مجلة مركز بحوث ودراسات

المدينة المنورة

العدد الثامن عشر / رجب - رمضان ١٤٢٧هـ أغسطس - أكتوبر ٢٠٠٦م

١٨

- بحوث المدينة المنورة بين الواقع والتطلع
- دراسة صحية لوجبة إفطار الصائمين المقدمة من المبرات الخيرية بالمدينتين المقدستين مكة المكرمة والمدينة المنورة
- من النباتات الطبية في المدينة المنورة : البشـــام
- غاز الرادون وضرورة تحديد تركيزه في بيئة المدينة

غاز الرادون المشع وضرورة تحديد تركيزه في البيئة الجيولوجية للمدينـة المنـورة

محمد الأحمد الهلال

هيئة الطاقة الذرية السورية – قسم الجيولوجيا

تمهيـــد: تقع المدينة المنورة في وسط الإقليم الغربي من المملكة العربية السعودية عند خط عرض ٢٤.٢٨° شمالاً، وخط طول ٣٩.٣٦° شرقاً، ويبلغ متوسط ارتفاعها عن سطح البحر ٦٢٥ م تقريباً، وتبعد عن مكة المكرمة بحوالي ٤٣٠كم شمالاً، وعن الرياض (العاصمة) بنحو ٩٩٢ كم غرباً، وعن شاطئ البحر الأحمر بخط مستقيم ١٥٠كم شرقاً.

وبالرغم من مناخها القاري والصحراوي الجاف، إلا أنها واحة زراعية خصبة تشتهر بزراعة النخيل، وتحتوي على الكثير من المساحات الخضراء المزروعة، نظراً لخصوبة تربتها من جهة، ولوفرة مواردها المائية من جهة أخرى. كما تتميز المدينة المنورة بكثرة الأودية الموسمية التي تسيل إليها في فصل الشتاء قادمة من مختلف الاتجاهات، مخلفة ورائها العديد من أنواع الترب مثل التربة الصلصالية الثقيلة والخفيفة والتربة الغرينية وغيرها، الأمر الذي يحسن باستمرار من طبيعة تربتها، ويجدد خصوبتها، ويزيد من قابليتها للزراعة. ونظراً لموقعها الجيولوجي الهام ضمن الدرع العربي، فإن المدينة المنورة تحتوي على الكثير من المجموعات الصخرية المتنوعة من

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

حيث تراكيبها وخصائصها والتي تمتد أعمارها من أبد الحياة الخافية وحتى دهر الحياة الحديثة.

هدف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على غاز الرادون المشع، والتعريف بخواصه ومصادره الطبيعية وطرق قياسه، وذلك لما لهذا الغاز من أثر كبير على صحة الإنسان حيث يمثل أحد أهم مصادر الإشعاع في الطبيعة التي يمكن أن تدخل الجسم البشري عن طريق التنفس. كما تهدف الدراسة إلى تقديم فكرة أولية عن جيولوجية المدينة وتحديد أنواع الصخور التي يحتمل أن تمثل مصادر للإشعاعات الطبيعية وبخاصة غاز الرادون.

ما هو الرادون ؟

الرادون غاز مشع، عديم اللون والطعم والرائحة، ينتج عن التحلل الطبيعي لسلسلة اليورانيوم ٢٣٨ وسلسلة الثوريوم٢٣٢، ويعتبر عنصر الراديوم الموجود ضمن هاتين السلسلتين هو المصدر المباشر للرادون في الطبيعة. يصنف الرادون بأنه غاز خامل كيميائياً، أي أنه لا يتفاعل أو يتحد مع عناصر أخرى في الطبيعة. وللرادون سلالة من العناصر المشعة ليست خاملة مثله، والمقصود بالسلالة : هو أن غاز الرادون يتحول إلى عنصر آخر مُطْلِقَاً جسيماتٍ مشعة هي جسيمات أَلْفا ، والعنصر الذي يتحول إليه الرادون هو بدوره عنصر مشع يطلق جسيمات مشعة أخرى ليتحول إلى عنصر آخر ، وهكذا حتى الوصول إلى نظير الرصاص المستقر (غير المشع). وتتلازم عملية تحلل الرادون في الطبيعة مع إطلاق إشعاعات مؤينة[1] قادرة على تأيين الذرات

(١) **الإشعاعات المؤينة** : هي جميع الإشعاعات القادرة على تأيين الذرات أو الجزئيات التي تتكون منها المادة بما في ذلك الأنسجة الحية وتشمل : الأشعة السينية وإشعاعات جاما وجسيمات ألفا وبيتا وغيرها ...

أوالجزيئات التي تتكون منها المادة بما فيها الأنسجة الحية وتشمل جسيمات أَلْفا وبيتا وإشعاعات جاما وغيرها. وللرادون ثلاثة نظائر مشعة[1] في الطبيعة هي: الرادون ***Rn222*** والثورون ***Rn220*** والنظير ***Rn 219*** .

أثر الرادون على الصحة العامة :

يُعد غاز الرادون أحد أهم مصادر الإشعاع في الطبيعة، والتي يمكن أن تدخل إلى جسم الإنسان عن طريق التنفس. **وتكمن خطورته في كونه عنصراً غير مستقر، ينتج عند تحلله مجموعة من النظائر المشعة الأخرى التي يمكن أن تلتصق بدقائق الغبار الصغيرة العالقة في الهواء الجوي لتدخل بعدها إلى الجهاز التنفسي وتصل إلى الشعب الهوائية الدقيقة**، وقد تستقر في الأغشية المخاطية المبطنة للجهاز التنفسي، مما يزيد من نسبة التعرض للأمراض الصدرية، وخاصة سرطان الرئة. ويعتبر الرادون حالياً المسبب الرئيس لحوالي ١٥ بالمائة من مجمل الإصابات بسرطان الرئة في العالم بحسب آخر تقارير منظمة الصحة العالمية، وأن أكثر من عشرين ألف شخص، على سبيل المثال، يموتون سنوياً في الولايات المتحدة الأمريكية بسبب سرطان الرئة الناتج عن الرادون . لذلك، فإن المبدأ العالمي للحماية الإشعاعية ينص حالياً على خفض الجرعات الإشعاعية التي يمكن أن يتعرض لها الناس إلى أقل مستوى ممكن، سواء كانت هذه الجرعات ناتجة عن التعرض للرادون أو من مصادر إشعاعية أخرى[2].

ولذلك فإن دراسة غاز الرادون ومعرفة نسب تركيزه الإشعاعي في الهواء والماء والتربة، إضافة إلى تحديد مصادره تحظى حالياً بأهمية متزايدة

---

(١) **نظائر العنصر** : هي ذرات من نفس العنصر تتفق في عدد البروتونات وتختلف في عدد النيوترونات، أو تتفق في العدد الذري وتختلف في عدد الكتلة .

(٢) **النشاطية الإشعاعية** : هي عدد النويدات المنحلة من العنصر في الثانية الواحدة ، وتقاس النشاطية الاشعاعية بوحدة البيكرل أو انحلال / ثانية .

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

في الأوساط العلمية وخاصة الجامعات ومراكز البحوث المهتمة بالدراسات البيئية والحفاظ على الصحة العامة[1] .

