الآثار الجيوصحية لظاهرة تلوث المياه الجوفية بالفلور في حوض سهل الجفارة، شمال غرب ليبيا

أسامة أحمد أبو لبدة[1]، فتحي محمد المبروك[2] (*)

[1] مجموعة أبحاث التنمية المستدامة، برنامج إجادة الدولي للتعليم والتدريب التقني، ص. ب 135 – مدينة صبراتة، ليبيا

[2] قسم البيئة والتلوث، المعهد العالي لتقنيات شؤون المياه، مدينة العجيلات، ليبيا

ملخص البحث:

ساهمت مجموعة من العوامل الطبيعية والبشرية عبر الزمن في تلويث منظومة المياه الجوفية بالفلور في حوض سهل الجفارة شمال غرب ليبيا، وأفضت في محصلتها إلى تطور مشاكل صحية في المجتمع السكاني الذي يستهلك هذه المياه في أغراضه اليومية. تناولت الدراسة الحالية تشخيص العوامل التي أدت إلى اغتناء المياه الجوفية بالفلور في حوض سهل الجفارة، وتقييم الآثار الارتدادية لهذه الظاهرة على الصحة العامة. اعتمدت الدراسة على المنهج

(*) Email: naser_o_72@eng.misuratau.edu.ly

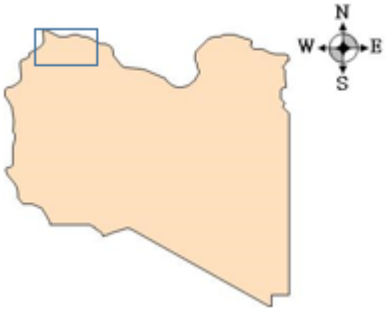
الوصفي في تحليل المعلومات، وعلى دراسة حالة واقعية من مدينة الجميل (غرب الحوض) كمثال نموذجي على المجتمع المتأثر بهذه الظاهرة. بينت الدراسة أن الخصائص الطبيعية للحوض (الجيولوجيا والمناخ والقرب المكاني من الساحل) تعتبر المحرك الرئيسي لنشوء هذه الظاهرة في المياه الجوفية، وأن التفاعلات الجيوكيميائية المختلفة (انحلال وتبادل كاتيوني وترسيب) تتحكم إلى حد بعيد بالمآل النهائي لشوائب الفلور في المنظومة المائية. كما بينت الدراسة أن الممارسات البشرية غير المستدامة (المقننة) في استغلال الموارد الطبيعية للأرض (أنشطة استيطانية وزراعية وصناعية) تساهم هي الأخرى في تلوث المياه الجوفية بعنصر الفلور. وأشارت نتائج تحليل المقياس المجتمعي للانسمام الفلوري في مدينة الجميل (منطقة الدراسة) إلى وجود مؤشرات واضحة على تأثر صحة المجتمع بأعراض مرض الانسمام الفلوري بدرجات مختلفة وفق الفئة العمرية للسكان، بحيث كانت أعلى معدلات الإصابة وأشدها حدة موجودة لدى الفئات العمرية المتقدمة (فوق 40 عاما). وتبين النتائج أيضا أن للمياه الملوثة بالفلور تأثيرات ثانوية أخرى تلقي بوطأتها على حياة المجتمع، وتحتاج إلى المزيد من البحث والاستكشاف. خلصت الدراسة إلى أن ظاهرة الانسمام الفلوري مرتبطة ارتباطا لصيقا بتدهور جودة المياه في حوض سهل الجفارة، وتحمل أخطارا مستمرة على الصحة العامة. وقد اقترحت الدراسة مجموعة من الإرشادات والتوصيات المهمة في سبيل تطوير عملية تشخيص هذه الظاهرة البيئية وتقييم آثارها المحتملة على المجتمع المحلي، تمهيدا لصياغة تدابير فعالة لمواجهتها واحتواء خطرها في المستقبل.

1. المقدمة

تتأثر الجودة المائية بصفة عامة بمجموعة من المتغيرات والظروف التي تتحكم بالخصائص الطبيعية الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية للمخزون المائي. وأي تغيرٍ غير مرغوبٍ على الخصائص الطبيعية للمياه سيؤثر بدرجة ما في سلامة تلك المياه على صحة المستهلك ونمائه، أو درجة ملاءتها للاستخدام والتشغيل في تطبيق ما. فعلى سبيل المثال، لو انخفضت الجودة الكيميائية للمياه المستخدمة للاستهلاك البشري، فقد ترتد آثار ذلك على هيئة أمراض وعلل تصيب المجتمع وتكلف السلطات موارد جمة في سبيل التدخل والمعالجة. قد تتدهور الجودة الكيميائية للمياه إما بسبب انخفاض محتواها من التراكيز الكيماوية إلى مستويات تقل عن الحدود الموص بها في التشريعات والقوانين الناظمة، أو بسبب ارتفاع محتواها من التراكيز الكيماوية إلى مستويات تتجاوز الحدود المسموح بها. ويرتفع المحتوى الكيماوي للمياه إما لأسباب طبيعية، مثل اغتناء صخور المكمن بالشوائب المعدنية، أو لأسباب بشرية، مثل التلوث الصناعي بالشوائب والفلزات السامة. وفي كلتا الحالتين، يصبح الماء غير صالح للاستخدام البشري، وينطوي على استهلاكه مخاطر صحية محتملة تهدد حياة المستهلك، وتستدعي تنفيذ إجراءات تصحيحية بطرق علمية مدروسة لمعالجة تلك المياه قبل الشروع في استخدامها.

