



الجمهورية العربية السورية
هيئة الطاقة الذرية

هـ ط ذ س - و / ت د ع 749
أيلول 2007

تقرير عن دراسة علمية مكتبية
قسم الوقاية والأمان

مصادر تلوث المياه الجوفية

الكيميائية هدى عساف
الدكتور محمد سعيد المصري

هـ ط ذ س - و / ت د ع 749

مصادر تلوث المياه الجوفية

هدى عساف، د. محمد سعيد المصري

قسم الوقاية والأمان، هيئة الطاقة الذرية السورية، دمشق، ص.ب. 6091
المستخلص

بالرغم من أهمية المياه للحياة سواء للشرب أو الري أو للصناعة للاستخدام الواسع في كثير من المجالات الأخرى، نجد أن الإنسان يقوم بتلويثها وجعلها غير صالحة للاستعمال ويؤكد ذلك برمي النفايات في البيئة دون معالجة ناهيك عن الزيادة السكانية والتوسع العمراني وارتفاع مستويات المعيشة والنمو الاقتصادي والصناعي التي تسبب ازدياد كميات المياه المستخدمة في البيوت والصناعة والزراعة. لقد أسهمت كل هذه العوامل في زيادة الضغوط على بيئتنا المائية الطبيعية كما وكيفاً. ويزيد الأمر خطورة طرح كميات كبيرة من مياه الصرف المختلفة، كالصرف المنزلي والزراعي والصناعي في مواقع قريبة من مصادر المياه النظيفة مما يؤدي إلى تلوثها بالمبيدات والملوثات المعدنية المختلفة. أضف إلى ذلك، أن استخدام أنظمة الري غير الجيدة يؤدي إلى زيادة معدلات البخر وملوحة الأرض. يعرض التقرير الحالي بعض مصادر ومشاكل المياه الجوفية ومواصفات المياه المعدنية والحارة التي أصبحت تأخذ اهتماماً كبيراً في مجال الصحة البشرية من حيث مواصفاتها الكيميائية والإشعاعية مع ذكر أمثلة عليها.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، مصادر ها، طرق تلوثها، المياه المعدنية، فوائدها ومشاكلها.

Sources of Groundwater Contamination

H. Assaf, Dr. M. S. Al-Masri

Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission of Syria,
Damascus P.O.Box 6091, Syria

Abstract

In spite of the importance of water for life, either for drinking, irrigation, industry or other wide uses in many fields, human beings seem to contaminate it and make it unsuitable for human uses. This is due to disposal of wastes in the environment without treatment. In addition to population increase and building expanding higher living costs, industrial and economical in growth that causes an increase in water consumption. All of these factors have made an increase pressure on our water environment quantitatively and qualitatively. In addition, there is an increase of potential risks to the water environmental due to disposal of domestic and industrial wastewater in areas near the water sources. Moreover, the use of unacceptable irrigation systems may increase soil salinity and evaporation rates. The present report discusses the some groundwater sources and problem, hot and mineral waters that become very important in our life and to our health due to its chemical and radioactivity characteristics.

Key words: Ground Water, Sources, Contamination, Pathways, Mineral Water, Benefits, Problems

المحتويات

رقم الصفحة

4	1. مقدمة
5	2. مصادر المياه الجوفية
6	3. مصادر تلوث المياه الجوفية
9	4. المياه الجوفية والمواد المشعة
12	5. المياه المعدنية والحارة
26	6. استعراض أهم المياه المعدنية والكبريتية في الجمهورية العربية السورية
30	7. المراجع

1. مقدمة:

تبدو الأرض من الفضاء كرة زرقاء مغطاة بالماء، وتتناثر فيها هنا وهناك بعض الجزر الكبيرة والصغيرة، لذلك سميت الأرض الكوكب الأزرق، تغطي المياه أكبر حيز من الكرة الأرضية، إذ تحتل المسطحات المائية مساحة قدرها 71 % تقريباً من مساحة الأرض وتقدر كمية المياه فيها نحو 1.973 مليار كيلو متر مكعب. وتمثل المياه المالحة نحو 97 % من حجم المياه الكلي وتوجد في البحار والمحيطات والبحيرات والممرات المائية، أما المياه العذبة فتتمثل الجزء الباقي الذي يصل إلى 3 % ويتركز هذا النوع في الأنهار والبرك وبعض البحيرات وباطن الأرض من مياه جوفية ومياه معدنية حارة، وتشكل الجبال الجليدية في المناطق القطبية الجزء الأكبر من المياه العذبة المتاحة لاستعمالات الإنسان التي تمثل 1.6 % تقريباً من حجم المياه الكلي وهذه النسبة ليست ثابتة خاصة مع ارتفاع نسبة الأملاح المتزايدة في البحيرات والمسطحات المائية العذبة المغلقة أو شبه المغلقة أي التي تتصل مياهها مع مياه البحار المالحة من جانب واحد [5].

تتنوع مصادر المياه كثيراً على سطح الكرة الأرضية نظراً لمساحة وجودها الواسعة جداً، ولكن يمكن تقسيم المياه تبعاً لمصادرها الطبيعية إلى:

1 – مياه المحيطات والبحار.

2 – مياه الأمطار.

3 – مياه الأنهار.

4 – مياه البحيرات.

5 – المياه الجوفية.

6 – المياه المعدنية والحارة.

أما أنواع المياه فلقد قسم العلماء المياه تبعاً لطبيعتها ومكوناتها إلى نوعين رئيسيين هما:

1. **المياه السطحية:** وهي المياه التي توجد على سطح الكرة الأرضية بحيث تكون متاحة للاستخدام بسهولة، وتقسم بدورها حسب ملوحتها إلى:

- **المياه المالحة:** وهي المياه التي تحتوي على تراكيز عالية من الأملاح المعدنية المنحلة، وتعد البحار والمحيطات المصدر الرئيسي للمياه المالحة.

- **المياه العذبة:** وهي المياه التي تحتوي على تراكيز منخفضة أو معدومة في بعض الأحيان من الأملاح المعدنية المنحلة، تعد الأنهار والجداول والجليد القطبي والأمطار المصدر الرئيسي للمياه العذبة.

2 – **المياه الجوفية:** سندرسها لاحقاً بشكل مفصل.

وهي المياه الموجودة تحت سطح الأرض، سواء تلك الموجودة في المناطق المشبعة (هي المنطقة المملوءة فراغاتها بالكامل بالمياه) أو غير المشبعة (هي المنطقة الواقعة مباشرة تحت سطح الأرض وتحتوي المواد الجيولوجية المكونة لها المياه والهواء في الفراغات الفاصلة بين حبيبات التربة).

2. مصادر المياه الجوفية

توجد المياه الجوفية داخل خزانات في باطن الأرض (التي هي طبقة صخرية أو رسوبية قادرة على احتواء كمية من المياه وتتكون من مواد غير مدمجة مثل الرمال والحصى أو صخور مدمجة مثل الحجر الرملي أو الحجر الجيري المتحصى) أو في الفراغات والشقوق بين حبيبات التربة [10,14].

وللمياه الجوفية عدة مصادر نذكر منها:

- أ - مياه الأمطار: أن المصدر الرئيسي للمياه الجوفية هي مياه الأمطار حيث يتجمع جزء من هذه المياه على سطح الأرض ليشكل الأنهار، بينما يرشح جزء من مياه الأمطار عبر مسامات الأرض وشقوقها وتتجمع في باطن الأرض على شكل خزانات ثابتة تتحول بعدها إلى أحواض مائية.
- ب - المياه المعدنية والكبريتية: يتسرب جزء من البحيرات أو الأنهار القريبة فتتجمع في أحواض في باطن الأرض وتبقى محبوسة لا يمكن الوصول إليها ولا الاستفادة منها إلا عن طريق حفر الآبار.
- ج - ماء الصهير: هو الماء الذي يصعد إلى الأعلى بعد مراحل تبلور الصهير المختلفة.
- د - الماء المقرون: هو الماء الذي يصاحب عملية تكوين الرسوبيات في المراحل المبكرة ويحبس بين أجزائها ومسامها [6,5].

توجد المياه الجوفية في الجزء العلوي من القشرة الأرضية الذي يعرف بمنطقة الشق الصخري الذي يقسم بدوره إلى قسمين هما:

- **نطاق التهوية:** الذي يشمل الجزء العلوي من منطقة الشق الصخري وتمتلئ معظم الفراغات الصخرية فيه بالهواء ويحتوي جزئياً على بعض المياه .
- **نطاق التشبع:** الذي يلي نطاق التهوية إلى الأسفل وفيه تكون مسامات الصخور مملوءة كلياً بالمياه التي يطلق عليها اسم المياه الجوفية (الأرضية)، ويعرف السطح العلوي من نطاق التشبع باسم منسوب المياه الجوفية (Water Table).

لقد استطاع العلم الحديث تحديد كمية المياه الجوفية العذبة في العالم التي تعد أكبر بكثير من تلك المتوافرة فوق سطح الأرض، فالمياه الجوفية تمثل ما يقرب من 98% من مجموع المياه العذبة في العالم باستثناء الجبال الجليدية، في حين لا تزيد المياه العذبة والممتلئة بالأنهار والبحيرات العذبة والجدول والسحب الموجودة في الغلاف الجوي عن 2%، كما تمثل المياه الجوفية أيضاً ما يقرب من 0.6% من مجموع المياه الموجودة على الكرة الأرضية متضمنة مياهها عذبة ومالحة. والجدير بالذكر هنا أن المياه الجوفية قد تكون متجددة وجارية تحت سطح الأرض مكونة شبكة من المجاري والأنهار التي تحافظ المياه فيها على منسوبها بالرغم من الأخذ المستمر منها بسبب تغذيتها الدائمة بمياه الأمطار التي تسقط بصفة دائمة أو عن طريق مياه الأنهار والبحيرات التي تتخلل التربة وتصل إلى هذه المياه الجوفية، أو قد تكون المياه الجوفية غير متجددة فيقل منسوبها تدريجياً حسب ما يستهلك منها، وتكون هذه المياه غالباً مياهاً جوفية تجمعت في باطن الأرض في قرون سابقة وعصور ممطرة إلا أنها غير متصلة بمنابع متجددة من المياه، وتكون صفاتها متميزة عن بقية المياه الجوفية نتيجة وجودها في باطن الأرض منذ أزمان عديدة نذكر من هذه الصفات ارتفاع درجة حرارتها وزيادة محتواها من الأملاح والغازات المنحلة وتسمى المياه المعدنية الحارة.

لا تحتاج المياه الجوفية أحياناً إلى حفر الآبار لظهورها، فقد تنفجر على هيئة عيون وينابيع نتيجة لزيادة الضغط عليها في باطن الأرض أو ضغط القشرة الأرضية في هذا المكان، وقد تندفق المياه من العين على هيئة نافورة نتيجة زيادة الضغط المطبق على هذه المياه أو يقل الضغط فتسيل المياه المتدفقة على سطح الأرض في سواقي تحتها وتشققها هذه المياه التي قد تكون ساخنة مستمدة حرارتها من الحرارة المرتفعة لباطن الأرض أو نتيجة قربها من أماكن ذات أنشطة بركانية، أو تكون باردة نتيجة خروجها من طبقات قريبة من سطح الأرض [6,5].

3. مصادر تلوث المياه الجوفية:

تعريف تلوث المياه: عرفت هيئة الصحة العالمية WHO تلوث المياه بأنه أي تغير يطرأ على العناصر الداخلة في تركيبها بطريقة مباشرة أو غير مباشرة بسبب نشاط الإنسان، الأمر الذي يجعل هذه المياه أقل صلاحية للاستعمالات الطبيعية المخصصة لها أو بعضها، وبعبارة أخرى هي التغيرات التي تحدث في خصائص المياه الطبيعية والبيولوجية والكيميائية مما يجعلها غير صالحة للشرب أو للاستعمالات المنزلية والصناعية والزراعية [10,14].

تلوث المياه الجوفية:

تؤثر نوعية المياه الجوفية ليس فقط على صحة البشر وإنما أيضاً على المجتمع والاقتصاد الوطني، فهي تستخدم في الزراعة وفي توفير مياه الشرب للإنسان والحيوان وفي الصناعة في عمليات كثيرة مثل التبريد والتخلص من المخلفات والنفايات الصناعية، كما تستخدم في عمليات إنتاج الطاقة والتنقيب عن النفط وفي أغراض التدفئة والتبريد بالإضافة إلى استخدامات أخرى متنوعة.

آمن البشر لسنوات عديدة بأن المياه الجوفية محمية طبيعياً من التلوث بواسطة طبقات الصخور والترربة التي تعمل بمثابة مرشحات. ولكن مشكلة التوسع العمراني وعمليات التصنيع الواسعة وغير المنظمة أدت إلى تلوث المياه عامة والجوفية خاصة التي يصعب تنظيفها لأنها عملية شاقة وباهظة التكلفة.