موقع الرادون ضمن سلاسل التحلل الإشعاعي الطبيعي :

يوجد في الطبيعة ثلاث سلاسل إشعاعية أساسية تبدأ كل سلسلة بنظير مشع معين يتحلل بدوره إلى عدة نظائر مشعة أخرى من بينها أحد نظائر الرادون وتنتهي السلسلة بنظير مستقر، (الجدولين ١و ٢). السلسة الأولى هي سلسلة اليورانيوم ٢٣٨ الذي يتحلل إلى مجموعة متتابعة من العناصر المشعة من بينها الراديوم ٢٢٦ الذي يعتبر المصدر المباشر لنظير الرادون (***Rn -222***)، وهو النظير الأكثر أهمية على الإطلاق من بين نظائر الرادون الثلاث الأخرى، ويعود ذلك إلى وفرة اليورانيوم ٢٣٨ في الطبيعة من جهة، ولكون عمر النصف للنظير (***Rn -222***) طويل نسبياً (٣.٨٢يوم). الأمر الذي يجعل من الممكن تتبعه وقياس تركيزه في الهواء والماء والتربة (الجدول١). والسلسلة الثانية هي سلسلة الثوريوم ٢٣٢ الذي يتحلل بدوره إلى عدد من العناصر المشعة من بينها الراديوم ٢٢٤ الذي يمثل المصدر المباشر للنظير الثاني للرادون وهو (***Rn -220***) ويسمى الثورون وعمره النصفي ٥٦ ثانية تقريباً (الجدول ٢). أما السلسة الإشعاعية الثالثة فتبدأ بنظير اليورانيوم ٢٣٥ وينتج عن تحللها النظير الثالث للرادون وهو (***Rn-219***) وعمره النصفي يساوي ٣.٩٦ ثانية فقط. ويعتبر نظيراً للرادون الثاني والثالث الناتجين عن تحلل سلسلتي اليورانيوم ٢٣٥ والثوريوم ٢٣٢ وهما قليلا الأهمية من حيث تأثيرهما البيئي؛ لأن مستوى تركيزهما في الطبيعة قليل جداً أو يكاد يكون معدوماً نظراً لصغر عمرهما النصفي[2].

---

(1) *Othman, I. etal. (1996): Radon in Syrian Houses. J. Radiol. Prot. 16, 45-50*

(2) *Saeed A . Durrani and Radomir Ilic (1997):*

جدول (١) سلسلة تحلل اليورانيوم ٢٣٨

النظير:	الإشعاع الناتج :
يورانيوم ٢٣٨	ألفا وجاما
ثوريوم ٢٣٤	بيتا وجاما
بروتاكتينيوم ٢٣٤	بيتا وجاما
يورانيوم ٢٣٤	ألفا وجاما
ثوريوم٢٣٠	ألفا وجاما
راديوم٢٢٦	ألفا وجاما
رادون٢٢٢	ألفا وجاما
بولونيوم٢١٨	ألفا
رصاص٢١٤	بيتا وجاما
بزموث٢١٤	ألفا وبيتا
بولونيوم٢١٤	ألفا وجاما
رصاص٢١٠	بيتا وجاما
بزموث٢١٠	ألفا وبيتا
بولونيوم٢١٠	ألفا وجاما
رصاص	مستقر(غير مشع)

جدول (٢) سلسلة تحلل الثوريوم٢٣٢

النظير:	الإشعاع الناتج :
ثوريوم ٢٣٢	ألفا وجاما
راديوم٢٢٨	بيتا وجاما
اكتينيوم ٢٢٨	بيتا وجاما
ثوريوم ٢٢٨	ألفا وجاما
راديوم ٢٢٤	ألفا وجاما
رادون ٢٢٠	ألفا وجاما
بولونيوم ٢١٦	ألفا وجاما
رصاص ٢١٢	بيتا وجاما
بزموث٢١٢	ألفا، بيتا، جاما
بولونيوم ٢٢٠	ألفا
ثاليوم ٢٠٨	بيتا وجاما
رصاص ٢٠٨	مستقر(غير مشع)

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

مصادر الرادون في الطبيعة:

ينبعث غاز الرادون بشكل طبيعي من مصادره المتمثلة أساساً بالصخور النارية[1] الحمضية الحاوية على العناصر المشعة كاليورانيوم أو الثوريوم أو الراديوم، سواء كانت تلك الصخور نارية جوفية؛ أي تكونت في الأعماق تحت السطح، كصخور الجرانيت والجرانوديوريت، أو صخور سطحية حمضية كالريوليت والداسيت.

يتضمن الجدول (٣) معدل تركيز عناصر الثوريوم ٢٣٢ والراديوم ٢٢٦ في بعض أنواع الصخور الشائعة معبرا عنها بوحدة البيكرل[2]. ينبعث غاز الرادون من صخور المصدر ثم ينطلق من خلال التصدعات والشقوق الصخرية وعبر مسامات التربة لينتشر في الهواء عند سطح الأرض أو يتراكم في الأماكن المغلقة كالمنازل والمباني العامة. وتعد التربة الناتجة عن حت وتعرية الصخور الجرانيتية والبركانية الحمضية مصدراً هاماً للرادون؛ لأنها تحتوي على معظم عناصر السلاسل الإشعاعية الطبيعية. ونظراً لكون الصخور والتربة هي المكونات الأولية والأساسية لمواد البناء مثل الأسمنت والخرسانة وأحجار البناء، فإن مواد البناء هذه يمكن أن

---

(١) تصنف الصخور إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي :

١ . **الصخور النارية** : تنشأ عن تجمد سائل سيليكاتي حار ينبعث من باطن الأرض ويعرف باسم الصهارة المهلية (*magma*) والتي ينتج عنها :

أ. **صخور حمضية** كالجرانيت والريوليت والداسيت، و صخور متوسطة كالديوريت والأنديزيت، وصخور قاعدية مافية كالبازلت البركاني والجابرو .

ب. **الصخور الرسوبية** : تتكون من تجمع المواد الناتجة عن تآكل وحت الصخور الأخرى ثم تترسب وتتحجر على شكل طبقات رسوبية..

ج. **الصخور المتحولة** : تنشأ عن تحول الصخور النارية والرسوبية تحت تأثير الضغط والحرارة والسوائل الجوفية الحارة جداً ...

(٢) **البيكرل** : (*Bq*) هي وحدة قياس النشاط الإشعاعي ، والبيكرل الواحد عبارة عن تفكك واحد في الثانية، أو (انحلال / ثانية) .