تمثل المياه الجوفية في ليبيا ثروة طبيعية أساسية في سبيل تحقيق أهداف التنمية المستدامة المنشودة في خطط التنمية الوطنية. ويستحوذ هذا المصدر الطبيعي على حصة معتبرة تصل لنحو 97% من إجمالي المياه المستهلكة في الأغراض اليومية المختلفة للمجتمع [1]. وتبذل السطات الحكومية في ليبيا جهودا حثيثة في مراقبة الجودة المائية لضمان تزويد المجتمع بمياه نظيفة وموافقة للمعايير والاشتراطات الرقابية والتنظيمية الهادفة إلى حماية الصحة

العامة واستدامة التنمية. تتوزع أماكن وجود المياه الجوفية عبر الجغرافيا الشاسعة للبلاد في خمسة أحواض رئيسية كبرى، ومن أهمها هو حوض سهل الجفارة (شمال غربي) الذي يقع في أكثر أقاليم البلاد تركزا في السكان ونشاطا في التنمية (شكل 1). يحتل هذا الحوض مساحة جغرافية تقدر بنحو 20,000 كيلومتر مربعا، ويقطنه حوالي 3 ملايين نسمة، ويوفر لسكانه سنويا كميات من المياه المتاحة للاستغلال في أغراض المأكل والمشرب والأنشطة التنموية المختلفة تقدر بنحو 200 مليون متر مكعب [1، 2].



شكل (1): موقع حوض سهل الجفارة شمال غرب ليبيا

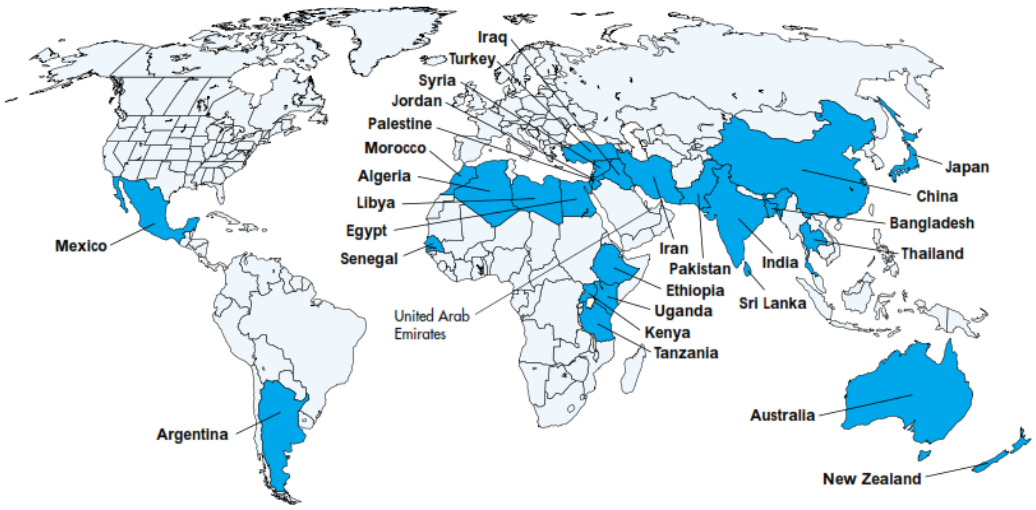
ومنذ تسعينات القرن الماضي أخذ حوض سهل الجفارة يعاني من ضغوط بيئية بفعل الأنشطة غير المستدامة التي ساهمت مع مرور الزمن في بلوغه مستويات تدهور حرجة في جودة مياهه الجوفية، ارتدت آثار هذا التدهور لاحقا على حياة المجتمع المحلي وأنشطته التنموية والبيئة المحيطة به. بعض آثار هذا التدهور بائنة للملاحظ، كالخسائر الاقتصادية في الناتج القومي بفعل تملح التربة وضعف الإنتاج الزراعي نتيجةً للانخفاض الحاد في مناسيب مياه الآبار وغزو مياه البحر [1، 3]. والبعض الآخر عبارة عن آثار مستترة وغير بائنة للملاحظ، كالإصابة بأمراض منقولة عبر المياه، مثل أمراض الانسمام الفلوري [4]. وإلى جانب تأثير الأنشطة البشرية الضاغطة على الموارد المائية، فإن الخصائص الطبيعية المميزة لموقع حوض

سهل الجفارة لها دور لا يستهان به في تدهور جودة المياه الجوفية وتلويثها بشوائب كيماوية خطرة على صحة المستهلك، كشوائب الفلور على سبيل المثال. إذ يقع هذا الحوض في أكثر المناطق العالمية جفافا وندرة في كميات الهطول المطري، الأمر الذي يعني تلقي المياه الجوفية كميات محدودة من المياه المجددة. كذلك يمتاز هذا الحوض بالقرب المكاني من النطاق الساحلي حيث تختلط منظومة المياه الجوفية العذبة بمياه البحر المالحة وتصبح ملوثة بالشوائب الكيماوية المحفزة للفلور على الانحلال من صخور الحوض والدخول في الطور المائي. يضاف إلى ذلك الخصائص الجيولوجية لصخور الحوض الغنية طبيعيا بالمعادن الفلورية والتي من شأنها أن تمثل خزانا دسما بالشوائب الفلورية الملوثة باستمرار للمياه الأرضية.

إن هذه العوامل الطبيعية والبشرية ساهمت مجتمعة في تعريض مجتمع سهل الجفارة إلى حمولة فلورية معتبرة عبر المياه التي يستهلكها يوميا، مهددة بذلك الصحة العامة والاقتصاد الوطني بمخاطر عديدة. وتعتبر أمراض الانسمام الفلوري (أو التفلر fluorosis) تحديدا من أكثر الأمراض المرتبطة بالجودة المنخفضة للمياه الجوفية في ليبيا. إذ تصنف منظمة الصحة العالمية ليبيا ضمن الدول التي يستوطن فيها هذا المرض البيئي (شكل 2) بسبب ارتفاع محتوى مياهها الطبيعي من الفلور بما يفوق الحد الآمن على الصحة البشرية (1.5 ملغم فلور/لتر ماء) [5]. وعلى أهمية عنصر الفلور في حماية الصحة عند حدوده الطبيعية (مهم في بناء الأسنان والعظام عند تركيز فلوري لا يتجاوز 1.5 ملغم/لتر)، إلا أن ازدراد كميات كبيرة منه عبر ماء المأكل والمشرب مع مرور الزمن قد يؤدي إلى تراكم تراكيز فلورية بمستويات حرجة على الصحة (جدول 1)، يمكن أن تتطور لاحقا إلى إصابة المستهلك بأعراض التسمم الفلزي الحاد واضطرابات خطيرة على وظائف أجهزة الجسم المختلفة، كالدماغ، والغدة الدرقية، والكلى، والأسنان، والعظام [6، 7].

