مجلة جامعة الملك عبدالعزيز : عـــــلوم الأرض ، م١٧ ، ص ص ١-٢٥ (٢٠٠٦م/ ١٤٢٧هـ)

مؤشرات هيدروجيولوجية وهيدروكيميائية لتحكم الصدوع على سريان ، ونوعية المياه الجوفية بحوض وادي فاطمة، الجزء الغربي من المملكة العربية السعودية

محمود سعيد اليماني

كلية علوم الأرض - قسم جيولوجيا المياه - جامعة الملك عبد العزيز

جـــــدة - المملكة العربية السعودية

(قُدم للنشر : ٣٠/ ١١/ ٢٠٠٤م قُبل للنشر : ١٤/ ٦/ ٢٠٠٥م)

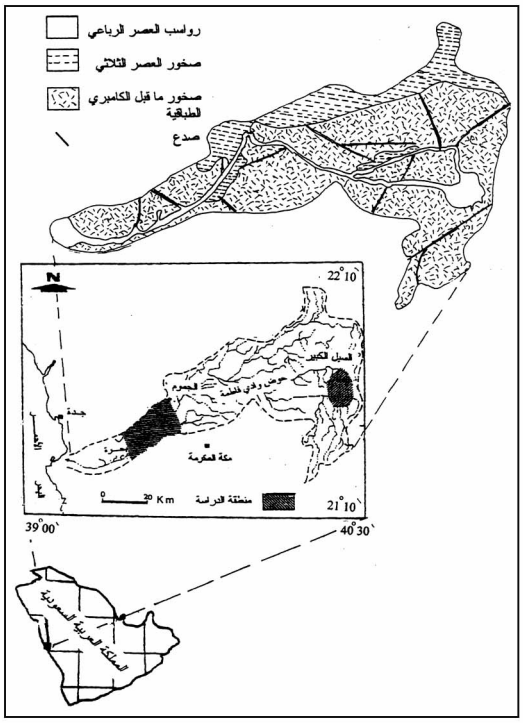
المستخلص. أظهرت قياسات مستوى المياه الجوفية والأعماق الكلية للآبار المحفورة، وكذلك التركيب الكيميائي للمياه، إلى أن أسباب تواجد نطاقات الملوحة المرتفعة للمياه الجوفية في كل من منطقة السيل الكبير ومنطقة الجموم- بحرة ، والواقعتان بحوض وادي فاطمة، ربما يعزى في الأساس إلى تأثر هاتين المنطقتين بصدوع موجودة، والتي يعتقد أنها لعبت دورًا مهمًا في تشكيل خزانات مياه جوفية شبه معزولة، نتيجة إعاقتها المياه الجوفية من التحرك بحرية في تلك المناطق، والوصول إلى تلك الخزانات المعزولة، والتي تتميز باحتوائها على مياه عالية الملوحة.

وفي منطقة السيل الكبير، لوحظ وجود قاطع صخري ممتد من الغرب نحو الشرق، والذي ربما يكون امتدادًا لصدع وادي اليمانية، قد قسم المنطقة إلى جزأين رئيسين، جنوبي، وشمالي. ففي الجزء الجنوبي من المنطقة تتميز المياه الجوفية بانخفاض في درجة ملوحتها، حيث تتفاوت ما بين ٨٦٦ و ١٦٨٩ ميكروسيمنس/ سم، في حين تتراوح درجة ملوحة المياه في الجزء الشمالي من المنطقة بين ٣٤٢٠ و ٥٠٢٠ ميكروسيمنس/

سم. شكل هذا القاطع حاجزًا مائيًا أعاق حركة المياه الجوفية، والمتجهة من الجنوب نحو الشمال. ربما تسبب في تعديل مسار حركة المياه الجوفية نحو الغرب في اتجاه وادي اليمانية كما اتضح من نتائج مقارنة نوعية المياه الجوفية بوادي اليمانية، ومثيلتها في الجزء الجنوبي من منطقة السيل الكبير. من ناحية أخرى وفي منطقة الجموم - بحرة، أشارت قياسات الموصلية الكهربائية، أن درجة ملوحة المياه الجوفية تتراوح بين ٥٤٠٠ و ٢٤٩٠٠ميكروسيمنس/ سم، وأن نطاق الملوحة المرتفعة للمياه يتركز في الجزء الواقع بين منطقتي حدّا وبحرة. تشير سجلات مسح الآبار إلى جانب المسح الجيوفيزيائي في المنطقة أن وجود نطاق التمعدن العالي للمياه الجوفية، يعزى إلى تأثير امتداد صدع وادي الشميسي، والذي يقطع المجرى الرئيسي لوادي فاطمة، والمتجه من الجنوب الشرقي نحو الشمال الغربي، والذي تسبب في رفع صخور القاعدة للمتكون المائي المتواجد، مما أدى إلى إعاقة حركة المياه الجوفية عبر القناه الرئيسية لوادي فاطمة، والمتجه نحو الجنوب الغربي في اتجاه البحر الأحمر، وعدل مسارها نحو الجنوب عبر وادي الشميسي. كما أشارت صور الأقمار الصناعية إلى وجود صدع آخر يقع بالقرب من مخرج الوادي، والمتجه من الجنوب الغربي نحو الشمال الشرقي، مما أدى إلى رفع صخور القاعدة . تأثير وجود الصدعين المدفونين سبب في تشكيل خزان مائي جوفي شبه معزول بينهما، تتميز نوعية مياهه الجوفية بدرجة ملوحة مرتفعة جدا.

المقدمة

تقع منطقة الدراسة داخل حوض وادي فاطمة، الواقع في الجزء الغربي من المملكة العربية السعودية بين خطي عرض ١٠َ ٢١ْ و ١٠َ ٢٢ْ وخطي طول ١٠َ ٣٩ْ و٣٠َ ٤٠ْ شكل (١). أشارت بعض الدراسات الهيدروجيولوجية السابقة (Alyamani, 1999 and Sharaf *et al.,* 2004)، والتي أجريت داخل حوض فاطمة إلى وجود مناطق تتصف مياهها الجوفية بملوحة عالية وغير طبيعية ، من تلك المناطق الجزء الواقع بين الجموم- حدّا - بحرة، والذي يقع في الجزء الأسفل من حوض فاطمة، حيث تصل فيها ملوحة المياه الجوفية إلى أكثر من ٢٠٠٠٠ميكروسيمنس/ سم بالرغم، من وجود مناطق قريبة منها تقل فيها درجة ملوحة المياه إلى أقل من ٦٠٠٠ميكروسيمنس/ سم. والمنطقة الأخرى هي منطقة السيل الكبير الواقعة في الجزء العلوي من نفس الحوض، حيث



شكل (١). خريطة لمنطقة الدراسة داخل حوض وادي فاطمة .

تتراوح قياسات الملوحة فيها ما بين ٨٠٠- ٥٠٠٠ ميكروسيمنز/ سم ، وهو وضع يعتبر غير طبيعي في منطقة تقع ضمن نطاق التغذية لحوض وادي فاطمة، والتي تستقبل أمطاراً بكميات معقولة مقارنة بالمناطق الأخرى من الحوض. تواجد المياه الجوفية المالحة في تلك المناطق شكلت صعوبات كبيرة بالنسبة للسكان المحليين في الحد من استخدامها في الأغراض المختلفة، ونتيجة لذلك أصبحت ظاهرة هجر الآبار شائعة في تلك المناطق.

إن مشكلة ارتفاع درجة ملوحة المياه الجوفية في تلك المناطق تبدو مرتبطة بوجود عامل أو عوامل ذات تأثير قوي ، ساهم في تدهور نوعية المياه بصورتها الحالية. معظم الدراسات السابقة لم تهتم بظاهرة التغير والارتفاع المفاجئ في ملوحة المياه في تلك المناطق، أو تحديد الأسباب التي أدت إلى هذا الوضع.

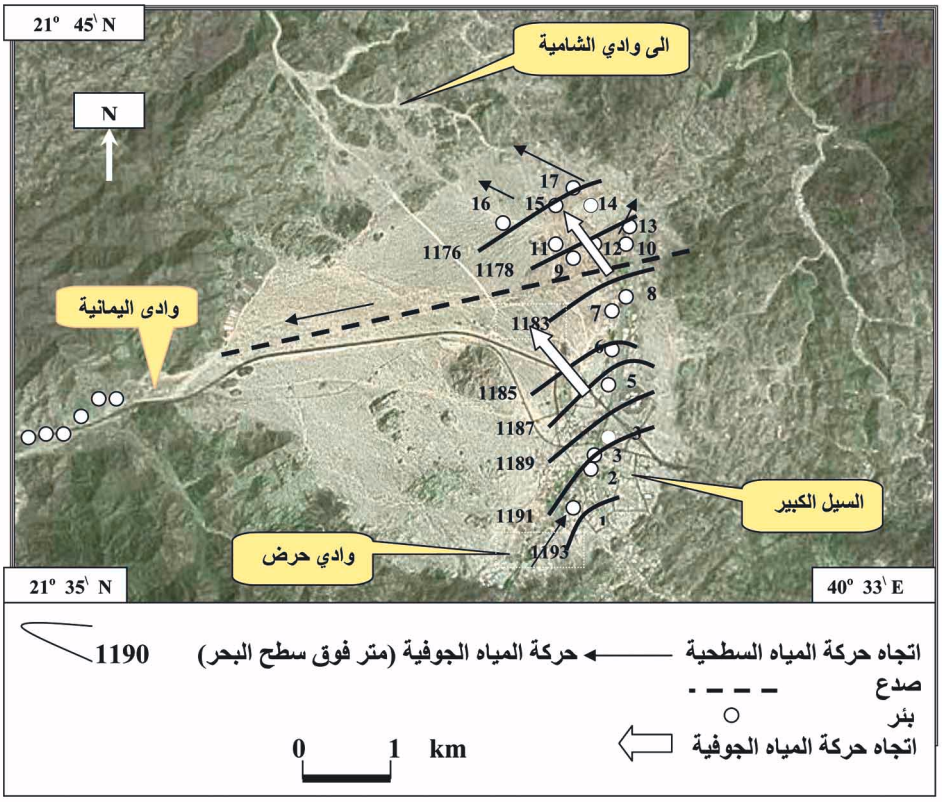
الهدف من الدراسة الحالية هو التعرف وتحديد - إن أمكن - الأسباب المسؤولة،

والتي يعتقد أنها أثرت على نوعية المياه الجوفية في تلك المناطق عن طريق القياسات الحقلية، والبيانات الهيدروجيولوجية الخاصة بالآبار، وربطها بكيميائية المياه الجوفية في تلك المناطق.