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

تحتوي على نسب متفاوتة من العناصر المشعة كاليورانيوم والثوريوم، وبالتالي فهي تؤثر في تركيز غاز الرادون داخل المنازل وربما تمثل مصدرا مستمرا للرادون في المباني. ومن المصادر المهمة للرادون أيضا المياه المستخدمة للشرب أو للنظافة، إذ أن غاز الرادون يذوب في الماء وعند مرور المياه على الصخور أو تغلغلها من خلال المسامات الصخرية فإنها تقوم بحل الرادون وسحبه من الصخور. هذا، إضافة إلى دور المياه الجوفية في حل عنصر الراديوم ٢٢٦ من الصخور والذي ينحدر منه الرادون ٢٢٢ مباشرة، وبذلك ينتقل غاز الرادون المنحل في المياه عند ضخها من باطن الأرض وحتى إيصالها للمنازل. كما يمكن اعتبار الغاز الطبيعي المستخدم للطهي في المطابخ أحد مصادر الرادون، كون الغاز الطبيعي مستخرج أصلاً من مكامن جيولوجية عميقة في باطن الأرض والتي يمكن أن تمثل بدورها بيئات جيوكيميائية مناسبة لتولد غاز الرادون الذي يتسرب إلى تلك البيئات ويستقر فيها.

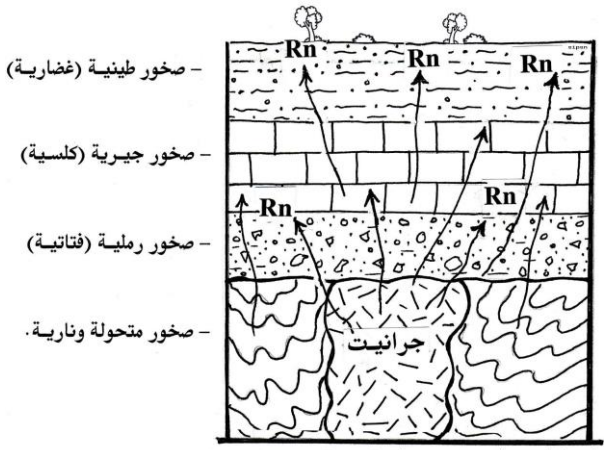
جدول (٣) معدل تركيز عناصر الثوريوم ٢٣٢ والراديوم ٢٢٦ في بعض أنواع الصخور:

الصخر	ثوريوم ٢٣٢ (بيكرل /كجم)	راديوم ٢٢٦ (بيكرل /كجم)
جرانيت عادي	٢٠ -٨٠	٢٥ -٨٠
جرانيت غني باليورانيوم	٤٠ -٤٠٠	١٠٠ -٥٠٠
النيس **Gneiss**	٢٠ -٨٠	٢٥ -١٢٥
الجابرو والدوليريت	٥ -٤٠	١ -٢٥
الحجر الجيري (الكلسي)	٠.٥ -١٠	٥ -٤٠
الطفل الصفيحي **Shale**	٥ -٦٠	١٠ - ١٢٥

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

العوامل المؤثرة على تركيز غاز الرادون في الطبيعة:

لعل من أهم العوامل المؤثرة على تركيز غاز الرادون في الطبيعة هو البيئة الجيولوجية للمنطقة، وأنواع التراكيب الصخرية[1] المتواجدة فيها (الشكل ٣)، ونسبة توافر العناصر المشعة المولدة للرادون مثل اليورانيوم والراديوم والثوريوم وتوزعها في تلك الصخور. ومعلوم أن هذه العناصر المشعة تتوافر غالباً في الصخور النارية الحمضية، وهي صخور فاتحة اللون تحتوي على نسبة مرتفعة من السيليكا ***Sio2*** تصل إلى أكثر من ٦٦٪ ، بينما تحتوي على نسبة منخفضة (أقل من ٣٠٪) من المعادن المافية (الفيرومغنيسية).



شكل (٣) : بعض أنواع الصخور الشائعة وطريقة توضعها في الطبيعة

وأما المياه فيتفاوت تركيز الرادون فيها تبعاً لطبيعة الصخور الحاضنة للمياه الجوفية، ومدى احتوائها على العناصر المشعة المولدة للرادون وبخاصة عنصر الراديوم. وقد وجدت من خلال بعض الدراسات العلمية التي أجريتها في هذا المجال[2] بأن تركيز غاز الرادون يزداد في المياه العميقة عنه

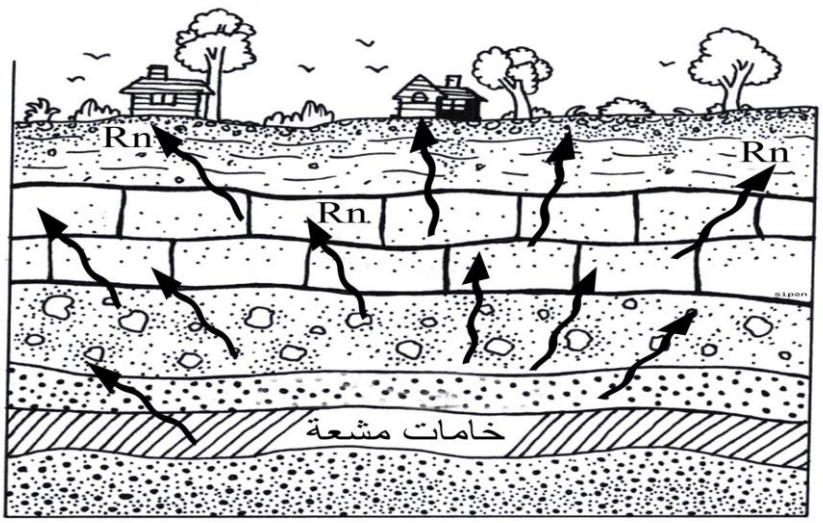
(١) محمد الهلال وآخرون (١٩٩٨) :

(٢) يوسف جبيلي ومحمد الهلال (١٩٩٨) :

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

في المياه القريبة من السطح، كما أن محتوى الرادون في المياه يزداد بازدياد درجة حرارة المياه لأن المياه الحارة لها قدرة أكبر على حل العناصر المعدنية من الصخور والتربة. ومن الجدير بالذكر أن مستوى تركيز غاز الرادون في المياه يتغير بشكل ملحوظ تبعاً لطريقة ضخ المياه، فكلما كانت الفترة الزمنية منذ سحب المياه من باطن الأرض وحتى إيصالها للمنازل أطول؛ يصبح تركيز الرادون فيها أقل، وكلما كانت هذه الفترة الزمنية أقصر؛ كان تركيز الرادون فيها أعلى.

ويعتمد تركيز الرادون في التربة على طبيعة صخور المصدر التي اشتقت منها التربة، كما يعتمد أيضاً على درجة النفاذية والمسامية، فالتربة عالية النفاذية تسمح لغاز الرادون بالخروج والانتشار من مصادره في الطبقات السفلى إلى الطبقات العليا، بعكس التربة الكتيمة التي تعيق حركة الرادون وتحد من انتشاره (الشكل ٤).



الشكل (٤) انبثا ق غاز الرادون (Rn) من المصدر المشع في الأعماق وانتقاله إلى السطح عبر الشقوق الصخرية ومسامات التربة.

