تأثير الشقوق الحديثة على مستوى المياه الجوفية

في منطقة الجاهلي/ شمال غرب صنعاء

الدكتور مصطفى رشيد العبيدي

جامعة صنعاء/ كلية الآداب/ قسم الجغرافيا

المقدمة:

تقع منطقة الجاهلي شمال غرب مدينة صنعاء على بعد حوالي ١٥ كم . في الوقت الحالي عام ٢٠٠٩ م وفي هذه المنطقة ظهرت شقوق حديثة وفواصل مع حفر قد تم تسجيلها وتحديد مواقعها (لوحة ١و٢) وهي تمثل أحد أهم الظواهر الجيولوجية الحديثة في حوض صنعاء وفي أحواض أخرى مثل حوض جهران وبكيل وصرواح- مأرب (هيئة المساحة الجيولوجية ٢٠٠٧و٢٠٠٨)، وجميعها ظهرت أثناء السنوات الأخيرة، ولها اتجاهات محددة تقع معظمها في اتجاه شمال غرب موازية لحافة البحر الأحمر وتقع أيضا في اتجاه شمال شرق موازية للصد وع القديمة المنتشرة في اليمن . أثرت هذه الشقوق الأرضية بشكل كبير على مستويات المياه الجوفية ونضوب المياه السطحية في هذه الأحواض وكذلك على الأبنية والآبار وطرق المواصلات وغيرها (Al-Ubaidi 2008).

لوحة (١) تبين تأثير الشقوق على أنابيب المياه

لوحة (٢) تبين أحد الشقوق في المنطقة

أسباب نشوء الشقوق الأرضية:

لكي نفهم عمليات الانهيارات التي تحصل للصخور أو للتربة فإن ذلك يتطلب دراسة منشأ الكسور وميكانيكيتها وتحليل الاجتهادات القديمة والحديثة (*Paleostress and new stress*) التطور الجيوداينميكي للتشوهات التكتونية. استخدمت في هذه الدراسة الفواصل والشقوق والصدوع لتحليل نوع العلاقات بين الاجتهادات المختلفة (*stress*) (Price 1966, Jaeger 1976). تعرف القوة (*Force*) بأنها كمية متجهة تغير أو تميل إلى إحداث تغير في حركة الجسم ، وأن القوة الغير متوازنة تسبب تغيرا في حركة الجسم. يمكن تحليل هذه القوة إلى مركبتين باتجاهين محددين على سطح الكسر المائل الأولى هي مركبة القوة *العمودية* (*Fn*).والمركبة الثانية هي القوة المماسية (Fs) . تكون مركبة القوة العمودية إما قوة كابسة (*compressive*)، عندما تدفع المادة

باتجاهين متقابلين في المستوى نفسه أو تكون قوة شد (Anderson 1942, Paterson 1978).

إن الكسور (Fractures) أو الشقوق (Fissures) هي ظواهر على السطح تكون إما شقوق نظامية (تكتونية) أو غير نظامية (غير تكتونية) وهي تمثل ظاهرة تركيبية هندسية تتعرض لها الصخور وهي ليست خطوط وإنما هي عبارة عن مستويات ذات بعدين تغور إلى العمق باتجاهات وميلان تختلف حسب اتجاه ومقدار القوة المؤثرة في نوع الصخور. إن هذه التشققات إما أن تكون متوازية تمثل مجموعة واحدة (set) أو متقاطعة من مجموعتين وبزاوية حادة تمثل نظام هندسي واحد (system) أو من عدة أنظمة. وأن كل نظام من هذه التشققات له ترتيب هندسي خاص من حيث توزيع الأجهادات الرئيسية (Hobbs et a 1978, Hancock 1985).

استنادا إلى ما ذكر أعلاه فإن الغطاء الصخري في منطقة الدراسة تعرض إلى قوى مختلفة سببت في تكوين الكسور المختلفة من فواصل أو صدوع أو شقوق على شكل مجاميع وأنظمة. أظهرت الخارطة الجيولوجية اليمنية وصور الأقمار الصناعية أنواع واتجاهات مختلفة للكسور أو التشققات منها ما هو ناتج عن عمليات الضغط (compression) أو ناتجة عن عمليات السحب (Tension) بسبب الوضع التكتوني للمنطقة. تتعرض هذه المناطق إلى ضغوط عمودية بسبب الثقل الصخري أو ضغوط أفقية تكتونية تبدأ من الحافات البنائية في وسط كلا من البحر الأحمر و خليج عدن مما أدى إلى تكوين أنظمة ومجاميع من هذه التشققات باتجاهات مختلفة. ربما تكونت هذه التشققات في السابق ثم تم إعادة نشاطها بعد ذلك أو أنها تكونت بسبب ضعف مقاومة الصخور ووصولها إلى حالة الانهيار(Rupture) بسبب ضغوط حديثة (Davison 1994, Hunchon and Kanbari 2003).

الغاية من الدراسة :

تحديد أسباب تعرض بعض آبار المياه ومنها (١٨- ٢٠ بئر)، وبصورة فجائية في منطقة الجاهلي إلى أضرار أدت إلى توقف و تهشم بعض هذه الآبار مع هبوط وانخفاض سريع في مستويات المياه الجوفية في هذه المنطقة بحدود ١٥- ١٨ متر أثناء العام الحالي. الفرضيات:شققات الأرضية مستمرة في الانتشار باتجاه الشمال والجنوب على امتداد الصد وع والسدود العمودية التحت سطحية (Al-Ubaidi 2009).

الفرضيات :

تتعرض الصخور اليمنية إلى إعادة نشاط (Reactivation) في مناطق ضعف سابقة بسبب قوى تكتونية حديثة (neotectonic). وأن المنطقة تأثير في إجهاد محلي، و إلى إجهادات إقليمية . وأن للمياه تأثيراً في إعادة النشاط أو في انهيار الصخور وتكوين التشققات. إن أسباب حدوث ظاهرة التشققات يعود إلى افتراضات كثيرة منها:

١- قرب منطقة الدراسة من مناطق النشاط الزلزالي أو الحافة البنائية للصفيحة العربية.

٢- تأثير المياه وخاصةً الأمطار والمياه الفي حواف التقليل من مقدار الإجهاد العمودي وزيادة الاجتهادات القصية (shear stress) المسببة في تكون التشققات. أو قد تنشا مثل هذه الشقوق الأرضية عادة في حواف الأحواض الرسوبية والتي تشكل مصدرا رئيسا للمياه الجوفية.

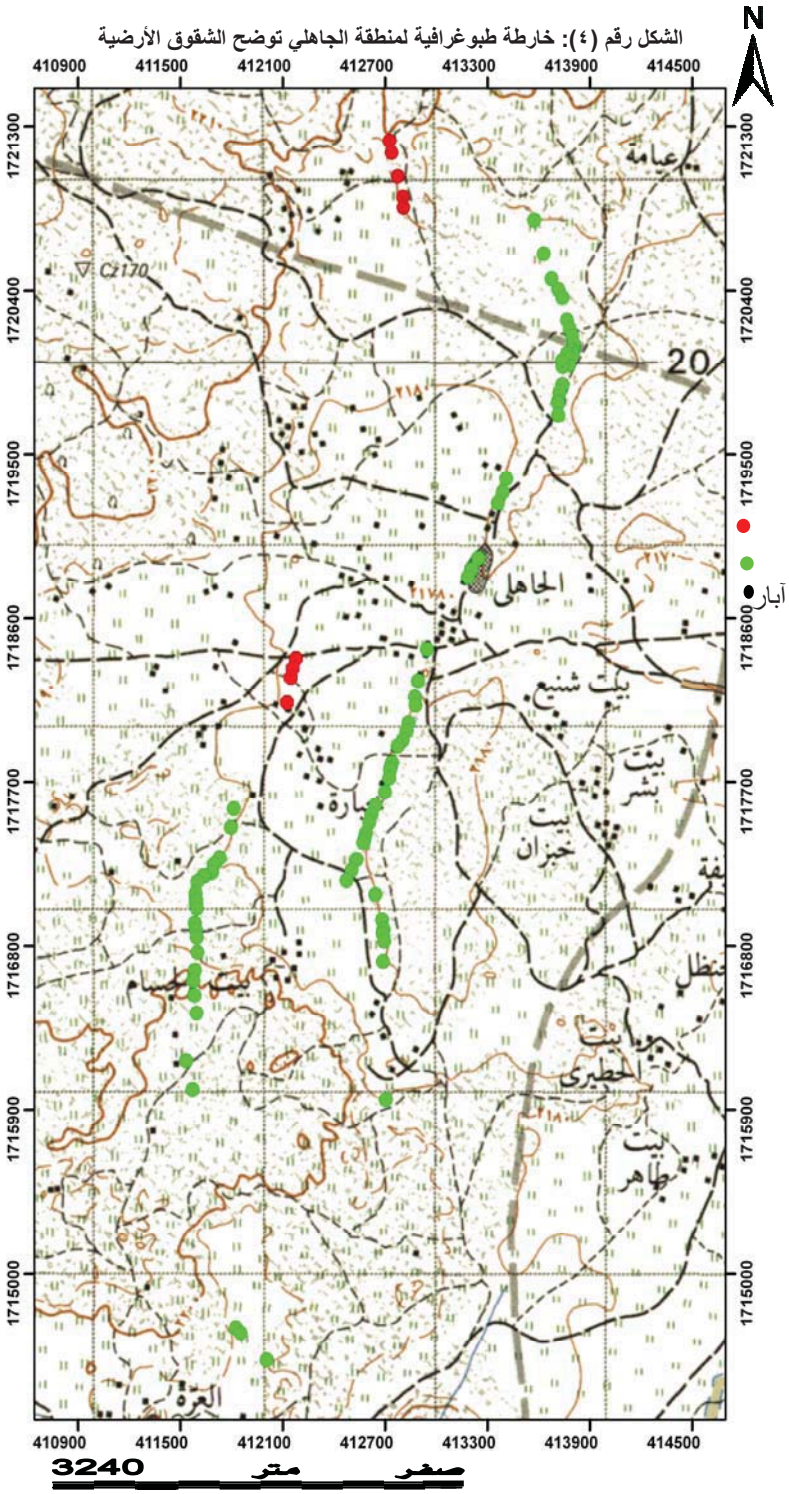
الأهداف:

تحديد علاقة هذه الشقوق والكسور بظاهرة انخفاض ونضوب بعض الآبار وتعرضها إلى أضرار لمعرفة مقدار الضغوط والتشويه التي تعرضت لها هذه الآبار أثناء أي نشاط تكتوني طبيعي وكذلك لأي نشاط بشري و تاريخ النشاط لهذه الشقوق ؟ وهل أن هذه الشقوق لا زالت نشطة؟ وما هي المناطق التي تعرضت سابقاً ؟ ومن هي المناطق التي ستتعرض للتشقق لاحقاً .