إن استهتار البشر في تعاملهم مع المياه الجوفية حتى في أكثر دول العالم تقدماً ومنها الولايات المتحدة الأمريكية التي توفر أكثر من نصف مياه الشرب لمجمل سكانها أدى إلى بدء مشكلة التلوث منذ عقد السبعينات، وفي الفترة من 1971 حتى 1985 سجلت تقسي أكثر من 245 مرضاً مرتبطاً بالمياه الجوفية، وأشارت بيانات وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA إلى أن 10% من كل شبكات إمدادات مياه الشرب من المياه الجوفية تخالف معايير مياه الشرب النظيفة نتيجة للتلوث البيولوجي. وقد اكتشف 74 نوعاً من المبيدات منها أنواع مسببة للسرطان في 38 ولاية أمريكية. كما أنتشر التلوث البيولوجي للمياه الجوفية كالتلوث بالبكتيريا والفيروسات والطفيليات مثل طفيل *Cryptosporidium* الذي يصيب الأمعاء حيث شهدت 6 حالات انتشار وبائي لهذا الطفيل المذكور بسبب تلوث المياه الجوفية [8].

مصادر تلوث المياه الجوفية:

تتعدد المصادر المسببة لتلوث المياه الجوفية فمنها ما يعود إلى عوامل طبيعية ومنها يعود إلى طائفة من نشاطات الإنسان، ويمكن تقسيم مصادر التلوث الناتجة عن نشاطات الإنسان إلى ما يلي:

1- مصادر التلوث الزراعية:

تعددت مصادر التلوث الزراعية التي نذكر منها:

- المبيدات الزراعية والمخصبات ومحسنات التربة مثل الجير والجبس والكبريت التي يتسرب جزء منها إلى المياه الجوفية.
- النفايات والمخلفات الحيوانية والتلوث بمياه الصرف الزراعية التي تؤدي إلى زيادة تركيز أملاح الكالسيوم والمغنيزيوم والصوديوم والكبريتات والكلور والنترات وأخيراً استخدام الأسمدة الكيماوية وخاصة الأسمدة النتروجينية، الفوسفورية والبوتاسية.
- تسرب المخصبات والمبيدات مباشرة إلى الأرض أثناء التعامل معها.
- التسرب الناجم عن تحميل وغسل معدات رش المبيدات.
- التسرب الناجم عن تخزين الكيماويات الزراعية في مناطق مكشوفة دون حمايتها من الرياح والأمطار.
- مزج ونشر المبيدات والمخصبات مع مياه الري الذي يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية إذا كانت كمية هذه المواد الكيماوية أكبر من حاجة النبات وقد يؤدي سوء استخدام هذه المبيدات والمخصبات من قبل المزارعين إلى تلوث المياه الجوفية بالعديد من المركبات العضوية والعناصر مثل النتروجين والكادميوم والكلور والزنك والسيلينيوم.

- أما المخلفات الحيوانية فيمكنها تلويث خزانات المياه الجوفية بالنترات وبكتيريا الكوليفورم والمواد الصلبة المنحلة والكبريتات.
- بسبب التعامل غير الرشيد مع الآلات والماكينات الزراعية إلى تلوث المياه الجوفية بالأصبغ (التي تحتوي على الرصاص والباريوم) والبنزين وزيت التشحيم التي تحتوي على مركبات عضوية طيارة، وقود الديزل التي تحتوي على الباريوم، بالإضافة إلى سائل الشطف التي تحتوي على بقايا المبيدات والمخصبات [10,8].

2 - مصادر التلوث المنزلية :

- تعد مياه الصرف الصحي المتدفقة من المنازل مصدراً رئيسياً لتلوث المياه الجوفية، حيث تقف وراء طائفة واسعة من الملوثات بما في ذلك البكتيريا، الفيروسات، النترات من المخلفات المنزلية، والمركبات العضوية. ويمكن للمواد الكيميائية المخزنة في المنازل بطريقة غير سليمة أو التي يجري التخلص منها مع مياه الصرف الصحي (الأصبغ، سائل التنظيف، الزيوت، الأدوية، والمطهرات... الخ) أن تكون مصدراً خطيراً لتلوث المياه الجوفية، ويزداد خطر هذه الملوثات عند حدوث تسرب في شبكات الصرف الصحي، أو في حالة الصرف المباشر في باطن الأرض التي تسبب المشاكل التالية :
- تلوث مياه الأنهار والمياه الجوفية قليلة العمق.
 - تلوث الشواطئ وخطوط السواحل.
 - تدمير الكائنات البحرية.
 - تلوث المياه السطحية عن طريق الإثراء الغذائي.
 - مكامن النفايات الصلبة التي تلوث المياه بعناصر ضارة كالحديد والمنغنيز والكلور والنترات وغازات ضارة كالميتان وغاز ثنائي أكسيد الكربون والأمونيا، وغاز كبريت الهيدروجين [5,14].

ومع التوسع الكبير في حجم الأحياء السكنية الحديثة وفي شبكات الطرق، تصبح مياه الأمطار مصدراً إضافياً لتلوث المياه الجوفية بما تأخذها معها من أسطح البيوت والأماكن المكشوفة فيها ومن الشوارع من مواد ملوثة إلى باطن الأرض نذكر منها الصوديوم والرصاص والمركبات العضوية من الزيوت والبنزين وسائل التنظيف ومذيبات الشحوم، كما أن المخلفات المنزلية تصيب المياه الجوفية بالعديد من الملوثات نذكر منها:

- المنظفات الصناعية المستخدمة في غسل الأطباق والملابس.
- المركبات العضوية في مخلفات المنازل.
- البكتيريا والنترات والكبريتات في مياه المجاري.
- معطرات الجو المختلفة التي تحتوي جميعها على رابع كلور الكربون.
- الزيوت والشحوم وسائل التنظيف [10,14].

3 - مصادر التلوث الصناعية:

تتطلب النشاطات الاقتصادية الحديثة نقل وتخزين مواد تستخدم في التصنيع والمعالجة والبناء. ويمكن لهذه المواد أن تجد طريقها إلى المياه الجوفية عن طريق التسرب أو الانسكاب أو التعامل غير الصحيح معها ... والأكثر من هذا فإن تنظيف هذه المواد يمكن أن يسبب هو الآخر تهديداً للمياه الجوفية عندما تنتقل هذه المواد مع مياه التنظيف إلى باطن الأرض.

ولا ترتبط منشآت صناعية وخدمية كثيرة بشبكة الصرف الصحي فتلقي بمخلفاتها مباشرة إلى باطن الأرض أو إلى حفر معدة لذلك، ومن أخطر هذه المنشآت ما يلي :

- محطات تنظيف وتصلح السيارات ومحلات تنظيف الملابس ومعامل تبيض الصور والمصانع.
- الأدوات الكهربائية ومكوناتها لأن مخلفاتها تتضمن مواد كيميائية سامة، حتى في المنشآت الكبيرة المربوطة بشبكات الصرف الصحي تشكل الكميات القليلة من مخلفاتها المتسربة إلى باطن الأرض

- تهديداً غير قليل على المدى البعيد للمياه الجوفية.
- تسرب المواد البترولية والكيماوية من الخزانات والمراكب وشبكات الأنابيب.
 - نفايات أنشطة المناجم (مناجم الفحم، الفوسفات، اليورانيوم، الحديد ...) التي تلوث المياه السطحية والجوفية.
 - مياه حقول البترول التي تحتوي على أملاح منحلة وعناصر ضارة تلوث المياه السطحية (الأنهار) والجوفية.
 - النفايات المشعة وهي من أخطر مشاكل تلوث المياه عامة والمياه الجوفية والمعدنية خاصة حيث تحتوي على مواد عالية السمية ومسببة للأمراض المختلفة وأهمها مرض السرطان [10].

4 - مصادر التلوث الطبيعية :

يمكن أحيانا أن يصل التلوث إلى المياه الجوفية دون أن يكون للإنسان دور فيه. ويتوقف الأمر على البنية الجيولوجية لطبقات الأرض التي تتحرك خلالها المياه الجوفية عبر طبقات صخرية وطينية تحتوي على طائفة واسعة من العناصر مثل المغنيزيوم والكالسيوم والكلور. وتحتوي الجدران الداخلية لخزانات المياه الجوفية على تراكيز طبيعية مرتفعة لمكونات قابلة للانحلال مثل الزرنيخ، واليورون والسيلينيوم. ويتوقف تأثير مصادر التلوث الطبيعية هذه على نوع الملوثات وتركيزها. ومن العناصر الموجودة في التربة التي يمكن أن تتحول إلى ملوثات نذكر منها الألمنيوم والباريوم والرصاص والكادميوم والكلور والزنك والزرنيخ والنحاس والنترات والحديد والكبريتات .

وقد تتلوث المياه الجوفية بملوثات مياه الصرف الصحي غير المعالج مما يؤدي إلى إنبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين في هذه المياه وذلك نتيجة وجود تسرب من خطوط شبكات الصرف الصحي نظراً لقدمها أو نتيجة وجود كسر فيها أو عند استبدال الشبكة الجديدة بأخرى قديمة، أو نظراً لوجود حفر امتصاص صحية قديمة.

ومن الصعب جداً قياس التلوث بغاز كبريتيد الهيدروجين لأنه غاز ينطلق بسرعة من المياه، ولأنه لا يمكن الاعتماد الدقيق في قياسه على الاختبارات والتحليل العملية والميدانية، فإن حاسة الشم تبقى الطريقة الأفضل لتعرفه [8].

يبين الجدول (1) أهم الملوثات غير عضوية ومصادرها [10,14]. في حين يعرض الجدول (2) الملوثات غير العضوية الثانوية ومصادرها [5]. أما الجدول (3) فيعرض الملوثات العضوية الطيارة ومصادرها.

الجدول (1) الملوثات غير العضوية الرئيسية ومصادرها

المادة الملوثة	زراعية	منزلية	صناعية	طبيعية
الأنتموان		×		×
الزرنيخ	×			×
الأسيتوس		×		×
الباريوم	×	×	×	×
البريليوم			×	×
الكادميوم	×	×	×	×
الكروم	×		×	×
النحاس		×	×	×
السيانيد	×		×	
الفلوريد			×	×
الرصاص	×	×		×

×	×	×	×	الزئبق
×	×	×		النيكل
×		×	×	النترات
×		×	×	النترت
×	×	×	×	السيلينيوم
×		×		التاليوم

الجدول (2) الملوثات غير العضوية الثانوية ومصادرها

المادة الملوثة	طبيعية	صناعية	منزلية	زراعية
ألومنيوم	×	×	×	×
كلور	×	×	×	×
حديد		×		×
منغنيز		×		×
فضة			×	×
صوديوم	×	×		×
كبريتات	×	×	×	×
زنك		×		×

الجدول (3) الملوثات العضوية الطيارة ومصادرها

المادة الملوثة	زراعية	منزلية	صناعية	طبيعية
البنزين	×		×	
رابع كلوريد الكربون		×	×	
الإيثان ثنائي الكلور		×	×	
الإيثان ثنائي الكلور		×	×	
الميثان ثنائي الكلور			×	
البروبان ثنائي الكلور		×		×
البنزين الإيتيلي	×		×	
البنزين الأحادي الكلور	×		×	
البنزين الثنائي الكلور			×	
اكزولين		×	×	
الستيرين			×	
إيتيلين رباعي الكلور			×	
التولوين			×	
البنزين ثلاثي الكلور	×		×	
الإيثان ثلاثي الكلور			×	
الإيتيلين ثلاثي الكلور			×	
كلوريد الفينيل		×		

4. المياه الجوفية والمواد المشعة:

تنقسم النظائر المشعة في المكونات البيئية إلى قسمين أساسيين هما: نظائر مصنعة وهي تلك التي تنتج أو نتجت من نشاطات الإنسان في استخدامات التقنية النووية السلمية وغير السلمية، ومن أهمها تساقط الغبار النووي الذي نتج من التفجيرات النووية التي أجريت على سطح الأرض في أواسط هذا القرن، والقسم الآخر هو النظائر المشعة ذات المنشأ الطبيعي وهذه بدورها يمكن أن تقسم إلى الأقسام التالية:

- نوع ينتج من تفاعلات الأشعة الكونية مع بعض مكونات الغلاف الجوي باستمرار مثل التريتيوم «نظير الهيدروجين الثالث» والكربون-14 والبريليوم-7.

- نوع موجود منذ نشأة الأرض ويضمحل تدريجياً إلا أن له عمر نصف طويل جداً «الزمن الذي يتفكك فيه النظير إلى نصف كميته الأصلية متحولاً إلى نظير آخر» ويعد نظير الكالسيوم-40 من أشهر الأمثلة على ذلك.

- السلاسل المشعة الطبيعية الثلاث سلسلة اليورانيوم-238 وسلسلة اليورانيوم-235 وسلسلة الثوريوم-232. وهي سلاسل من النظائر المشعة تبدأ من النظائر الأم وتنتهي بنظائر الرصاص المستقرة «غير المشعة» وهذه السلاسل الشهيرة موجودة منذ نشأة الأرض أيضاً.