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

وتـؤثر العوامـل المناخيـة المختلفـة إلى حـد كـبير في معـدل انبثـاق غـاز الرادون[1]، فقد بينت الدراسات أن تركيز الرادون يرتفع بشكل عام في الفترة الصباحية من النهار ويقل في ساعات بعد الظهر، كما أن تركيز الرادون ينخفض بارتفاع نسبة الرطوبة أو بالمطر، وللضغط الجوي ودرجة الحرارة أثر كبير على معدل انبثاق الرادون، حيث يزداد انبعاث غاز الرادون من التربة كلما قل الضغط الجوي، بينما يزداد تركيز الرادون بارتفاع درجة حرارة الجو. ولابد من التنويه إلى أهمية وجود الصدوع والفوالق والتشققات الصخرية ودورها الكبير في تسهيل حركة الرادون وانتقاله من الأعماق ليزداد تركيزه بشكل ملحوظ عند سطح الأرض.

طرق قياس الرادون

١. طرق قياس الرادون في الهواء :

يوجد العديد من الطرق المتبعة لتحديد تراكيز غاز الرادون في الهواء منها طريقة صندوق الفحم، والكواشف الحرضوئية والكواشف الوميضية وغيرها، وسأكتفي هنا بعرض مختصر للطرق التي استخدمتها أنا شخصياً في بعض الدراسات والبحوث التي أجريتها في هذا المجال.

الطرق التراكمية غير المباشرة (*Integrating passive methods*):

تعتمد هذه الطريقة على استخدام كواشف الأثر النووي (***nuclear track detectors***) وهي عبارة عن قطع من مادة بلاستيكية مثل النوع

---

(1) *Cothern R. and Smith J.E. (1987): Environmental Radon*

(***CR39***) توضع بشكل مناسب على حوامل خاصة ضمن المبنى أو المنزل أو في الطبيعة بحيث تكون معرضة للهواء مباشرة لفترة زمنية محددة (ثلاثة أو أربعة أسابيع) ترفع بعدها من موقع القياس لنلاحظ بعد ذلك أنه عند سقوط جسيمات أَلْفا الناتجة عن تحلل الرادون على هذه الكواشف البلاستيكية فإنها تترك عليها آثاراً أو نقاطاً لا ترى بالعين المجردة؛ لذلك تخضع هذه الكواشف إلى معالجة كيميائية بمادة هيدروكسيد الصوديوم ذات تركيز محدد ، وتسخن لفترة معينة حتى تكبر وتظهر الآثار التي خلفتها جسيمات أَلْفا ، ويصبح بالإمكان تعدادها بواسطة المجهر . يتناسب عدد هذه الآثار أو النقاط طردياً مع تركيز الرادون في الهواء[1]. وتعتبر هذه الطريقة سهلة وعملية وغير مكلفة ، وهي دقيقة أيضاً لأنها تجنب إلى حد كبير الأخطاء الناتجة عن التغيرات المناخية والزمنية التي تؤثر عادة في مستوى الرادون[2] .

طرق قياس تركيز غاز الرادون في المياه والتربة :

الطرق المباشرة (*Direct Activi Methods*):

يتم تحديد محتوى غاز الرادون في التربة من خلال سابرة توضع داخل حفرة بعمق حوالي ٦٠سم وقطر ١٠سم ومن ثم سحب أو تخلية غاز التربة بواسطة مضخة يدوية بحيث ينتقل الغاز ضمن دائرة مغلقة من التربة إلى

---

(1) (*Gingrich , J.E.etal. (1976): Uranium exploration using the track etch method.*

(2) *Clements W.E. and Wilkening W.H. (1974): Atmospheric Pressuree effects on Rn 222 transport*

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

خلية وميضية **(*Scintillation Lucas Cell*)** مطلية من الداخل بمادة كبريت الزنك المنشط بالفضة **(*Zns*)** . ثم يتم قراءة نشاط إشعاع ألفا ضمن الخلية الوميضية بواسطة عداد خاص، حيث تتناسب القراءة الناتجة مع محتوى غاز الرادون بالتربة في موقع القياس بشكل مباشر . أما بالنسبة لطريقة قياس مستوى غاز الرادون في المياه فتعتمد على تخلية العينة المائية من الغازات الموجودة فيها بواسطة دارة محكمة الإغلاق بحيث يتم سحب الغاز من العينة المائية إلى الخلية الوميضية **(*Scintillation Lucas cell*)** . يجري بعدها تحديد نشاط أَلْفا في الخلية الوميضية بواسطة عداد خاص للرادون ومن ثم حساب تركيز الرادون في العينة المائية[1].

حدود التعرض الإشعاعي المسموح بها :

لمعرفة حدود التعرض الإشعاعي المسموح بها دولياً ، يمكن للقارئ الرجوع إلى توصيات اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع **(*ICRP*)** والتي تنص على أن لا تتعدى الجرعة الإشعاعية التي يمكن أن يتعرض لها عموم الجمهور في السنة عن واحد ميلي سيفرت[2] أي ما يعادل ٤٠٠ بيكرل في المتر المكعب من الهواء[3] .

الوضع الجيولوجي للمدينة المنورة:

---

(٢) **السيفرت**: وحدة قياس الجرعة الإشعاعية المكافئة (أو الفعالة) .وهو انتقال طاقة من إشعاعات جاما إلى الجسم تكافئ جول واحد لكل ١كيلوجرام

(٣) **السيفرت**: كما وانصح القارئ الكريم بالاطلاع على المنشورات الدورية الصادرة عن منظمة الصحة العالمية *(World health organization)* ، وكذلك منشورات وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة الأمريكية .

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

نظراً لكون الصخور بتراكيبها المختلفة، تمثل المصدر الرئيس للعناصر المشعة في الطبيعة، فمن الضروري الاطلاع على أهم المجموعات الصخرية المنتشرة بمنطقة المدينة المنورة، والتعرف على أنواعها، ودراسة خصائصها ومراحل نشأتها وتطورها خلال الزمن الجيولوجي. ومن أجل ذلك، فقد عمدت إلى دراسة الخارطة الجيولوجية لمنطقة المدينة المنورة وهي بمقياس (١:٢٥٠.٠٠٠) والمذكرات الإيضاحية التابعة لها[١]، إضافة لقيامي بتدقيق حقلي مباشر لمعظم المواقع الجيولوجية الواقعة ضمن محيط الخط الدائري الثالث الذي يمثل الحدود الإدارية والعمرانية للمدينة المنورة، وذلك لمطابقة بعض معطيات الخارطة الجيولوجية على الواقع الميداني .

تقع منطقة المدينة المنورة، من وجهة نظر جيولوجية، في الجزء الشمالي من الدرع العربي بين خطي عرض ٢٤.٠٠ و٢٥.٠٠ شمالاً وخطي طول ٣٩.٠٠ و ٤٠.٣٠ شرقاً، وبالتالي فإن بنيتها الجيولوجية تعكس التركيب الجيولوجي العام للدرع العربي الذي يتكون من صخور نارية ومتحولة كانت أساساً صخور رسوبية وبركانية قديمة تعود لزمن ما قبل الكامبري (الشكل١). تعرضت هذه الصخور منذ نشأتها إلى أحداث جيولوجية هامة وعمليات تكتونية ضخمة تضمنت حركات رفع وخفض وعمليات طي وتصدعات كبيرة ونشاط بركاني ومحقونات جوفية من الحمم المصهورة تحت درجات عالية جداً من الضغط والحرارة أدت إلى

(١) الخارطة الجيولوجية ـ رقعة المدينة المنورة ـ مقياس ١:٢٥٠.٠٠٠ *Complied by Claude Pellaton (1981):*

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

تحول هذه الصخور وتطور تركيبها الكيميائي وتغير معظم صفاتها الأصلية[1].