موقع المنطقة:

تقع منطقة الجاهلي شمال غرب صنعاء (شكل ١) .منطقة الشقوق الرئيسية تمثل جزء من حوض رسوبي يرتفع حوالي ٢٢٠٠م عن سطح البحر وتحيط به جزيئا التلال المتكونة من المخاريط البركانية أو أثارها و الخارطة (١) تمثل مواقع التشققات في منطقة الجاهلي شمال منطقة مطار صنعاء وهي تمثل الامتداد الشمالي للشقوق فقط أما الامتداد الجنوبي فأنه يقع ضمن المناطق الجنوبية من جبل العرة.

الشكل رقم (٤): خارطة طبوغرافية لمنطقة الجاهلي توضح الشقوق الأرضية



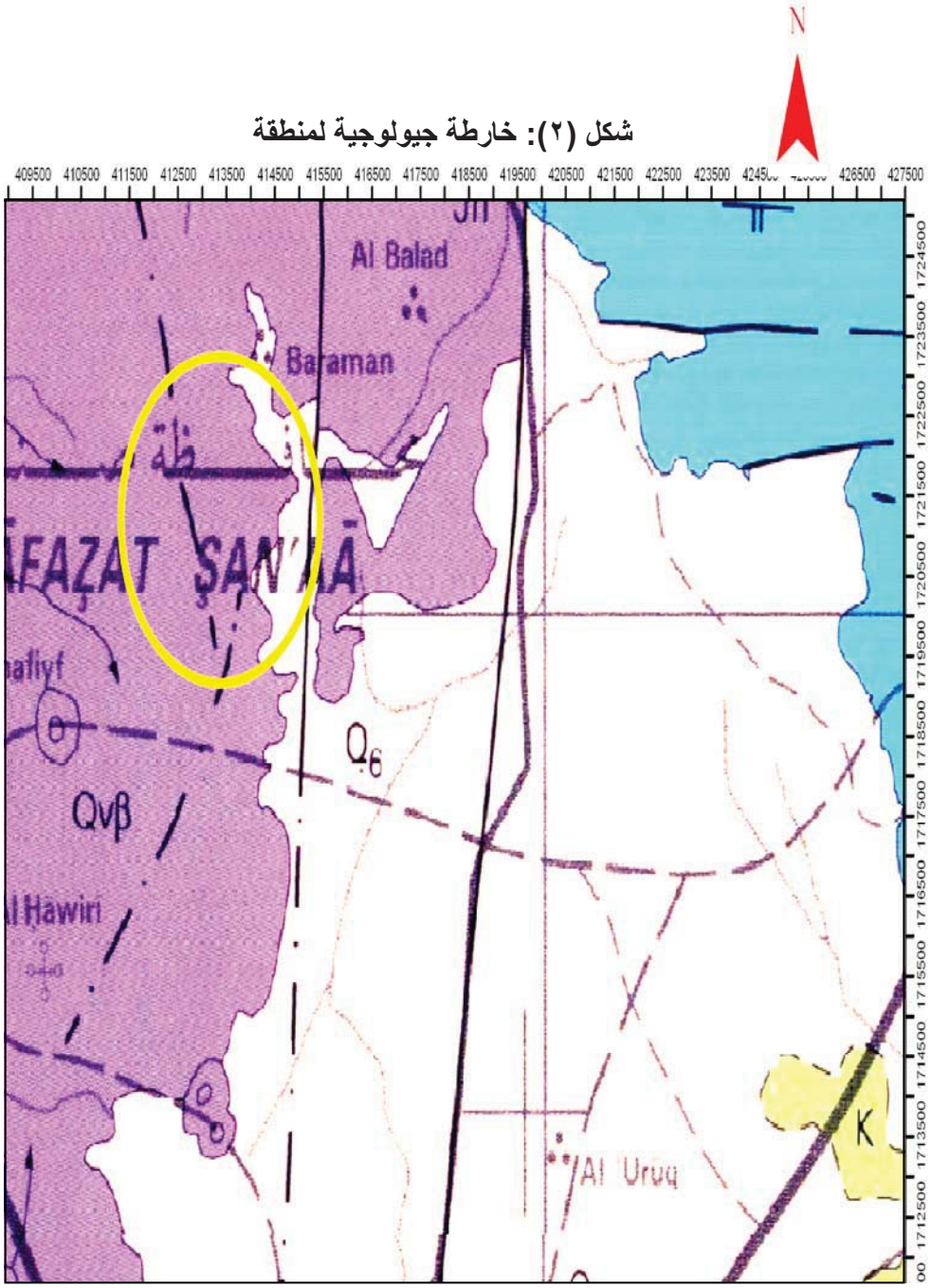
تبلغ مساحة المنطقة التي تمت دراستها والمتعرضة للضرر حوالي ٨,٦ كم٢ بطول ٣,٦ كم وبعرض ٢,٤ كم . تقع هذه المنطقة بين جبل العرة البركاني في الجنوب ومنطقة الجاهلي الشمالي في الشمال.

جيولوجية وطبوغرافية المنطقة:

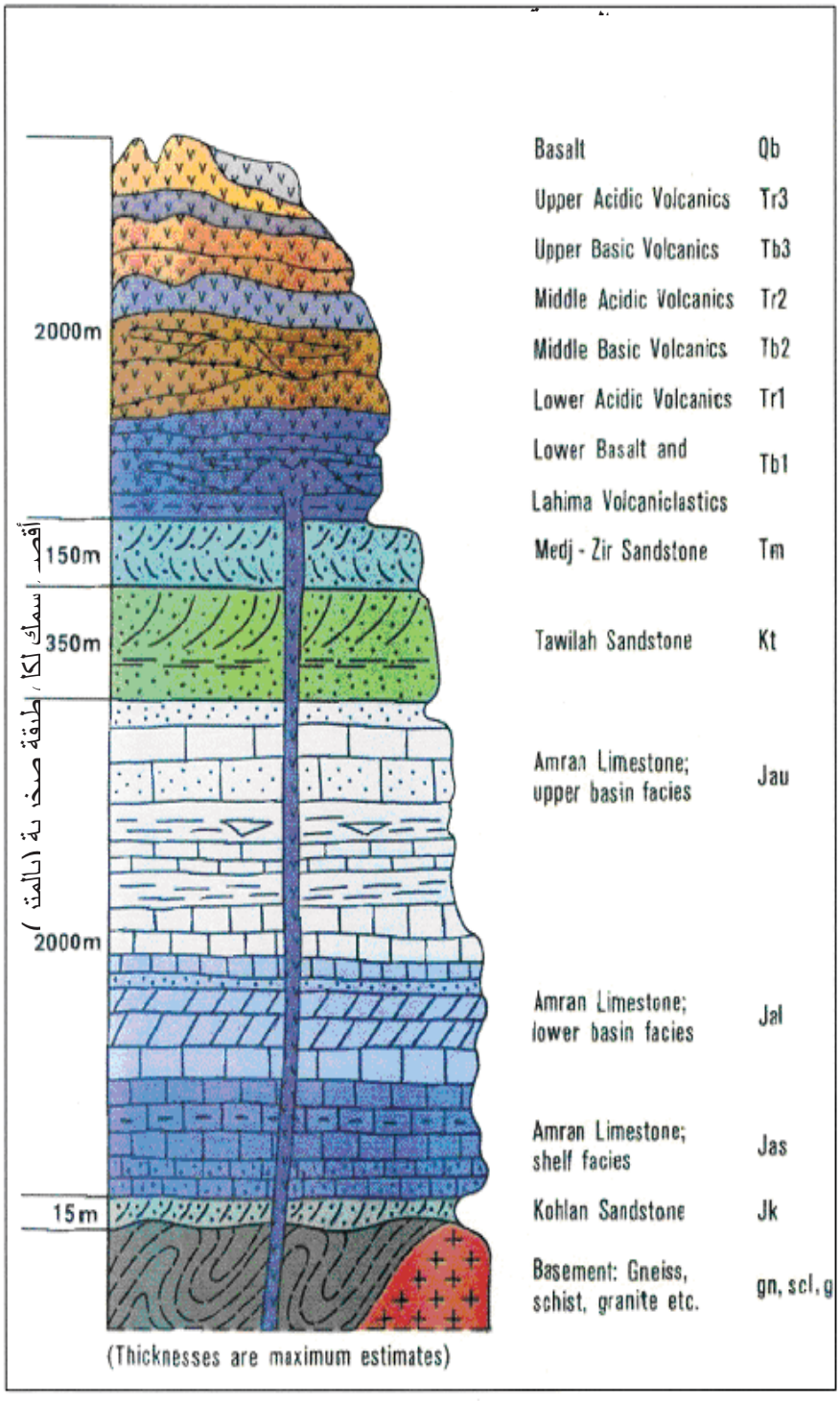
تمتاز منطقة الدراسة بأشكال تركيبية صخرية معقدة ويعود سبب ذلك للحركات التكتونية القديمة والحديثة التي تعرضت لها هذه المنطقة (خارطة جيولوجية شكل ٢). تشكل منطقة الجاالحقل ٩٠، براكين الحين الرباعي المعروف بحقل صنعاء عمران التي تنتشر على هيئة مخاريط بركانية و رسوبيات حديثة، إذ يقع حقل صنعاء- عمران على الطريق الواصلة بين مدينتي صنعاء وعمران ويتركز في منطقة همدان التي تتميز بانتشار واسع للمخاريط البركانية. يتراوح طول هذا الحقل ٩٠ كم طولاً ويقدر أعلى عرض له بحوالي ٤٠ كم، مغطياً مساحة قدرت بـ٢٤٤٠كم٢.

يتكون حقل صنعاء- عمران من الصخور البركانية وعلى هيئة مخاريط ذات أشكال مختلفة بالإضافة إلى فرشات بازلتية ذات ألوان متدرجة من اللون الداكن إلى اللون الأسود الفاتح . بالإضافة إلى وجود القنابل البركانية والرماد البركاني ذات الأحجام المختلفة. يتواجد الخبث البركاني في هذا الحقل في مناطق تواجد المخاريط البركانية الرئيسية (٦٠ مخروط اسكوريا) والتي تكونت نتيجة ثورات بركانية متقطعة ومتعاقبة ينتهي نشاطها بالمقذوفات البازلتية والتي تعرف ببراكين استرومبلي (Strombolian Type). تتفاوت ارتفاعات المخاريط بين ٢٠ إلى ٥٠٠ متر وبأقطار قاعدية تصل إلى ١كم. تتألف هذه المخاريط من رواسب الخبث البركاني (الاسكوريا) التي تتداخل فيها طبقات من البر يشيا والقنابل البركانية. تتموضع المخاريط البركانية الحاوية لرواسب الخبث البركاني في هذا الحقل البركاني إما على صخور الحجر الرملي التابعة لمجموعة الطويلة التي يعود عمرها للعصر الطباشيري، أو على صخور الحجر الجيري التابعة لمجموعة عمران التي يعود عمرها للعصر الجو راسي . غطت الترسبات الحديثة المتكونة من خليط من الترب الطينية والرملية الناتجة من التجوية الكيميائية للصخور البازلتية والرماد البركاني المناطق المنخفضة. و تعمل هذه الرسوبيات على استقبال ماء المطر مباشرة وتختزنه لتكون الخزانات المائية الجوفية في المنطقة.