يتباين مستوى تركيز هذه النظائر الطبيعية في المكونات البيئية المختلفة اعتماداً على عوامل طبيعية مختلفة. فمثلاً يعتمد تباين مستوى تركيز النظائر الطبيعية المشعة في المياه الجوفية على التكوين الجيولوجي والظروف الهيدرولوجية والجيوكيميائية. وقد يكون من الأنسب أن لا يشار إلى ارتفاع تركيز هذه النظائر في المياه الجوفية على أنه تلوث، إذ أن مصطلح تلوث يرتبط عموماً بنشاطات الإنسان العصرية التي أسهمت في هذا الارتفاع سواء عن قصد أو عن غير قصد، وتعد ظاهرة ارتفاع تركيز النظائر المشعة في المياه الجوفية من الظواهر الطبيعية. هناك العديد من المناطق الجغرافية في العالم التي يوجد فيها هذا الارتفاع في مستوى النظائر المشعة الطبيعية في المياه الجوفية مثل عدد من مناطق الولايات المتحدة الأمريكية. كما يوجد عدد من دول العالم (إيران، الهند، البرازيل) معروفة بارتفاع مستوى الجرعة الإشعاعية فيها، إذ يصل إلى أكثر من عشرة أضعاف متوسط الجرعة الإشعاعية الطبيعية في العالم دون وجود آثار صحية مميزة بسبب ذلك. ينتج نظير الراديوم-226 من سلسلة تفكك نظير اليورانيوم-238 وبسبب هذه العلاقة فقد يحصل وجود مشترك للنظيرين في الصخور الحاوية لهما، كما أن وجود الأول يكون دليلاً على وجود الثاني، ومع ذلك فإنه قد يحدث نتيجة للخواص والصفات المختلفة للنظيرين هجرة وتحرك لأحد النظيرين خارج النظام على حساب الثاني. وهذا أمر متوقع في الأنظمة الصخرية ومضطرد في الأنظمة المائية. ويمكن الاستدلال من مصطلح ثابت التوازن الزمني الإشعاعي على تاريخ العلاقة بين النظيرين، الذي يقوم على مبدأ أن إشعاعية الذرة الأم ذات عمر النصف الزمني الطويل تساوي إشعاعية الذرة المتولدة ذات عمر النصف الزمني القصير نسبياً، وذلك بعد مرور سبعة أضعاف عمر النصف للذرة المتولدة. ويتعلق هذا باليورانيوم حيث يكون في الطبقات الجوفية العميقة غالباً بشكل كيميائي غير قابل للذوبان أو ضعيف الذوبان في المياه مما يفسر خروجه من النظام المائي في المياه الجوفية العميقة، أما في المياه الجوفية القريبة من السطح قد يكون اليورانيوم في حالة كيميائية قابلة للذوبان بشكل كبير في المحاليل المائية. كما أن هناك عوامل فيزيوكيميائية مؤكدة لذلك. لذا غالباً ما يلاحظ في المياه الجوفية العميقة ارتفاع بتركيز الراديوم عن الحد الطبيعي في حين أنه في المياه الجوفية القريبة يكون تركيز اليورانيوم أكبر وكل ذلك بالطبع يعتمد على نوعية الطبقات الحاملة للمياه. وتعد المخاطر الإشعاعية ومعاملات الخطر الناشئة عن وجود كل عنصر مختلفة عن الثاني كما أن طريقة معالجة المياه تختلف في الحالتين ونوعية النفايات المشعة الناجمة عن المعالجة مختلفة أيضاً مما يعني وجود حالتين مختلفتين في المصدر والنوع ومقدار الآثار الصحية وطريقة المعالجة التي يعالج الراديوم واليورانيوم في المياه باستخدام طريقة التبادل الأيوني وتحت ظروف كيميائية مختلفة. كما أن نواتج المعالجة من النفايات مختلفة حيث يتولد الراديوم مع نواتج تفككه الإشعاعي من الرادون والرصاص واليزموت وهي مطلقات لأشعة غاما وألفا وبعضها يتحرر إلى الجو لأنه غاز مما يتطلب عناية خاصة ومعالجة بطريقة مناسبة، في حين لا يتولد عن معالجة اليورانيوم إلا البروتكتينيوم وقليل من الثوريوم نتيجة التحلل الإشعاعي ومن حسن الحظ أن طرق المعالجة التقليدية التي تجري على المياه التي تغذي شبكات المدن لتقليل مستوى الملوحة بها «بمراحل المعالجة التقليدية لإزالة القساوة» تقوم بتخليص المياه من النظائر المشعة بدرجة كبيرة دون الحاجة في أحيان كثيرة إلى إضافة مراحل معالجة أخرى.

توجد لنظائر اليورانيوم مخاطر كيميائية وأخرى إشعاعية وتعتمد كلاهما على آلية دخول اليورانيوم جسم الإنسان وخروجه منه. حيث يدخل اليورانيوم جسم الإنسان إما عن طريق تنفس هواء ملوث باليورانيوم

أو تناول غذاء أو ماء ملوث وفي جميع الحالات فاليورانيوم إما أن يكون غير قابل للذوبان في سوائل الجسم «الدم والبلازما» وعند ذلك يبقى في الجسم ما لم تتدخل عمليات طرده من الجسم، وهو في هذه الحالة تكون مخاطره الإشعاعية أكبر من مخاطره الكيميائية أو أن يكون اليورانيوم قابلاً للذوبان فعند ذلك ينتقل اليورانيوم مع الدم إلى الكليتين حيث يبقى فيهما مدة طويلة وهنا تكون السمية الكيميائية أكبر تأثيراً نتيجة تكوين اليورانيوم مركبات قد تؤدي إلى فشل الكلية في أداء وظيفتها.

وضعت هيئة المواصفات والمقاييس العربية حدوداً قصوى لليورانيوم بناءً على سميته الكيميائية في مياه الشرب تقدر بـ 20 جزء في البليون «أي 20 ميكروغرام/ل» وهي تتفق مع حدود وكالة حماية البيئة الأمريكية. وهناك توجه لدى وكالة حماية البيئة الأمريكية لرفع هذا الحد إلى 30 جزءاً في البليون أي بزيادة 50%. يشابه الراديوم في سلوكه الكيميائي الكالسيوم العنصر الذي يحتاجه الجسم في بناء العظام ولذا كان الراديوم في سلوكه الحيوي في جسم الإنسان هو ترسيبه في العظام مما قد ينشأ عنه سرطان العظام وقد وضعت هيئة المواصفات والمقاييس حدوداً قصوى للراديوم «الراديوم-226 والراديوم-228» في مياه الشرب تقدر بـ 5 بيكوكوري/ل وهي تتفق مع حدود وكالة حماية البيئة الأمريكية. في حين أن منظمة الصحة العالمية وضعت حدوداً للراديوم في مياه الشرب مبنية على حساب مقدار محدد من الجرعة الإشعاعية حيث يصل حد الراديوم في المياه إلى 13 بيكوكوري/ل.

الظواهر الجيولوجية الناتجة عن المياه الجوفية:

تلعب المياه الجوفية دوراً هاماً من ناحية النشاط الكيميائي أما النشاط الميكانيكي فهو ضعيف جداً إذا ما قورن بنشاط المياه الجوفية الكيميائي والذي يشكل ثلاث عمليات: الذوبان - الإحلال - الترسيب:

1- مظاهر جيولوجية ناتجة عن الذوبان:

تقوم المياه الجوفية بإذابة الصخور الجيرية ويساعدها على ذلك غاز ثنائي أكسيد الكربون المذاب فيها، إذ تعمل على تحويل كربونات الكالسيوم إلى كربونات الكالسيوم الهيدروجينية القابلة للذوبان في الماء ويتكون لذلك الكهوف وكثيراً ما تنهار أو تهبط الطبقات الصخرية فوق الكهف مكونة الحفر الغائرة.

2 - مظاهر جيولوجية ناتجة عن عملية الإحلال:

تعمل المياه الجوفية الحاملة للأملاح المذابة أثناء مرورها على بقايا المواد العضوية المدفونة في الصخور على إحلال المادة المعدنية التي تحملها محل المواد العضوية وبذلك تترسب هذه البقايا لتتكون ما يعرف بالوقود الأحفوري أو الأخشاب المتحجرة.

3 - مظاهر جيولوجية ناتجة عن عملية الترسيب:

تقوم المياه الجوفية في حالات كثيرة بترسيب المواد المعدنية الذائبة فيها حبيبات الصخر مما يؤدي إلى تماسك الصخر كما في تكوين الحجر الرملي الحديدي أو الحجر الرملي السيليسي. كما تقوم المياه الجوفية بترسيب ما تحمله من مواد معدنية في الشقوق والفجوات الكبيرة في الصخور مكونة العروق المعدنية التي لها أهمية اقتصادية.

عندما تتحلل المياه الجوفية المشبعة بمركب بيكربونات الكالسيوم بفعل حرارة جو الكهف إلى غاز ثنائي أكسيد الكربون وكربونات الكالسيوم والماء، فترسب كربونات الكالسيوم قبل أن تسقط القطرات من سقف الكهوف مكونة نمواً بارزاً من السقف تسمى الهوابط، أما الصواعد فتحدث عند سقوط القطرات على أرضية الكهف فترسب كربونات الكالسيوم على شكل أعمدة نحو الأعلى. كما هو الحال في مغارة جعيتا في لبنان [6,5].

5. المياه المعدنية والحارة

تشبه مياه العيون والينابيع مياه الآبار (المياه الجوفية) في التكوين والنشأة والموصفات نتيجة مرور مياه الأمطار (أو أي مصدر آخر للماء) من خلال مسام التربة التي ترشح منها ما تحويه من شوائب وعوالق بيولوجية وغير بيولوجية، كما أنها تذيب أثناء مرورها في طبقات التربة العديد من الأملاح والعناصر الموجودة في التربة مما يكسبها محتوى عالياً من هذه الأملاح لذلك يطلق عليها اسم المياه المعدنية، وتسمى أيضاً المياه الحارة بسبب درجة حرارتها المرتفعة التي قد تصل إلى 90 درجة مئوية مقارنة مع درجة حرارة المياه الطبيعية التي تتراوح بين (10 – 25° م).

تمتاز هذه المياه بتركيبها الكيميائي الثابت غير القابل للتغير، وتتكون بطريقة طبيعية في مخازن مائية خاصة فلا تمتزج بالمياه السطحية ولا تحتاج إلى تطبيق أي تغييرات أو إضافة مواد كيميائية إليها، وهي أكثر صحة لجسم الإنسان مقارنة بمياه الشرب العادية بسبب احتوائها تقريباً على كافة الأيونات والعناصر الضرورية لديمومة نمو وحماية جسم الإنسان لأنها تحافظ على وجود الأيونات في جسم الإنسان وتقوم بتنظيم الجسم وتنقيته من المواد الضارة كما تحافظ على التوازن في كمية المياه التي يفقدها جسم الإنسان أثناء الأنشطة. تخرج المياه المعدنية من تحت سطح الأرض وتندفق على شكل عيون مائية أو بطريقة حفر الآبار لاستخراج المياه الجوفية، وتتغير كمية المياه المعدنية وحجمها بين موقع وآخر حسب ظروف تكوينها ونوعية طبقات التكوين التي تخزن فيها هذه المياه.

تصنيف المياه المعدنية والحارة :

- صنّف بعض العلماء المياه المعدنية على أساس تدفقها وتبعاً لكمية الأملاح المنحلة فيها الى ما يلي :
- 1 – مياه معدنية خفيفة : هي المياه التي تحتوي كمية أملاح منحلة تتراوح بين 250 – 500 ملغ/ل .
 - 2 – مياه معدنية ثقيلة : هي المياه التي تحتوي كمية أملاح منحلة أكثر من 500 ملغ/ل .
 - 3 – مياه عيون طبيعية : هي المياه التي تندفق من تحت الأرض وتخرج بشكل طبيعي وليست لها خصوصيات فيزيائية أو كيميائية غير ثابتة وتوجد في أمكنة صخرية مختلفة الأنواع.

نذكر هنا أن أكثر هذه المياه صلاحية للشرب ولا تحتاج إلى عمليات تنقية أو ترشيح هي مياه العيون الطبيعية حيث تحتوي على أيونات بنسب طبيعية لا تضر بصحة الإنسان.

أما البعض الآخر من العلماء فقد صنف المياه المعدنية على أساس تركيز بعض العناصر فيها وخاصة عناصر الكالسيوم، المغنيزيوم والكبريت:

- **مياه كلسية:** هي التي يحتوي كل لتر منها على 140 ملغ من مادة الكالسيوم الذي يساعد على نمو جسم الإنسان.
- **مياه مغنيزيومية:** هي المياه المعدنية التي يحتوي كل لتر منها على 12 ملغ من مادة المغنيزيوم الذي يقوي الجهاز المناعي ويسيطر على ضغط الدم.
- **المياه الكبريتية:** هي المياه المعدنية الغنية بالكبريت وتستعمل علاجاً لأمراض الروماتيزم، والمفاصل، والجلد، وغيرها من الأمراض.