وبناء على ما تقدم، فقد تم إنجاز خارطة جيولوجية مبسطة للمدينة المنورة ضمن نطاق الخط الدائري الثالث أو داخل حدود النطاق العمراني (الشكل ٢)، حيث صُنفت الصخور الموجودة داخل هذا المحيط إلى المجموعات الصخرية التالية:

١ - **صخور ما قبل الكامبري** (Upper Proterozoic) وتقسم إلى مجموعتين هما:

أ - **المجموعة الأولى** ويرمز لها على الخارطة الجيولوجية الخاصة بهذه الدراسة بالحروف: (***au***) و (***ur***) ، (الشكل ٢)، وهي الأقدم ويمتد عمرها بين (٨٠٠ – ٦٩٠ مليون سنة). ويتكون جزئها السفلي (***au***) من صخور نارية قاعدية إلى حمضية تشمل الأنديزيت والداسيت والتراكيت والريوليت، وصخور فتاتية متنوعة تكونت عن إعادة ترسيب مواد بركانية قديمة متكسرة تلاحمت مع بعضها بشكل غير متجانس. تنتشر هذه الصخور بشكل واسع في شمال المدينة المنورة وغربها وخاصة في المناطق الجبلية الممتدة إلى الشمال من جبل أحد ، وفي غرب جبال الوعيرة على جانبي طريق تبوك القديم، وفي جبال الجرف. يتوضع فوق هذه الصخور وبعدم توافق بسيط جزء علوي يأخذ الرمز (***ur***) وتتكون صخوره من الريوليت والداسيت والبريشيا الريوليتية والطف، وتنتشر هذه الصخور في

(١) **الشنطي** ، أحمد محمود سليمان (٢٠٠٣م): جيولوجية الدرع العربي ، مركز النشر العلمي ، جامعة الملك عبد العزيز بجدة .

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

جبل أحد الواقع شمال المدينة على بعد ٥.٥كم شمال المسجد النبوي، وفي جبل الوعيرة الممتد إلى الغرب من مطار المدينة على الجانب الغربي لمجرى وادي قناة، وفي جبل غرابة الذي يمتد بشكل متطاول إلى الغرب مباشرة من حي عروة في الجهة الجنوبية الغربية للمدينة.

ب - المجموعة الثانية ويرمز لصخورها على الخارطة الجيولوجية بالحروف: (***fq***) و (***fd***) ، ويمتد عمرها بين (٦٩٠ – ٦١٠ مليون سنة). تتوضع صخور هذه المجموعة لا توافقياً فوق مجموعة الصخور السابقة، ويتكون قسمها السفلي (***fq***) من صخور بركانية قاعدية (مافية) تشمل الأنديزيت والبازلت والبريشيا والطف البركاني، وتشغل صخورها الزاوية الجنوبية الغربية من الخارطة الجيولوجية (الشكل٢). أما الجزء العلوي (***fd***) فيتكون من حجر الغرين والحجر الرملي والجريواكي ورصيص كونجلوميراتي ذو حبات شبه مستديرة، وتظهر هذه الصخور على بعد حوالي ٣كم إلى الشرق من مطار المدينة على جانبي الطريق المؤدية إلى القصيم، حيث تمتد تحت الصبات البازلتية (***b2***) هناك. كما تحيط هذه الصخور (***fd***) بجبل عير من كل الاتجاهات عدا الجهة الشمالية الغربية، وتنتشر شمال وغرب حرة رهط ويحتمل أنها تمتد تحت الصخور البركانية البازلتية لحرة رهط في الجنوب.

٢- صخور المحقونات الجوفية: تعرضت المجموعات الصخرية القديمة إلى عمليات اختراق بسوائل سيليكاتية حارة جداً وحمم مهلية مصهورة تداخلت ضمن صخور القشرة الأرضية ثم تجمدت مكونة صخور نارية جوفية مثل الجرانوديوريت والجرانيت والديوريت والجابرو. تنتشر صخور الجرانيت والجرانوديوريت في الجهة الغربية من المدينة المنورة وخاصة في

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

جبال الجماوات وفي جبل جمة المطل على جامعة طيبة ومدينة حجاج البر من جهة الغرب، ويرمز لهذه الصخور على الخارطة بالرمز (***mg***). وتوجد هذه الصخور الجرانيتية أيضاً في جبل أم سالمة الذي يبعد ١٧ كم تقريباً شمال غرب المدينة المنورة. تتداخل ضمن صخور الجرانيت عروق وأحزمة سوداء قاتمة اللون يمكن ملاحظتها بوضوح في جبال الجماوات وجبل جمة، تتراوح ثخانتها من أقل من المتر إلى بضعة أمتار، وتظهر أحياناً على هيئة كتل كبيرة مندسة ومتداخلة ضمن الصخور أو على شكل عروق مكونة من الديوريت أو الجابرو أو الأنديزيت أحياناً. تمتد هذه الأحزمة والعروق السوداء باتجاه شمال غرب متوازية مع بعضها تقريباً وموازية بشكل عام لاتجاه الصدوع الفالقية التي ضربت جبال الجماوات في المنطقة.

والجرانيت هو صخر ناري لونه أحمر فاتح (زهري)، وتركيبه حمضي أي غني بالسيليكا وبالمعادن فاتحة اللون مثل الكوارتز والفلسبار البوتاسي والبلاجيوكلاز، ومصدره جوفي أي تكون في الأعماق تحت السطح.

كما توجد بعض الجبال المحلية الناتجة عن المحقونات الجوفية داخل محيط المدينة المنورة نفسها والتي تتكون بشكل أساسي من صخور الجابرو والتي تأخذ الرمز (**agb**) على الخارطة الجيولوجية، مثل جبل سلع الذي يقع على بعد أقل من ١٠٠٠ متر شمال غرب المسجد النبوي، وبعض التلال الأخرى المجاورة لجبل سلع والمماثلة له في التكوين الجيولوجي والتي يطل أحدها على طريق أبي بكر الصديق قرب مركز التدريب المهني، ويظهر الآخر على شكل تل صغير ارتفاعه حوالي ٦٦٨متر ويبعد حوالي ٥٠٠ متر إلى الشرق من مسجد القبلتين. يشير الوصف الجيولوجي لعينات

صخرية من جبل سلع والتلال الأخرى القريبة منه والمذكورة آنفا بأنها مكونة بشكل أساسي من الجابرو وهو عبارة عن صخر ناري قاعدي (مافي) قاسي وصلد، مصدره بلوتوني جوفي (أي تكون تحت السطح)، ولونه رمادي قاتم يميل للأسود، ويحتوي على معادن مكونة من بلاجيوكلازكلس وبيروكسين وأولوفين، وهو غني جداً بالمعادن المافية مثل الحديد والمغنسيوم.