شكل (٢): خارطة جيولوجية لمنطقة



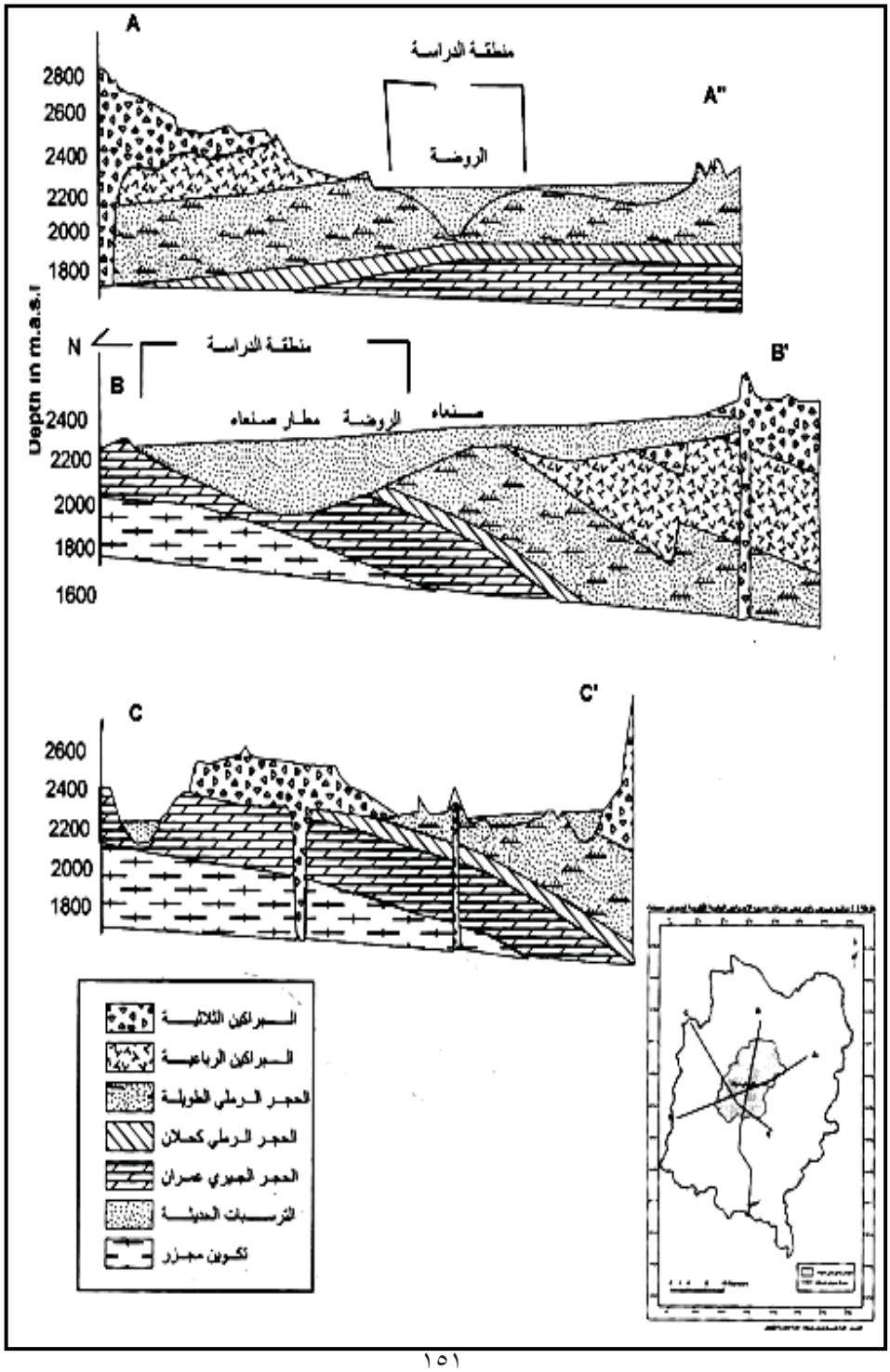
شكل (٣): عمود طباقي لمنطقة



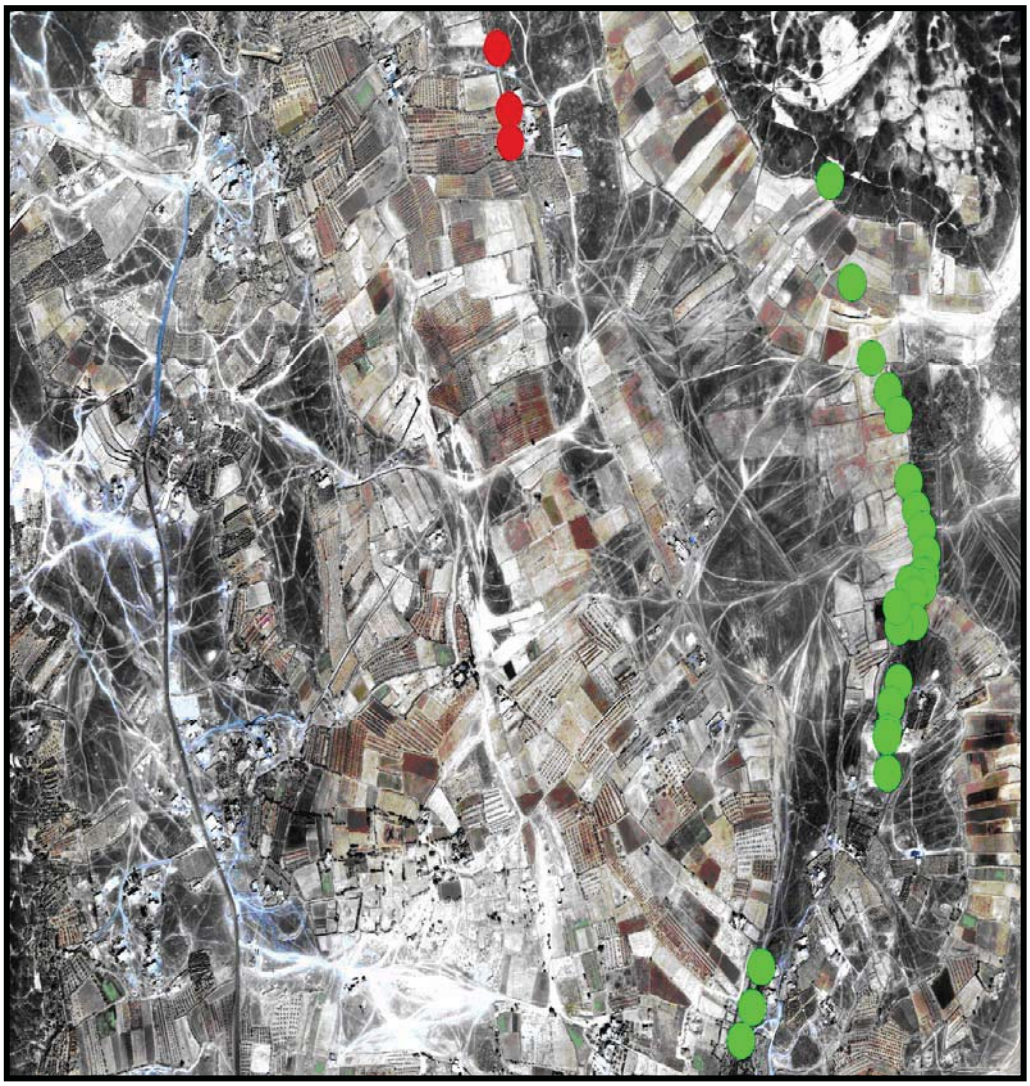
إن شكل المقاطع التركيبية في ميلان يعكس ضعف البنية أو الشكل التركيبي للطبقات الصخرية بسبب عمليات الطي والتصدع وما صاحبهما من تشوهات للصخور أظهر تبايناً واضحاً في عمق الحوض الترسيبي وانتشار الصدوع والطيات (شكل ٣). أن هذا الشكل يبين اختلاف في ميلان الطبقات الصخرية واختلاف في سمك الترسبات الحديثة حيث يزداد سمكها في مناطق المنخفضات الواقعة بين المصاطب أو الموائد البازلتية. إن هذا الاختلاف قد اثر على مستويات وحركة المياه الجوفية في المنطقة وعلى قوة الصخور والتربة ولذلك نتوقع ألا تشبه حركة المياه الجوفية حركة المياه السطحية في الاتجاه.

إن طبوغرافية منطقة من مصاطب هي عبارة عن هضبة بازلتية متموجة (شكل ٤). تتكون هذه المنطقة من مصاطب أو موائد بازلتية مرتفعة عن المناطق المجاورة لها بمقدار ٥- ٢٠ متر. تحيطها حواف صدعية عند حافات هذه الموائد أو المصاطب وتميل هذه الحواف بزاوية ميلان تصل إلى ٧٠ درجة. أما الأراضي المنخفضة فإنها تقع بين حافات هذه المصاطب تحدها الصدوع من جهاتها المختلفة. تحتوي المصاطب أو الموائد البازلتية للبركانيات الثلاثية على مجاميع من الكسور العمودية الغير نظامية والتي تكونت بسبب تقلص حجم الصهير البازلتي أثناء انسيابها على سطح الأرض مشكلةً بذلك خزانات حرة للمياه الجوفية وخاصة في فترات الأمطار لا يتجاوز عمق هذا الخزان المائي ١٠٠ متر تحت مستوى سطح الأرض .إن الشكل الطبوغرافي أو شكل سطح الأرض في هذه المنطقة لعب دورا رئيسيا في توزيع وعمق المياه الجوفية. كذلك سهل تواجد الحواف التصدعية والتي تمثل مناطق الصدوع القديمة، من غور المياه فأصبحت هذه الحواف مناطق موازية للشقوق الأرضية الحديثة نتيجة أعادة التنشيط.