وصف مناطق الدراسة

ينحدر وادي فاطمة من مرتفعات الحجاز شرقا والتي ترتفع بحوالي ١٩٠٠ متراً فوق سطح البحر نحو الجنوب الغربي في اتجاه البحر الأحمر. . يعتبر الوادي واحدًا من أهم الأحواض التصريفية بالمنطقة الغربية، حيث يعد مصدراً مهما لامتداد المياه لكل من مدينتي مكة المكرمة وجدة والقرى والهجر الواقعة داخل الوادي والمحيطة به.

المعلومات الهيدرولوجية المتوفرة لمحطة السيل الكبير، تشير إلى أن الجزء العلوي من الحوض يستقبل أمطاراً سنوية يزيد معدلها عن ١٨٠ ملم، في حين يقع الجزء السفلي من الحوض ضمن المناطق الأكثر جفافًا، حيث لا يزيد المعدل السنوي لتساقط الأمطار عن ٦٠ ملم (محطة بحرة).تقع منطقة السيل الكبير على محقون جوفي (باثوليث) مكون من صخر الجرانيت. يعتبر الجزء المشقق والمجوّى للمحقون الجوفي الطبقة الحاملة للمياه الجوفية. يقطع الباثولث أودية وجداول صغيرة، ويعتبر وادي حرض أكبرها، وهو يتجه إلى الشمال الشرقي نحو وادي الشامية، الذي يعتبر أحد الأفرع الرئيسية لوادي فاطمة. تتواجد الرواسب الوديانية في القناة الرئيسية لوادي حرض، وتتكون من فتات صخري ورمل، وتعتبر الصخور المحيطة مصدراً لها، ونقلت بواسطة المياه السطحية. تتواجد جميع الآبار المحفورة على امتداد القناة الرئيسية لوادي حرض. بينما تنعدم في الأجزاء الأخرى من منطقة الدراسة (شكل ٢). طبقا لـ (Alyamani,1999) يتراوح سمك هذه الرواسب الوديانية ما بين ١ إلى ٥ , ١م. وفي مناطق أخرى، ومن خلال الملاحظات الحقلية واختبار أجزاء من سطح الباثوليث، وجد أن قرابة النصف متر منه مجوّى تماماً وهش نتيجة تعرضه لعوامل التجوية الفيزيائية والكيميائية. تتراوح أقطار الآبار مابين ٣ إلى ٤ أمتار ، كما يتفاوت عمق الآبار المحفورة مابين ٥ إلى ١٢ متراً. يتراوح عمق مستوى الماء الثابت بين ٥ إلى ٦ , ٩ أمتار من سطح الأرض. يتراوح معامل النقولية (Transmissivity Coefficient) مابين ٧ , ١٥ إلى ٣ , ٢٠ م^{٢}/ يوم، في حين يتراوح معامل التخزين (Storage Coefficient) بين ٠٣ , ٠ و ٠٧ , ٠ . نظراً لتواجد الآبار في حيز ضيق

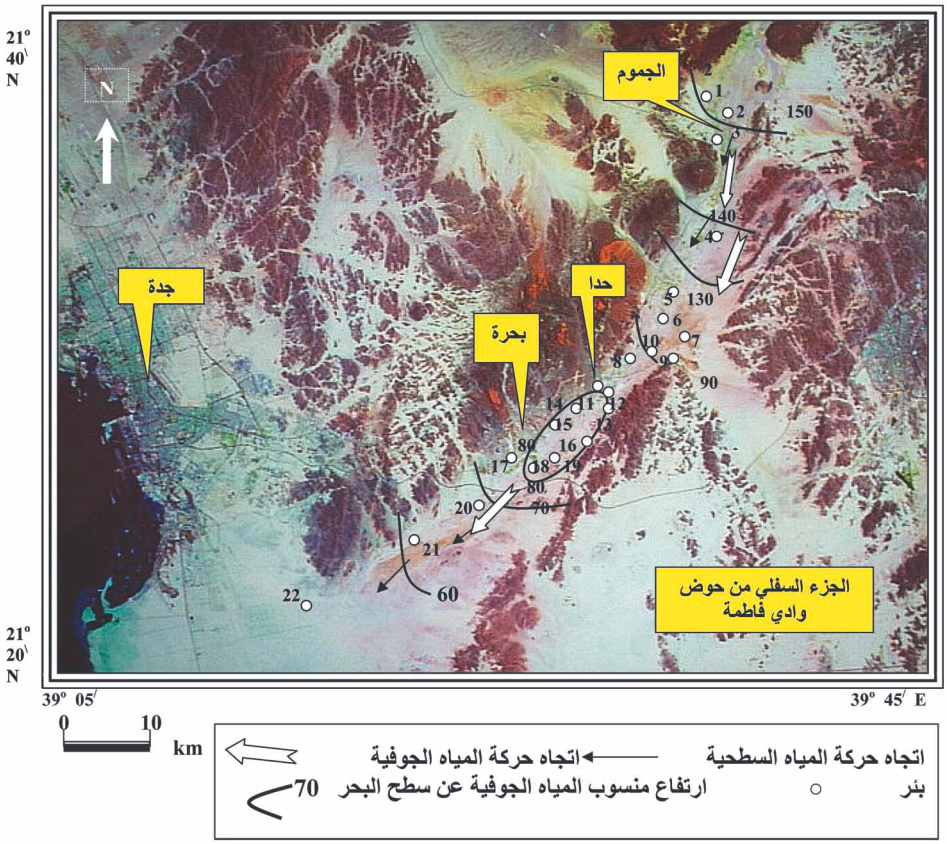


شكل (٢). مواقع الآبار بمنطقة السيل الكبير .

على طول مجرى وادي حرض، بالإضافة إلى عدم وجود أعداد كافية من الآبار، وعدم انتشارها جغرافيا، كان من الصعب إنشاء خريطة توضح اتجاه حركة المياه الجوفية تغطي المنطقة كليًا، إلا أن قياسات مستويات المياه للآبار تشير إلى أن حركة المياه الجوفية تتجه من الجنوب الشرقي نحو الشمال الغربي (الشكل ٢). من جانب آخر وفي منطقة الجموم – حدّا – بحرة تعتبر الرواسب الوديانية هي الطبقة الرئيسية الحاملة للمياه الجوفية، إلى جانب جزء بسيط من صخور القاعدة المجوّاه والمشققة، والذي لا يزيد عن ٤ أمتار، وهذا تمت ملاحظته من المواد المستخرجة ، والتي تتكون من كتل صخرية ذات أحجام مختلفة، نتيجة تعميق بعض الآبار في المنطقة. يختلف عمق الآبار من منطقة إلى أخرى، ففي منطقة الجموم تشير البيانات إلى أن العمق الكلي للآبار يتراوح بين ٤٠ إلى ٥٦م، في حين أنها في المنطقة الممتدة بين قريتي حدّا وبحرة يتراوح العمق بين ١٨ إلى ٣٧ مترًا،

بينما تعتبر الآبار المحفورة في الجزء الواقع بالقرب من مخرج الوادي أقل الآبار عمقًا حيث لا تتجاوز ١٤ مترًا من سطح الأرض. جميع الآبار المحفورة ذات اختراق كامل، بمعنى وصولها إلى صخور القاعدة الصلبة. تتراوح أقطار الآبار بالمنطقة مابين ٣,٠ إلى ٣ أمتار. يتراوح عمق مستوى الماء الثابت بين ١٠ و ٤٤ مترًا من سطح الأرض. يتراوح معامل النقولية للطبقة الحاملة للمياه بين ٢٤٦ إلى ٣٤٤ م٢/ يوم (Alyamani, 1999)، بينما يتراوح معامل التخزين بين ٠,٠٩ و ٠,١٢ . وتشير قيم معامل التخزين في كلا المنطقتين إلى أن الطبقة الحاملة للمياه غير محصورة. شكل (٣) يوضح مواقع الآبار وحركة المياه الجوفية واتجاهها بمنطقة الجموم – حدّا – بحرة .

من جانب آخر تعتبر السيول المتولدة داخل الحوض المصدر الرئيسي لتغذية المتكون المائي عن طريق ترشح كميات من مياهها.



شكل (٣). مواقع الآبار وحركة المياه الجوفية بمنطقة الجموم – بحرة .

بناء على الدراسة الجيولوجية السابقة التي أجريت داخل وادي فاطمة، والتي قام بها كل من (Moore and Al-Rehaili, 1989). أمكن تقسيم المنطقة إلى ثلاث وحدات صخرية رئيسية من الأقدم إلى الأحدث وهي: (١) صخور ما قبل الكمبري الطباقية ، والتي تشكل جزءًا كبيرًا من الصخور المحيطة بمناطق الدراسة (شكل١) والتي تتكون من الأمفيبوليت والميتابازلت بالإضافة إلى صخور الكربونات التابعة لمجموعة فاطمة . تعلو هذه المجموعة مجموعة سمران والتي تتكون من طفوح بازلتية إلى ريوليتية وصخور بركانية فتاتية. تعرضت هذه الصخور إلى متداخلات صخرية تتكون من الجرانيت والتونالايت والجابرو والديوريت والجرانوديوريت ، (٢) صخور العصر الثلاثي وهي تتبع مجموعة رهط ، والتي تتكون من بازلت أولوفيني ، (٣) رواسب العصر الرباعي وتتواجد في الأودية وهي في صورة طبقات متبادلة من الرمل والحصى والطين. وعلى جانب الأودية تتواجد الرواسب الفيضية على هيئة مصاطب تتكون من الرمل الطيني. تكونت بفعل المياه السطحية الجارية.