هذا ولا تحظى أمراض الانسمام الفلوري المرتبط بالمياه في الوقت الراهن باهتمام كبير لدى المجتمع العلمي في ليبيا؛ وهناك فجوة معرفية وندرة في المعلومات والدراسات والأبحاث التي

تناولت قضايا الفلور ونشأته في المياه الجوفية، والعمليات الجيوكيميائية المساهمة في إشابة النظم الهيدرولوجية بهذا الملوث، والآثار المحتملة لهذه الظاهرة على حياة المجتمع والاقتصاد الوطني. ومن شأن هذه الفجوة إن استمرت أن تعيق جهود السطات المحلية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة المنشودة لعام 2030 خصوصا تلك المتعلقة بتوفير مياه آمنة ونظيفة ومستدامة لمجتمع يتمتع بالصحة ورغد العيش. لذلك فإن الدراسة الحالية جاءت لتسد بعضا من هذه الفجوة المعرفية والنقص الحاد في المعلومات، وتنبه المجتمع العلمي إلى دور العلاقة المشتركة ما بين الجيولوجيا والصحة العامة في تطور هذه الظاهرة البيئية في ليبيا، ورصد ارتداداتها على جودة الحياة وصحة المجتمع، تمهيدا للتفكير مستقبلا في تخطيط برامج فعالة للمواجهة والتخفيف من حدة أخطارها. وفي سبيل تحقيق ذلك، فإن الدراسة الحالية رسمت لها هدفين أساسيين، أولهما هو تحليل العوامل الجيوبيئية التي أدت إلى تلوث منظومة المياه الجوفية في حوض سهل الجفارة بعنصر الفلور، وثانيهما هو رصد أثر هذا التلوث على الحالة الصحية للمجتمع المستهلك.



شكل (2): المناطق الجغرافية التي يستوطن فيها مرض الانسمام الفلوري [5]

جدول (1): التأثيرات الصحية لتراكيز مختلفة من الفلور في مياه الشرب [7]

تركيز الفلور (ملغم/لتر)	التأثيرات الصحية المزمنة
صفر	قصور في النمو والخصوبة
0 – 0.5	نخر الأسنان
0.5 – 1.5	تحفيز نمو الأسنان، يمنع تحلل الأسنان
1.5 – 4	تفلر (تبقع) الأسنان
4 – 10	تفلر (تبقع) الأسنان، تفلر (تصلب) العظام
أكبر من 10	الإصابة بالشلل أو العرج

2. منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة في تحقيق أهدافها المذكورة آنفا على منهجية علمية متعددة المشارب (multidisciplinary) تدمج ما بين المعرفة الجيولوجية والطرق المستخدمة في دراسات الوبائيات البيئية ذات المنشأ الجيولوجي. وقد استخدم فيها المنهج الوصفي ومنهج دراسة الحالة، بحيث يسر المنهج الوصفي الحصول على معلومات من الدراسات العلمية السابقة حول الظروف والعمليات التي لعبت دورها في نشأة الفلور في البيئة واغتناء المياه الجوفية به، تمهيدا لتكوين تصور عام حول تطور هذه الظاهرة ودورها في شيوع مرض الانسمام الفلوري في المنطقة. أما منهج دراسة الحالة فقد استخدم لرصد الآثار الجيوصحية لهذه الظاهرة في أحد المجتمعات السكانية القاطنة في الحوض. وقد اختيرت مدينة الجميل كحالة نموذجية لهذا الغرض. استعين في دراسة الحالة عملية الرصد بأداة مسحية شائعة لدى المجتمع الطبي الممارس، طورها الباحث دين Dean [8] وسماها بالمقياس المجتمعي للانسمام الفلوري (Community Fluorosis Index) ويمكن بواسطتها تشخيص الحالة المرضية في أسنان المفحوصين وتصنيفها إلى ستة

قرائن دالة على حدة الإصابة بالتسمم الفلوري (جدول 2). جرى توزيع هذه الأداة على الأطباء العاملين في خمسة عيادات متخصصة بالصحة السنية في مدينة الجميل لتوثيق استجاباتهم وملاحظاتهم طيلة 6 أشهر متواصلة حول الإصابات لدى 480 فردا من المراجعين على تلك العيادات. وقد عولجت البيانات المجموعة بالحزمة الإحصائية في برنامج مايكروسوفت إكسيل (MS Excel) لاستخراج تقرير تلخيصي حول نسب الإصابة وحدتها، بالتوازي مع تحليل نتائج فحص عياني وصور فوتوغرافية للأضرار الواقعة على المصابين.

جدول (2): المقياس المجتمعي للانسمام الفلوري (CFI) [8]

القرينة	التصنيف	التشخيص العياني
0	أسنان سليمة	أسنان ناعمة الملمس وساطعة، سطوحها لبنية بيضاء فاتحة اللون، لا آثار على نصول لونها الأبيض
0.5	إصابة محتملة	بضع قشيرات بيضاء أو بقع بيضاء صغيرة تظهر بكثرة على حواف الأنياب والقواطع
1	إصابة طفيفة جدا	مناطق مُعْتَمَة اللون صغيرة الحجم تغطي السطوح السنية بنسبة تقل عن 25%
2	إصابة طفيفة	مناطق مُعْتَمَة اللون تغطي السطوح السنية بنسبة 50%
3	إصابة متوسطة	جميع السطوح السنية مصابة، مع آثار واضحة على تدهور السطوح عند إطباق الأسنان، وقد تتواجد بقع أو بقع بنية اللون
4	إصابة حادة	جميع السطوح السنية مصابة، مع نقور وفجوات منفردة أو متصلة، وبقع بنية اللون

3. النتائج والمناقشة

بينت نتائج تحليل الدراسات السابقة، التي اهتمت بقياس الفلور المائي في المياه الجوفية الليبية، وجود تباين في مستويات التلوث الفلوري بين الأحواض المائية الواقعة في غرب البلاد

وتلك الواقعة في شرقها (جدول 3)، حيث رصدت أعلى التراكيز في المناطق الغربية التي يقع فيها حوض سهل الجفارة، وكانت مستويات التلوث فيه تتجاوز الحد الآمن على الصحة البشرية (1.5 ملغم/لتر).