شكل (٣): مقاطع جيولوجية تظهر الشكل التركيبي لمنطقة الدراسة من طيات و صدوع



شكل (٤) مرئية فضائية تبين طبوغرافية ومواقع الشقوق ومواقع الشقوق الأرضية



الظروف المناخية لمنطقة الدراسة: تقع منطقة الجاهلي في مناخ جاف نسبياً وتعد الأمطار المصدر الوحيد للمياه في المنطقة . يتباين معدل سقوط الأمطار بين ١٢٥ و ٢٥٠ ملم، أما معدل التبخر فيتراوح بين ٢٠٠٠ و٢٥٠٠ ملم. تنتمي منطقة الدراسة إلى إقليم المناخ المداري الجاف إذ يتراوح المعدل السنوي لدرجات الحرارة مابين١٧- ٢٥^{o}مئوية، أما من حيث معدل سقوط الأمطار فهي قليلة، إذ يتراوح المعدل السنوي لسقوط الأمطار ١٥٣ ملم سنوياً (اللساني ٢٠٠٣م). وتعمل الأمطار على تغذية المياه السطحية التي تجري على سطح الأرض (الأودية الرئيسية وفروعها) على مدار السنة.

إستراتيجية الدراسة :

إن المشكلة هي وجود الشقوق الحديثة لوحة (٣) حيث اشتملت الدراسة:

١ – أعمال ميدانية ودراسة زوايا ميلان الشقوق وامتدادها.و دراسة ميدانية للآبار من حيث عمقها وتاريخها ونوع الضرر.

و٢ – أعمال مكتبية : إسقاط فراغي لجميع القراءات الميدانية للشقوق والفواصل والصد وع (وذلك باستخدام شبكة شمدت)، والآبار القديمة والحديثة واستخراج العلاقات بينهما من أثناء رسم الخرائط المختلفة باستخدام الصور الجوية و الصور الفضائية .

المياه في منطقة الجاهلي:

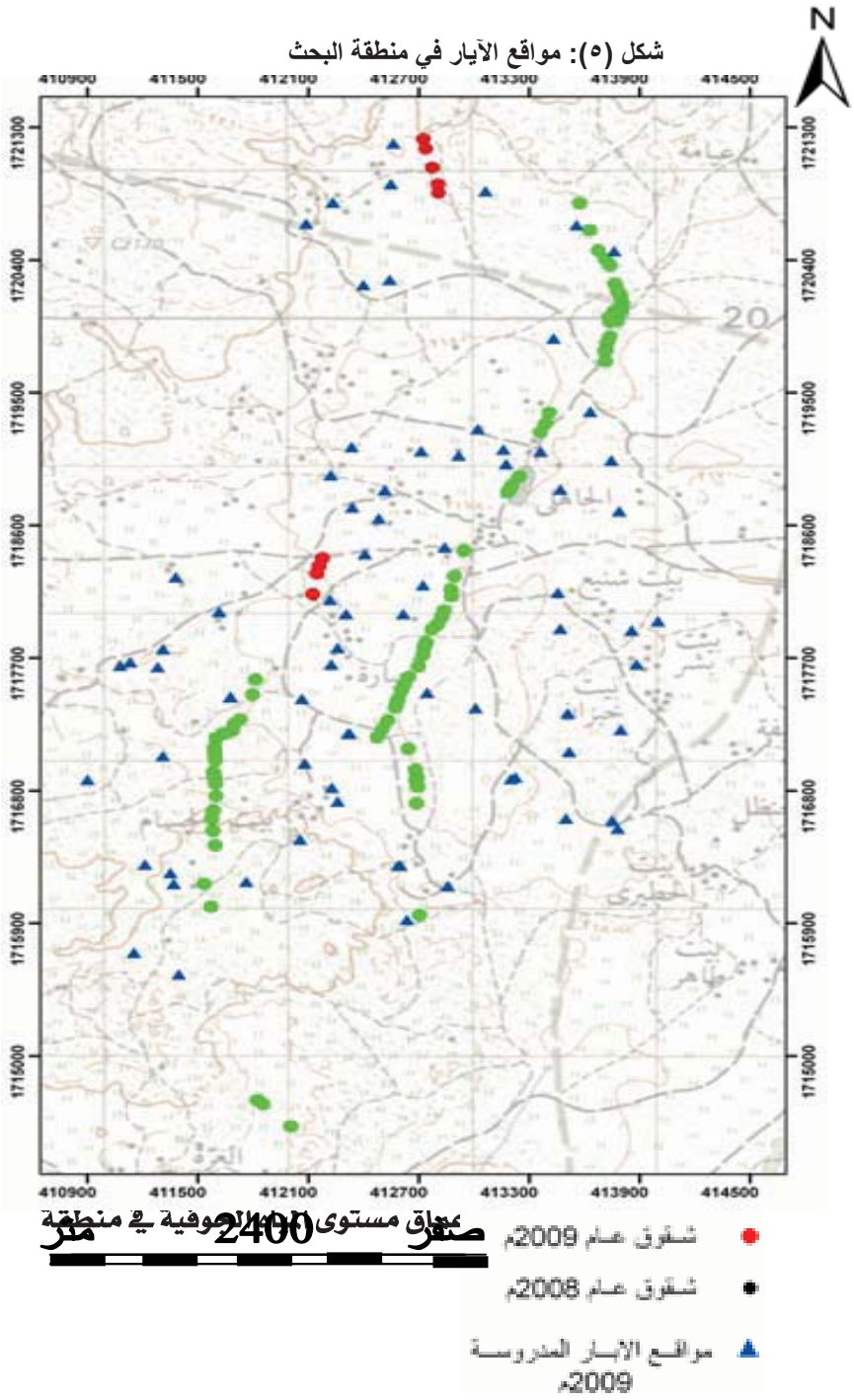
تقدر كمية المياه المسحوبة من هذه المنطقة لعام واحد بمقدار ٥٠ مليون متر مكعب مع وجود ٤٠٠ بئر محفورة في المنطقة والمناطق المحيطة حيث يتسم الوضع القائم حاليا لمنسوب المياه الجوفية بالتدهور الشديد وذلك لتعرضه للانخفاض المستمر وبمعدل ٣,٦- ١٠,٤ متر للعام الواحد. ولكن هذا العام وحسب البيانات التي تم جمعها من العمل الميداني فإن الهبوط في مستوى المياه الجوفية بلغ بين ١٥- ١٨ متراً وهو معدل عال جدا يشير إلى استنزاف المياه الجوفية ويسير بمعدلات مرتفعة سنة بعد أخرى بسبب الضخ العالي والمتزايد والعشوائي، وهو يشير إلى عدم التوازن بين كمية المياه المسحوبة من الخزانات الجوفية وبين معدلات التغذية المائية لها وذلك نتيجة تذبذب سقوط الأمطار وعدم انتظامها مما أدى إلى ظهور فجوة واسعة بين كميات السحب العالية والمتنامية عام بعد آخر وبين كميات التغذية الجوفية المتدنية والغير المنتظمة (الحبابي ٢٠٠٨).

الظروف الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية لمنطقة الدراسة:

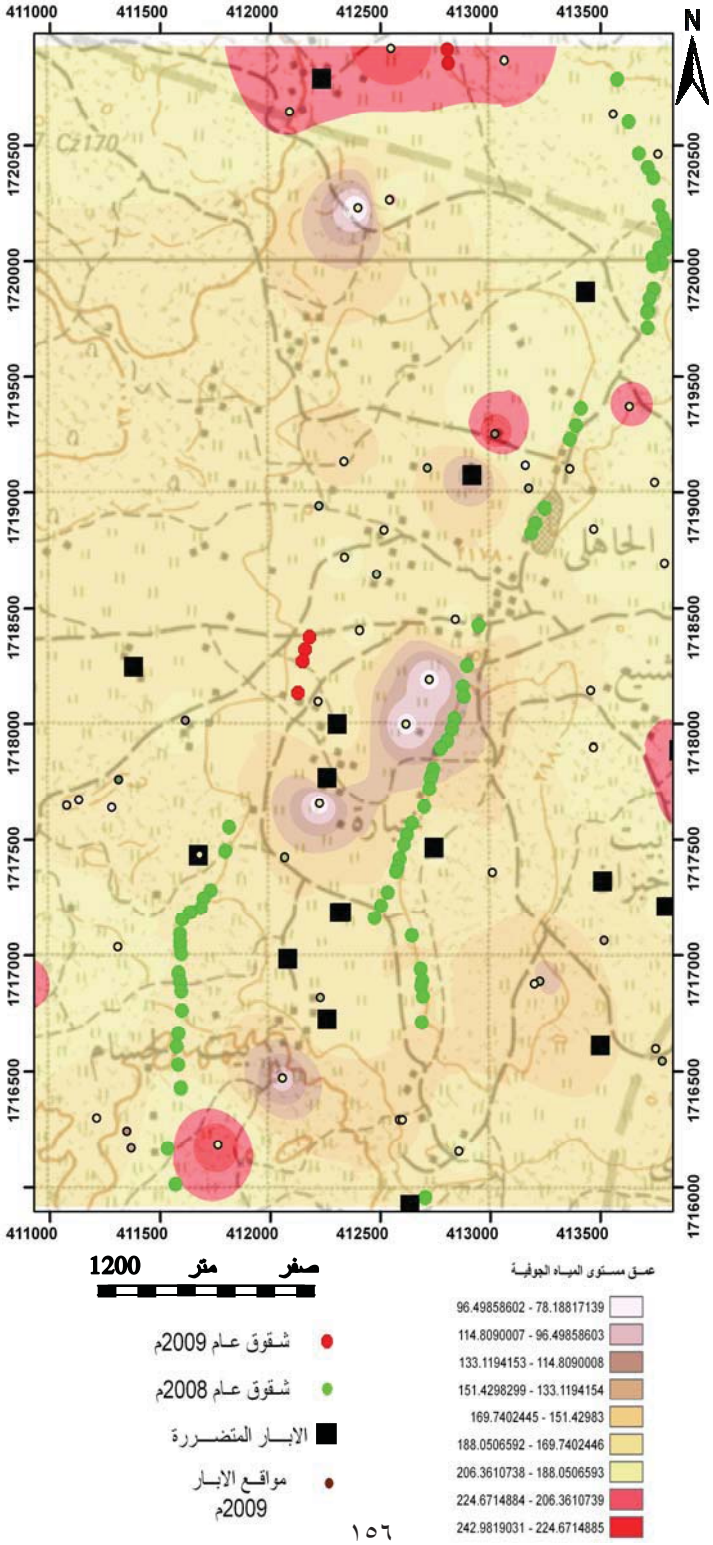
يلعب مقدار وشدة التساقط المطري دورا رئيسيا في الظروف الهيدرولوجية، و أن أهم الأحداث التكتونية التي لعبت دورا رئيسيا في هذه المنطقة هي البراكين حيث خلفت ظواهر عديدة أهمها الشقوق الأرضية أما دور الصخور فإنه لعب دورا رئيسيا في تحديد الظروف الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية للمنطقة حيث أن المجموع الكلي لسمك الصخور النارية يصل في هذه المنطقة إلى مئات الأمتار و أن الترشيح يحدث من أثناء الفواصل والكسور والشقوق المتواجدة في هذه الصخور النارية وخاصة في الجزء العلوي منها. تتميز هذه المنطقة بخصائص هيدرولوجية ممتازة نظرا لتوفر النفاذية العالية يجعلها تستقبل ماء المطر مباشرة فتخزنه لتكون بذلك خزانات مائية جوفية يتراوح سمكها بين ١٠٠- ٤٠٠ متر ويختلف هذا السمك من مكان إلى آخر.