٣ - مجموعة الصخور البركانية الحديثة (الحرات):

يعود عمر الحمم البركانية المحيطة بالمدينة المنورة إلى الزمنين الثلاثي[١] والرباعي[٢] وتتكون صخورها بشكل أساسي من البازلت[٣] والانديزيت[٤] وتعتبر الأكثر انتشاراً حول المدينة المنورة ويطلق عليها اسم الحرات. فبعد تكون البحر الأحمر وانفصال الجزيرة العربية عن أفريقيا، (منذ حوالي ٢٦ مليون سنة)، نشطت عمليات الحت للصخور وتراكمت نواتج التعرية في المناطق المنخفضة، ورافق ذلك نشاط بركاني كثيف في منطقة الدرع العربي، حيث انبثقت البراكين في بعض المناطق وانتشرت الصخور

---

(١) **الزمن الثلاثي** *Tertiary* : هو الزمن الجيولوجي الممتد في الفترة من ٦٥ مليون سنة إلى ما قبل ٢ مليون سنة تقريباً.

(٢) **الزمن الرباعي** *Quaternary* : هو الزمن الجيولوجي الحديث الممتد في الفترة من ٢ مليون سنة وحتى العصر الحالي تقريباً .

(٣) **البازلت** *Basalt* : صخر بركاني سطحي، لونه أسود قاتم، (قاعدي) ، نسبة السيليكا فيه أقل من ٥٢ ٪، ونسبة المعادن المافية أكثر من ٦٠٪ ويحتوي على بلاجيوكلاز كلس وبيروكسين وأولوفين.وللبازلت نفس تركيب الجابرو، عدا أن صخر الجابرو جوفي تكون في الأعماق.

(٤) **الانديزيت** *Andesite* : صخر بركاني سطحي ، لونه وسط بين الفاتح والقاتم، متوسط التركيب: نسبة السيليكا فيه ٥٢ - ٦٢ ٪ ، و يحتوي على بلاجيوكلاز كلسي صودي وهورنبلاند ومعادن داكنة اللون كالأمفيبول.

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

البازلتية العائدة للزمنين الثالث والرابع بشكل واسع في المنطقة، وأحاطت مسكوباتها البازلتية بالمدينة المنورة من كل الاتجاهات ما عدا الجهة الشمالية الغربية. يرمز لصخور الزمن الثلاثي على الخارطة بالحروف (**b1**) و (**b2**) و (**b3**) حسب تسلسل قدمها، حيث **b1** هي الأقدم. بينت نتائج بعض الدراسات الجيولوجية السابقة والمعتمدة على تحديد عمر الصخور بالنظائر المشعة بأن أحدث نشاط بركاني مؤرخ في المنطقة يعود إلى عام ١٢٥٠م **(Claude Pellaton 1981)** .

تنتشر الصخور البازلتية (**b2**) بشكل واسع في الجهة الجنوبية للمدينة المنورة، وتوجد أيضاً متاخمة للحرة الشرقية من جهة الشرق، كما تظهر صخور هذه المجموعة البازلتية على جانبي الطريق المؤدية إلى منطقة القصيم إلى الشرق قليلاً من مطار المدينة. أما مجموعة الصخور البازلتية (**b3**) فتعود لنهاية الزمن الثلاثي، وهي عبارة عن حمم بركانية سوداء مكونة من صخور البازلت وتحيط بالمدينة المنورة على شكل ذراعين يطوقها الأول من جهة الشرق ويعرف محلياً بالحرة الشرقية (حرة واقم)، ويطوقها الثاني من الجهة الغربية ويعرف بالحرة الغربية (حرة الوبرة). وجدير بالذكر أن الحرة الغربية أوسع انتشاراً من الحرة الشرقية حيث تمتد بعيداً نحو الجنوب حتى تصل إلى شرق جبل عير.

وفي الزمن الرباعي **(Quaternary)** (أي منذ حوالي مليوني سنة)، كانت أرض الجزيرة العربية مرتفعة فتعرضت المناطق البارزة للتعرية، وتكونت مساحات واسعة من السهول ورُدمت العديد من المنخفضات بالرسوبيات القارية، واستمر تدفق الصهارة المجماتية (**magma**) وانبثاق البراكين في المنطقة خلال هذا العصر. يرمز للصخور البازلتية العائدة

للزمن الرباعي على الخارطة الجيولوجية بالحروف (**b4**) و (**b5**)، وهي واسعة الانتشار في الجنوب والجنوب الشرقي من المدينة، حيث تتكشف الصخور البازلتية الأحدث (**b5**) إلى الجنوب من مطار المدينة وفي المناطق المتاخمة لسد العاقول من جهة الغرب وتمتد بعيداً نحو الجنوب.

يمكن تمييز الصبات البركانية القديمة من خلال لونها الرمادي وكتلها المستديرة وحوافها المستوية نتيجة تعرضها للحت والتعرية خلال فترة طويلة من الزمن. أما الصبات البازلتية الأحدث فتكون أقل تعرضاً لعوامل الحت ولذلك يكون لونها أغمق وأكثر سواداً من الصخور القديمة، وتكون نهاياتها حادة وحوافها زاوية الشكل.

٤ - مجموعة رسوبيات الزمن الحديث :

أنتجت عمليات الحت والتعرية للصخور كميات كبيرة من الحجارة والحصى المتفاوتة في أحجامها والرمال الخشنة والناعمة والغرين والطين، ترسبت ضمن الوديان و المنخفضات. ولاسيما أن المدينة المنورة المبنية حالياً تقع في تجويف رباعي كبير مملوء بالرسوبيات الحديثة، يمتد بشكل متطاول باتجاه شمال غرب - جنوب شرق، ويرتفع عن سطح البحر بحوالي ٦٢٥متراً، وتحيط به صخور الحرات البازلتية من الشرق والغرب والجنوب. نشأت الرسوبيات الحديثة عن تراكم مواد أزيلت أساساً من الصخور النارية والبركانية القديمة بواسطة عوامل الحت والتعرية المختلفة، ثم ترسبت في المناطق المنخفضة ومجاري الوديان القديمة مكونة هذا الحوض الكبير الذي تشغله المدينة المنورة حالياً. وجدير بالذكر أن مصدر هذه الرسوبيات الحديثة ليست فقط المرتفعات والجبال المحيطة مباشرة بالمدينة، بل إن معظمها قد نُقل إلى أرض المدينة من مناطق بعيدة

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

بواسطة الأودية التي تشكل شبكة من المسيلات المائية الموسمية التي تصب باتجاه حوض المدينة قادمة من مختلف الاتجاهات. كما أن بعض أنواع الصخور الموجودة في المحيط القريب من المدينة (ضمن النطاق العمراني) تعتبر مصادر مهمة للعناصر المشعة من حيث المبدأ، مثل الصخور النارية الحامضية كالجرانيت[1] والجرانوديوريت والريوليت[2]، وبخاصة تلك الموجودة في جبال الجماوات وجبل جمة في الجهة الغربية من المدينة. إضافة إلى أهمية الصخور الرسوبية الناتجة عن تآكل وحت الصخور النارية السابقة والمتوضعة في الأحواض المجاورة وفي المناطق المنخفضة ومسيلات الأودية القديمة المارة في المدينة المنورة المبنية حالياً[3].