والجزء الثالث من العلماء فقد صنفوا هذه المياه على أساس تدفقها إلى سطح الأرض بشكل طبيعي والتي ترتبط غالباً بالفوالق والخنادق والوديان العميقة في المناطق الجبلية، كما توجد المياه المعدنية التي يتم استخراجها عن طريق حفر الآبار في أعماق بعيدة عن مصادر التلوث، وترتبط بتكوين طبقات جيولوجية تحافظ على صفاتها الفيزيائية والكيميائية .

الفرق بين مياه العيون الطبيعية ومياه العيون المعدنية:

لا يميز كثير منا بين مياه العيون الطبيعية ومياه العيون المعدنية على الرغم من الاختلاف الواضح بينهما، نعرض هنا هذه الفروق:

1. المياه المعدنية لها تركيب ثابت وصحي لجسم الإنسان وتوجد في تكوين أو تراكم جيولوجية معينة، ولا تختلط بها المياه السطحية لذا لا تتغير صفاتها الفيزيائية والكيميائية ويكون لها طعم خاص بين حلو عذب ومر مالح خفيف أحياناً أما مياه العيون الطبيعية فقد يتغير تركيبها الكيميائي والفيزيائي نتيجة اختلاطها بالمياه السطحية المجاورة.
2. إن محتوى المياه المعدنية من الأملاح الكلية المنحلة يكون أكبر من 250 ملغ/ل، في حين يكون محتوى مياه العيون من الأملاح الكلية المنحلة أقل من 250 ملغ/ل.
3. تتميز المياه المعدنية بأنها آمنة وخالية من البكتيريا ولا تحتاج إلى معالجة كيميائية لاستخدامها فهي صحية بحد ذاتها بسبب تخزينها الآمن، في حين قد تكون مياه العيون غير آمنة للاستخدام المباشر [3].

الظروف الجيولوجية للمياه المعدنية والحارة:

ترتبط مخازن المياه المعدنية بصورة عامة بصخور حجر الكلس والدولوميت لحقبة الميزوزوي والبالوزوي، ونادراً ما تكون مرتبطة بصخور حقبة السينوزوي. كما ترتبط المياه المعدنية الحارة بالصخور النارية والبركانية المنشأ وفي المناطق التي تمتاز بنشاط تكتوني، وتقع مثل تلك المناطق على امتداد الفوالق العميقة واتجاهاتها التي تشكل غالباً الحدود الفاصلة بين تراكيب وبلوكات جيولوجية كبيرة، كما هو الحال في الفالق العميق المعروف بفالق (عمان، زاكروس، طوروس، قبرص) وفالق الأناضول وعلى امتداد الأحزمة البركانية القديمة والحديثة ويمكن معاينة شواهد تؤكد صحة ذلك الأمر من خلال النظر إلى توزيع مواقع الآبار والعيون المائية الطبيعية والمعدنية في تركيا وعلى امتداد سلاسل جبال الهملايا - والى سلاسل الألب مروراً بسلاسل الألبرز، الأناضول، زاغروس طوروس وغيرها. أما مياه العيون فتتلازم وترتبط بالأنواع المختلفة من الصخور في أعمار جيولوجية مختلفة، لذا تختلف الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه العيون بين موقع وآخر، لاسيما إذا تغيرت نوعية الطبقات والتكوين أو الترسبات الحاملة لها، كما تتغير كمية تدفق المياه فيها لاسيما في الفترات التي تتساقط فيها الأمطار والثلوج بكميات قليلة أو حين يقع الجفاف ويستمر فترات قد تستغرق سنوات، مما يؤثر بشكل كبير في مياه العيون مقارنة بالمياه المعدنية ويمكن ملاحظة ذلك حالياً في العديد من مناطق الشرق الأوسط ومنها في كردستان العراق وجنوب تركيا.

يمكن أن تكون مياه بعض الآبار الجوفية من نوع المياه المعدنية حيث يوجد أحياناً أكثر من مخزن واحد للمياه الجوفية في منطقة واحدة، وفي مثل هذه الحالات، لا تزيد أعماق المخازن عن 50 م تحت سطح الأرض وهي التي تعد من نوع المياه القابلة للشرب. أما الآبار التي تزيد عن 120 م (بعيداً عن مصادر التلوث) فيمكن أن يكون من نوع المياه المعدنية، فمثلاً تم حفر أربع آبار في موقع ما في فرنسا، فالآبار التي تقع مخازن المياه الجوفية فيها على عمق (30 - 50 متراً) تحت سطح الأرض هي من نوع مياه الآبار الصالحة للشرب. أما الآبار التي كانت مخازن المياه الجوفية على عمق (120 متراً وأكثر) فتكون من نوع المياه المعدنية، ولكن هذا ليس شرطاً إذ يمكن أحياناً أن يوجد هذان النوعان من المياه في موقع واحد، وهنا تتحكم فيها نوعية الطبقات والتكوين والتراكيب الجيولوجية التي تحمل المياه الجوفية [3].

أهمية المياه المعدنية الصحية:

منذ قديم الأزل عرفت الإنسانية بعض الصفات العلاجية للمياه يصعب تحديد زمانه بدقة حيث يحكي التاريخ أن هيبوقراط أبو الطب كان يصف حمامات المياه الشافية بأنها جزء من العلاج. ولكن منذ نحو 4 آلاف عام (العصر الحجري الحديث) أخذ الناس بالذهاب إلى بعض ينابيع المياه والاعتسال بها بهدف تخفيف الآلام وسرعة التئام جراحهم، حيث اعتمدت معرفة خصائص هذه المياه الشافية على قوة الملاحظة والخبرة الجيدة التي انتقلت من جيل إلى الجيل الذي يليه. لكن الدراسات العلمية الحديثة أوضحت أن تلك المياه تختلف عن مثيلاتها في المحتوى الكيميائي والمعدني والإشعاعي ولكن كيف ولماذا هذا الاختلاف سؤال غامض لم تعرف إجابته بدقة حتى الآن. يعتقد بعض العلماء أن هذه المياه لها صفات علاجية نتيجة الدورة الخاصة التي تمر بها من مطر أو جليد أو نهر وندى إلى باطن الأرض ويقائنها فترات طويلة فيها مما يزيد نسبة الأملاح والمعادن المنحلة فيها. ولكن مؤخراً استخدم العنصر المشع الطبيعي الأرغون-39 لتصوير مجرى هذه المياه تحت الأرض وتعيين مدة رحلتها فيها بما يقارب 10000 سنة قبل تدفقها عيناً علاجية إلى سطح الأرض. لم يعرف حتى الآن بدقة أي الينابيع المعدنية الأقدم في العالم ولكن يعتقد أن هذه المياه تكونت منذ زمن بعيد أثناء تكوّن كوكب الأرض حيث تمكنت كميات من مياه الأنهار والبحار والأمطار من التسرب إلى باطن الأرض وبقيت منذ ذلك الحين فتشبعت بالأملاح المعدنية والعناصر الكيميائية، أهمها مياه Padova الإيطالية وGmundens النمساوية التي يقدر عمرها بنحو 250 مليون سنة. وقد انتشرت حمامات العلاج في أوروبا في العصور الوسطى بين الفقراء الذين ليس لديهم القدرة على دفع نفقات العلاج، تلتها فترة تراجع الإقبال عليها لتسببها بانتشار الكثير من الأمراض المعدية كالطاعون والزهري [6].

خضعت في أوائل القرن العشرين مياه بعض الينابيع العلاجية لتحاليل كيميائية دقيقة بهدف معرفة الفرق بين طبيعة مياهها ومياه الآبار العادية فتبين وجود بعض الفروق في المحتوى الكيميائي لبعضها وعدم وجود أي فرق في الأملاح الذائبة في الآخر، وكان ذلك غير كافٍ لتفسير القدرة العلاجية لهذه الينابيع المعدنية التي عزاها العلماء البولنديون في عام 1945 إلى وجود بعض الأنشطة الإشعاعية لها نتيجة وجود تراكيز عالية نسبياً من النظائر المشعة وخاصة الراديوم-226 والراديون-222 والثوريوم-234.

كانت مواقع الينابيع الحارة مركز جذب النشاط والاستيطان البشري منذ أقدم العصور بفعل دورها في حماية صحة الإنسان من الأمراض وازدادت أهمية الينابيع المعدنية في أوقات الغزوات والحروب والأوبئة يستخدمونها لأغراض الاستحمام أو شرب مياهها واستنشاق بخارها لمعالجة الأمراض. تستخدم مياه الينابيع الحارة والمعدنية في معالجة العديد من الأمراض كالصدف والأكزيما وبعض أنواع الحساسية وأمراض المفاصل والجهاز التنفسي والجهاز العصبي والأمراض النسائية وفي تنشيط الدورة الدموية وفي معالجة أمراض الكلية والكبد والأمراض الجلدية .

أثبتت الدراسات العلمية الحديثة أهمية استعمال المياه المعدنية والتأثير الإيجابي أو السلبي لكل عنصر يوجد خارج حدودها المطلوبة ونبين فيما يلي أبرز فوائد تلك العناصر الموجودة في المياه المعدنية:

- الكالسيوم: مهمته البناء والمحافظة على العظام والأسنان ويعمل على خفض ضغط الدم المرتفع وتنظيم ضربات القلب، كما يمكن الاستفادة منه لمقاومة الأورام وبخاصة سرطان القولون ويعد الكالسيوم مهدئاً لحالات الصداع وتنظيم شحوم الدم .
- المغنيزيوم: يقوي الجهاز المناعي ويسيطر على ضغط الدم وتوظيف السكريات الموجودة في الدم فيساعد على شفاء حالات تصلب الشرايين والنوبات القلبية بالمشاركة مع شاردة الكالسيوم وفي معالجة الربو، وله دور مهم في تعزيز دور الأنسولين وحتى المعالجات الجلدية وتثبيت المعادن على العظام.
- الفلور: يسهم في حماية الأسنان من التسوس.

- النترات : يكون وجودها بكميات مرتفعة غير صحي وخاصة للأطفال الرضع.
- الحديد: يحتاج إلى كميات قليلة منه ونقصه في الماء احد أسباب فقر الدم.
- البيكربونات: تساعد على المحافظة وتنظيم وتوازن الحوامض في المعدة والأمعاء.
- الكلور: يحافظ وينظم الحوامض في المعدة والأمعاء.
- السلفات: مواد منظفة طبيعية .
- المنغنيز : يساعد على خفض مستوى سكر الدم لدى مرضى السكري وهو مفيد في حالات هشاشة العظام والحمى الرثوية.
- الفوسفور: وهو مهم في حالات الكسور العظمية وحالات نقص الفيتامين د وفي حالات التشنجات العضلية.
- شاردة الزنك : وظيفتها تعزيز مناعة الجسم .
- شاردة السيزيوم : المهمة للوقاية من الأمراض وتعزيز مناعة الجسم عن طريق عدد الكريات البيض وتسهيل وظيفة الكبد والبنكرياس ومعالجة الإلتهابات الجلدية.
- النحاس : ضروري في حالات فقر الدم والتهاب المفاصل.
- الكبريت : يعد من أهم الشوارد في المياه المعدنية للأمراض الجلدية وخاصة الأكزيما والصدف وجفاف البشرة وهو ضروري جداً لتركيب مادة الكولاجين الرابطة بين الخلايا ويفيد في حالات الإلتهابات البولية النسائية والتهابات المعدة والأمعاء والكلية، كما يفيد في ضبط الضغط الشرياني فهو ينظم ضغط الدم ضمن الحدود الطبيعية، كما أن حمام المياه الكبريتية يساعد على إزالة الآلام المفصلية لأن تركيزه نحو 850 ملغ وهو التركيز الطبيعي الذي يحتاجه الجسم ضمن القيم العالمية المسموح بها للحصول على الفائدة المثلى.

إن المزايا العلاجية للمياه المعدنية وقدرتها على الشفاء من العديد من الأمراض ليست وليدة اكتشاف حديث. لقد كانت مزايا المياه المعدنية معروفة منذ قرون لدى الإغريق في معالجة الأمراض الجلدية وتحولت مواقع ينابيع المياه المعدنية في العديد من مناطق العالم ومنها الشرق الأوسط إلى مناطق سياحية وترفيهية تعرض فيها الحفلات الموسيقية وقد جرى اكتشاف كشف الكثير من الآثار حول مواقع الينابيع المعدنية.

الجدير بالذكر أن الغزاة اهتموا بمواقع المياه المعدنية واستعملوها أدوية لمعالجة الكثير من الأمراض والأوبئة وكانت تستقر قواتها في أغلب الأحيان بالقرب من مواقع العيون المائية المعدنية. وربما كان هذا أحد الأسباب بناء الإمبراطورية الآشورية للكثير من المواقع الأثرية بالقرب من مواقع عيون المياه المعدنية في كردستان مثل الموقع الأثري السياحي للملك الآشوري سنحاريب في خنس مما أعطى الموقع (كه لي خنس) خاصية سياحية مهمة لقربها من مواقع المياه المعدنية (الكبريتية).