من جانب آخر تعرضت المنطقة إلى حركات تكتونية أدت إلى طي وتصدعات لهذه الصخور. شكل (١) يوضح تواجد مجموعات رئيسية من الصدوع ذات اتجاهات مختلفة، أهمها: (١) صدوع ذات اتجاه شمال غرب – جنوب شرق، (٢) صدوع شمال شرق – جنوب غرب، ويعتقد أن هذه الصدوع لها علاقة بانفتاح أخدود البحر الأحمر. إن العديد من هذه الصدوع قد ملئت بمواد صهارية كونت قواطع صخرية (Dykes) أغلبها مكونة من صخور الأنديزيت والأبليت.

جمع المعلومات والطرق البحثية

من شهر مارس ٢٠٠٣م وفي منطقة السيل الكبير تم جمع ١٧ عينة مياه جوفية ممثلة فقط على طول مجرى وادي حرض نظرًا لقربها من بعضها البعض ، بينما في المنطقة الواقعة بين الجموم وبحرة تم جمع ٢٢ عينة مياه جوفية. من ناحية أخرى جمعت ٦ عينات مياه جوفية من وادي اليمانية – وهو أحد الأفرع الرئيسية بوادي فاطمة – لغرض استخدام نتائج تحليلها الكيميائي للمقارنة مع نوعية المياه الجوفية بمنطقة السيل الكبير. تحكم في عدد العينات المجمعة حالة ووضع البئر، فقد لوحظ أن هنالك عدد من الآبار مهجورة لفترات طويلة، ويعود السبب إلى قلة إنتاجيتها أو ارتفاع درجة ملوحتها، فكان

من الصعب أخذ عينة مياه من تلك الآبار. جميع عينات المياه المجمعة تم الحصول عليها بعد فترة ضخ للبئر لمدة لاتقل عن خمس دقائق لتفادي تأثير عمليات التبخر للمياه المخزونة داخل الآبار ، حيث إن غالبية الآبار المحفورة في تلك المناطق ذات أقطار كبيرة، والتي يزيد قطرها عن ٢م. من ناحية أخرى جمعت عينات من الرواسب الوديانية وكذلك الأملاح المترسبة حول الآبار وحقول الري من المنطقتين، للتعرف على نوعية الأملاح والمعادن المتواجدة في تلك الرواسب، ومدى تأثيرها على كيميائية المياه الجوفية. كما اشتمل العمل الحقلي على قياسات حقلية عند موقع البئر ومنها الموصلية الكهربائية (Electrical Conductivity EC) ودرجة الحرارة، والأس الهيدروجيني، بالإضافة إلى بعض البيانات الخاصة بمسح الآبار، مثل مستوى الماء الثابت، وعمق الآبار ، ونوع الآبار الموجودة . وتم إجراء التحاليل الكيميائية لعينات المياه الجوفية بمعامل كلية علوم الأرض، وتحديد العناصر الرئيسية، وتتضمن الكتيونات (الصوديوم Na^+، البوتاسيوم K^+، الكالسيوم Ca^{2+}، المغنيسوم Mg^{2+}) والأنيونات (البيكربونات HCO_3^-، الكلوريد Cl^-، الكبريتات SO_4^{2-}).

تم إجراء تحليل حيود الأشعة السيني X-Ray Diffraction (XRD) على عينات الرواسب الوديانية ، والأملاح المترسبة حول الآبار للتعرف على تركيبها المعدني. كما طبق برنامج (Phreeqc, Interactive Alpha, 2001) لحساب مؤشرات التشبع (Saturation Indices) للمياه لعدد من المعادن، وهي معادن الكالسيت ($CaCO_3$)، الدولوميت ($CaMg(CO_3)_2$)، الجبس ($CaSO_4.2H_2O$) والهاليت (NaCl)، لما لها من أهمية في زيادة أو نقص تركيز العناصر الداخلة في التركيب الكيميائي للمياه الجوفية. وتمثل القيمة الموجبة لمؤشر التشبع للمعدن بأن المياه مشبعة بذلك المعدن، ولها قابلية على ترسيبه، والقيمة السالبة تدل على أن المياه غير متشبعة بالمعدن ولها القدرة على إذابته ، أما القيمة صفرفتدل على أن المياه متزنة مع المعدن.

مناقشة النتائج

الخواص الكيميائية للمياه الجوفية بمناطق الدراسة

منطقة السيل الكبير

جدول (١) يوضح ملخص نتائج التحليل الكيميائي لعينات المياه الجوفية، متضمنة

المدى، والمتوسط الحسابي للعناصر الرئيسية، بالإضافة إلى القياسات الحقلية كدرجة حرارة المياه، والموصلية الكهربائية (Electrical Conductivity)، والأس الهيدروجيني (pH) ومؤشرات تشبع المياه لبعض المعادن (Saturation Indices)، وعلى وجه الخصوص معادن الكالسيت $CaCO_3$، الدولوميت $CaMg(CO_3)_2$، الجبس $CaSO_4.2H_2O$ والهاليت NaCl.

يلاحظ من الجدول (١) أن قيم الموصلية الكهربائية للمياه الجوفية تتراوح مابين ٨٦٦ و ٥٠٢٠ ميكروسيمنس/ سم مع متوسط مقداره ٢٧٦٤ ميكروسيمنس/ سم. من ناحية أخرى يعتبر عنصر Na^+ الأعلى تركيزا في الكتيونات ويتغير مدى تركيزه من ٣٦ إلى ٦٨١ ملجم/ ل ، يليه عنصر Ca^{2+} ويتراوح تركيزه مابين ٥٠ إلى ٣٥٨ ملجم/ ل، ويعتبر K^+ الأقل تركيزا (٨،٥-٢،١٧ملجم/ ل). من جانب آخر يعتبر Cl^- الأعلى تركيزًا في الأنيونات حيث يتفاوت تركيز محتواه مابين ٨٧ و ١٣٠٨ ملجم/ ل، يليه مجموعة SO_4^{2-} ويتراوح تركيزها مابين ٤٦ و ١٠٢٨ ملجم / ل. تميل نوعية المياه الجوفية إلى القلوية إلى حد ما، كما يشير الأس الهيدروجيني. نوعية المياه يغلب عليها كلوريد الصوديوم (NaCl) وبيكربونات الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$.

تشير التغيرات في تركيز العناصر الرئيسية على أن الاتجاه العام للتركيز الأيوني للمياه الجوفية هو:

$$Na > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$$
$$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$$

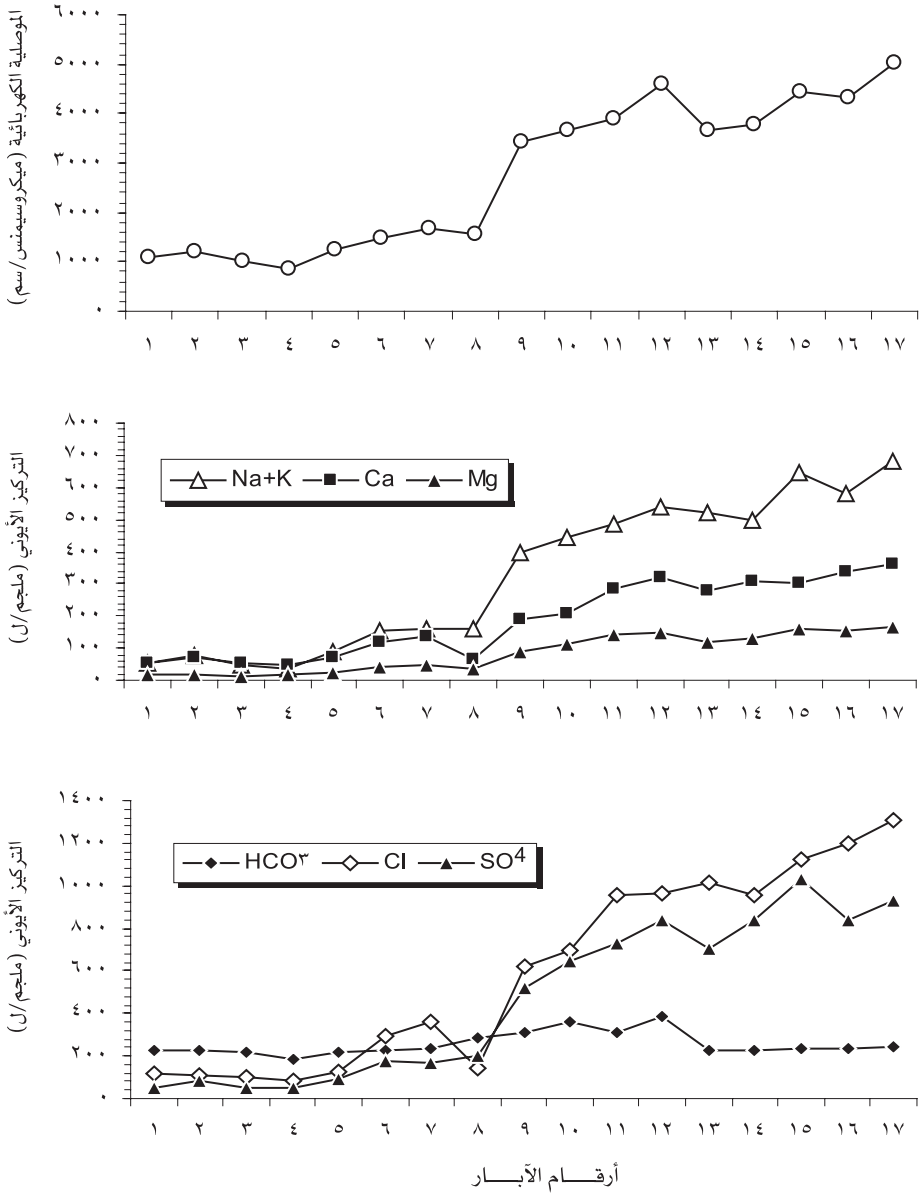
ومن ناحية أخرى تشير مؤشرات التشبع إلى أن المياه الجوفية في معظمها متشبعة بمعدني الكالسيت والدولوميت ويدل ذلك على قدرة المياه على ترسيب هذين المعدنين، كما أنها تشير إلى أن المياه الجوفية ليست مشبعة بالنسبة لمعدني الجبس والهاليت، مما يدل على قدرة المياه إلى إذابة هذين المعدنين. من جانب آخر أشارت نتائج تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) أن معدني الكالسيت والدولوميت هما الأكثر شيوعا في عينات الرواسب الوديانية، والأملاح المترسبة في مناطق الري بمنطقة الدراسة إلى جانب قليل من معدن الجبس ومعدن الكاولينيت. التغيرات في قياسات الموصلية الكهربائية، وتركيز العناصر الرئيسية لجميع عينات المياه الجوفية تم تمثيلها بيانيًا، كما يشير الشكل (٤). إن ارتفاع درجة ملوحة المياه الجوفية والتي تزيد عن ٥٠٠٠ ميكروسيمنس/ سم مع متوسط

جدول (١). نتائج التحليل الكيميائي للمياه الجوفية بمنطقة السيل الكبير والتركيب الكيميائي للأمطار في الجزء العلوي من وادي فاطمة بوحدة ملجم/ ل.