إن المياه الجوفية في هذه المنطقة قد تكونت من أثناء العديد من الأنظمة الهيدروليكية من انحدار في مستوى المياه الجوفية وسرعة وحركة هذه المياه وعدد الآبار وغيرها لذلك فان عمق المياه الجوفية في هذه الطبقات الحاملة للمياه يتباين بين ١٠٠ متر و أكثر من ٣٠٠ متر، هذا بالإضافة إلى وجود طبقات محلية حاملة للماء على أعماق قليلة لا تتعدى ٢٠- ٣٠ متر متواجدة أما في الترسبات الحديثة أو في الصخور البركانية. تنتشر في منطقة الجاهلي أعداد كبيرة من الآبار المحفورة منذ سنوات عديدة بلغت حوالي ١١٦ بئراً عميقة وسطحية. في عام ٢٠٠٣ جفت أعداد منها وحفرت أعداد أخرى وبلغ عدد الآبار العميقة فقط في الوقت الحالي والتي تم قياسها حقليا في هذه الدراسة ٨٠ بئر (شكل ٥). ولم يتم تسجيل الآبار السطحية لعدم أهميتها في هذه الدراسة. إن هذه الآبار السطحية تسحب مياهها من الخزان الحر الذي يعتمد على مياه الأمطار.

شكل (٥): مواقع الآبار في منطقة البحث



سماك مستوى المياه الجوفية في منطقة


411000
411500
412000
412500
413000
413500
N
1720500
1720000
1719500
1719000
1718500
1718000
1717500
1717000
1716500
1716000
Cz170
الجاهلي
1200 صفر متر
عمق مستوى المياه الجوفية
96.49858602 - 78.18817139
114.8090007 - 96.49858603
133.1194153 - 114.8090008
151.4298299 - 133.1194154
169.7402445 - 151.42983
188.0506592 - 169.7402446
206.3610738 - 188.0506593
224.6714884 - 206.3610739
242.9819031 - 224.6714885
شقوق عام 2009م
شقوق عام 2008م
الابار المتضررة
مواقع الابار 2009م

تقع الخزانات العميقة في منطقة الجاهلي في خزانين محصورين عميقين الأول بحدود ٢٢٠ متر عمقاً والثاني على عمق يصل إلى حوالي ٣٥٠ متر وهي عبارة عن خزانات محصورة حيث ترتفع فيها المياه الجوفية بعد حفرها بارتفاع ١٠٠ متر أي على عمق ٢٥٠ متر من سطح الأرض وهي تمثل مستوى المياه الجوفية في المنطقة شكل(٦) . إن مصادر مياه هذه الخزانات العميقة ربما تكون من مناطق بعيدة بسبب الشكل التركيبي الصخري المعقد.

إن سبب وجود مثل هذه الخزانات الجوفية المحصورة هو وجود طبقات صماء من الصخور تمنع هذه الخزانات العميقة من الارتفاع ولكن عند الحفر ترتفع المياه بفعل الضغط الهيدروستاتيكي للمياه الجوفية. أن جميع الآبار التي تم تسجيلها وعددها (٨٠ بئر) في المنطقة الدراسة تخترق الخزانات العميقة .

نتائج العمل الميداني:

تضمن العمل الميداني عملين رئيسين الأول هو دراسة الشقوق الأرضية الحديثة في هذه المنطقة أما العمل الثاني فهو تحديد وتثبيت عدد ومواقع الآبار المتضررة والمنتجة وأعماقها في منطقة الدراسة. أن هذا الاختلاف في العمق لكل من الآبار وكذلك لمسالجوفية فقد الجوفية يشير إلى وجود اختلاف في الضغط الهيدروستاتيكي وكذلك إلى مستوى الانحدار حيث أظهرت الدراسة بأن حركة المياه الجوفية تكون من وسط المنطقة نحو الخارج . أظهرت نتائج العمل الميداني أن أعماق الآبار أو عمق الخزانات الجوفية تختلف من موقع إلى آخر حيث كانت هذه الآبار أعمق في المناطق التي تقع على جانبي الشقين (وصلت الأعماق هذا العام إلى ٤٥٠ متر) بينما يقل عمق الآبار في المناطق التي تقع مابين الشقين الرئيسين (بين ٥٠- ١٣٠متر). كذلك أظهرت الدراسة اختلاف في عمق مستويات المياه الجوفية فقد ظهرت مستويات المياه الجوفية بين الشقين على عمق بين ٧٨- ١١٤ متراً.

إن الآبار المتوقفة حاليا قد تضررت في وقت واحد تقريبا (في بداية عام ٢٠٠٩) وأن هذه الآبار تقع في اتجاهات محددة موازية للشقوق وهو ما يشير إلى أن هذه المنطقة حدث فيها هبوط فجائي للكتلة الصخرية بمقدار ٣٠ سنتمتر تقريبا ، و هي تقع أعلى سطح الشق (الجزء المعلق للصدع) مما سبب في اصطدام هذه الكتل وبسبب ثقلها

سببت في التواء وتهشيم بعض أنابيب الآبار التي تقع في هذا الجزء حيث ظهر عمق منطقة الضرر (مقدار رمية الصدع) على أعماق بين ١٤٠– ١٧٠ متر من سطح الأرض وخاصة للآبار القريبة من الشق.

أولا: الشقوق في منطقة الدراسة:

إن ميلان هذه الشقوق جعلها تكون عادة شبه عمودية. أظهرت نتائج العمل الحقلي توسع في الشقوق مع ظهور شقوق جديدة هذا العام (٢٠٠٩) بنفس امتداد الشقوق التي ظهرت في الأعوام السابقة (شكل ٥و٦). انتشرت الشقوق الأرضية في الرواسب الحديثة مستمرة تصلنيات الرباعية التي تغطي منطقة الجاهلي أثناء السنوات الأخيرة والتي امتدت على السطح على شكل نطاقين متقاطعين الأول يتجه شمال شرق والثاني شمال غرب كل نطاق متكون من مجموعتين متوازيتين من هذه الشقوق المسافة بين هاتين المجموعتين بين ٧٠٠و٨٠٠ متر. وصلت أطوال التشققات إلى آلاف الأمتار وإلى عشرات السنتيمترات اتساعاً وتمتد بعيداً عن المخاريط البركانية كجبل العرة الذي يقع إلى جنوب منطقة الجاهلي .أظهرت النتائج الميدانية الأولية في هذه المناطق ما يلي:

١- إن الشقوق ذات امتدادات متقطعة غير مستمرة تصل بعضها إلى أكثر من ١ كم امتدت في الأراضي السهلية وأن أعماقها متباينة (بين بضع سنتمترات إلى ٣ أمتار) مع انفتاح يبدأ من عدة سنتمترات إلى حوالي مترين.

٢- تتجه هذه التشققات باتجاهات نظامية موازية للمجموعة الأطول نحو الشمال أو الشمال الغربي وبعضها نحو الشمال الشرقي.

٣- تقطع هذه التشققات الطفح البازلتي وكذلك التربة المتواجدة في المنطقة وظهرت أكثر انتظاما في الترب المتصلبة في الأعماق.

٤- بدأت التشققات من أطوال قصيرة لا تتجاوز بضعة سنتمترات على شكل حفر على سطح الأرض تزداد أتساعا في العمق.

ثانيا : دراسة الآبار :

تمت دراسة الآبار العميقة فقط في هذه المنطقة وتم تحديد الأضرار والأعماق وعدد ساعات السحب وعمر البئر ونوع الطبقات الصخرية التي يتم سحب المياه منها ومقدار الإضافة السنوية من الأنابيب ومقدار عمق المنطقة التي حدث فيها ثني وتهشيم

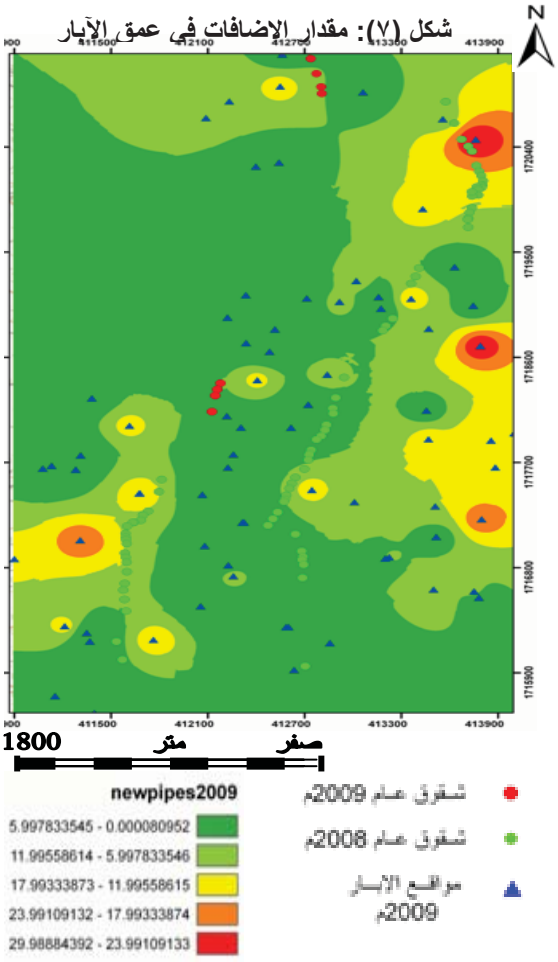
الأنابيب وغيرها من المعلومات التي تم تسجيلها وبعدها تم تحليل هذه المعلومات من أثناء رسمها على خرائط. أظهرت الخرائط المرسومة النتائج التالية:-

١- كثافة عالية لعدد الآبار حول منطقة الشقين الرئيسين بحدود ١١بئر/كم٢.

٢- أظهرت الخارطة (٦) المرسومة لمستويات المياه الجوفية أن مستوى المياه يكون عميق في المناطق المحيطة بالشقين من الخارج حيث يصل عمقها إلى ٢٤٣ متر بينما تتراوح هذه المستويات بين ٧٨- ١١٥ متر بين الشقين.