أكدت بعض المخابر أن هذه المياه مركبة بطريقة تستطيع أن تحقق الإستشفاء من الأمراض من حيث درجة الحرارة والموصفات الكيميائية والفيزيائية، لأن هذه المياه تقوم بعمل أساسي وهو توسيع جملدة الأوردة والشرايين وعندما تتوسع جملدة الأوردة والشرايين السطحية ينخفض الضغط ويزداد عدد ضربات القلب وعندها يحتاج الإنسان إلى أكسجين أكثر وبالتالي تصبح فعالية الجسم وإمكانية الإستقلاب فيه أعلى بكثير حتى المرضى الذين يتناولون الدواء عندما ينزلون إلى الماء ترتفع قدرتهم وفعاليتهم على الاستجابة للشفاء من 10% إلى 100% منه[6,5]..

بالإضافة إلى الفوائد المرجوة من المياه المعدنية الكبريتية الحارة بمعالجة أمراض الجهاز العصبي وبخاصة الروماتيزم والتهابات الأعصاب المزمنة والاستشفاء من أمراض الجهاز الحركي وأمراض الهيكل العظمي لاسيما الديسك وبعض أمراض الجهاز الهضمي وأمراض الجهاز البولي والتناسلي

وبعض الأمراض الجلدية وتنشيط طبقة الكولاجين والمساعدة في شد البشرة وإزالة الترهلات، والإستغناء عن عمليات التجميل إلى جانب الإستشفاء من بعض الأمراض التنفسية وأمراض القلب والأمراض المفصلية، فحمام المياه الكبريتية يساعد على إزالة أو تخفيف الآلام عامة.

النشاط الإشعاعي في المياه المعدنية والحارة :

يتعرض الإنسان للإشعاع المؤين من مصدرين مهمين هما النظائر المشعة الطبيعية والنظائر المشعة الصناعية كما ذكرنا سابقاً، أما مصادر النظائر المشعة الطبيعية فتوجد على سطح الأرض بتركيز متفاوتة من منطقة لأخرى منذ تكون الأرض، ومن أهم العناصر المشعة الموجودة في القشرة الأرضية البوتاسيوم-40 والروبيديوم-87 وسلسلتي اليورانيوم-238 والثوريوم-232 ووليداتها.

يعد الإشعاع الطبيعي المسؤول الأول عن التعرض الإشعاعي لعموم الناس في كافة أنحاء العالم منذ تكون الأرض حيث استمر الإشعاع في السقوط على سطحها من الفضاء الخارجي، كما ينبعث من المواد المشعة الموجودة في قشرتها، حيث تعد الأشعة الكونية الأولية والثانوية وأشعة غاما من القشرة الأرضية ومنتجات تفكك الرادون القصيرة عمر النصف والنوى المشعة الطويلة عمر النصف من أهم المصادر التي تؤدي إلى تعرض عموم البشر للإشعاع تختلف من منطقة إلى أخرى. يتولد نتيجة تفاعل هذه الأشعة مع مكونات الغلاف الجوي عناصر مشعة أهمها من حيث التأثير على الإنسان الكربون-14، البيريليوم-7 والترينيوم-3 والتي ما تلبث أن تسقط إما بفعل الأمطار أو الجاذبية إلى سطح الأرض.

يتشكل النشاط الإشعاعي في المياه الطبيعية عامة بفعل التفكك الإشعاعي لثلاثة سلاسل رئيسية هي : سلسلة اليورانيوم-238، سلسلة اليورانيوم-235، سلسلة الثوريوم-232 حيث تتفكك مولدة منتجات عديدة من نيوكليدات مشعة ذات أنصاف أعمار قصيرة نسبياً وتنتهي حوادث تفكك هذه السلاسل بتشكيل نظائر الرصاص-206 الثابتة .

تنتج سلسلة اليورانيوم-238 غالبية النيوكليدات المشعة الموجودة في المياه الطبيعية. كما تلعب منتجات تفكك سلسلة الثوريوم-232 أهمية خاصة في بعض المناطق التي تتوافر فيها خامات الثوريوم، في حين تحتل منتجات سلسلة تفكك الأكتينيوم-235 أهمية ثانوية نظراً لقلّة وفرة هذا النظير ضمن اليورانيوم الطبيعي.

يوجد اليورانيوم المنحل الكلي في المياه الطبيعية بأشكال عديدة، نذكر من أهمها : U ، UO_2 و U . يتميز اليورانيوم الرباعي U^{+4} بانحلالية منخفضة، في حين يكون اليورانييل UO_2 المرافق لمحاليل مائية ذات درجة حموضة مرتفعة ذا انحلالية عالية نسبياً، أما اليورانيوم السداسي U^{+6} فله قابلية لتشكيل أكاسيد اليورانيوم الموجودة على شكل طور صلب كما في صخور القشرة الأرضية. تتراوح محتويات اليورانيوم المنحل الكلي في المياه الطبيعية بين (0.1 – 10) جزء بالليون، وتصادف التراكيز المرتفعة لليورانيوم الكلي المنحل (أكثر من 1ملغ/ل) في المياه الجوفية على مقربة من مكامن خامات اليورانيوم.

تتحد مصدرات إشعاعات ألفا الطبيعية بشكل رئيسي من تفكك نظيري الراديوم-226 والراديوم-228 الناتجين عن تفكك سلسلتي اليورانيوم والثوريوم. كما تصدر إشعاعات بيتا و غاما عن تفكك النيوكليدات المشعة المتشكلة من تفكك ذات السلسلتين. ويمثل نظيراً البوتاسيوم-40 والروبيديوم-87 أهم النظائر المصدرة لأشعة بيتا و غاما. ومن وجهة نظر جيوكيميائية نذكر عدداً من النظائر الهامة مثل: السترونشيوم-89، السترونشيوم-90، اليود-131، الفوسفور-32، الكوبالت-60، التي لوحظ وجودها في

المياه الطبيعية منذ عقد العشرينات من هذا القرن (Hem,1992) .

يعد الراديوم من أهم النظائر المشعة الطبيعية الموجودة في المياه، حيث يوجد على شكل أربعة نظائر رئيسية هي: راديوم-223، راديوم-224، راديوم-226، راديوم-228. يعد الراديوم-226 من أوفر هذه النظائر في المياه الطبيعية نظراً للطول النسبي لعمر نصف تفككه الإشعاعي (1620 سنة). يتشابه الراديوم في خصائصه الكيميائية مع عنصر الباريوم، إلا أن درجة انحلال أملاحه تكون أخفض من انحلالية أملاح الباريوم في ذات الشروط الترموديناميكية. يوجد الراديوم في المياه الطبيعية عموماً بفعاليات ضعيفة لا تتجاوز 1 بيكوكوري/ل، وتلاحظ الفعاليات المرتفعة للراديوم في الحوامل المائية العميقة أو قرب مناجم صخور اليورانيوم والفوسفات (Hem,1992). يبلغ الحد الأعلى لفعالية الراديوم-226 والراديوم-228 المسموح بها في مياه الشرب نحو 5 بيكوكوري/ل وفقاً لوكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة الأمريكية (Wanty et al، 1991) [1].

ونذكر من النظائر المشعة الشائعة الوجود في المياه الطبيعية، نظائر الرادون المتشكلة من تفكك نظائر الراديوم-226، الراديوم-224 والراديوم-223. ويعد الرادون-222 الذي نصف عمره 38 يوم والمتشكل من تفكك الراديوم-226 من أهم نظائر الرادون في المياه الطبيعية. يوجد الرادون غالباً بشكل منحل في هذه المياه، كما يمكن أن ينتقل إلى الطور الغازي عند مغادرته للمحلول. تتوافق الفعاليات العالية للرادون-222 مع الفعاليات المرتفعة من الراديوم-226 الموجود على شكل طور صلب في ملاط صخور الحوامل المائية. يتفكك الرادون-222 مشكلاً نظير الرصاص-210 ذا عمر النصف المساوي 21.8 سنة.

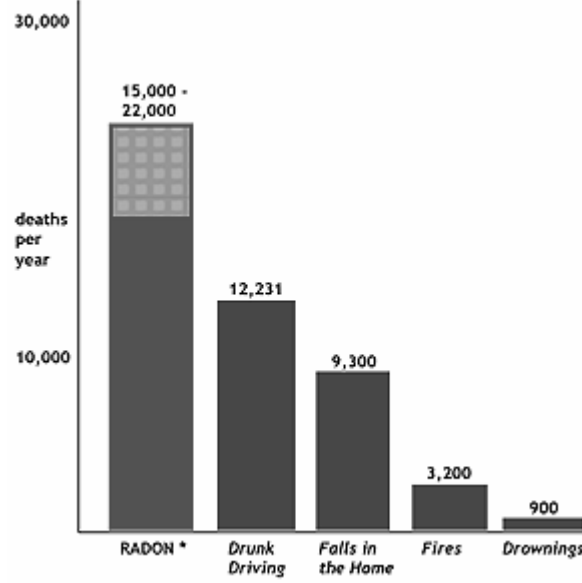
حاول عدد من العلماء الربط بين محتوى المياه الحارة والحركات البركانية، فلقد قام علماء من اليابان بقياس تركيز الرادون في الينابيع الحارة مباشرة بعد اندفاع بركان USU في عام 1977 ولم تشر النتائج التي حصل عليها إلى علاقة مباشرة مع فعالية البركان ولكن تغيرات تراكيز الرادون تشير إلى احتمال وجود علاقة مع مزج المياه الجوفية. هذا ولقد أشارت دراسة أخرى إلى أن تراكيز الرادون أثناء أحد الانفجاعات البركانية (بركان Karyn في روسيا) كانت متوافقة مع الحركات الزلزالية المسجلة في محطة رصد الزلازل في Karyn Raya [1].

أما بالنسبة للآثار الصحية فقد أجرى العديد من الدارسين تحريات عن تأثير النشاط الإشعاعي في المياه المعدنية والحارة على الصحة، وخاصة الرادون والراديوم اللذان يوجدان حولنا طبيعياً.

لمحة عن غاز الرادون:

الرادون هو أحد نواتج تحلل عنصر اليورانيوم المشع في سلسلة الإشعاع الطبيعي، إن النشاط الإشعاعي للرادون أي التحلل تلقائياً إلى عناصر مشعة أخرى يمكنها أن تلتصق بذرات الغبار الموجودة في الجو يتنفسها الإنسان فتلتصق بجدار الرئتين وتقوم بدورها بالتحلل إلى عناصر أخرى، وأثناء هذا التحلل تشع أشعة ألفا (نواة ذرة الهليوم) وهي أشعة مؤينة والأشعة المؤينة تسبب تأين الخلايا الحية مما يؤدي إلى تغيرات كيميائية في الخلية إما تغيرات دائمة وبالتالي حدوث خلل وراثي أو تداخلات متأخرة مثل السرطانات أو تحدث ضرراً يؤدي إلى موت الخلايا ثم العضو فموت المتعضية. وخلال العقد الماضي أقر العلماء بالإجماع على أن غاز الرادون السبب المحتمل للإصابات السرطانية في بني البشر.

ولكن لحسن الحظ فإن مثل هذا النوع من الأشعة - أشعة ألفا - هي جسيمات ثقيلة نسبياً، وبالتالي تستطيع أن تعبر مسافات قصيرة في جسم الإنسان (الجلد فقط في حالة التعرض الخارجي) أي أنها لا تستطيع أن تصل إلى خلايا الأعضاء الأخرى لتدميرها؛ وبالتالي يكون سرطان الرئة هو الخطر المهم والمعروف حتى الآن الذي يصاحب غاز الرادون. وتشير التقديرات إلى أنه يتسبب في وفاة ما بين 15 ألف إلى 22 ألف في الولايات المتحدة لوحدها نتيجة الإصابة بسرطان الرئة.



مخطط يظهر الوفاة الناتجة عن بعض المخاطر في الولايات المتحدة ويظهر الرادون كأعلى نسبة

وتعتمد خطورة غاز الرادون على كمية ونسبة تركيزه في الهواء المحيط بالإنسان، وأيضاً على الفترة الزمنية التي يتعرض لها الإنسان لمثل هذا الإشعاع، وحيث إن هذا الغاز من نواتج تحلل سلسلة اليورانيوم؛ لذا فهو موجود في التربة والصخور، وتكون نسبة تركيزه عالية جداً في الأماكن الصخرية أو الحجرية المغلقة، مثل أقبية المنازل والمناجم والفوالق الصخرية ومثل قبور الفراعنة المبنية في وسط الأحجار والصخور، وهذا بالفعل ما وجد عند قياس نسبة تركيز هذا الغاز في هذه الأماكن. وبالتالي يؤدي مكوث الإنسان فترة زمنية طويلة فيها إلى استنشاق كمية كبيرة من هذا الغاز الذي يتلف الرئتين، ويسبب الموت بعد ذلك. وهذا ما ذهب إليه العلماء في تفسير لعنة الفراعنة بأنها تحدث نتيجة لتعرض الأشخاص الذين يفتحون المقابر الفرعونية لجرعة مكثفة من غاز الرادون. كما أن وليدات الرادون تشكل خطورة كبيرة إذا جرى استنشاق الرادون وذلك لكونها صلبة تستقر في الرئة ويمكن أن تنتقل مع الدم إلى أعضاء هامة في الجسم وتترسب فيها. كما يستخدم غاز الرادون في إطار بعض العلاجات التي تسمى العلاجات الراديولوجية والتي تكون بشكل أساسي علاجات بالاستحمام بحمامات مياه ساخنة أو ينابيع مياه معدنية ساخنة يكون فيها تركيز الرادون (1- 4.5/6.0) كيلوبكرل [13,7].