العناصـــــــــر	القيمة الصغرى	القيمة العظمى	المتوسط	متوسط* التركيب الكيميائي لمياه الأمطار	
				محطة الهدى (٨)	محطة السيل الكبير (٥)
Na^+	٣٦,٣	٦٨١,٩	٣٢٧,٧	٢,٩	٢,٨
K^+	٥,٨٧	١٧,٢	١٠,٤	١,١	١,٢
Ca^{2+}	٥٠,١	٣٥٨,٧	١٨٨,٣	٣,٥	٣,٠
Mg^{2+}	١٤,٣	١٦٧,٨	٨٤,٩	١,١	١,٢
HCO_3^-	١٨٠,٦	٣٨٦,٨	٢٥٥,١	١٤,١	١٢,٢
Cl^-	٨٧,٢	١٣٠٨,٠	٥٩٨,٠	٦,٠	٥,٩
SO_4^{2-}	٤٦,١	١٠٢٨,٠	٤٦٦,٨	٤,١	٤,١
مؤشر التشبع (كالسيت)	-٠,١١	١,١١	٠,٤٩	–	–
مؤشر التشبع (دولوميت)	-٠,٣٢	٢,٢٧	٠,٩٦	–	–
مؤشر التشبع (جبس)	-٢,٠٦	-٠,٥٢	-١,١٥	–	–
مؤشر التشبع (هاليت)	-٧,٠٩	-٤,٨٨	-٥,٧٣	–	–
الموصلية الكهربائية					
(ميكروسيمنس/ سم)	٨٦٦	٥٠٢٠	٢٧٦٤,٠	–	–
الأس الهيدروجيني (pH)	٧,١٤	٧,٩	٧,٤٥	–	–

* التحليل الكيميائي لمياه الأمطار لـ (Alyamani & Hussein, 1995)
والرقم بين القوسين يمثل عدد عينات مياه الأمطار.

حوالي ٢٧٦٤ ميكروسيمنس/ سم ، أضف إلى ذلك ارتفاع تركيز العناصر الرئيسية وخاصة أيونات Cl^-, SO_4^{2-}, Na^+ يعتبر وضعًا غير طبيعي في منطقة تقع ضمن نطاق منطقة التغذية الرئيسية لحوض وادي فاطمة، والتي غالبا ما تكون قريبة في تركيبها الكيميائي من التركيب الكيميائي لمياه الأمطار ، التي تغذي المتكون المائي في تلك المناطق. جدول (١) يبين التركيب الكيميائي لعينات مياه أمطار تم جمعها من محطتي الهدى والسيل الكبير. يلاحظ من الجدول الفارق الكبير في التركيب الكيميائي لكل من المياه الجوفية ومياه الأمطار (Alyamani & Hussein, 1995).



شكل (٤). التركيب ا لكيميائي للمياه الجوفية بمنطقة السيل الكبير .

يلاحظ من الشكل (٤) وجود - و إلى حد ما - توزيع جغرافي لدرجة ملوحة المياه وتراكيز العناصر الرئيسية ، وهي تشكل تقريبا مجموعتين يمكن تميزهما عن بعض: (١) **المجموعة الأولى** وتشمل العينات من ١ إلى ٨ ، حيث تمتاز هذه المجموعة بانخفاض درجة الملوحة (أقل من ١٧٠٠ ميكروسيمنس/ سم)، وتراكيز العناصر الرئيسية الداخلة في التركيب الكيميائي للمياه الجوفية. (٢) **المجموعة الثانية** وتشمل العينات ٩ إلى ١٧، وهي تمتاز بتمعدن عال نسبيًا، حيث تزيد درجة ملوحتها عن ٣٤٠٠ ميكروسيمنس/ سم. كما يلاحظ من خارطة مواقع الآبار أن آبار المجموعة الأولى تقع في الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة، بينما آبار المجموعة الثانية تتمركز في الجزء الشمالي من منطقة الدراسة (شكل ٢). ولتوضيح الفوارق بين المجموعتين الأولى والثانية تم حساب كل من المتوسط والمدى لتركيز العناصر الرئيسية، بالإضافة إلى الموصلية الكهربائية لكلا المجموعتين في جدول (٢). ويشير الجدول إلى أن الآبار الواقعة في الجزء الجنوبي(المجموعة الأولى) تتميز مياهها بانخفاض ملحوظ في تركيز العناصر الرئيسية، وتكون أقل تشبعًا بمعدني الكالسيت والدولوميت ، ويغلب على نوعية مياهها نوع بيكربونات الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$، بينما ترتفع درجة الملوحة في الجزء الشمالي وتتميز بأنها أكثر تشبعًا بمعدني الكالسيت والدولوميت ويغلب عليها نوع كلوريد الصوديوم (NaCl).

من جانب آخر فإن هنالك دلائل هيدروجيولوجية تمت ملاحظتها من خلال الدراسة الحقلية يمتاز بها كل من الجزأين الجنوبي والشمالي ، وهي أن مستوى الماء الجوفي في الجزء الجنوبي قريب من سطح الأرض، ويتراوح عمق الماء ما بين ٣,٥ إلى ٤,٥ أمتار من سطح الأرض في حين يزداد في العمق في الناحية الشمالية بين ٤,٦ إلى ٩,٦ أمتار من سطح الأرض، أضف إلى ذلك الارتفاع السريع لمستوى الماء الجوفي في الجزء الجنوبي عقب فترات الأمطار، وهي ظاهرة أفاد بها المزارعون ومالكو الآبار. ونظرًا لعدم إمكانية عمل قياسات لمستويات الماء الجوفي لفترات هيدرولوجية مختلفة عقب مواسم الأمطار، وفترات الجفاف، للتأكد من ظاهرة التغير، وسرعة ارتفاع مستويات الماء في كلا المنطقتين، عليه فان المشاهدات الحقلية، وتوفر المعلومات الجيولوجية، بالإضافة إلى نتائج التحاليل الكيميائية، والاختلاف في قياسات درجة ملوحة المياه، إلى جانب الاختلافات في مستويات الماء الجوفي جمعيها، تشير إلى وجود عامل أو عوامل مؤثرة أدت إلى هذه الاختلافات الملاحظة في منطقة الدراسة. إن المسافة التي تفصل

جدول (٢). مقارنة تركيز العناصر الرئيسية للمياه الجوفية في المجموعتين الأولى والثانية بمنطقة السيل الكبير (ملجم/ ل).

العناصـــــــــــر	المجموعة الأولى أرقام الآبار (من ١ إلى ٨)			المجموعة الثانية أرقام الآبار (من ٩ إلى ١٧)		
	القيمة الصغرى	القيمة العظمى	المتوسط	القيمة الصغرى	القيمة العظمى	المتوسط
Na^+	٣٦,٣	١٦٢,٥	٩٦,١	٣٩٩,٠	٦٨١,٠	٥٣٣,٥
K^+	٥,٨٧	١٧,٢	١٠,٩	٧,٠	١٢,٥	١٠,٠
Ca^{2+}	٥٠,١	١٣٦,٥	٧٦,٨	١٩١,٦	٣٥٨,٧	٢٨٧,٥
Mg^{2+}	١٤,٣	٤٦,٦	٢٦,٣	٩٠,٨	١٦٧,٨	١٣٧,٠
HCO_3^-	١٨٠,٦	٢٨٤,٣	٢٢٦,٣	٢٢٢,٨	٣٨٦,٨	٢٨٠,٨
Cl^-	٨٧,٢	٣٦٢,٦	١٦٧,٠	٦٢٢,٤	١٣٠٨,٠	٩٨١,٣
SO_4^{2-}	٤٦,١	٢٠٠,٣	١٠٨,٧	٥٢٢,٦	١٠٢٨,٠	٧٨٥,٢
الموصلية الكهربائية (ميكروسيمنس/ سم)	٨٦٦,٠	١٦٨٩,٠	١٢٦٥,٠	٣٤٢٠,٠	٥٠٢٠,٠	٤٠٩٦,٠
الأس الهيدروجيني (pH)	٧,١٤	٧,٦٦	٧,٤٣	٧,٢٢	٧,٩	٧,٤٧
مؤشر التشبع (كالسيت)	-٠,١١	٠,٨٦	٠,٢٩	٠,٥١	١,١٤	٠,٧٨
مؤشر التشبع (دولوميت)	-٠,٣٢	١,٩٦	٠,٥٢	١,٣	٢,٥٤	١,٨٠
مؤشر التشبع (جبس)	-٢,٠٦	-١,٣٢	-١,٧١	-١,٠٢	-٠,٧٤	-٠,٨٧
مؤشر التشبع (هاليت)	-٧,٠٩	-٥,٨٥	-٦,٤٨	-٥,٢٩	-٤,٨٨	-٥,٠٦

المجموعتين عن بعضهما البعض ليست كبيرة بالقدر الذي يظهر فيه هذا التغير المفاجئ في كيميائية المياه، كنتيجة لحركة المياه الجوفية الطبيعية في المتكون المائي ، وتفاعلها مع مكونات الطبقة الحاملة للمياه.