جدول (3): تراكيز الفلور في المياه الجوفية الليبية

مدى التراكيز الفلورية (بوحدة جزء بالمليون)	الموقع الجغرافي	المصدر
11–10	مدينة الزاوية ومدينة الزهراء، شمال غرب ليبيا	[9]
3.9–0.01	حوض سهل الجفارة، شمال غرب ليبيا	[10]
3.2–0.8	مدينة العجيلات، شمال غرب ليبيا	[11]
3.6–0.63	حوض سرت الميوسيني العلوي، شمال وسط ليبيا	[12]
0.87–0.01	مدن المرج والبيضاء وشحات وسوسة وراس الهلال ودرنة، شمال شرق ليبيا	[13]

وقد ناقشت دراسات حديثة أجريت على حوض سهل الجفارة [4، 16] مجموعة من العوامل المحتملة التي أدت إلى تلوث هذا الحوض بالفلور، ويمكن تلخيصها في خمس نقاط كما يلي:

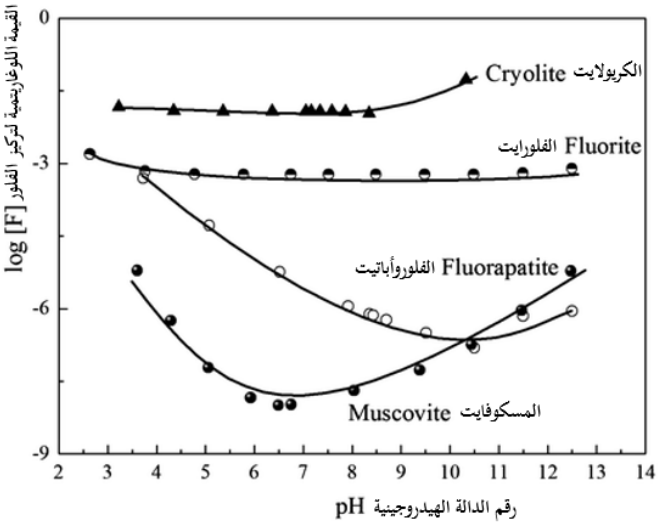
أ. **طبيعة صخور الخزان الجوفي.** إن الصخور الخازنة للمياه في الحوض هي رسوبية الأصل، وتتنوع ما بين الحجر الرملي والحجر الجيري والصلصال والمتبخرات [17]. تمتاز هذه الصخور باحتوائها على معادن جيولوجية غنية بالفلور، مثل الفلورايت، والأباتيت، والفلوروأباتيت، وأنواع المايكا البيضاء (مسكوفايت). عند تعرض هذه المعادن لعوامل التجوية والانحلال في المياه، يبدأ الفلور بالتحرر من الشبكة البلورية والدخول في الطور المائي، كما هو موضح في التفاعل التالي مع معدن الفلوروأباتيت [14]:

$$Ca_5(PO_4)_3F + 3H^+ \rightarrow 5Ca^{2+} + 3HPO_4^{2-} + F^- \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

ففي هذا التفاعل تصبح شوارد الفلور المتحررة من الفلوروأباتيت المنحل نقولية في الوسط، وقادرة على الدخول في المنظومة المائية الجوفية وتلويثها بحمولات من الفلور بصيغ كيميائية مختلفة.

ب. **زمن المكوث الطويل للمياه.** تقع المياه الجوفية في الحوض على أعماق كبيرة قد تصل إلى 100 متر أو يزيد في بعض المناطق، ولا تصل المياه المجددة إلى تلك الأعماق نظرا لقلة التساقط المطري في هذه البقعة الجغرافية من العالم. وهذا يعني أن زمن المكوث الطويل للمياه وهي متلامسة مع المعادن الفلورية يساعد على انحلال المعادن وتنشيط سلسلة تفاعلات جيوكيميائية من الذوبان والترسيب التي ينتج عنها تحرر كميات وفيرة من الفلور ودخولها في الطور المائي. تختلف ذائبية معادن الفلور في المحاليل المائية وفق نوع المعدن الفلوري وقيم الدالة الهيدروجينية للوسط [15]. فمثلا في الشكل (3)، نجد أن ذائبية كل من معدني الفلورايت والكريولايت هي نسبيا أعلى من أنواع المعادن الفلورية الأخرى. كما أن ذائبيتهما مرتفعة عموما ضمن قيم الدالة الهيدروجينية المعتدلة (pH ما بين 4 و9) ويحافظان على هذا المعدل المرتفع تقريبا دون التأثر كثيرا بالتغيرات في قيم الدالة الهيدروجينية للوسط. وهذا يعني أن تحرر الفلور من شبكتيهما البلورية سيستمر دون إبداء حساسية حقيقية تجاه حموضة الوسط. لكن هذا الحال يختلف بالنسبة لمعدنين آخرين مثل الفلوروأباتيت والمسكوفيت، حيث قيم ذائبيتيهما عموما هي أقل من سابقيهما عند قيم الدالة الهيدروجينية المعتدلة، بل تبدي ذائبية كل منهما حساسية ملحوظة تجاه التغيرات الطفيفة في حموضة الوسط (pH = 2.5 حمضي وpH = 12.5 قاعدي)، حيث نلاحظ ارتفاعا في

ذوبان الفلوروأباتيت مقارنة بالمسكوفايت عندما تسود الظروف الحمضية في الوسط (pH < 7)، وانخفاضا في ذوبان الأخير مقارنة بسابقه عندما تسود الظروف القاعدية في الوسط (pH ≥ 10).