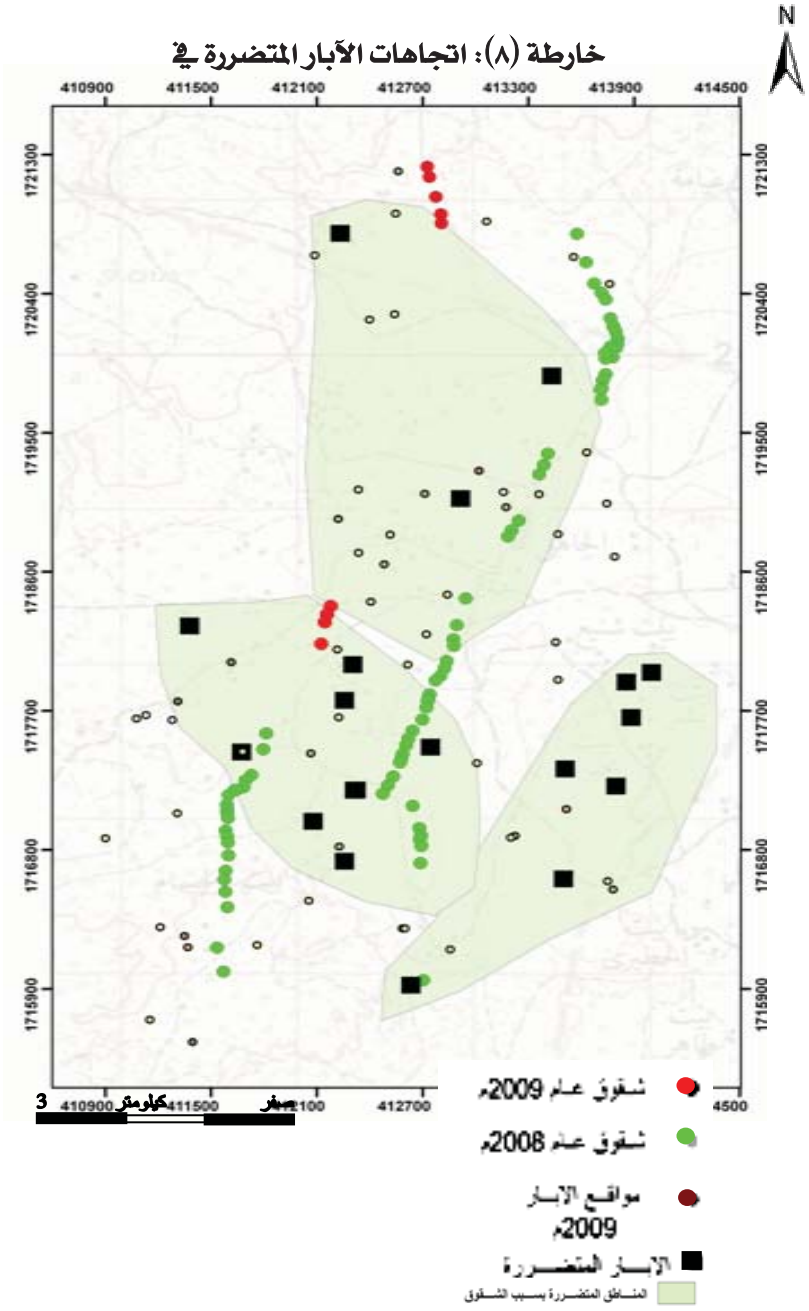
٣- أن الآبار التي أضيفت لها أنابيب هذا العام بحدود ٣٠ متر تقع في مناطق واقعة على طرفي الشقين الرئيسين .

شكل (٧): مقدار الإضافات في عمق الآبار



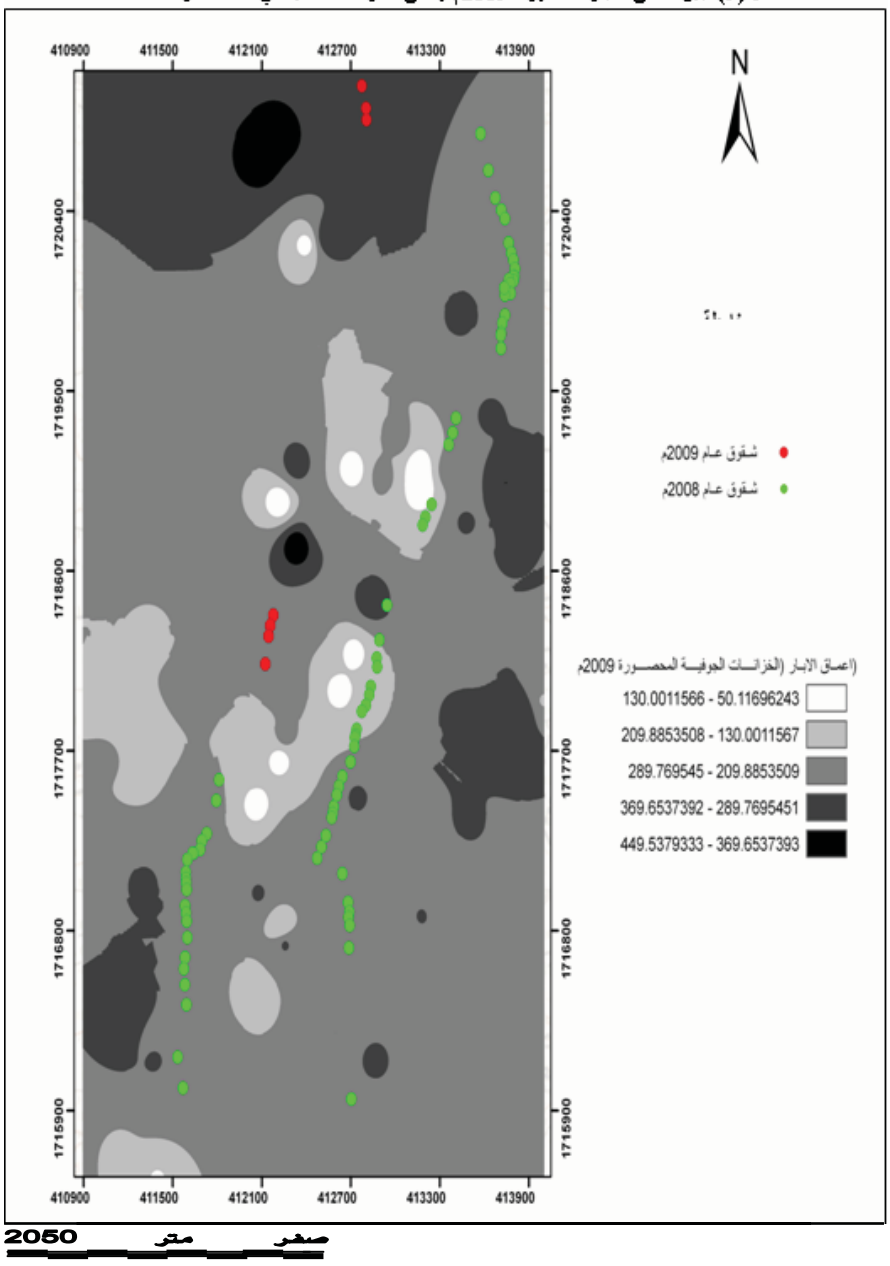
إن الآبار المتضررة بسبب هبوط الكتلة الصخرية أعلى سطح الشقوق أو الصدع تقع بين بيت الشقين الرئيسين. إن المناطق المتضررة تقع في ثلاث نطاقات تقع موازية تقريبا للشقوق الظاهرة خارطة (٨)

خارطة (٨): اتجاهات الآبار المتضررة في



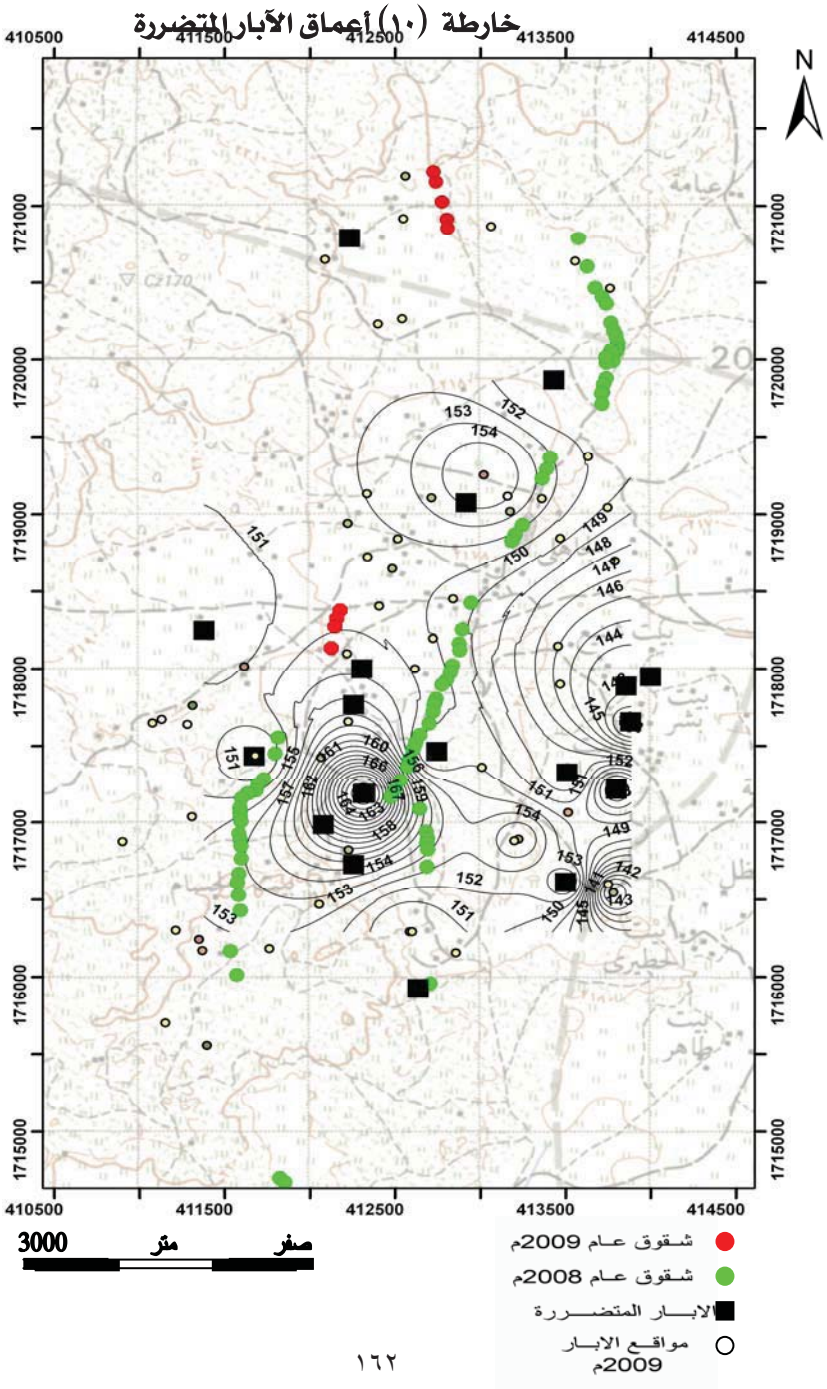
وصل بعض أعماق المياه الجوفية أو عمق الخزان المائي (عمق الآبار في هذا العام) إلى ٤٥٠ متر والتي تقع على جانبي الشقين خارطة (٩) بينما الآبار القليلة العمق (٥٠-١٣٠ متر) تقع مابين الشقين (منطقة أخدود).