منطقة الجموم – بحرة

يلاحظ من الجدول (٣) أن قيم الموصلية الكهربائية للمياه الجوفية تتراوح مابين ٥٤٠٠ و ٢٤٩٠٠ميكروسيمنس/ سم مع متوسط مقداره ١٣١٣٧ ميكروسيمنس/ سم. من ناحية أخرى يعتبر Na^+ الأعلى تركيزاً في الكتيونات، حيث يتراوح تركيزه ما بين ٤٥٣ إلى ٤٥٨٧ ملجم/ ل، يليه عنصر Ca^{2+} حيث يتراوح تركيزه مابين ٣٤٢ إلى

١٥١٢ ملجم/ ل، ويعتبر الأقل تركيزاً . من الأنيونات يعتبر عنصر Cl^- الأعلى تركيزاً، حيث يتراوح تركيزه مابين ٨٩٠ و ٨٨٥٩ ملجم/ ل، يليه مجموعة SO_4^{2-} حيث يتراوح تركيزه مابين ٨٤٥ و ٤٥٦٣ ملجم / ل. وبحساب المليجرام المكافئ لجميع العناصر الرئيسية (meq/l) لكل عينة كما ذكر سابقًا، وجد أن المياه يغلب عليها نوع كلوريد الصوديوم (NaCl).

من ناحية أخرى ، تشير مؤشرات التشبع إلى أن المياه الجوفية في معظمها متشبعة بمعدني الكالسيت والدولوميت، مما يدل على قدرة المياه على ترسيب هذين المعدنين، في حين تشير النتائج إلى أن المياه الجوفية تحت التشبع بالنسبة لمعدن الهاليت، مما يشير إلى قدرة المياه على إذابة هذا المعدن. من جانب آخر، أظهرت النتائج أن البعض من العينات مشبعة بمعدن الجبس، وخاصة في المناطق التي تتميز فيها المياه الجوفية بملوحة عالية ، لكن البعض من عينات المياه تشير إلى أن المياه تحت التشبع بالنسبة لهذا المعدن مما يستدل على قدرتها على ترسيب وإذابة معدن الجبس. أشارت نتائج تحليل حيود الأشعة السينية إلى

جدول (٣). نتائج التحليل الكيميائي للمياه الجوفية بمنطقة الجموم - بحرة بوحدة ملجم/ ل.

العناصر	القيمة الصغرى	القيمة العظمى	المتوسط
Na^+	٤٥٣,٣	٤٥٨٧,٠	١٩٦٦,٧
K^+	٢,٢	٩,١١	٤,٧
Ca^{2+}	٣٤٢,١	١٥١٢,٧	٧٧٥,٣
Mg^{2+}	١٠٩,٣	٦٧٤,٨	٣٣١,١
HCO_3^-	١٨٣,٠	٢٢٣,٠	٢٠٠,١
Cl^-	٨٩٠,٢	٨٨٥٩,٠	٣٧٣٠,٠
SO_4^{2-}	٨٤٥,١	٤٥٦٣,٠	١٩٦٥,٠
مؤشر التشبع (كالسيت)	٠,٤١	١,٣٨	٠,٩٠
مؤشر التشبع (دولوميت)	١,٠٨	٢,٦٤	١,٨٥
مؤشر التشبع (جبس)	٠,٥٥-	٠,١١	٠,٢١-
مؤشر التشبع (هاليت)	٥,٠٩-	٣,٢١-	٤,٠٧-
الموصلية الكهربائية (ميكروسيمنس/ سم)	٥٤٠٠	٢٤٩٠٠	١٢٥٥٥
الأس الهيدروجيني	٧,١٢	٨,١١	٧,٦٠

أن معدني الكالسيت والدولوميت هما الأكثر شيوعا، يليهما معدن الجبس في عينات الأملاح المترسبة في مناطق الري ، إلى جانب معدن الكاولينيت. لم تظهر نتائج تحليل (XRD) وجود معدن الهاليت (NaCl) ضمن العينات المجمعة للأملاح المترسبة في ظل التمعدن العالي للمياه ، لكن تشير التغيرات في تركيز العناصر الرئيسية، على أن الاتجاه العام للتركيز الأيوني للمياه الجوفية هو:

$$Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$$

$$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$$

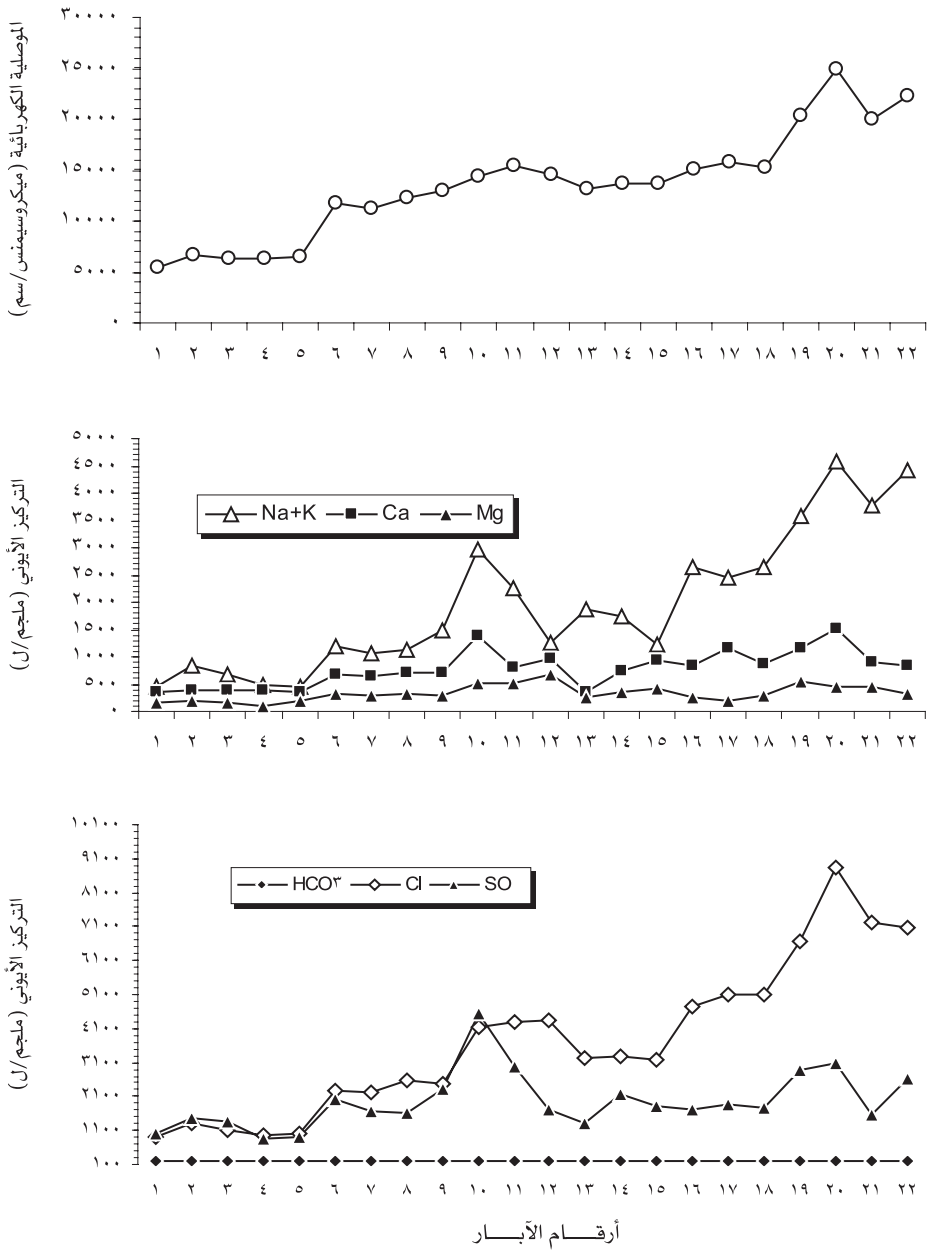
ولتوضيح مدى التغير في درجة الملوحة وتركيز العناصر الرئيسية في المياه الجوفية فقد تم تمثيلها بيانيا في الشكل (٥). حيث يلاحظ سيادة عنصري Na^+ و Cl^- في عينات المياه الجوفية وأن هنالك تفاوتًا كبيرًا وملحوظًا في درجة ملوحة المياه . ففي منطقة الجموم تتراوح الموصلية الكهربائية ما بين ٥٤٠٠ و ٦٧٥٠ ميكروسيمنس/ سم ، في حين تشير قياسات الموصلية الكهربائية إلى ارتفاع مفاجئ وملاحظ في درجة ملوحة المياه الجوفية في المنطقة الواقعة بين حدّا وبحرة، حيث تتراوح قيمها ما بين ١١٣٠٠، و٢٤٩٠٠ ميكروسيمنس/ سم ، بالرغم من قصر المسافة التي تفصلهما عن بعض، شكل (٣). تعتبر درجة ملوحة المياه الجوفية في منطقة الجموم مرتفعة إلى حد ما، لكن ربما تكون طبيعية إذا ما أخذنا بالاعتبار موقعها الجغرافي ، حيث إنها تقع في منطقة المصب من وادي فاطمة، وإن ارتفاع درجة ملوحة المياه الجوفية ربما بسبب إذابة المياه للأملاح والمعادن المكونة للخزان المائي أثناء حركتها في اتجاه مصب الوادي ، في حين أن الارتفاع المفاجئ لملوحة المياه في المنطقة بين حدّا وبحرة، ربما يمكن وصفه بأنه غير طبيعي .

أسباب تواجد نطاق الملوحة المرتفعة للمياه الجوفية بمناطق الدراسة

منطقة السيل الكبير

إن الاختلافات والتغيرات الكيميائية والهيدروجيولوجية في المتكون المائي بالمنطقة، ربما تقودنا إلى استنتاج أن هنالك عدم وجود تواصل هيدروليكي بين المجموعتين الأولى والثانية.