شكل (3): مخطط ذوبانية أشهر المعادن الغنية بالفلور [15]

ج. **الكيمياء القلوية للمياه.** تمتاز المياه الجوفية للحوض بالقلوية العالية نتيجةً لشيوع صخور كلسية وملحية في معظم طبقات الحوض الملامسة للمياه. عندما تتعرض هذه الصخور إلى التجوية المائية، فإنها تطلق أيونات البيكربونات (HCO_3^-) الذائبة التي بدورها ترفع قيم الدالة الهيدروجينية للوسط وتكسب الماء قلوية عالية. تعمل هذه القلوية النشطة على تسريع تفاعلات انحلال الفلور من نواتج التجوية، وإضعاف عمليات امتزازه على سطوح المعادن التي تتسبب في تثبيته في الأطوار الصلبة، وبذلك يبقى الفلور معظم الأوقات نقوليا في الوسط. مع استمرار ذوبان معدن الفلور (الفلوروأباتيت مثالا)، تبدأ شوارد الكالسيوم الذائبة بالخروج تدريجيا من المحلول والترسب على هيئة كربونات كالسيوم (كالسيت) كما يلي[16]:

$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3$ ..... (2)

وباستمرار عملية الترسيب هذه، تبدأ تراكيز الكالسيوم في المحلول بالتناقص تدريجيا، فاسحة المجال للفلور بالتركز في الماء، إلى أن تصل تراكيزه المرتفعة لمرحلة يبدأ فيها الفلور بالتبادل الكاتيوني مع الكالسيوم. إذ يميل الفلور بطبيعته لتبادل المواقع في الكالسيت كما في التفاعل التالي [14، 16]:

$CaCO_3 + F^- + H^+ \rightarrow CaF_2 + HCO_3^-$ ..... (3)

وبوجود تفاعلات التبادل الكاتيوني إلى جانب تفاعلات الذوبان، فإن عملية اختزال الكالسيوم من المحلول ستشتد أكثر ويترسب المزيد من الكالسيوم، تاركا المجال للفلور بالتركز أكثر في الماء. ومن جهة أخرى، لو صادف أن دخل الصوديوم من مصادر ملحية أو معادن صلصالية في النظام، فسيشجع ذلك المزيد من عمليات التبادل الكاتيوني بين الصوديوم والكالسيوم مما يرفع من وتيرة ذوبان المعادن الفلورية. وفي المحصلة سيكون النظام المائي في النهاية غنيا بالصوديوم والبيكربونات والفلور عموما، لكنه فقير في الكالسيوم [15].

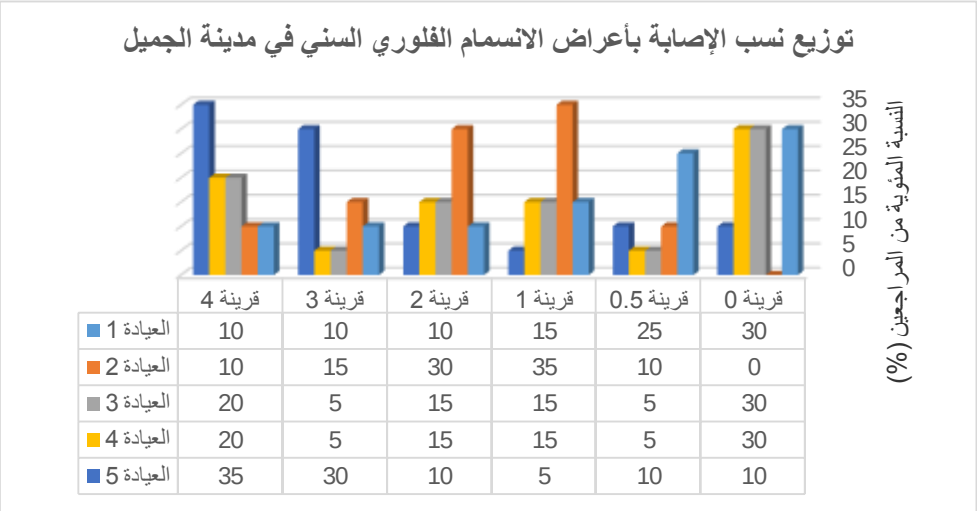
د. **المناخ والموقع الجغرافي**. تعمل ظروف الحرارة والبخر المرتفعة في الحوض على تنشيط عمليات تجوية المعادن وترسيب الأملاح، الأمر الذي يشجع على سيادة الظروف القلوية في البيئة المحيطة، وهي التي تساهم بتحرير الفلور وزيادة تراكيزه في المياه [15]. كما أن القرب المكاني للحوض من الساحل، هيأ لمياه البحر بالتداخل مع المياه الجوفية للحوض وتلويثها بشوارد الصوديوم البحري التي تحفز العمليات الجيوكيميائية (الانحلال والتبادل الكاتيوني والترسيب) المسؤولة عن رفع تركيز الفلور في الوسط المائي كما سبق شرحه.

هـ. **الانبعاثات البشرية**. تساهم الأنشطة البشرية غير (المقننة) في استخدام موارد الأرض في انبعاث حمولات معتبرة من الفلور في النظام البيئي للحوض، مثل: الممارسات الزراعية التي

تعتمد على الاستخدام المكثف وغير المقنن للمبيدات الحشرية المصنوعة من الفلوروكربون، والأسمدة الفوسفاتية الغنية بمعدن الفلوروأباتيت، والري المكثف للأرض بمياه مالحة تؤدي إلى صودنة الترب، إلى جانب ممارسات التعدين والاستخراج المنجمي للصخور الصناعية في المنطقة وما تؤدي إليه من تحرير الفلور من المنظومة المعدنية الصلبة، وكذلك انبعاثات الفلور من النفايات البشرية في المناطق التي تفتقد إلى التخطيط المدني والمرافق الأساسية لإدارة النفايات – كلها مسؤولة عن تحميل البيئة بحمولة معتبرة من الفلور والتي ستطال لاحقا المنظومة المائية وتلوثها بهذا العنصر.