الخواص الفيزيائية والكيميائية للرادون :

الرادون (Rn) عنصر غازي وحيد الذرة خامل كيميائياً مشع موجود في الطبيعة. وهو عديم اللون والرائحة والطعم، شديد السمية، وإذا تكثف فإنه يتحول إلى سائل شفاف، ثم إلى مادة صلبة معتمة ومتألئة، يوجد للرادون ثلاثة نظائر:

1. الأكتنون **Rn-219**: يهمل عادة هذا النظير عند تقييم الجرعة الإشعاعية الطبيعية وذلك لندرة وجود نظير اليورانيوم 235 أساس السلسلة التي ينحدر منها هذا النظير من جهة (0.7% من اليورانيوم) وبسبب نصف عمره القصير (3.92 ثانية) من جهة أخرى ولذلك يتلاشى هذا النظير قبل خروجه من التربة إلى البيئة.

2. الثورون **Rn-220**: يعد نظيراً مهماً وذلك لكون نسبة إنتاجه متساوية تقريباً مع الرادون 222

3. الرادون **Rn-222**: الذي عمره النصف مساوياً 3.38 يوم.

ينتمي الرادون إلى عمود الغازات النبيلة أو الخاملة في الجدول الدوري للعناصر (جدول مندلييف) الذي يضم غازات الهليوم والنيون والأرغون والكريبتون والأكزينون. فذرة الرادون كباقي الغازات النادرة نادراً ما تتفاعل وتشكل جزيئات. لذلك يمكنها أن تنتشر بحرية عبر كل المواد النفوذة للغازات لأنها خاملة كيميائياً.

لا يمكن كشف الرادون بالحواس البشرية لأنه غاز عديم اللون والرائحة، لذلك يعتمد في كشفه بشكل رئيسي على كشف الأشعة المرافقة لتفككه وتفككه وليداته. غاز الرادون أثقل من الهواء سبع مرات ونصف مما يؤدي إلى وجوده في الأسفل دائماً ولكنه يشكل نحو 1 من 1020 من هواء الجو فهو لا يشكل طبقة قريبة من سطح الأرض وإنما يختلط تقريباً بشكل متجانس مع الهواء الداخلي للمنازل حيث يكون تركيز الرادون داخل المنازل بشكل عام أعلى من 2 إلى 10 مرات منه في الخارج لذا فإنه غالباً ما يهمل التعرض للرادون خارج المنازل [13,7].

يبين الجدول (4) بعض الخواص الفيزيائية للرادون.

(الجدول -4) الخواص الفيزيائية والكيميائية للرادون

الخاصة الفيزيائية	القيمة
درجة الغليان	-61.80 C
درجة الانصهار	-71 C
درجة الحرارة الحدية	-104 C
الضغط الحدي	62 atm
الكثافة عند الضغط ودرجة الحرارة العاديين	9.96 kg/m ³
حجم (27.03pCi) عند الضغط ودرجة الحرارة العاديتين	1.6×10 ⁻²⁰ m ³

يتصف الرادون بأنه شديد الذوبان في التلوين. لذلك غالباً ما يستخدم التلوين من أجل إستخراج الرادون المنحل في الماء في العينات المائية من أجل قياس تركيز الرادون فيها. ومن الجدير بالذكر، أن الرادون متوسط الذوبان في الماء وبعض السوائل الأخرى. يبين الجدول (5) معامل الإنحلال للرادون في بعض السوائل المشهورة. كما يعد الفحم الفعال ممتصاً جيداً للرادون لذلك غالباً ما يستعمل من أجل استخراج الرادون من الماء ومن أجل قياس الرادون المعلق في الماء [13].

(الجدول-5)

المذيب	18 ⁰ C	0 ⁰ C	18 ⁰ C
الماء	0.285	0.507	-
الإيثير	15.08	20.09	29.7
النفط	9.2	12.6	-
الهكسان	23.14	33.4	35.4
الإيثيلين	7.35	9.4	13.6

مصادر الرادون :

يوجد مصدران أساسيان للرادون في الوسط الخارجي هما التربة والماء ونبين فيما يلي شرحاً مبسطاً لبعض أهم هذه المصادر:

1-التربة والصخور:

ينتج نحو 80% من غاز الرادون المنبثق إلى الوسط الخارجي عن الطبقة العليا للأرض. وبالطبع فإن وجود الراديوم-226 وبالتالي اليورانيوم-238 هو السبب في إصدار الرادون في التربة وبالتالي تختلف من مكان إلى آخر حسب الطبيعة الجيولوجية وتتركز في الصخور الغرانيتية والفوسفاتية. يعبر عن كمية اليورانيوم الموجود في مكان ما بجزء من المليون من الوزن (ملغ/ل) أو بالفاعلية النوعية التي يعبر عنها بالبيكو كوري لليورانيوم في غرام واحد من المادة (بيكوكوري/غ) والعلاقة بين هذين التعبيرين بالنسبة لليورانيوم هو:

(1 بيكوكوري/غ = 1ملغ/ل) وبشكل عام فإن صخور القشرة الأرضية تحوي نحو (1 بيكوكوري/غ والتربة نحو (0.7) بيكوكوري/غ [13].

يمكن تقسيم إصدار الرادون من التربة والصخور إلى مرحلتين المرحلة الأولى تتجلى بالخروج من الفلزات إلى الوسط البيئي، أما المرحلة الثانية فتتجلى بالخروج من هذا الوسط إلى الهواء. فكل تفكك لذرة راديوم موجودة في حبيبات التربة أو الصخور سيعطي ذرة رادون. فإذا كان إنتاج هذه الذرة قريب من سطح التربة فيمكنها الهروب إلى الوسط الخارجي. إن كمية إصدار الرادون من التربة تتوقف على عدة عوامل منها النفوذية ورطوبة التربة،... الخ، وتؤثر أيضاً عملية تفككه ليعطي عنصراً صلباً هو البولونيوم قبل أن يبلغ السطح في معظم الأحيان، يعرف معدل الإصدار على أنه الفعالية المنطلقة في واحدة المساحة في واحدة الزمن. وتعرف كمية الرادون القابلة للتححرر إلى الغلاف الجوي بواسطة معامل يدعى معدل إنتاج الرادون:

$$P = E \cdot R \cdot \lambda$$

حيث: λ : ثابت التفكك للرادون ($2.06 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$)

E: معامل الإصدار

R: النشاط الإشعاعي للراديوم في المنطقة (الوسط المدروس)

كما يعرف معدل التححرر (الانبثاق) الكلي T بالشكل:

$$T = P \cdot \rho = E \cdot R \cdot \lambda \cdot \rho$$

حيث ρ : كثافة جسم المادة (كغ/م³)

يعتمد إصدار الرادون من التربة على كمية انبثاقه من حبيبات مادة التربة وعلى انتقاله (انتشاره) عبر مسامات التربة إلى الوسط الخارجي. وقد وجد أن معامل انبثاق الرادون بشكل عام من الصخور أكبر منه من التربة والمعادن.

2- الماء:

يعد الرادون متوسط الانحلال في الماء، حيث تزداد إنحلاليته بانخفاض درجة حرارة الماء. لذلك عندما تسير المياه الجوفية الباردة عبر صخور التربة الجوفية تمتص كمية لا بأس بها من الرادون، وعندما يسخن الماء أو يحرك فإن كمية كبيرة من الرادون تنفلت وتنطلق إلى الوسط الخارجي. تعتمد كمية الرادون في الماء بشكل رئيسي على عاملين: الأول هو المواصفات الجيولوجية المحلية، والثاني نوع الماء. فمن أجل العامل الأول فقد ذكرنا في الفقرة السابقة أن كمية الرادون تعتمد على نوع ومواصفات الصخور الموجودة. أما نوع الماء المستخدم فهو عامل مهم جداً، حيث وجد أن الرادون الناتج عن الماء يشكل مشكلة في البيوت التي تستخدم مياه الآبار بشكل مباشر، بينما لا يكون مشكلة في البيوت التي تعتمد على شبكة المياه العامة. وذلك لأنه عادة يحفظ مياه الشبكة العامة من أجل المعالجة ومن ثم تخزن وبعد ذلك توزع فيكون هناك الوقت الكافي الذي يتفكك فيه الرادون ونواتج تفككه المنحلة في الماء قبل أن يصل البيوت.

لقد قدر بشكل عام أن تركيزاً قدره 10000 بيكو كوري/ل من الرادون بالماء سيضيف نحو 1 بيكو كوري/ل (37 بكرل/م³) في الهواء الداخلي للمنازل بإفترض استخدام العادي للماء. وقد وجد أن متوسط مستوى الرادون في مياه الآبار يتراوح بين (500 - 170000 بيكو كوري/ل). يمكننا تحديد ثلاثة مصادر رئيسية لغاز الرادون في المياه السطحية:

1. الرادون الناتج عن الراديوم-226 الموجود في المحلول والمعلقات .
2. الرادون المترافق مع تدفق المياه الجوفية .
3. انتشار غاز الرادون مع الرسوبيات المتوضعة في الأسفل .

يفقد الرادون بسرعة من المياه السطحية إلى الجو بواسطة الإنتشار ولذلك تشارك المحيطات بنحو 1% من كمية الرادون الصادرة إلى الوسط الخارجي ويعود ذلك إلى أن محتوى ماء البحر من اليورانيوم والراديوم أصغر بكثير من محتوى التربة والصخور.

أما في المياه الجوفية فيعزى وجود الرادون في المياه الجوفية إلى تفكك الراديوم الموجود في الصخور والتربة والذي إنحل في هذه المياه وإلى الرادون المنحل في هذه المياه الجوفية والناتج من تفكك الراديوم غير الموجود على تماس مع هذه المياه [13,7].

3- مواد البناء:

تحتوي مواد البناء المصنوعة من التربة والصخور مثل (الإسمنت، البلوك،... الخ) على مواد مشعة ذات منشأ طبيعي مثل اليورانيوم والراديوم وبالتالي فهي تولد الرادون. إن لهذه المواد نفوذية كافية لينطلق الرادون المتولد ضمنها إلى الوسط الخارجي. أما المواد ذات المنشأ غير الأرضي (مثل الخشب) فهي تحوي كمية منخفضة جدا من الراديوم. تختلف كمية الرادون الصادرة عن نوع معين من مواد البناء بشكل كبير من عينة إلى أخرى حتى ولو كان تركيز اليورانيوم في كلا العينتين واحداً، حيث وجد أن معدل إصدار الرادون يتغير مع الظروف البيئية والتي أهمها الرطوبة والضغط وذلك يعود لتأثير الرطوبة والضغط على إرتداد ذرة الرادون الناتجة عن التفككات الإشعاعية للراديوم. يبين الجدول (6) محتوى مواد البناء من الراديوم-226 ومعدلات الإصدار لكل منها :

(الجدول-6)

معدل الإصدار من Ra226 ($10^{-3} \text{Bq.kg}^{-1} . \text{S}^{-1}$)	المحتوى من Ra226 (Bq.kg^{-1})	مواد البناء
2.9-20 (10)	9-141 (25)	البيتون
0.17-3.9 (2)	7-69 (50)	القرميد
6.3 0.23	12	الجص (الولايات المتحدة والدنمارك)
	580-740 333-848	الجص الفوسفوري (بولونيا وبلجيكا)

ملاحظة : القيم التي بين قوسين تمثل القيم النموذجية .

يجب أن لا ننسى أخيراً أن حرق كميات كبيرة من الفحم لتوليد الكهرباء تزيد من الجرعات الإشعاعية للإنسان بسبب الرادون المتولد في الغبار الموجود في نواتج الإحتراق، إن أول تأثير التعرض للرادون كونه غاز مشع حيث يصدر إشعاعات ألفا وبيتا من سلسلة التفككات التي تخضع لها منتجات تفككه هو سرطان الرئة حيث أن العضو الأكثر تعرضاً له جهاز التنفس فعند استنشاق الهواء يدخل الرئة إما عن طريق الأنف أو الفم إلى البلعوم ومنه إلى الرغامى حيث ينقسم إلى قسمين ليدخل إلى الشعبات الهوائية وبالنهاية إلى الأسناخ الرئوية. ففي دراسة على عدد من العاملين القاطنين في المنطقة المجاورة لأحد المناجم الحارة عالية النشاط الإشعاعي في اليابان كان تواتر الإنحرافات بحدود 0,21% من الروابط الحلقية حيث قام العديد من الباحثين بناءً على ذلك بإجراء القياسات الإشعاعية في المياه المعدنية والحارة حيث قام معهد البيئة البحرية بتركيب جهاز مراقبة رادون مستمرة يقومون بتسجيل تركيز الرادون كل ساعة .