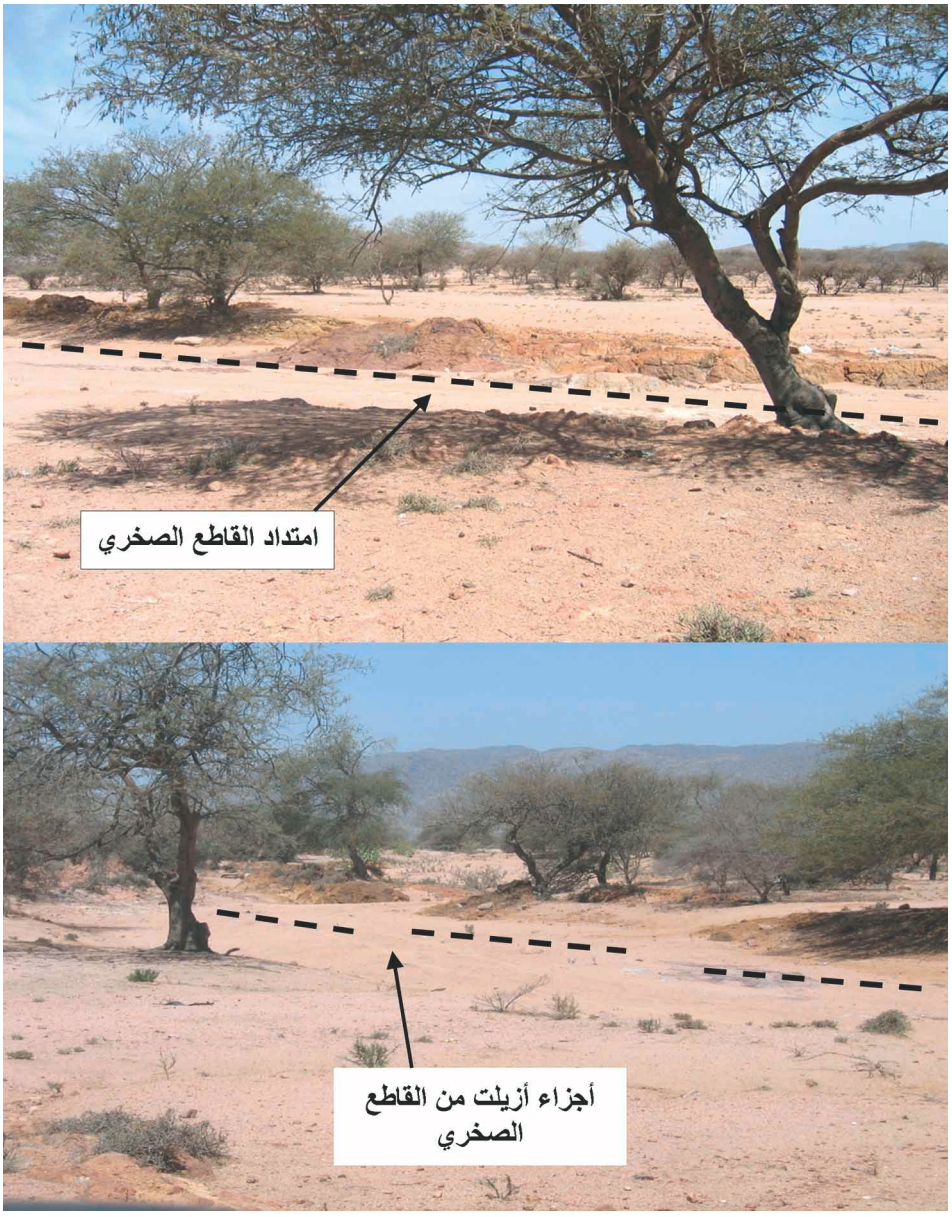
إن عدم الاستمرارية الهيدروليكية ربما نتج عن وجود حاجز مائي يعيق حركة المياه



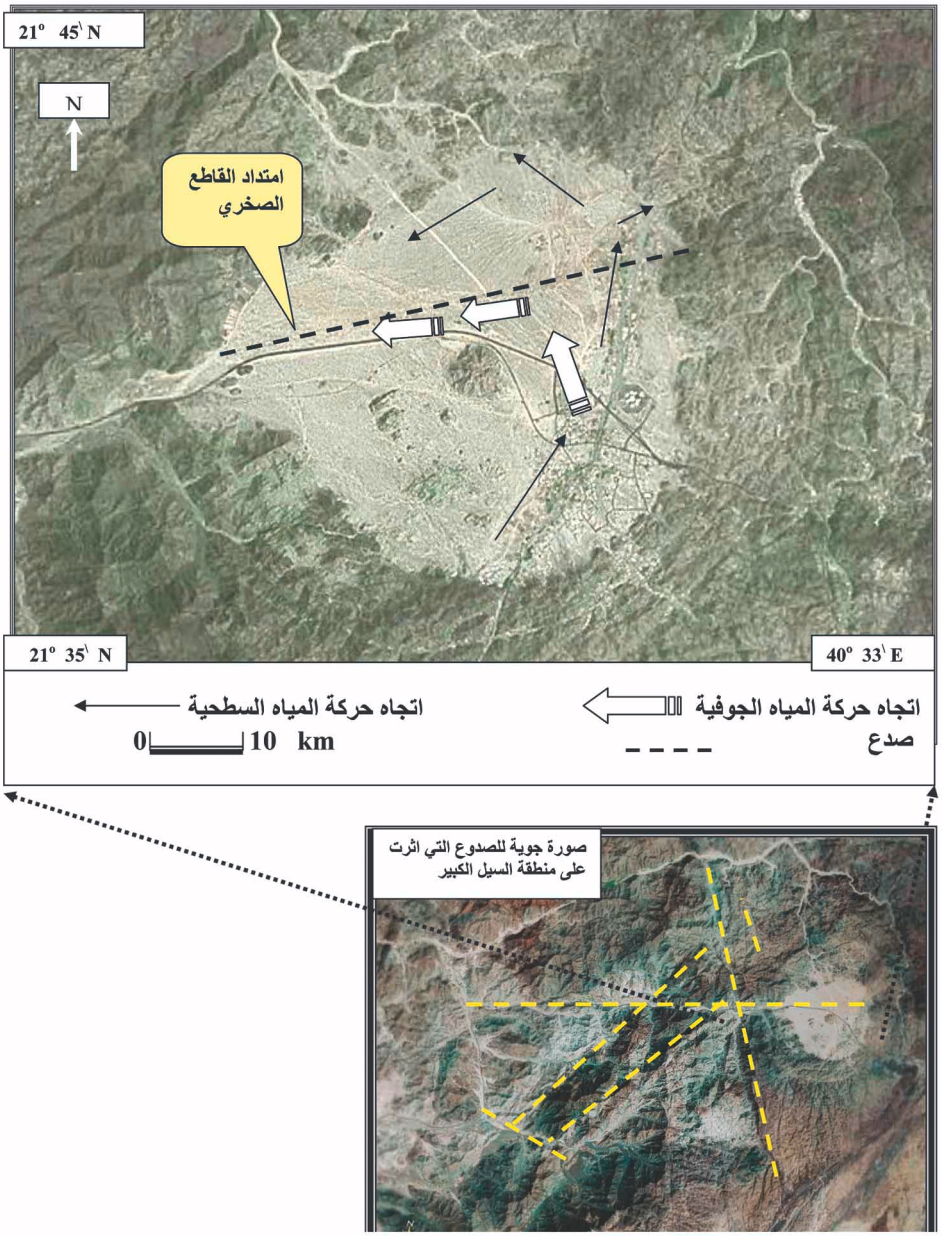
شكل (٥). التركيب الكيميائي للمياه الجوفية بمنطقة الجموم - بحرة .

بحرية نحو الشمال، بالرغم من عدم وضوح ذلك من حركة المياه الجوفية (شكل ٢)، نظرًا للفارق البسيط في مستويات المياه الجوفية لكلا المجموعتين. إن استنتاج وجود حاجز مائي من المحتمل أن يكون جوهريًا إذا ما تم ربطه مع وجود آثار قاطع صخري (Dike) ممتد من جهة الغرب في اتجاه الشرق يتكون من صخر الأنديزيت شكل (٦) . لم يكن من السهل متابعة امتداد القاطع الصخري لمسافة طويلة، وهذا يعزى إلى تعرض القاطع الصخري للتجوية الفيزيائية والكيميائية والتي أزالت أجزاء كبيرة منه، وأصبح من خلالها مرور مجاري سطحية لجداول صغيرة، ويحتمل أن يكون الشق (Fracture) والذي امتلىء بمواد القاطع الصخري، هو امتداد لصدع وادي اليمانية ، والمتجه من الغرب نحو الشرق، ويمكن ملاحظة امتداد صدع وادي اليمانية من خلال الصورة الجوية (شكل ٧)، والتي يظهر فيها إزاحة أفقية نحو الشرق، نتيجة حدوث الصدع . ولهذا، ونتيجة لوجود القاطع الصخري ، فإن حركة المياه الجوفية والمتجهة من الجنوب في اتجاه الشمال، تمت إعاقتها وعدل مسار حركتها نحو الغرب في اتجاه وادي اليمانية، وهذا يفسر انخفاض درجة ملوحة المياه في الجزء الجنوبي ، نتيجة استقبالها مياه جوفية متجددة وباستمرار من جهة الجنوب، ويفسر ذلك أيضا بأن غالبية نوعية المياه الجوفية في هذا الجزء، هي من النوع بيكربونات الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$ والتي تماثل نوعية مياه التغذية للمتكون المائي (مياه الأمطار) (انظر جدول ١). إضافة إلى وجود مؤشر آخر محتمل يدعم وجود تأثير الحاجز الصخري على حركة المياه الجوفية. فنتائج التحليل الكيميائي لعينات المياه الجوفية التي تم جمعها من وادي اليمانية (شكل ٢)، تشير إلى أن التركيب الكيميائي والموصلية الكهربائية لهذه العينات تكاد تزيد قليلاً عن التركيب الكيميائي للمياه الجوفية في الجزء الجنوبي من منطقة السيل الكبير (جدول٣)، وقد يعزى وجود هذه الزيادة القليلة ، والتي تلاحظ في تراكيز العناصر، إلى عمليات التفاعلات الكيميائية بين المياه الجوفية والمواد الفتاتية ، والصخور المكونة للخزان الجوفي ، خلال حركة المياه الجوفية في مسارها نحو وادي اليمانية. ولهذا يعتبر الجزء الشمالي من المنطقة حوضًا مائيًا شبه معزول، بوجود الحاجز الصخري ، أو بعبارة أخرى حاجزًا مائيًا مسببًا عدم وصول مياه جوفية متجددة وباستمرار، وهذا يفسر ارتفاع درجة ملوحة المياه في تلك المنطقة.