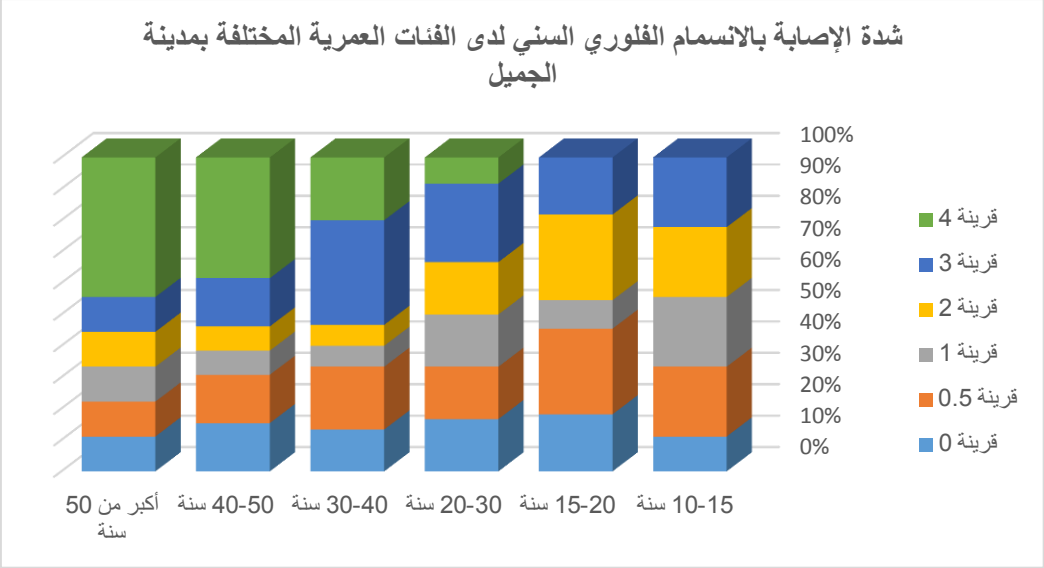
وبتحليل نتائج الرصد الميداني باستخدام المقياس المجتمعي للانسمام الفلوري (CFI) في مدينة الجميل (الشكل 4 والشكل 5) تبين أن نسب الإصابة بأعراض الانسمام الفلوري السني متباينة جدا فيما بين العينات المجموعة وفق الفئة العمرية للسكان، حيث تظهر قرائن الإصابة المرتفعة (3 و4) عند المراجعين من الفئات العمرية البالغة والمتقدمة بالعمر (30 عاما وما فوق) بنسبة تتجاوز 40% من عينة الدراسة، مع اشتداد الإصابات بنسبة تصل إلى 60% للفئات العمرية ما فوق 40 عاما. أما قرائن الإصابة المنخفضة (0.5 حتى 2) فتظهر بوضوح في الفئات العمرية اليانعة (أقل من 30 عاما) بنسبة تقل عن 25% من عينة الدراسة. وهذا قد يفسَّر بالتأثير التراكمي لتراكيز الفلور في جسم المستهلك، والذي تتطور أعراضه الصحية تدريجيا مع استمرار الفرد في استهلاك المياه الغنية بالفلور خلال تقدمه بالعمر؛ بينما تكون الأنسجة السنية لدى فئة الأطفال والمراهقين في مراحل تطورها الأولية، وتراكيز الفلور فيها مازالت في حدودها الدنيا ولم تصل بعد إلى مراحل تراكمية حرجة. وتتفق نتائج هذه الدراسة مع دراسة أجراها سونيل وفريقه [18] على ما يزيد عن 6000 مصاب من الفئات العمرية 6–60 عاما في منطقة الزاوية

غرب الحوض. حيث بينت نتائج دراستهم ارتفاع معدلات الإصابة المرضية (بنسبة 70.69%) لدى الفئات العمرية البالغة 41–60 عاما وبحدة مرضية من المستوى الرابع على المقياس السباعي للتبقع السني. وبالمقابل، كانت أدنى معدلات الإصابة المرضية (بنسبة 46.99%) موجودة لدى الفئات العمرية الصغيرة 6–14 عاما وبحدة مرضية من المستوى الثاني على المقياس السباعي للتبقع السني. وهذه النتائج مجتمعة تشير إلى أن أمراض الانسمام الفلوري تطال جميع الفئات العمرية، وأن الإصابات تتفاوت في معدلاتها ومستوى حدتها بناء على التوزيع العمري للسكان.



	قرينة 4	قرينة 3	قرينة 2	قرينة 1	قرينة 0.5	قرينة 0
العيادة 1	10	10	10	15	25	30
العيادة 2	10	15	30	35	10	0
العيادة 3	20	5	15	15	5	30
العيادة 4	20	5	15	15	5	30
العيادة 5	35	30	10	5	10	10

شكل (4): نسبة الإصابة بالانسمام الفلوري السني في منطقة الدراسة



شكل (5): شدة الإصابة بالانسمام الفلوري السني تبعا للفئات العمرية في منطقة الدراسة

وقد رصدت أنماط تضرر الأسنان بالفلور في عينة الدراسة الحالية عبر الفحص العياني المباشر، حيث تتضح في الشكل (6) خطوط التبقع غير الطبيعية في أسنان المصابين بالقرائن المرتفعة (3 و4) لدى الأفراد المتقدمين بالعمر، دلالة على تراكم مستويات عالية من الفلور في أجسامهم. هذا ويحتمل أن يكون هناك مصادر أخرى لدخول الفلور إلى أجسام المستهلكين مرتبطة بعاداتهم الغذائية والصحية، أو بعوامل بيئية أخرى غير متكشفة في المشهد الحالي. ويحتاج أمرها إلى مزيد من البحث والتدقيق للكشف عن الجوانب المختلفة التي يحتمل أن تلعب دورا فاعلا في الإصابة المرضية.

