم من أن معظم قيم الرادون الموثقة في هذا العمل تتأرجح بشكل عام ضمن مجال التغيرات الطبيعية المحدد أعلاه، إلا أن معدل تراكيزها و مستوى تأرجحها يبدو متباينا نسبيا بين محطة وأخرى. الأمر الذي يحتمل أن يشير إلى عدم تجانس وتيرة الحركة والنشاط على المسار العام للصدع، وبالتالي اعتبار تلك المواقع، (مثل موقع عرنة وموقع ارتوازي البقيعة)، بمثابة مقاطع تكتونية تتميز بمستوى أعلى من الحركة والنشاط التكتوني مقارنة مع الطبيعة الحركية للمقاطع الأخرى من مسار صدع الالهدام السوري.

REFERENCES :

- [1] Al-Hilal M., Sbeinati R., and Darawcheh R. (1998): Radon variations and microearthquakes in western Syria. *Appl. Radiat. Isot.* Vol. 49, Nos. 1-2, PP. 117-123
- [2] Barazangi M., Seber D., Chaimov T., Best J., Litak R., Saad D., Sawaf T. (1993): Tectonic evolution of the northern Arabian plate in western Syria. *Recent Evolution and Seismicity of the Mediterranean Region*, E. Boschi et al. (eds), PP. 117-140.
- [3] Chaimov T., Barazangi M., Al-Saad D., Sawaf T., Gebran A. (1990): Crustal shortening in the palmyride fold belt, Syria, and implications for movement along the Dead Sea Fault System. *Tectonics*, Vol.9, No.6, PP. 1369-1386
- [4] Al-Mond D.C. (1986): Geological evolution of the Afro-Arabian Dome. *Tectonophysics*, No.131, PP.301-332.
- [5] Khan M A (1975): The Afro-Arabian Rift System *Sci. Prog., Oxf.*, No 62, PP. 207-236.
- [6] Al-Hilal M. and Mouty M. (1994): Radon monitoring for earthquake prediction on Al-Ghab fault of Syria. *Nucl. Geophys.* Vol. 8, No 3, PP. 291-299.
- [7] Jubeli Y., Al-Hilal M. and Al-Ali A. (1996): Investigation of radon gas emission on some seismically active faults in Syria. Unpubl. internal report of scientific field study. Dept. of Geology, Atomic Energy Commission of Syria, Damascus, PP. 15.
- [8] Al-Hilal M., Al-Ali A. and Jubeli Y. M. (1997): Monitoring of the Syrian rift valley using radon technique. Unpubl. internal report of scientific field study Dept. of Geology, Atomic Energy Commission of Syria, Damascus, PP. 17.
- [9] Tanner A. B. (1980): Radon migration in the ground: A supplementary review. The natural radiation environmental report CONF-780422 U.S. Dept. of Energy, Washington D C., PP. 5-56.
- [10] Durrance E. (1986): *Radioactivity in Geology Principles and Applications.*
- [11] Barretto P.M.C., Clark R. B., Adams J.A.S. (1972): Physical characteristics of radon-222 emanation from rocks, soils and minerals: Its relation to temperature and alpha dose *The Natural Radiation Environment II*, Vol.2, Symposium Proceedings, Houston, Texas, Aug 7-11, 72, PP. 731-740.
- [12] IAEA (1992) *Technical Reports Series No.333, Measurement and Calculation of Radon Releases From Uranium Mill Tailings*, Vienna.
- [13] Teng T. (1980): Some recent studies on groundwater radon content as an earthquake precursor. *J. Geophys. Res.* 85 3089.

- [14] Hauksson E. (1981) Radon content of groundwater as an earthquake precursor: evaluation of worldwide data and physical basis *J Geophys. Res.*, Vol. 86, pp. 9397-9410.
- [15] Ramoia R. C., Singh M., Sandhu A. S. and Virk H. S. (1990) The use of radon as an earthquake precursor *Nucl. Geophys.* 4, pp. 275-287
- [16] Igrashi G., Saeki S., Takahata N., Sumikawa K., Tasaka S., Sasaki Y., Takahashi M., and Sano Y., (1995): Groundwater radon anomaly before the kobe earthquake in Jap. *Science*. Vol 269, pp. 60-61.
- [17] Virk H. S. (1995): Radon monitoring of microseismicity in the Kanagra and Chamba valleys Himachal Pradesh, India. *Nucl. Geophys.* Vol. 9, pp. 141-146
- [18] Braitenberg M., Garavaglia S. M., Zadro M. (1997): Radon and crustal deformation monitoring in the seismic area of Friuli, North-East of Italy. Proceedings of the third international conference on rare gas geochemistry (10-14 Dec., 95, Amritsar, India), edited by Virk H.S., PP.62-68.
- [19] King C. Y. (1989): Gas-geochemical approaches to earthquake prediction. In environmental radioactivity and earth sciences, ICTP, Trieste, Italy, April 3-14, pp. 245-272.
- [20] Ambraseys N., and Barazangi M. (1989). The 1759 earthquake in the Bekaa valley: implications for earthquake hazard assessment in the East Mediterranean Region. *Geophys. Res. J.* 94, No. B4, pp. 4007-4013.
- [21] Radwan Y., Al-Najjar H. and Darawcheh R. (1994): Investigations of active tectonics along the major faults in Syria using geomorphic techniques. Proceedings of the second conference on the geology of the Arab world, Cairo 22-26 Jan. 94.
- [22] Jubeli Y.M., Al-Najjar H., Leyous I. (1999): Neotectonic Evidences Found in the Geological Formations along the Eastern Flank of Al-Haramoun Mountain. *AALAM AL-ZARRA*, Journal of the Atomic Energy Commission of Syria, No. 60, PP 90-94.