أنواع اليانابيع: تختلف اليانابيع بين حقيقية، طبيعية وبسيطة وحارة تحتوي على الرادون وشوارد الحديد والمغنيزيوم والليثيوم والزنك والصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم بالإضافة إلى شاردة الكبريتات والبيكربونات ونظائر الراديوم 226 و السيزيوم 214 والرصاص-214 والبولونيوم-218. تتراوح درجة

حرارة الينابيع عند تجمع مياهها بين (28 - 36) درجة مئوية. تجمع مياه الينابيع في أحواض أساسية بكمية 400 لتر/دقيقة ومن ثم توزع عن طريق "كبرى" إلى كل المصحات. تبقى درجة حرارة المياه المخصصة للاستحمام تتراوح بين (35 - 37) درجة مئوية. يتراوح تركيز الرادون في الأحواض بين (1- 4.5/ 6.0) كيلو بكرل، تكرر عملية الاستحمام ست مرات أسبوعياً لمدة 20 دقيقة في كل مرة. وذلك هو الحد المثالي للعلاج المطلوب [13,7].

العلاج بالرادون والراديوم :

استخدم الرادون والراديوم علاجاً بشرياً في بعض المصحات وأولها مصح ياخيموف في دولة التشيك حيث تأسس عام 1906، ارتفاعه 650 م فوق سطح البحر. يكمن أساس العلاج في مياه الينابيع المعدنية الآتية من الطبقة التحتية الثانية عشرة لمناجم سفورنوست (svornost) في مدينة ياخيموف. توزع مياه هذه الينابيع الحاوية على عنصر الرادون على كل المصحات. تستخدم في الوقت الحالي للعلاج الينابيع الثلاثة الآتية: نبع الأكاديمي بيهونيك ونبع كبرى ونبع تس-1.

يعتمد العلاج بحمامات الرادون على الاستفادة من تأثير التهيج غير المحدود الناتج عن وجبات صغيرة لأشعة ألفا ووجبات صغيرة جداً لأشعة بيتا وغاما الحاصلة نتيجة تفكك وتحلل عنصر الرادون.

العلاج بأشعة ألفا هو علاج التهيج الوظيفي ورد الفعل مع تأثير واضح ضد الالتهابات وضد الآلام وللتنشيط. يظهر نتيجة لهذا العلاج تأثير إيجابي على الوظائف المصابة.

تعد حمامات الرادون الأساس لعملية العلاج في مصح ياخيموف وتجري جنباً إلى جنب مع العلاج الجسماني الطبيعي التقليدي مع التمارين الجسمانية العلاجية الخاصة وحسب الحاجة التي يمكن أن تكون فردية أو جماعية تمارس في قاعة الرياضة أو المسبح. يتبع ذلك تطبيق الأساليب الانعكاسية، مثل التدليك التقليدي والتدليك الوضعي ووخز الإبر والضغط الإبري وكذلك العلاج ضد الشيوخوخة والهرم.

يطبق في الحالات الخاصة حيث لا يكفي العلاج بالرادون مع التمارين الجسمانية والعلاج الانعكاسي والعلاج القصير بالراديوم-226 والعلاج العميق بالأشعة السينية وهو أسلوب راديولوجي يستعمل التأثير الإيجابي جداً لأشعة الراديوم-226 التي هي أشعة غاما على شكل أملاح موجودة داخل ابر معدنية عازلة للهواء وإضافة الى ذلك مغلفة بأغلفة بلاستيكية وفضية تركز داخل وسيلة تطبيق على بعد نحو 2 سم من الجلد مصدرة أشعة غاما العابرة من خلال أغلفة الإبر الناتجة من تحلل الراديوم ونظير الرصاص-210 والرصاص-214 ونظير البزموت-214 والبزموت-210.

يتراوح تركيز النشاط الإشعاعي لوسائل تطبيق العلاج المكونة من 1- 3 أبر موضوعة داخل حوامل مصنوعة من مواد صمغية غير طبيعية من 12,2 الى 43,3 ملغ الكترون فولط راديوم-226. في حين يجري العلاج العميق بالأشعة السينية بواسطة جهاز ستابيلبان (stabilipan) حيث توجه الأشعة على سطح الجسم المصاب بالتهابات بشدة تتراوح في كل سلسلة إشعاع بين (3.5- 5 غري)، يستعمل هذا العلاج في الحالات التي تستوجب تعريض مساحة كبيرة أو توصيل الوجبة الفعالة إلى المفاصل أو العضلات أو الأعصاب الموجودة في مناطق عميقة داخل الجسم.

يتميز العلاج القصير بالراديوم في استعمال تأثير أشعة غاما ضد الإلتهابات والآلام موضعياً من أجل مساعدة الجسم على تحمل أعباء العلاج. من المفيد استعمال العلاج المدمج بأشعة ألفا وغاما في بعض الأمراض وخاصة الأمراض التحسسية العصبية الذي يستمر العلاج فيه 8-14 شهراً حيث يبقى المريض موجوداً عملياً طوال الوقت تحت إشراف طبي في المصحات التي توفر للمريض كل أنواع طعام الحماية والراحة النفسية [16].

ملخص عن نتائج تحليل هيئة الطاقة الذرية السورية للمياه المعدنية والحارة [1] :

1. لا توجد علاقة واضحة بين درجة حموضة المياه المعدنية pH و تراكيز كل من اليورانيوم الكلي المنحل والرادون المنحل بسبب الاختلاط بين المياه السطحية والمياه الجوفية العميقة المتفاوتة بدرجة الحموضة
2. تعد قيم الناقلية الكهربائية EC انعكاساً لكمية الأملاح المنحلة الكلية، كما يوجد علاقة ارتباط بين تزايد قيم الناقلية وارتفاع درجة حرارة العينات المائية وذلك بسبب تزايد سرعة التفاعلات الكيميائية الحالة للصخور مع تزايد درجة حرارة المياه المارة من خلالها (تزايد تراكيز السيليس المنحل).
3. يوجد علاقة ارتباط هامة بين تزايد قيم الناقلية الكهربائية وتزايد درجة الحرارة مع تزايد محتوى غاز الرادون المنحل مما يفسر وقوع المواقع المائية على امتدادات فالقية وصدوع عميقة التي تساعد على تحرر الرادون، ووجود صخور حاوية على تمعدنات أكثر تركيزاً باليورانيوم.
4. وجود علاقة ارتباط بين درجة حرارة المياه المعدنية والوضع الجيولوجي والتكتوني حيث ترتفع درجة الحرارة أكثر بوجود فوالق وصدوع أرضية عميقة.
5. يلاحظ انخفاض تراكيز الرادون في مواقع المياه المعدنية بسبب تغيرات الحوادث التكتونية أو الحركات الأرضية التي تساعد على تحرر غاز الرادون المتراكم في الأعماق .
6. لا يوجد عملياً أي علاقة تذكر بين محتوى الرادون والفعالية الإشعاعية للمياه والنمط الكيميائي لهذه المياه ولا سيما أن الفعالية الإشعاعية ترتبط ارتباطاً وثيقاً مع محتويات صخور الحامل المائي تمعدنات من اليورانيوم. لذلك فإن تحديد تركيز اليورانيوم يعبر عن تحديد درجة مسامية الصخور وشدة تعرضها للتصدع الذي يحدد بدوره فعالية الانبثاق لغاز الرادون بدراسة هجرة وحركة النيوكليدات المشعة باتجاه المياه المعدنية والحارة .
7. تكون فعاليات كافة النظائر المشعة المقاسة في المياه المعدنية أدنى من فعاليات الرادون 222 المنحل وتكون فعالية الثوريوم 234 هي الخلفية الطبيعية المقاسة في المخبر. وكذلك تكون قيم فعالية الراديوم 226 المقاسة متقاربة جداً مع قيم الفعالية الخلفية الطبيعية، وكذلك الأمر بالنسبة للنظيرين البزموت 214 والرصاص 214 الناتجين عن تفكك الراديوم تكون فعاليتهما مساوية للخلفية الطبيعية.
8. توجد علاقة بين ارتفاع مستوى الرادون 222 في المياه المعدنية وبين وجود الفوالق من جهة وبين درجة حرارة المياه من جهة أخرى.
9. توجد علاقة بين تراكيز اليورانيوم المنحل في المياه المعدنية مع تراكيز الرادون المنحل.
10. إن قيم الشرجبات والشرسبات في المياه هي انعكاس لطبيعة الصخور الليثولوجية التي تمر عبرها هذه المياه.
11. يقع مستوى النشاط الإشعاعي للمياه المعدنية دون الحدود المسموح بها للأغراض الصحية أو للشرب [1].

يعرض الجدول (7) نتائج هيئة الطاقة الذرية السورية للتحاليل الكيميائية والإشعاعية لبعض الينابيع المعدنية والكبريتية فيها، في بيين الجدول (8) نتائج هيئة الطاقة الذرية السورية لبعض الشوارد المعدنية، أما الجدول (9) فيعرض النتائج الإشعاعية.

الجدول (7)

Rn-222 Pci/L	U ppb	درجة الحموضة	الناقلية S/cm	درجة الحرارة	الموقع
204.3	-	7.86	237	18.3	دريكيش النبع
168.7	1.42	7.25	450	18.9	دريكيش البلد
61.1	0.94	7.61	382	15.4	وادي العيون
302.8	-	7.14	446	15.5	عين ليلون
1476.3	-	7.29	1118	35.6	حمامات الشيخ عيسى (رجال)
1142.3	-	7.19	1080	36.6	حمامات الشيخ عيسى (نساء)
636.2	5.66	7.35	2630	27.7	نبع تدمر الكبرى (مريديان)
690.9	0.33	6.80	1795	36.8	بئر مقالع زنوبيا
185.5	2.95	7.32	936	27.8	نبع رأس العين الكبرى
518.2	0.12	7.25	2687	57.5	بئر الضبيات (السخنة)
148.1	3.40	7.26	4005	26.3	بئر الشدادة الرعوي
170.8	4.25	7.79	790	22.0	قصر الحلابات (البئر الروماني)
1404.2	—	6.83	1540	44.5	بئر العباسية
60.6	0.30	7.45	2800	31.5	نبع الرحبية
10175	—	—	—	—	نبع الحياة

(8) الجدول

TDS mg/L	SiO ₂ mg/L	NO ₃ mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	HCO ₃ mg/L	K mg/L	Na mg/L	Mg mg/L	Ca mg/L	الموقع
221	3.0	8.3	15.0	1.8	140	1.0	9.8	12.3	33.0	دريكيش النبع
390	3.5	12.5	24.5	9.0	248	1.3	14.0	15.5	66.0	دريكيش البلد
342	8.5	9.3	8.5	5.5	238	0.0	5.5	19.8	55.0	وادي العيون
377	3.5	20.5	17.0	8.5	232	4.0	7.3	6.5	81.0	عين ليلون
906	12.5	6.5	143	200	293	15.0	90.0	28.0	130.0	حمامات الشيخ عيسى (رجال)
—	—	3.8	134.0	200.0	482.0	—	90.0	27.8	117.5	حمامات الشيخ عيسى (نساء)
—	—	0.6	510.0	385.0	220.0	—	300.0	80.0	196.0	نبع تدمر الكبريتي (مريديان)
—	—	7.2	193.0	342.0	439.0	—	140.0	59.0	68.0	بئر مقالع زنوبيا
—	—	5.3	106.0	195.0	220.0	—	69.0	31.8	56.0	نبع رأس العين الكبريتي
—	—	6.1	359.0	450.0	91.5	—	292.0	48.0	154.0	بئر الضبيبات (السخنة)
462.7	—	1.5	22.9	40.7	—	—	—	—	—	نبع الحياة (جباب)

الجدول (9)

الموقع	Th-234 PCi/L	Ra-226 Pci/L	Bi-214 Pci/L	Pb-214 Pci/L	Pb-212 Pci/L	K-40 Pci/L
دريكيش النبع	156.05	53.8	27.7	18.5	6.75	233.4
دريكيش البلد	156.6	62.1	54.8	25.4	5.9	351.0
وادي العيون	163.8	48.9	29.9	12.85	6.2	215.7
عين ليلون	159.8	65.3	13.8	43.2	7.3	153.9
حمامات الشيخ عيسى (رجال)	166.9	66.9	34.0	25.7	6.8	263.0
حمامات الشيخ عيسى (نساء)	322.1	66.8	20.5	16.5	5.7	99.3
نبع تدمر الكبريتي (مريديان)	495.7	94.5	60.2	48.6	8.1	183.6
بئر مقالع زنوبيا	162.0	60.8	56.7	34.6	8.1	186.3
نبع رأس العين الكبريتي	161.7	65.1	32.4	21.6	N.D	175.0
بئر الضبيات (السخنة)	N.D	10.8	8.1	13.5	N.D	N.D
بئر الشدادة الرعوي	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
بئر العباسية	N.D	29.7	N.D	N.D	N.D	348.3

N.D : الحد الأدنى للكشف .