من جانب آخر وبالرغم من وجود القاطع الصخري ، إلا أنه لا يمكن استبعاد وجود حركة للمياه الجوفية من خلاله عبر الشقوق الدقيقة إلى الجزء الشمالي. فقد لوحظ



شكل (٦). امتداد القاطع الصخري بمنطقة السيل الكبير .

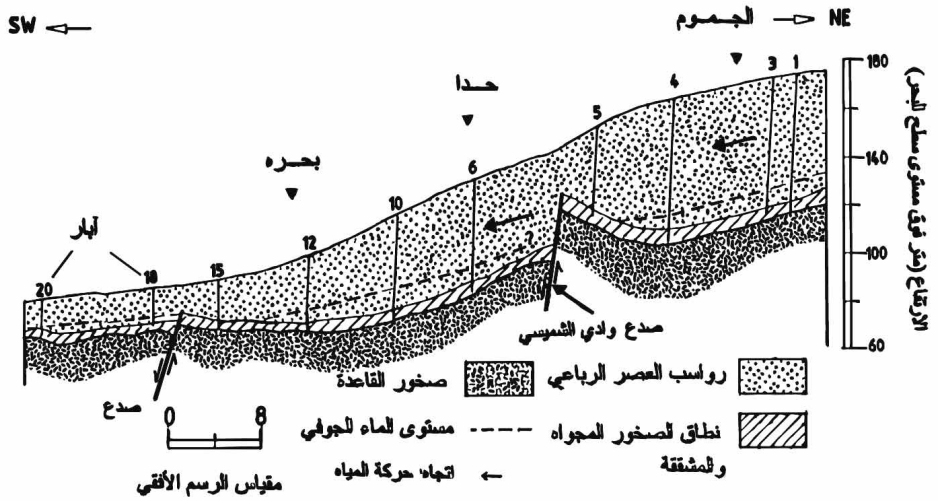


شكل (٧). صورة جوية لصدع وادي اليمانية .

وجود هذه الشقوق الدقيقة في أجزاء متفرقة على السطح الخارجي للقاطع الصخري ، إلا أنه يعتقد أن معدلات مرور المياه من خلاله ضئيلة، وتأثيرها على تغير نوعية المياه في ذلك الجزء يمكن اعتباره عاملاً غير مؤثر في ظل وجود الفارق في درجة ملوحة المياه بين الجزأين لفترات زمنية طويلة ، كما أفاد بها السكان المحليون.

منطقة الجموم – بحرة

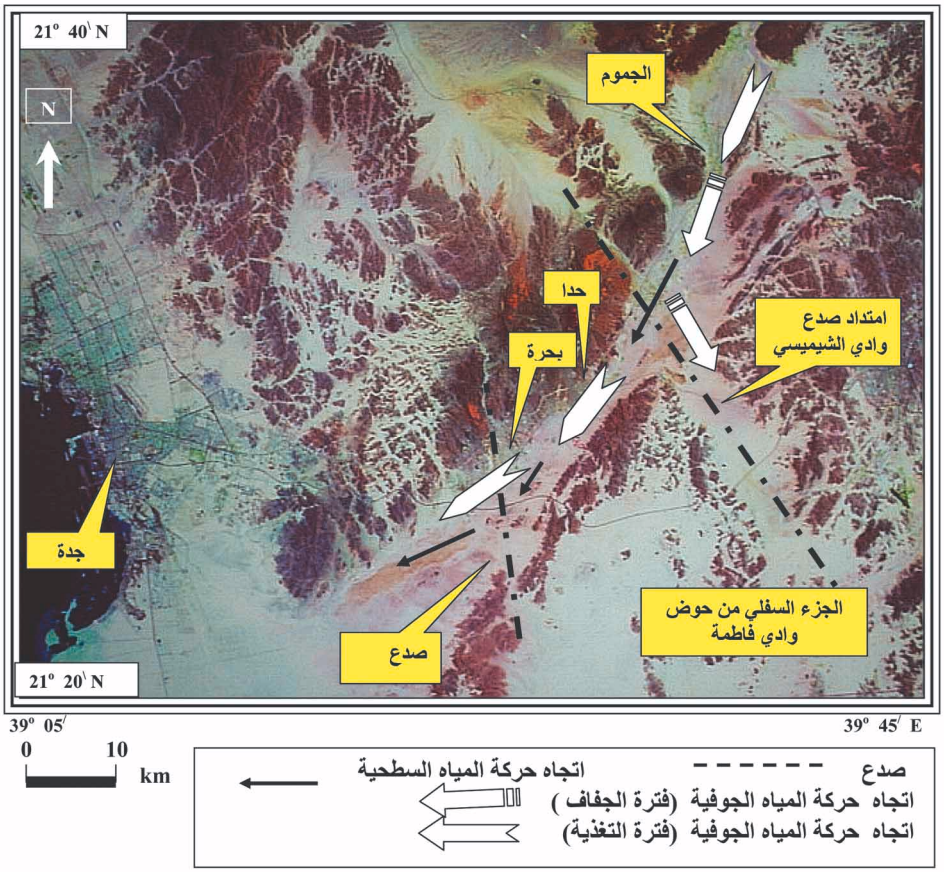
يلاحظ من بيانات الأعماق الكلية للآبار أن هنالك تفاوتًا ملحوظًا في العمق الكلي للآبار، فالآبار الواقعة في منطقة الجموم تتميز بأعماق كبيرة نسبيًا عن الآبار الواقعة بين منطقة حدّا ، والآبار الواقعة في منطقة بحرة عن تلك الآبار التي تقع بالقرب من مخرج الوادي . باستخدام هذه البيانات وقياسات مستوى الماء الجوفي والخرائط الطبوغرافية للمنطقة ، تم رسم قطاع طولي لتوضيح التغير في تضاريس سطح صخور القاعدة، شكل (٨). يلاحظ من القطاع الطولي وجود تغيرات في عمق سطح صخور القاعدة، وهذا بدوره ينعكس على سمك الرواسب الوديانية. يتراوح عمق صخور القاعدة ما بين ١٠ إلى ٥٠م . كما يلاحظ أن سمك الرواسب الوديانية تزداد في الجزء العلوي حول منطقة الجموم، ويقل السمك في اتجاه مصب الوادي. هذا الاختلاف الملاحظ في سمك الرواسب ، ربما يتوافق مع عمق صخور القاعدة الصلبة في الأسفل. الانخفاض



شكل (٨). قطاع طولي يوضح التغيُّر في تضاريس سطح صخور القاعدة.

الملحوظ في حجم سمك الرواسب في اتجاه المصب يعتبر أمراً غير طبيعي ، حيث يفترض أن يزداد السمك في اتجاه المصب، لأنه يعتبر المرحلة النهائية لعمليات الترسيب في الوادي . إن فرضية تداخل مياه البحر وتأثيرها على نوعية المياه الجوفية بمنطقة حدّا وبحرة، ربما يكون أمراً مستبعداً نظراً لارتفاع مستوى الماء الجوفي في تلك المناطق عن مستوى مياه البحر نحو (٦٠ مترا)، أضف إلى ذلك نتائج التحليل الكيميائي لثلاث عينات من مياه البحر، والتي تظهر أن متوسط المجموع الكلي للأملاح الصلبة المذابة Total Dissolved Solids (TDS) يصل إلى ٤٢٤٠٠ ملجم/ ل، وهو يفوق ما تم تحديده في عينات المياه الجوفية بتلك المنطقة والتي تصل في أقصاها إلى ١٨٦٢٢ملجم/ ل (عينة رقم ٢٠). يستدل من الاختلافات في عمق سطح صخور القاعدة وسمك الرواسب، إن منطقة المصب لحوض وادي فاطمة تأثر بحركات أرضية نتج عنها رفعًا لصخور القاعدة الصلبة للمتكون المائي الموجود في المنطقة. يلاحظ من الشكل (٨) وجود موقعين لصخور القاعدة على عمق ضحل من سطح الأرض: الأول في الجزء الأوسط من القطاع، والثاني بالقرب من مخرج وادي فاطمة. إن دراسة الصورة الجوية لمنطقة الدراسة (شكل ٩) تظهر أن ارتفاع سطح صخور القاعدة في الجزء الأوسط للمنطقة تشكل نتيجة امتداد صدع وادي الشميسي (Al-Shanti, 1966) والممتد من الجنوب الشرقي نحو الشمال الغربي ، كما هو موضح في الشكل (٩). كذلك توضح الصورة الجوية وجود إزاحة في صخور ماقبل الكمبري الطباقية بالقرب من مخرج وادي فاطمة، وهذه الإزاحة ربما حدثت بفعل الصدع والممتد من الجنوب الغربي والمتجه نحو الشمال الشرقي. إن تأثير الصدعين ربما شكل بينهما حوضًا مائيًا جوفيًا شبه معزول، يتميز بمياه عالية الملوحة . هذا الاستنتاج يتوافق مع الدراسة الجيوفيزيائية التي أجريت في الجزء السفلي من وادي فاطمة (Kotb *et al.,* 1983)، حيث أظهرت تقاربًا في النتائج التي تحدد عمق صخور القاعدة مع الدراسة الحالية تقريبًا.