شكل (6): أعراض الإصابة بالانسمام الفلوري السني في منطقة الدراسة (تصوير الفريق البحثي)

ومن الآثار الأخرى لظاهرة تلوث المياه بالفلور في حوض سهل الجفارة هي الأضرار المادية والاقتصادية التي تنجم عن فساد المعدات المنزلية المعدنية التي تتلامس باستمرار مع هذه المياه، سواء أكانت أواني مطبخية أو تمديدات صحية أو غير ذلك (شكل 7). فمن المعروف أن الفلور ذو طبيعة أكالة وهجومية تجاه المواد المعدنية بسبب سالبيته الكهربية المرتفعة ونشاطه الكيماوي الملحوظ مقارنة بباقي الهالوجينات في الجدول الدوري للعناصر [15]. وتسبب هذه الطبيعة المعادية تآكلا وتهالكا تدريجيا في السطوح والأطراف المعدنية مع مرور الزمن، إلى أن تضعف مقاومة المكونات المعدنية وتبدأ بالتفتيت، وتصبح بحاجة إلى إصلاح أو استبدال، مما يترتب عليه أعباء مالية على كاهل المستهلك. وبالإضافة إلى الخسائر الاقتصادية، فإن تآكل هذه المعادن قد ييسر عملية تحرير بعض الفلزات السامة مع الماء المستعمل، خصوصا أن بعض المعدات المنزلية المتوفرة في الأسواق المحلية في ليبيا مصنوعة من سبائك معدنية مختلفة، مثل الرصاص والنحاس والحديد والنيكل والألمنيوم وغيرها. وهذه الفلزات عندما تفلت من السبيكة وتدخل في ماء المشرَب أو المأكَل أو المغسَل، فإنها قد تجد مسارا لها للدخول في جسم الإنسان، وتتراكم في أنسجته مع مرور الزمن بمستويات مرتفعة وحرجة، مسببة بذلك أعراضا صحية أخرى تضاف إلى الأعراض التي يسببها الفلور في الجسم.

لذلك، يمكن النظر إلى هذه المشكلة على أنها أحد أعراض الانسمام الفلزي الثانوي، المصاحبة لمشكلة المياه الملوثة بالفلور، وهي تتطلب مزيدا من البحث والاستكشاف لمعرفة مدى خطورتها وتأثيراتها على الصحة المجتمعية.

شكل (7): تضرر المواد المنزلية بمياه رديئة النوعية في منطقة الدراسة (تصوير الفريق البحثي)

4. التوصيات

يمكن تعداد أهم التوصيات بالاستعانة بالمؤشرات الصادرة عن الدراسة الحالية كما يلي:

أ. توصي الدراسة الباحثين والهيئات العلمية في المستقبل بعمل مسح ميداني وبرامج إعداد خرائط، بهدف تقييم تراكيز الفلور الحقيقية في حوض سهل الجفارة وكافة الأحواض المائية بالبلاد، مع بيان مديات التراكيز على أعماق مختلفة، وإنشاء تقارير مدعمة بمعلومات هيدروجيوكيميائية عن المقاطعات الحاوية على القيم المتطرفة.

ب. إعداد خرائط موضوعية بنظام المعلومات الجغرافي GIS لتقسم مناطق ليبيا على أساس درجة التعرض، أو مستوى خطورة الإصابة بالانسمام الفلوري، نتيجة استهلاك المجتمعات البشرية مياها غنية بالفلور. وقد تساعد المعرفة الجيولوجية المعززة بالتقنيات الجيومكانية أيضا في إخراج أطلس جيوكيميائي للفلور بحيث لا يقتصر فقط على خرائط توزيع هذا الملوث في النظام المائي للحوض، بل يمتد إلى الفلور الموجود في النظم الطبيعية الأخرى

الترابية، والهوائية، والبيولوجية، إن أمكن. ذلك أن تكامل هذه المعلومات معا سيسهم في تقديم تحليل مكاني متقدم ومفيد لعمليات التخطيط والحوكمة واتخاذ القرار.

ج. إجراء قياسات مخبرية وحقلية لرصد معدلات انغسال الفلور من المعادن الفلورية الشائعة بحوض سهل الجفارة (كتجارب النض والتصويل leaching) باستخدام المياه العذبة تارةً والمياه المالحة تارةً أخرى، في محاكاةً فعلية لعمليات تسرب مياه الأمطار العذبة وغزو المياه البحرية المالحة، على التوالي، وملاحظة تأثيرهما على تفاعلات الفلور وسلوكه الجيوكيميائي في الوسط. فمخرجات مثل هذه التجارب يمكن استخدامها كمعطيات أساسية لإنتاج نماذج رياضية محوسبة تستهدف تقديم التنبؤات والتحليلات والتقييمات ضمن سياقات مكانية وزمانية مختلفة.

د. تجريب طرق فعالة وكفؤة لمعالجة المياه الغنية بالفلور والتي تعمل على مبدأ عدم نزع كل المحتوى الفلوري من الماء، بل محاولة الإبقاء على قدر منه ضمن المستويات الموص بها من قبل منظمة الصحة العالمية. وفي هذا المجال، يمكن التفكير بتطبيق أنظمة مرشحات تستخدم خامات من البيئة المحلية لمعالجة المياه من الفلور الزائد، مثل الألومينا المنشطة، أكاسيد الحديد، المعادن الطينية، أكسيد المغنيسيوم، كربون المخلفات الزراعية (مخلفات أشجار النخيل والزيتون مثلا)، وغيرها من المواد الطبيعية المتاحة في ليبيا.

هـ. يمكن الاستعاضة عن معدات التمديدات المائية المنزلية الشائعة حاليا في حوض سهل الجفارة، والمعتمدة في تصميمها الأساسي على السبائك المعدنية، بمعدات غير معدنية ذات طبيعة مضادة لتفاعلات التآكل والكلل، كالسيراميك والبي في سي، وذلك لتفادي مخاطر

تلوث مياه المنازل بالفلزات الخطرة صحيا والتي يحتمل تحررها جراء التفاعلات الكيماوية ما بين الفلور المائي والمعادن الداخلة في تكوين المعدات.

و. كحل جذري لمشكلة الأمراض المنقولة بالمياه المتلوثة، يحبذ التفكير الجدي باستخدام تكنولوجيا تحلية مياه البحر، والابتعاد عن استغلال المياه الجوفية في الوقت الراهن. فقد تتحقق بذلك بعض الفوائد فيما يخص وقاية السكان من الأمراض المنقولة بالماء من جهة، وإعطاء فرصة لأنظمة المياه الجوفية بالتعافي الطبيعي، من الجهة الأخرى. بموازاة ذلك، من المهم أن توجه السلطات الأنظار نحو تعديل السلوك المائي الاجتماعي للأفراد، وتدشن برامج للبحث العلمي والاستثمار الوطني التي تستهدف استكشاف واستغلال مصادر بديلة غير تقليدية لمياه الشرب تتمتع بأمان أكبر على الصحة العامة.