نتائج تحليل مياه منتج نبع الحياة الصحي (جباب) عام 2006 [12]:

النشاط الإشعاعي الكلي (عدة/ثا)	نشاط بيتا الكلي PCi/L	نشاط ألفا الكلي PCi/L	Ra-228 PCi/L	Ra-226 PCi/L	Ra-224 PCi/L	Rn-222 PCi/L
30 -25	46.0	147.0	>6.0	10.0	>3.0	28.7

أما الحد الأعلى للراديو المسموح به في مياه الشرب = 27 بيكوكوري/ل = 1 بكرل/ل .
والحد الأعلى لنشاط ألفا الكلي المسموح به في مياه الشرب = 13.5 بيكوكوري/ل = 0.5 بكرل/ل
والحد الأعلى لنشاط بيتا الكلي المسموح به في مياه الشرب = 27.0 بيكوكوري/ل = 1 بكرل/ل
والنشاط الإشعاعي الكلي = 25 - 30 عدة/ثا [1].

6. استعراض أهم المياه المعدنية والكبريتية في الجمهورية العربية السورية :

رأس العين :

تقع هذه المدينة في أقصى الشمال السوري التي أخذت اسمها من كثرة العيون والينابيع المعدنية فيها، بدأت قصة اكتشاف المياه المعدنية عام 1962 عندما عُثِر على فوهة صغيرة يتدفق منها ماء يأخذ اللون الأخضر على بعد ستة كيلومترات من رأس العين، ومنذ ذلك الوقت ظلت تلك الفوهة تتسع وظل تدفق المياه الكبريتية في ازدياد حتى صارت الفوهة بحيرة صغيرة وصار النبع المسمى عين الكبريت يعطي 43200 م³/سا تبلغ درجة حرارتها 27 درجة مئوية وهو يحدث شلالات أخاذة عند مصبه.

وعين الكبريت ما هي إلا حفرة دائرية كبيرة يتفجر منها ماء أخضر زاهٍ يتناوب بقوة شديدة حتى يبدو وكأنه يغلي قبل أن يفور، ويندفع خارج إنائه الترابي الأحمر منطلقاً في مجري متعرج شديد الانحدار، تتصدره صخور بيضاء، ثم ينتهي في بحيرة صغيرة يتشكل عندها شلال جميل ومتسع، وسرعان ما تمتزج مياه النبع الكبريتية بالمجري العام لنهر الخابور، ويفتد عمق هذا النبع بمائتي متر وأكثر، وبعضهم يدّعي أنه ليس له قرار، أما غزارته فقد بلغت 458 م³/ثا، ولهذا فعين الكبريت كما تشير

مصادر وزارة السياحة السورية بالمقارنة مع الينابيع الموجودة في سورية تعد مصدراً عملاقاً لمياه معدنية نادرة الوجود في المنطقة، وهي أيضاً من الينابيع المعدنية الضخمة في العالم التي تمتاز بمياهها الدافئة النافعة صحياً، ومن المعتاد أن يستحم الناس فيها عند نهاية المجري المنحدر من العين حيث تتشكل بحيرة صغيرة قليلة العمق هادئة المجري نسبياً، تزدهم بالراغبين في العلاج الطبي بواسطة المياه المعدنية حيث أثبتت التحاليل التي أجرتها وزارة الصحة في سورية أن المياه الكبريتية الموجودة في رأس العين تصلح لعلاج الكثير من الأمراض الجلدية والرئوية.

حمامات أبو رباح :

تقع بين حمص وتدمر وبالتحديد في بطن جبل أبو رباح. لقد ثبت علمياً الفوائد الصحية لهذه المياه بسبب ما فيها من أملاح ومواد مشعة تفيد في شفاء الكثير من الأمراض الجلدية. وتتدفق الأبخرة الحارة من خلال عدة شقوق في هذه الحمامات وقد عُطي أحدها ببناء بسيط أشبه بغرفة استحمام واسعة تساعد على تعرق الإنسان بشكل تلقائي بسبب البخار الحار المتوافر فيها دائماً، وبجوار موقع الاستحمام يوجد العديد من الشقوق التي تندفع منها الأبخرة الحارة المحسوسة غير المرئية والغازات الكبريتية التي يصفها الأطباء لعلاج بعض الأمراض الجلدية والعصبية والروماتيزم وأمراض الكلى وغيرها، وبالقرب من هذه الحمامات مبنى يحتوي على عدة قناطر سميت باسم قناطر زنوبيا وذلك بسبب الاعتقاد بأن زنوبيا ملكة تدمر كانت تزور هذا المكان بين الحين والآخر بقصد الراحة والترفيه، وتُذكر مظهر حمامات أبي رباح الطبيعي بمظاهر حمامات كارلو في فاري (كارلسباد) في تشيكوسلوفاكيا حيث تندفع المياه بقوة بين الحين والآخر من نوافير معدنية وصخرية ذات قيمة جمالية أخاذة تعلوها قبة زجاجية عالية تحتضن مئات السياح الذين يمرون بها في كل ساعة من ساعات اليوم. وتحيط بالحمام الحدائق الجميلة والمنشآت السياحية المتكاملة التي تزيد المنطقة جمالاً. أما حمامات أبو رباح فتعاني من الإهمال وسوء الاستثمار رغم أهميتها وقيمتها السياحية والعلاجية .

أفقا ونبع الفوار :

من الينابيع الشهيرة في سوريا حمامات الشيخ عيسى التي تقع في منطقة إدلب ويخترقها نهر العاصي فيزيد جمالها الطبيعي جمالاً، وتعد من أكثر الينابيع المعدنية في سورية غنى بالمياه الكبريتية الساخنة. وقد أنشئ فيها منذ القدم حمامان، أحدهما للرجال والآخر للنساء، وما زال يرتادهما المرضى والمصطافون لما تمتاز به مياههما من منافع وقدرة على شفاء الأمراض الجلدية والعظمية والروماتيزم ولما تمتاز به الطبيعة المحيطة فيها من جمال.

منتجع نبع الحياة :

اكتشفت مياه معدنية كبريتية بالقرب من قرية جباب على بعد 40 كم جنوب دمشق في الرحلة الفضائية السورية السوفيتية ولكنه لم يستثمر النبع مباشرة. تتبع هذه المياه المعدنية من 72 نبعاً وبعمق 775 م بدرجة حرارة 45° م وتحتوي على مجموعة كبيرة من المعادن الثقيلة والغازات المنحلة والشوارد السالبة والموجبة المهمة والضرورية لصحة الجسم (أكثر من 40 عنصراً) منها الكبريت والفسفور والسيلينيوم والمغنيزيوم، وتتصف بمواصفات فيزيائية وكيميائية ثابتة. تميز بناء المنتجع أنه بني على الحجارة البازلتية التي تعطي الطاقة عند المشي عليها بعد الحمام بالإضافة إلى أنها تعد تدليكاً ومفيدة جداً للقدمين، بالإضافة إلى أنه بني على كهف لديه قدرة على عدم تمرير الأشعة الكونية فهو خال من هذه الأشعة وذلك مناسب ومفيد جداً للصحة.

يعد نبع الحياة من أهم الأماكن السياحية في القطر العربي السوري حالياً حيث يقصده السياح من كافة محافظات القطر وخاصة المجاورة له (دمشق، السويداء،) ومن مختلف أنحاء العالم وخاصة في المواسم السياحية.

ويوجد في سوريا أيضاً العديد من الينابيع التي اكتسبت شهرة تاريخية ولكن جف أكثرها ولم يبق منها

شيء اليوم للأسف، وتتركز هذه الينابيع في كل من تدمر والسخنة والطيبة والكوم والزويتينة ويُعد نبع أفقا التاريخي ونبع الحياة من أهمها، ولكن الأول فقد قيمته العلاجية في السنوات الأخيرة بسبب التناقص التدريجي في غزارة النبع من 80 ل/ثا عام 1975 إلى 10 ل/ثا عام 1992، وإلى الجفاف النهائي في السنوات الأخيرة. ولكن هذا لا ينفي القيمة التاريخية لهذا النبع الذي كان الأساس الجغرافي لتدمر في مكان القلب من بادية الشام وكان واحة خضراء أصبحت مكان استراحة بين العراق والشام ومحطة للقوافل بين الخليج العربي وبلاد فارس والبحر الأبيض المتوسط، ومن هذه الينابيع أيضاً نبع الفوار الذي يقع بالقرب من قلعة الحصن في واد مزدهر بالأشجار المثمرة والمعمرّة ومنها شجرة دلب ضخمة تظل النبع، ويقال أن عمرها يقرب من مائتي سنة ويروي بعض أبناء المنطقة أن القائد التاريخي إبراهيم باشا بعد مروره بدير مار جرجس مع جنوده استحموا في مياه نبع الفوار واستراحوا في ظلال تلك الأشجار المنتشرة بكثرة في المنطقة المحيطة بالنبع .

ويذهب السوق أيضاً للترويج للمشاريع الصحية عبر طرح إقامة مجموعة من المنتجعات العلاجية في مدينة درعا حيث المياه الكبريتية ومن بينها مشروع منتجع للسياحة العلاجية في موقع الياودة قرب مدينة درعا جنوب سورية [11,4].

نورد بالجدولين (10) والجدول (11) أمثلة عن تحاليل كيميائية وإشعاعية (باستخدام تقانة مطيافية غاما) لبعض الينابيع المعدنية والكبريتية في العالم [9,2]:

الجدول (10) و

الموقع	درجة الحرارة درجة مئوية	الأملاح المنحلة الكلية (ملغ/ل)	النترات الكلورية (ملغ/ل)	النشاط الإشعاعي الكلي (وحدات)
Polichnitos	87.6	11.18	8.49	6.0-1.6
Lisvori	69.0	10.93	8.20	14.7
Thermi	49.9-46.9	-	28.7	0.8
Efthalou	46.5-43.6	5.81	4.08	14.7
Gera	39.7	-	0.9	1.8

الجدول (11)

الموقع	Th (ملغ/ل)	U (ملغ/ل)	K (%)	Ra-226 PCi/L	Th/U	النشاط الكلي (عدة /د)
Gerlach	13.41	109.25	1.02	39.0	0.12	0.0117
Fly Ranch	2.14	10.99	0.02	4.0	0.19	—
Elko	3.12	7.60	0.07	2.07	0.14	—
Buffalo Valley	45.89	25.49	0.21	9.2	1.08	0.0034
Spencers	10.92	11.54	1.051	4.1	0.95	—
Golconda	31.20	469.6	—	169	0.07	0.0070

0.0211	0.77	2.9	0.46	8.19	6.33	Pumpnickel
---	2.15	---	0.41	2.93	6.32	Brady
---	4.88	---	3.74	3.28	15.99	Beowave
---	1.60	---	0.16	0.11	0.18	Big Sulfur
---	1.50	---	0.35	0.72	1.08	Leach
0.0166	1.91	---	1.11	2.49	4.76	Lee
---	1.65	---	1.13	4.90	8.10	Steamboat
0.0179	0.15	27.0	0.16	76.32	11.62	Kyle

7. المراجع

1. النشاط الإشعاعي في المياه الحارة والمعدنية في سورية، د. إبراهيم عثمان – د. محمود عباس، د. زهير القطان. و-ج/ت ن ب ع 85، آب 1994.
2. H.A.Wollenberg, December 1974, Radioactivity of Nevada Hot-Spring Systems, California 94720, vol.1 ,No.8 .
3. www.krg.org/articles/article_print.asp?ArticleNr=10329 - 27k
4. www.raya.com/.../article.asp?cu_no=2&item_no=178045&version=1&template_id=114&parent_id=54 - 70k
5. www.alsaffar.5u.com/masdartalawethmeeyah.htm - 39k.
6. www.almiah.com/?showthread=65 - 92k.
7. www.sona3.com/vb/showthread.php?goto=lastpost&t=1148 - 81k.
8. www.kisr.edu.kw/web_pages/H2S/Hydrogen%20.Sulfide%20.Gas%20.htm-365k.
9. medi-tour.net/hongrie.html - 62k
10. www.democratic-green.com/vb/showthread.php?p=53 - 39k
11. www.reefnet.gov.sy/phpBB2/viewtopic.php?t=26709&sid=195d4a3f8dd2007768439bb8a5d9353c - 111k
12. قياس النشاط الإشعاعي في منتجع نبع الحياة الصحي، د. رياض شويكاني، غسان رجا، محمد جريدة. 2006.
13. www.phy4all.net/takrers/radon.htm - 93k
14. www.alamuae.com/vb/showthread.php?p=950328 - 138k
15. www.safita1.com/vb/showpost.php?p=18165&postcount=1 - 34k
16. www.arabchemistry.net/forums/index.php?showtopic=751 - 61k

SYRIAN ARAB REPUBLIC
ATOMIC ENERGY COMMISSION
DAMASCUS- P.O.BOX: 6091



Report on Scientific Bibliographic Study
Department of Protection and Safety

Sources of Groundwater Contamination

Ch. H. Assaf
Dr. M. S. AlMasri

AECS – PR \RSS 749

September 2007