شكل (9) تبين أعماق الآبار المحفورة 2009م وعمق الخزانات المائية في منطقة الدراسة



يتراوح عمق منطقة الضرر للآبار المتضررة بشكل تهشيم أو ثني للأنابيب تقع على عمق بين ١٤٠- ١٧٠ متر خارطة(١٠). وتقع الأقل عماً في الجهة الشرقية من الشقوق. هذا ربما يشير إلى وجود شقوق غير ظاهرة موازية للشق الرئيسي.

خارطة (١٠) أعماق الآبار المتضررة



المناقشة والاستنتاجات:

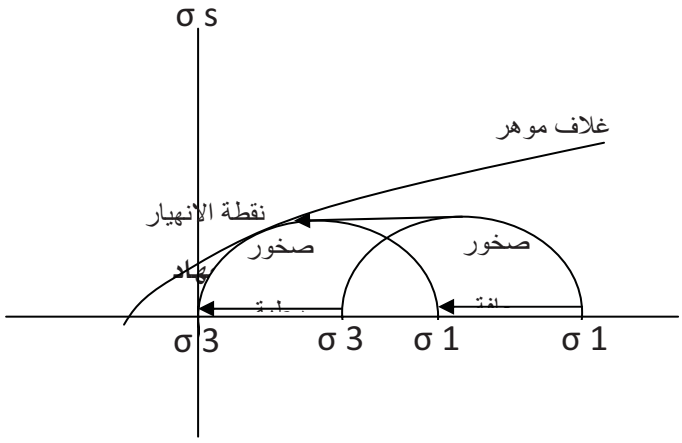
إن مياه الأمطار تتغلغل بسرعة كبيرة في هذه الشقوق دون أن تمتلئ مع هبوط في مستوى المياه الجوفية لأعماق كبيرة وخاصة في السنوات الأخيرة. هذا يعكس عمق الشقوق وامتدادها لمسافات طويلة وأن العديد من هذه الشقوق يقطع منطقة الجاهلي . وتقع بين هذين الموقعين مناطق ضعيفة متشققة تزداد مع زيادة سحب المياه والتي تتسبب في زيادة تمدد التربة والصخور وظهور شقوق جديدة كانت غير ظاهرة. إن وجود نظام من الصدوع التحت سطحية سبب في تغير طبوغرافية المنطقة بسبب حدوث ارتفاع وانخفاض تفاضلي في سطح الأرض بسبب هذه الصدوع العمودية . تعتبر هذه الصدوع مناطق رئيسية تؤثر على الشكل الطبوغرافي لسطح الأرض وهي في نفس الوقت تمثل تطور للأشكال التركيبية وخاصة الشقوق.

أظهرت هذه الدراسة أن الرواسب والصخور التي غطت السدود أو القواطع البازلتية العمودية والتي تقع في أعماق كبيرة في المنطقة حدث لها تمدد وشد مما سمح لهذه الرواسب والصخور بالانزلاق من هامة القبة وعلى شكل صدوع أو شقوق عالية الميلان عند السطح. انتشرت حول هذه المنطقة العديد من المخاريط البركانية الرباعية و السدود أو القواطع العمودية البازلتية وجميعها تمثل جزء من اتجاهات مناطق الضعف التي تتجه شمال غرب وشمال شرق والتي ربما سببت هذه السدود عند توسعها في الأعماق من رفع وانحناء الغطاء الصخري وفي تنشيط عمليات التصدع الاعتيادي والتشقق وخاصة عند حافة هذا المنحني. إن عملية الشد بسبب التمدد تحت السطح والثقل بدأت في هذه المنطقة على شكل نطاقات من الانهيارات الصدعية الموازية للسدود العمودية. لذلك فإن مقدار الجهد (*stress*) المسلط بسبب الرفع التكتوني والمحتوى المائي بسبب عمليات السحب المستمرة ونوع الصخور هي أهم العوامل التي سيطرت على معدلات التشويه في تكوين هذه التشققات الأرضية .

إن ظهور نطاقات من التشوهات غير المتساوية على سطح الأرض وعلى شكل مصاطب صخرية مرتفعة ومنخفضات أرضية كانت دليلاً على أن المنطقة تقع ضمن التكتونية الغير متجانسة. لذلك فأن الغطاء الرسوبي للمنطقة هو عبارة عن تشوه شدي غير متجانس يزداد في منطقة ويقل في منطقة أخرى. لذلك فإن الشقوق الأرضية الحديثة لمنطقة الجاهلي كانت بسبب تمدد سطح المنطقة والتي صاحبها إزاحات عمودية قيست في البعض منها بحوالي ٣٠ سم والتي تم تحديدها في مقطع الحوض على شكل صدوع اعتيادية. إن هذا التشوه الظاهر على شكل حفر متطاولة عميقة ومتعرجة أتجه محورها في منطقة شمال الجاهلي نحو الشمال الشرقي ثم أنحرف نحو شمال جنوب في وسط المنطقة ليتحول بعد ذلك باتجاه شمال غرب في جنوب منطقة الجاهلي. ظهرت هذه الشقوق على شكل مجموعتين رئيسيتين متوازيتين تميلان بزاوية ميلان تصل إلى ٧٠° و كل مجموعة تميل عكس الأخرى لتتشكل بينهما زاوية حادة (٢٠°) ناتجة من تقاطع هاتين المجموعتين في العمق.

تسبب الثقل الصخري في زيادة اتساع الشق وزيادة طوله وهو ما يفسر زيادة أطوال الشقوق وأيضاً يفسر زيادة عمق هذه الشقوق في هذه الصخور. حيث تم ملاحظة الزيادة في أطوال الشقوق في هذا العام عن العام السابق وهو ما يشير إلى استمرار هبوط الكتل الصخرية بسبب اختلال التوازن وكذلك تعرض الكسور القديمة المنتشرة في الصخور إلى إعادة النشاط بسبب حدوث حركات تكتو نية حديثة في مناطق مختلفة من اليمن سببت في إعادة ترتيب مسارات حركة المياه الجوفية عبر مناطق الضعف من كسور وشقوق وإعادة تنشيط صاحبها بعد ذلك انخفاض في مقدار معامل مقاومة الاحتكاك على سطوح هذه التشققات بسبب تغلغل الماء بين سطوح التشققات مما أدى إلى انزلاق الكتل الصخرية الموجودة أعلى سطوح هذه الشقوق وبالتالي حركة هذه الكتل نحو العمق على مستويات هذه الكسور (هي عبارة عن صدوع اعتيادية) .

تشير نتائج العمل المختبري إلى أن الصخور الحاوية على كسور سابقة كما هو الحال في منطقة الجاهلي تتعرض إلى إعادة تنشيط وحركة على هذه الكسور في حالة كونها رطبة أكثر مما لو كانت جافة حيث تشير الدراسات الهندسية باستخدام دوائر موهر بأن مقدار الإجهاد العمودي (σ n) سيكون أقل في حالة الصخور الرطبة (شكل١١) (Billing 1956 , Lisle 1987, Al-Ubaidi 1990). وهذه الرطوبة هي بسبب زيادة عمليات سحب المياه من الخزانات الجوفية العميقة التي تصل عمليات الحفر في بعض آبار الجاهلي إلى عمق (٣٥٠ متر) مخترقة سطح الصدع أو الشق والتي سببت في إعادة تنشيط الكسور التكتونية النظامية الموجودة أصلاً في المنطقة من أثناء ارتفاع الماء المحصور عند حفر البئر ووصوله إلى الخزان الجوفي المحصور وتسرب الماء عبر مناطق الشق. أن سبب وجود الصدوع العمودية في هذه المنطقة هو بسبب انتشار السدود البازلتية العمودية والتي سببت في تمدد المنطقة أثناء العمليات البركانية.لوحة(٤).



شكل (١١) يبين انهيار الصخور الرطبة باستخدام طريقة موهر

لوحة (4) تبين احد السدود العمودية البازلتية في منطقة الدراسة

فقد أشارت النتائج المعملية في المختبر Mastin and Pollard (1988) إلى أن أي زيادة في اتساع السدود العمودية البازلتية، والتي هي منتشرة في المنطقة بنفس اتجاهات الشقوق تؤدي بالنتيجة إلى زيادة مساحة وطول المقاطع في العمق وبالنتيجة أدت إلى رفع وانحناء المنطقة التي تقع أعلى هذه السدود. وبسبب هذه الزيادة وبسبب التمدد عند السطح تكونت الشقوق وبنفس امتداد السدود العمودية وبسببها تكونت الصدوع أو الكسور بزوايا ميلان عالية وعلى جهتي منطقة الرفع ولكن باتجاهين متعاكسين مما أدى إلى تكون مجموعتين متوازيتين من الشقوق على سطح الأرض ولكن بزوايا ميلان متعاكسة وهو ما تم ملاحظته في منطقة الجاهلي. أظهرت النتائج المختبرية و الميدانية بأن طول الشق يتناسب طردياً مع عمق الشق فالشقوق الطويلة عمقها طويل والعكس صحيح وأن مقدار هذا العمق يكون تقريباً بحدود ربع طول الشق فالشق الذي طوله ٤ كم عمقه يكون بحدود كيلومتر واحد كما في منطقة الجاهلي أن أطوال الشقوق الظاهرة في منطقة الجاهلي تقع بين ٢ – ٣ كم . أذن لا يقل عمق الشقوق في هذه المنطقة عن ٧٠٠

متر وهو عمق لم تصله أجهزة الحفر. وهذا يشير إلى أن مياه هذه المنطقة قد تسربت لأعماق كبيرة لأن المياه التي ستدخل هذا الشق ستغور بعيداً جداً وقد تظهر في مناطق أخرى مجاورة أو بعيدة.

أسباب تضرر الآبار في منطقة الجاهلي:

تختلف هذه الآبار في مقدار تضررها أو جفافها بسبب قربها أو بعدها عن الشق وعلى أي جهة من الشق تقع هذه الآبار فإذا كانت من جهة ميلانه فإنها تكون متضررة أما الجهة المعاكسة فتكون غير متضررة وعمق الآبار: إذا كانت قريبة من السطح فتكون أقل ضرراً أما العميقة فأنها ربما تصل إلى سطح الشق الذي حدثت على سطحه الحركة أو الهبوط. اتجاه زاوية ميلان الشق هو اتجاه نقطة معينة تمثل خط تقاطع الشقين فتتجمع المياه في هذه النقطة أو تتسرب بعيدا أو أن اتجاه الشقين عند السطح يكونان باتجاهين متعاكسين فتكون الآبار غير متضررة .