ز. تنظيم الجهات الإعلامية المحلية أنشطة تثقيفية، وإصدار منشورات توعوية، واستضافة خبراء على أثير الإذاعات وبرامج التلفزة، لمخاطبة الناس وتثقيفهم حول الأمراض المرتبطة بالمياه عموما، والمصاحبة لوجود الفلور الزائد خصوصا، في سبيل التعريف بالمشكلة القائمة، وتوجيه الاهتمام الشعبي – خاصة فئات النشء والشباب – نحو الممارسات الصحية السليمة (التغذية والرياضة والنظافة الشخصية) التي تعزز الوقاية من الأمراض المنقولة بالوسائط الجيوبيئية المختلفة.

ح. توجيه الجهات الحكومية المعنية بالتعليم والرعاية الصحية وتأهيل الكوادر الطبية بتنظيم برامج توعوية للمجتمع المحلي حول الأمراض المرتبطة بالبيئة، وتعريف الجمهور بطبيعة العلاقة التفاعلية بين الصحة والجيولوجيا والتنمية. وفي هذا الصدد، من المهم تشجيع أهل التخصصات الطبية على الانفتاح في الحوار والتعاون مع علماء الأرض والبيئة والمهندسين

الجيولوجيين والبيئيين في دراسة الأمراض ذات المنشأ الجيولوجي، والمشاركة في تكوين فريق علمي متعدد الاختصاصات ومنفتح على مشارب علمية مختلفة بدلا من فريق منكفئ على اختصاص علمي واحد. فالأول هو مؤهل لتقديم أفكار أوسع شموليةً في الطرح وأكثر عمقا في التحليل عما يمكن أن يقدمه الفريق الأخير. كما يمكن للقائمين على العملية التربوية تلقيح المناهج التعليمية الحالية بأحدث المعلومات حول علوم الأرض الطبية (geomedicine) ودورها المهم في إسناد الجهود الوطنية لحماية البيئة والصحة العامة والاقتصاد الوطني وتعزيز الوعي البيئي لدى الجمهور بالعلاقة المشتركة والمتقاطعة ما بين الأنشطة البشرية والنظم الطبيعية. فإن هذا النوع من التثقيف الراقي للمواطن هو بمثابة الرافعة الأساسية التي تخدم جهود الدولة الليبية في تحقيق الاستدامة والتكامل الشامل بين عناصر التنمية الوطنية.

المراجـــــع

[1]. سليمان صالح الباروني. تأثير الاستغلال المفرط للمياه الجوفية في ليبيا. مجلة الهندسي، العدد 32 **(1996)** ص 32-38

[2]. خالد رمضان بن محمود. نحو استراتيجية وطنية لاستدامة الموارد الطبيعية وتعزيز الأمن الغذائي في ليبيا: محاولة لدعم اتخاذ القرار. ط1 الناشر: المؤلف **(2013)** ليبيا ص36-41

[3]. إبراهيم المبروك صقر، وعبد السلام أحمد الوحيشي. التصحر: دراسة في الجغرافية البيئية للجزء الشرقي من سهل الجفارة. ترهونة: جامعة ناصر الأممية **(2005)** ليبيا

[4]. أسامة أحمد أبو لبدة؛ فتحي محمد محمد؛ صالح أبو القاسم عمارة؛ أبو بكر علي سالم. مرض الانسمام الفلوري والمياه الجوفية: دراسة استطلاعية في الجيولوجيا البيئية والصحية في مناطق الشمال الغربي من ليبيا. مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية، مجلد 1 **(2015)** عدد 2، ص 19−44

*[5]. UNICEF. Fluoride in water: An overview. Waterfront, **1999**, 13 (Dec.), 11-13*

*[6] C. A. Johnson, A. Bretzler (Eds.). Geogenic Contamination Handbook – Addressing Arsenic and Fluoride in Drinking Water. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EWAG), Dübendorf, Switzerland, **2015**, 20-24*

*[7]. Dissanayake, C.B. The fluoride problem in the groundwater of Sri Lanka environmental management and health. Int J Environ Stud, **1991**, 38, 137–156*

*[8]. Dean, H.T. Classification of mottled enamel diagnosis. J Americ Dent Asso, **1934**, 21, 14-21*

*[9]. Nasr, A.M., Moheb, D.M. and Masry, E.S.E. Prevalence of dental caries in child school from two Libya's western cities with different levels of fluoride in their drinking water. Nat. Sci, **2014**, 12.*

*[10]. Nureddin, A.A.M. and Shagan, A. An epidemiological study of geographical mapping of fluoride levels in drinking water in the northwestern region of Libya, Libyan J. Med Res, **2014**, 8(2), 37-43*

*[11]. Elmabrok, F.M. An investigation of fluoride levels in Alagilat City, Libya. Int J Curr Sci, **2016**, 19(1), E 1-5*

*[12]. Edmunds, W.M. Characterization of groundwaters in semi-arid and arid zones using minor elements., in: Nash, H., McCall, G.J.H. (Eds.), Groundwater Quality. Chapman & Hall, London, **1994**, 19-30*

*[13]. Nair, G.A., Bohjuari, J.A., Al-Mariami, M.A., Attia, F.A. and El-Toumi, F.F. Groundwater quality of Northeast Libya. J Environ Biol, **2006**, 27, 695–700*

*[14]. Banerjee, A. Groundwater fluoride contamination: A reappraisal. Geoscience Frontiers, **2015**, 6, 277-284*

*[15]. García, M. G. and Borgnino, L. Fluoride in the Context of the Environment, (chp.1) in Fluorine: Chemistry, Analysis, Function and Effects, **2015**, 3-21*

*[16]. Lindsay, W. L. Chemical Equilibrium in Soil. John Wiley & Sons Inc., US, **1979**, 88-98 & 165*

*[17]. Industrial Research Center. Geological Map of Libya (Scale 1:1000,000), Libya, **1985***

*[18]. Sunil, T.K.L., Shetty, S., Annapoorna, B.M., Pujari, S.C., Reddy, S.P. and Nandlal, B. Pioneering study of dental fluorosis in the Libyan population. J. Intr. Oral Health, **2013**, 5(3), 67-72*