إن مثل هذه الرسوبيات ونواتج الحت والتعرية المتكونة حديثاً يحتمل أن تشكل بيئات مضيفة مناسبة لاحتواء العناصر المشعة المنقولة من صخور المصدر في المرتفعات المجاورة. وبذلك تتحقق الشروط الجيوكيميائية اللازمة لتركيز وحفظ المواد المشعة ضمن الرسوبات، والمقصود بهذه الشروط الجيوكيميائية هو: توفر صخور المصدر المناسبة، و توفر شبكة تصريف لنقل نواتج الحت والتعرية كالأودية والمسيلات وغيرها، وتوفر

---

(١) **الجرانيت** : هو صخر ناري جوفي حمضي، نسبة السيليكا فيه أكثر من ٦٦٪ ، لونه فاتح وبلوراته خشنة (نسيجه بورفيري)، ويحتوي على الكوارتز والفلسبار البوتاسي و البلاجيوكلاز الصودي والميكا .

(٢) **الريوليت** : هو صخر بركاني حمضي ، لونه فاتح وبلوراته ناعمة (نسيجه دقيق التبلور)، وله نفس تركيب الجرانيت، لكن الريوليت سطحي التكوين، بينما الجرانيت جوفي.

(٣) وللاطلاع على المزيد من المعلومات حول جغرافية المدينة المنورة وبيئتها الطبيعية يمكن الرجوع إلى **الرويثي**، محمد أحمد و خوجلي ، مصطفى محمد (١٩٨٨م) : المدينة المنورة : البيئة والإنسان، (البيئة الطبيعة).دراسة علمية محكّمة ، كلية التربية ،جامعة طيبة. **مكي** (١٩٨٥م) : أطلس المدينة المنورة : من إصدارات جامعة الملك سعود ، قسم الجغرافيا.

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

البيئة المضيفة المفضلة لحفظ العناصر المشعة كالمنخفضات والأحواض الرسوبية الحديثة. ولكن هذا مجرد نموذج افتراضي نظري لا يعني فعلياً بالضرورة وجوداً أكيداً للعناصر المشعة في البيئة الجيولوجية للمدينة المنورة، لأن ذلك يتطلب مسحاً إشعاعياً تفصيلياً باستخدام أجهزة الكشف الإشعاعي المختلفة وأجهزة قياس الرادون.

وعلى كل حال، فإنني أقترح ضرورة القيام بقياسات إشعاعية تشمل مختلف أنواع الصخور المنتشرة ضمن حدود الخط الدائري الثالث للمدينة المنورة، وتتضمن مسح إشعاعي أولي لنشاط مطيافية أشعة جاما، وتحديد مستوى غاز الرادون في المباني والمياه والتربة داخل النطاق العمراني الذي حددته أمانة المدينة، وذلك للتأكد من عدم تجاوز تركيز الرادون للحدود المسموح بها عالمياً حفاظاً على الصحة العامة وسلامة البيئة، واقتراح الحلول المناسبة في حال وجود تركيز إشعاعي عالٍ في بعض المناطق. وعلى الرغم من الأضرار التي يمكن أن يسببها غاز الرادون للإنسان ، إلا أن هناك العديد من الصور المفيدة للرادون، إذ إنه يمثل أداة فعالة في مجال الكشف والتنقيب عن بعض الخامات والمعادن الدفينة (الموجودة تحت السطح). إضافة إلى استخدامه حديثاً كوسيلة مهمة تساعد في مراقبة الحركات الأرضية المختلفة وبخاصة تلك المرتبطة بالزلازل والبراكين، وسيتم التطرق لهذه الفوائد بالتفصيل في أعداد قادمة من هذه المجلة إن شاء الله.

المراجع العربية:

١ - الشنطي ، أحمد محمود سليمان، (٢٠٠٣م): جيولوجية الدرع العربي، الطبعة الثانية، مركز النشر العلمي، جامعة الملك عبد العزيز، جدة.

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

٢ - الرويثي، محمد أحمد و خوجلي، مصطفى محمد، (١٩٩٨م): المدينة المنورة، البيئة والإنسان، (البيئة الطبيعة). دراسة علمية محكّمة، كلية التربية، جامعة طيبة، من إصدارات النادي الأدبي في المدينة المنورة.

٣ - مكي، محمد شوقي، (١٩٨٥): أطلس المدينة المنورة، من إصدارات جامعة الملك سعود، قسم الجغرافيا .

المراجع الأجنبية:

1. AL-HILAL .M.A. and Mouty .M **(1994):** Radon Monitoring for Earthquake Prediction On Al-Ghab fault of Syria. In: Nucl . Geophys . Vol **8** . Nos **1-2** pp. **117-123**.

2. AL-HILAL .M.A. etal **(1998)** :Radon Variations and Micro earthquakes in western Syria. In : Appl. Radiat . Isot . Vol .49 Nos **1-2**

3. Jubeli, Y . and AL-HILAL . M.A. **(1998):**

Radometric Profiles of Uranium Dispersal Pattarn Adjacent to Cretaceous Phosphatic Sediments in Centraal Syria. In :Expl . Mining Geol . Vol **7** , No.**4** .

4. Othman ,I. etal. (**1996)**: Radon in Syrian Houses. J. Radiol. Prot. ,**16.**

5. Saeed A . Durrani and Radomir Ilic **(1997):**

Radon Measurements by Etched Track Detectors .

6. Tanner A. B. **(1980):** Radon migration in the ground: A supplementary review. Natural Radiation Environmental Report CONF-**780422** U.S department of energy Washington ,DC.

7. Clements W.E.and Wilkening W. H. **(1974):** Atmospheric pressure effects on radon-**222** transport across the Earth –Air Interface. In J. Geophys .Res .**79. 5025**.

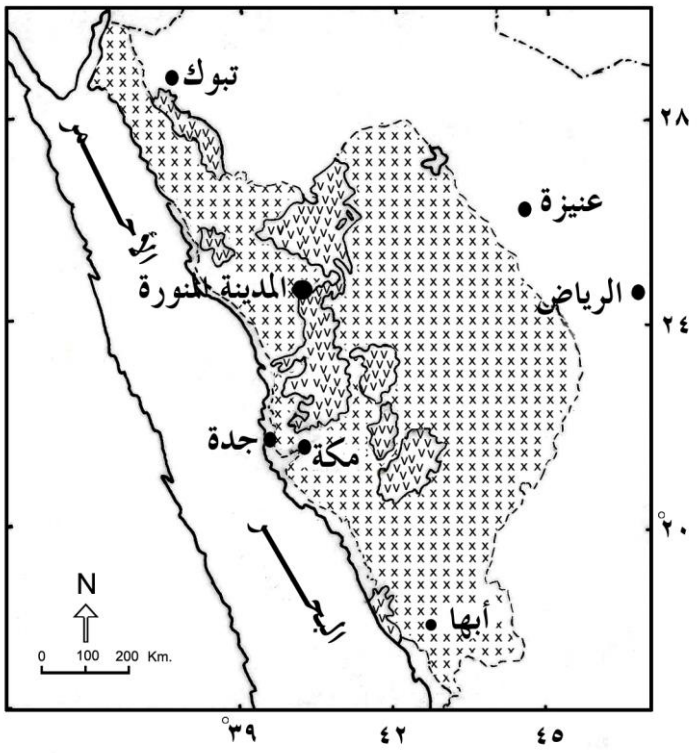
8. Cothern R.and Smith J. E. **(1987**): Environmental Radon. Plenum Press , New York .