تعرضت هذه الخزانات إلى هبوط في مستويات المياه الجوفية أثناء هذا العام وبالأخص أثناء ٣ – ٤ الأشهر الأخيرة من عام ٢٠٠٩ إلى تدني في مستوياتها بمعدل من ١٥ - ١٨ متر وهو هبوط كبير ناتج عن تأثر هذه المنطقة بتأثير تكتوني أما محلي أو إقليمي يسمح للمياه الجوفية بالانخفاض الحاد أثناء فترة قصيرة وهذا ما سجلته جميع الآبار المتضررة البالغ عددها (١٨ بئر). ومما ساعد على هذا التأثير التكتوني هو العمليات المستمرة لسحب المياه التي بلغ معدل فترة سحب المياه فيها في هذه المنطقة حوالي ١٢ – ١٤ ساعة يومياً وكذلك كمية المياه المسحوبة بواسطة أنابيب يبلغ قطر الأنابيب (٦) بوصة. و كذلك فأن عدد الآبار من هذا النوع الذي يخترق الخزانات الجوفية المحصورة حوالي ٨٠ بئر في مساحة لا تتجاوز طولها ٣,٦ كم وعرضها ٢,٤ كم والمساحة الكلية لها حوالي ٨,٦ كم مربع وضمن هذه المساحة فأن عدد الآبار المسموح بها يجب أن لا تتجاوز ٤٩ بئراً أي وجود زيادة كبيرة في الآبار.

إن هذه المنطقة هي جزء من حقل بركاني واسع يتضمن ظهور جيد وواسع للخبث البركاني ولأنواع مختلفة من الصخور البركانية. تقع منطقة الجاهلي في الجزء الجنوبي الشرقي لهذا الحقل البركاني والذي يحاط بعدد من المخاريط البركانية مثل العرة في الجنوب والحاوري والأزرقين في الجنوب الغربي و مخاريط منطقة أرحب في شمال الجاهلي لذلك فهي منطقة نشاط بركاني سابق كانت تمثل آخر نشاط بركاني في اليمن قبل حوالي٦٠٠ عام ظهرت مظاهره من أنسيابات بركانية شمال وغرب منطقة الجاهلي مباشرة. أن هذا الموقع قد أثر بشكل ما في تكوين مناطق ضعف في القشرة الصخرية لهذه المنطقة على شكل فواصل و صدوع، وأخيرا على شكل شقوق أرضية بسبب عمليات أعادة التنشيط التي حدثت على مستويات هذه الفواصل و الصدوع القديمة بسبب النشاط الزلزالي المستمر في الأطراف الجنوبية من البحر الأحمر (مركز الرصد الزلزالي ٢٠٠٩) والتي وسعت الأحزمة البازلتية المنتشرة بسبب الاندفاعات البركانية في هذه المنطقة كما حدث في بركان جبل الطير في وسط البحر الأحمر (هيئة المساحة الجيولوجية اليمنية ٢٠٠٧) وبعد ذلك انتقلت موجاتها الزلزالية إلى الأراضي اليابسة في الجمهورية اليمنية وذلك من أثناء اندفاع و توسع صخور القاعدة بقوة كبيرة لم يصل منها لسطح الأرض إلا كمية قليلة من الطاقة سببت في تكوين الشقوق الأرضية الحديثة .

إن استمرار تكون الشقوق وارد في الوقت الحالي حتى يحدث هجرة للبؤر الزلزالية نحو مناطق أخرى في البحر الأحمر وكذلك فأن تغلغل المياه الجوفية وهبوطها إلى مستويات عميقة وهجرتها إلى مناطق أخرى وارد أيضا وخاصة وأن الصخور التي تقع أسفل هذه البركانيات الرباعية من صخور الطويلة الرملية وصخور عمران الجيرية تحتوي على مجاميع من الكسور والفواصل والصدوع والتي تعتبر منافذ و ممرات تسهل من هجرة هذه المياه وظهورها في مناطق أخرى قريبة أو بعيدة في نفس المنطقة أو في مناطق مجاورة.

إن الوضع المائي في هذه المنطقة ينذر بالخطر كما هو الحال في بقية الأحواض المنتشرة في اليمن بسبب قلة وضياع مياه الأمطار والتي تعتبر المصدر الأساسي لتغذية المياه الجوفية وبسبب العشوائية وكثافة الاستنزاف لهذه المياه ولا يزال هذا الخطر قائما. لذلك ولكي نقلل من هذه الظاهرة في هذه المنطقة التي انتشرت فيها الشقوق فإننا نوصي بالتالي:

التوصيات:

١. تقليل عدد الآبار في هذه المنطقة إلى العدد المسموح به وهو ٤٩ بئر ضمن هذه المساحة.
٢. عدم حفر الآبار في المناطق القريبة من أو على امتداد الشق و كما موضح في اتجاهه.
٣. تقليل ساعات سحب المياه اليومي إلى فترة معقولة لا تتجاوز ٦ ساعات يومياً بدلاً من ١٢ ساعة.
٤. وضع ضوابط قانونية للتحكم في استخدام المياه. واستخدام نظام تصريف ري حديث في كل المنطقة .
٥. تشجيع المنتجات الزراعية التي لا تالإنتاجية العالية تحتاج الحد الأدنى لإعطاء الإنتاجية العالية.
٦. استمرار مراقبة الشقوق

الخاتمة:

بينت هذه الدراسة أن الأسباب الرئيسية لتدهور الوضع المائي في آبار الجاهلي كان بسبب الشكل التركيبي المعقد للطبقات الصخرية المتأثرة بالنشاطات البركانية القديمة والتي تكونت بسببها مجموعة من الأخاديد والظهور تفصلها عن بعضها البعض الشقوق والصدوع ، هذا بالإضافة إلى عدم التوازن بين كمية المياه المسحوبة من الخزانات الجوفية وبين معدلات التغذية المائية. إن تزايد أعداد الآبار المحفورة وبكثافة عالية تصل إلى حوالي ١١ بئراً/ كم٢ في هذه المنطقة أدى أيضا

إلى تفاقم ظاهرة الشقوق بسبب اختلال التوازن للقوى المؤثرة نتيجة زيادة حجم الفراغات وكبر قوة الثقل الصخري. إن الآبار التي تم تعميقها بمقدار ٣٠ متراً في هذا العام تقع على شكل نطاقات موازية للشقوق الظاهرة شرقا ، وهي بذلك تشير إلى وجود شقوق أخرى غير ظاهرة في الوقت الحالي ، وأن هذه المنطقة هي أكثر الأجزاء هبوطا و تمثل مركز التشويه لذلك يتوقع زيادة التشقق شمالا وجنوباً، وخاصة إذا ما استمرت عمليات سحب المياه الجوفية بنفس معدلاتها الحالية.

المراجع:

Al-Kotbah A. and Al-Ubaidi (2001): *"Principal Stress Orientation of Yemen Faults at the Mesozoic Age"*, in: Faculty of science Bulletin, University of Sana'a, Vol.14, Oct.

Al-Ubaidi and Al-Kotbah A. (2003):"*The Magnitude of the Principal Stress*

Al-Ubaidi M. R. (2001): "*Geomorphologic and Structural Analysis of Wadi Dhahar NW of Sana'a*" in: Journal of the Yemeni Geographical Society, Sana'a, vol. 1 pp. 266-288.

Al-Ubaidi M. R. (2008): Structural study of the Sana'a International Airport and the Northern Parts of Sana'a Basin (unpublished report) submitted to the Yemen geological Survey and Mineral Resources Board, Sana'a.

Al-Ubaidi M. R. (2009): General Interpretation of Amran Basin: A Structural Geology study: Research Project submitted to the Yemen Geological Survey and Mineral Resources Board , Sana'a

Al-Ubaidi M.R, (1990): The structural analysis of the Trim saran, NW part of South Wales Coalfield, (Unpublished). Ph.D. Thesis, Wales University Cardiff.

Anderson, E. M. (1942): The Dynamics of faulting , Oliver and Boyd, Edinburgh.

Billing M. P. (1956): Structural Geology, London prentice-HallInc, London.

Bott, M.H. (1959): "*The Mechanics of Oblique Slip Faulting*", in: Geological Magazine, No. 96, pp. 106-17.

Davison, I., et al. (1994): "*Geological Evolution of the Southeastern Red Sea Rift Margin, Republic of Yemen*" in: Bulletin of the Yemeni Geological Society, No. 106, pp. 1474-93.

Hancock P. L. (1985): Brittle Micro Tectonics: Principal And Practice, Journal of Structural Geology, No. 7, pp. 437-57.

Hobbs, B. E., Means, W.D., and Williams, P.E., (1976): "*An outline of structural geology*", Wiley and Sons, London.

Huchon, P., Kanbari K. (2003): "*Rotation of the syn-rift stress field of the northern Gulf of Aden margin, Yemen*", in: Tectono-physics, No. 364, pp.147-66.

Jaeger J. C. and Cook N. G. W. (1976): Fundamentals of Rock Mechanics, Chapman and Hall, London.

Jaeger, J.C. (1962): Elasticity Fracture and Flow, Methuen , London.

Justin, F Huchon, P., Gaulier, J. M., (1994): The Somalia Plate and the East African Rift System: Present Kinematics", in: Geophysics Journal International, No. 116, pp. 637-54.

Lisle, R. (1987): "*Principal Stress Orientations from Faults*" in: Annals of Tectonics, No. 1, pp. 155-58.

Mastin, L.G., and Pollard, D.D. (1988): *"Surface Deformation And Shallow Dike Intrusion Processes At Inyo Craters, Long Valley, California*", in: Journal of geophysical Research, Vol. 93, No. B11, pp.13,221-35.

Paterson M.S. (1978): Experimental Rock Deformation-The Brittle field Springer, Heidelberg.

Price N. J. (1966): Fault And Joint Development In Brittle And Semi Brittle Rock , Pergamon Press, Oxford.

الحبابي سميره حسين أحمد (٢٠٠٩) أبعاد المشكلة المائية في مديرية بني الحارث بأمانة العاصمة (رسالة ماجستير غير منشورة) جامعة صنعاء كلية الآداب قسم الجغرافيا .

اللساني محمد عبد الله (٢٠٠٣)، المناخ والموارد المائية في حوض صنعاء، رسالة ماجستير (غير منشورة)، جامعة صنعاء كلية الآداب قسم الجغرافيا.