من خلال نتائج التحليل الكيميائي للمياه الجوفية، ووجود التراكيب الجيولوجية المشار اليها، يعتقد أن امتداد صدع الشميسي الذي يقطع مجرى وادي فاطمة والمتجه نحو الشمال الغربي، يلعب دوراً مهمًا في التأثير على نوعية المياه في المنطقة الواقعة بين منطقة حدّا وبحرة. تأثير صدع الشميسي والذي نتج عنه ارتفاعًا لسطح صخور القاعدة للمتكون المائي ، له أثر أيضًا على حركة المياه الجوفية القادمة عبر المجرى الرئيسي لوادي



شكل (٩). صورة جوية توضح امتداد الصدعين بمنطقة بحرة – حدّا .

فاطمة ، والمتجهة نحو الجنوب الغربي في اتجاه البحر الأحمر. كما أن صدع وادي الشميسي ربما أثر في حركة المياه الجوفية بتغيير مسارها عبر مجرى وادي الشميسي في اتجاه الجنوب ، الأمر الذي أعاق تغذية الحوض المائي شبه المعزول لمياه جوفية متجددة قادمة عبر المجرى الرئيسي لوادي فاطمة، بالرغم من أن خريطة حركة المياه الجوفية لم تظهر وجود وضع غير اعتيادي في اتجاه حركتها (شكل ٣). لكن يعتقد حدوث عدم التواصل الهيدروليكي بين كل من الخزان المائي المتواجد في منطقة الجموم، وبين الخزان المائي شبه المعزول، في الفترات التي تقل فيها معدلات التغذية للمتكون المائي، أو حين تتعرض المنطقة لفترات جفاف طويلة، وبالتالي يستمر السريان الأساسي للمياه الجوفية أي حركة المياه الجوفية في فترات الجفاف التي تتعرض لها المنطقة من خلال مجرى

وادي الشميسي. ومن ناحية أخرى عند حدوث معدلات تغذية بكميات جيده للطبقة الحاملة للمياه في حوض فاطمة، تتأثر نوعية المياه المعزولة بين حدّا ومنطقة بحرة، كما هو ملاحظ في عام ١٩٩٨م (جدول ٤). قد يكون الانخفاض الحاصل في ملوحة المياه بين عامي ١٩٩٤م و ١٩٩٨م ناتج عن العاصفة المطرية التي حدثت في نوفمبر ١٩٩٦م، التي اجتاحت أجزاء كبيرة من المنطقة الغربية حيث بلغ متوسط هطول الأمطار أكثر من ٢٥٠ ملم في هذا الشهر ، والتي لم تشهدها المنطقة منذ نحو ٣٠ عامًا (Meteorological and Environmental Protection Administration (MEPA) 1996). ونتيجة التغذية التي تمت من جراء هذه العاصفة المطرية يحتمل حدوث تواصل هيدروليكي غيرمباشر من خلال حركة المياه الجوفية عبر النطاق المجوى والمتشقق لصخور القاعدة، والذي قد لا يكون كافيًا لتخفيف درجة ملوحة المياه الجوفية شبه المعزولة بين منطقتي حدّا وبحرة. يلاحظ في قياسات الموصلية الكهربائية لعام ١٩٩٨م عدم حدوث تغير نوعي هام لدرجة الملوحة للمياه لتلك أيضا . يستدل من التغير الحاصل في ملوحة المياه الجوفية بمنطقة الجموم على تأثر هذه المياه الجوفية بتغذية متجددة تتفاوت في معدلاتها، بينما لم يلاحظ أي تغير مهم في درجة ملوحة المياه في المنطقة بين حدّا وبحرة، وهذا يؤكد عدم استقبالها لمياه تغذية بكميات كبيرة تكفي إلى خفض درجة الملوحة العالية، بالرغم من تعرض المنطقة إلى معدلات تغذية كبيرة نتيجة العاصفة المطرية في عام ١٩٩٦م . الصور الأخرى لتغذية مباشرة لخزان المياه الجوفية شبه المعزولة تتم من خلال تساقط الأمطار مباشرة، أو من خلال ما يرشح من مياه سيول تولدت بفعل الأمطار الغزيرة ، والتي تجري عبر المجرى الرئيسي لوادي فاطمة مروراً بهذه المنطقة ، ولكن يعتقد أنها ذات تأثير بسيط على نوعية المياه الجوفية المعزولة.

جدول (٤). قياسات الموصلية الكهربائية لفترات سابقة.

السنـــــــة	الموصلية الكهربائية (ميكروسيمنس/ سم)		
	الجموم	حدّا	بحرة
١٩٩٤*	٥٤٨٠ – ٧٤٠٠	٩٧٣٠ – ١٣٨٨٠	١٤٧٠٠ – ٢٥٦٠٠
١٩٩٨**	٤٤٠٠ – ٦٥٠٠	٩٣٠٠ – ١٥٣٧٠	١٣٥٦٠ – ٢٢٣٥٠
الدراسة الحالية ٢٠٠٤	٥٤٠٠ – ٦٧٥٠	١١٣٠٠ – ١٤٣٩٠	١٣٢١٠ – ٢٤٩٠٠

* Al-Kulibi (1994)

** Bokhari (1998)

الاستنتاجـــات

أظهرت الدراسة الحالية ومن واقع قياسات مستوى المياه الجوفية والأعماق الكلية للآبار المحفورة، وكذلك التركيب الكيميائي للمياه الجوفية، إلى أن أسباب تواجد نطاقات الملوحة المرتفعة للمياه الجوفية في كل من منطقة السيل الكبير ومنطقة الجموم – بحرة بحوض وادي فاطمة، يعزى في الأساس إلى تأثر هذه المناطق بصدوع موجودة، والتي لعبت دورًا هامًا ومؤثرًا في تشكيل خزانات مياه جوفية شبه معزولة، نتيجة إعاقتها لحركة المياه الجوفية السائدة في تلك المناطق في الوصول إلى تلك الأجزاء، والتي تتميز باحتوائها على مياه جوفية عالية الملوحة.

المـــراجـــع

Al-Kulibi, Y. (1994) *Study and Determination of Groundwater Quality in Wadi Fatimah,* Unpublished Report, Faculty of Earth Sciences, King Abdulaziz Uni., Jeddah (In Arabic).

Al-Shanti, A.M. (1966) Oolitic iron deposits in Wadi Fatima between Jeddah and Makkah, *Saudi Arabian Dir. Gen. Miner. Resour. Bull.,* **2:** 51.

Alyamani, M.S. and **Hussein, M.T.** (1995) Hydrochemical study of groundwater in recharge area, Wade Fatimah basin, Saudi Arabia, *Geo. Journal,* **37**(1): 81-89.

Alyamani, M.S. (1999) *Physio-Chemical Processes on Groundwater Chemistry, Under Arid Climatic Conditions, Western Province, Saudi Arabia,* Proj. No. 203/418, King Abdulaziz Uni., Jeddah, Saudi Arabia.

Bokhari, A.Y. (1998) *Farm Locations Survey in Fatimah and Usfan Basins and their Need for Purified Water from the Purification Station South of Makkah Al-Mukarmah,* Unpublished Report, 76 p.

Kotb, H., Hakim, H. and **Zaidi, S.** (1983) A geochemical and geophysical investigation of groundwater in Wadi Fatima, *Bull. of the Faculty of Earth Sciences,* **5:** 135-152.

Meteorological and Environmental Protection Administration (MEPA) (1996) *Climatic and Information Section,* Jeddah, Saudi Arabia.

Moore, T.A. and **Al-Rehaili, M.H.** (1989) Geologic map of the Makkah quadrangle, Sheet 21D, Kingdom of Saudi Arabia: Saudi Arabian Directorate General of Mineral Resources, *Geoscience map GM-107C,* 1:250,000 scale.

Phreeqc Interactive Alpha (2001) *US Geological Survey,* V. 2.4.2, Denver, USA.

Sharaf, M.A., Alyamani, M.S. and **Subyani, A.M.** (2004) *Regional Study of Rare and Trace Elements in the Groundwater of Major Wadi Basins (Fatimah, An Numan and Usfan), Western Saudi Arabia and their Suitability for Various Purposes Municipal, Agricultural and Industrial ,* Proj. No. (204/424), King Abdulaziz Uni., Jeddah.

Hydrogeological and Hydrochemical Indications of Faults Control on Groundwater Flow and Quality in Wadi Fatimah Basin, Western Part of Saudi Arabia

Mahmoud Said Alyamani
Faculty of Earth Science, Hydrogeology Department
King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia

Abstract. The measurements of the water table and total depths of the drilled wells and the chemical composition of the groundwater, indicated that the occurrence of highly saline water zones in Al Sail Al Kabir and Al Jumum - Bahrah areas located within Fatimah basin, might be attributed to faults that occur in these regions. It is believed that these faults might have played an important role in developing semi-isolated groundwater basins due to their influence on free groundwater flow to these isolated basins, that contain highly saline water. In Al Sail Al Kabir region, it was observed that a dike extending east-west, which is probably a trace of the extension of Wadi Al Yamaniyyah fault, divided the area into two main parts; the southern and northern. In the southern part, the groundwater salinity is low, and the EC measurements ranged from 866 to 1689 mS/cm, whereas, in the northern part the groundwater salinity varied between 3420 and 5020 mS/cm. The presence of this dike may constitute a groundwater barrier that impeded the groundwater general flow from the south to the north direction. This may modify the groundwater path way toward the west to Wadi Al Yamaniyyah. On the other hand, in Al Jumum-Bahrah region, the EC measurements show that the groundwater salinity varies between 5400 and 24900 mS/cm, and the highly mineralized water zone exists between Hadda and Bahrah. The well records, as well as the geophysical survey carried out in this area indicate, that the presence of highly mineralized groundwater zone might be attributed to the effect of the extension of the Shumaysi fault that runs northwesterly. This fault might have elevated the aquifer bedrock to a shallower level in this area, which in turn blocked the groundwater flow throughout the main channel of the wadi basin, and probably was modified towards Wadi Shumaysi. The landsat image indicates another fault located in the vicinity of the outlet of the Fatimah basin, and runs in a north-east direction. It might have uplifted the bedrock as well. The effects of these two buried faults had probably formed a semi-isolated basin that contains highly saline groundwater.