9. Durrance E. M. **(1986):** Radioactivity Principles and Applications.

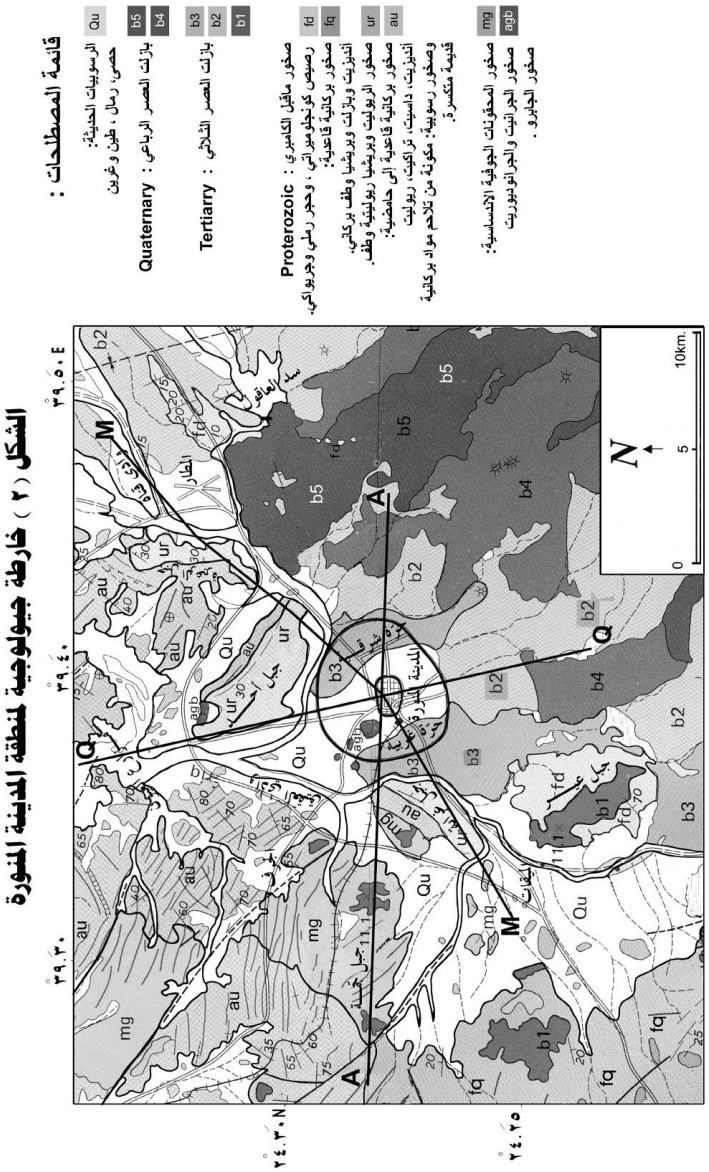
10. Claude Pellaton, **(1981):** Geologic Map of the AlMadinah, Sheet 24D, Scale: **(1:250,000).**

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

الشكل (١) خريطة الدرع العربي موضحاً عليها حدود الغطاء البركاني الثلاثي والرباعي

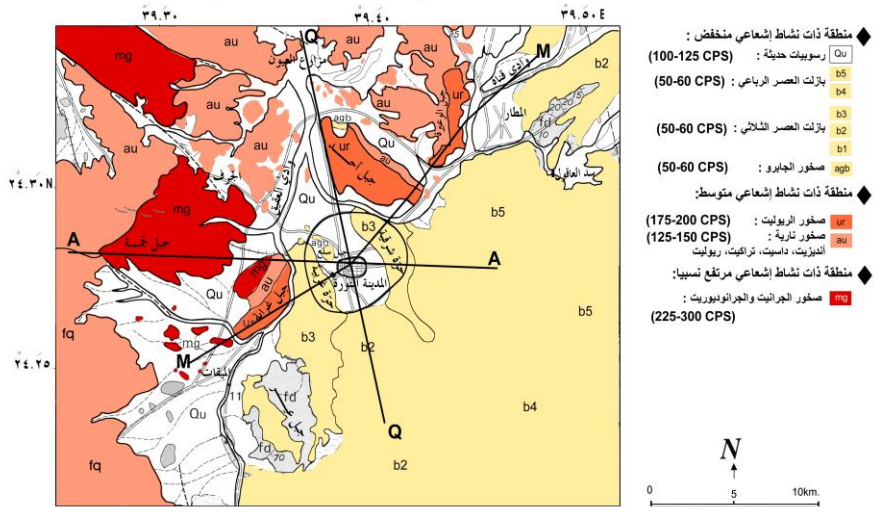


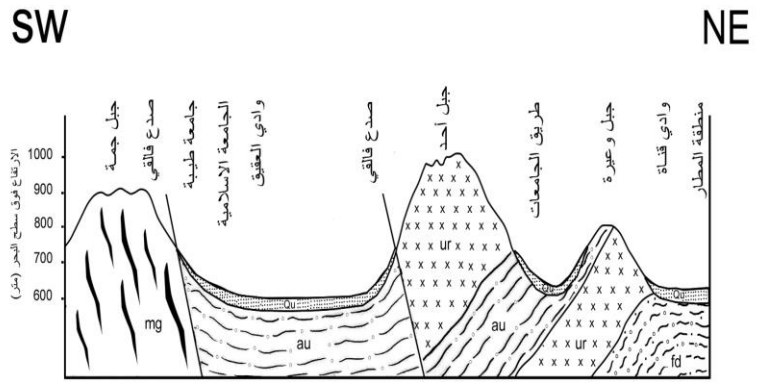
المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة



المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة

توزع النشاط الإشعاعي لمطيافية أشعة جاما في المدينة المنورة





الشكل (٣) مقطع جيولوجي يمتد عبر أهم المجموعات الصخرية شمال المدينة المنورة.

المصطلحات :

Qu صخور الرسوبيات الحديثة Quaternary حصى ، رمال ، طين وغرين

صخور ما قبل الكمبري Proterozoic :

fd رصيص كونجلوميراتي، وحجر رملي وجريواكي.

ur صخور الريوليت وبريشيا ريوليتية وطف.

au صخور بركانية قاعدية إلى حامضية: (أنديزيت، داسيت، تراكيت، ريوليت)، وصخور رسوبية متلاحمة مع بعضها مكونة من اعادة ترسيب مواد بركانية قديمة متكسرة.

mg صخور المخقونات الجوفية الاندساسية: جرانيت وجرانوديوريت تتخللها قواطع قاتمة من الديوريت والجابرو والانديزيت.

المستودع الرقمي لمركز بحوث ودراسات المدينة المنورة