------ مجلة علوم الرافدين، المجلد 16، العدد 2 خاص بعلوم الأرض، ص 115-131، 2005 ------

جيومورفولوجية وهيدروجيولوجية منطقة حضرموت جنوب اليمن باستخدام معطيات التحسس النائي والمعلومات الحقلية

حكمت صبحي الداغستاني
مركز التحسس النائي
جامعة الموصل

عبد اللطيف احمد المنيفي
كلية العلوم البيئية والاحياء البحرية
جامعة حضرموت للعلوم والتكنلوجيا

(تاريخ الاستلام 2003/10/6 ، تاريخ القبول 2004/2/7)

الملخص

تواجه محافظة حضرموت في جنوب اليمن مشكلة مائية تنبع من محدودية الموارد الطبيعية للمياه واللجوء إلى استنزاف الخزانات الجوفية المتمثلة بتكوينات الشحر و الطويلة و ترسبات العصر الرباعي، الأمر الذي أدى إلى مشكلة هبوط الضغوط المائية واحتمالية تداخل مياه البحر و نقصان المياه العذبة بهذه الخزانات.

أشارت خارطة التعبير الهيدرولوجي عن وجود تباين في مواصفات وتوزيع ثلاثة انواع من المكامن الجوفية متوافقة مع طبيعة الصخور المنتشرة في منطقة الدراسة و درجة نفاذيتها. اجريت التحاليل المختبرية الفيزيائية و الكيميائية لمصادر المياه المتوفرة في حقول (النقعة، ثلة، العضيبة، فوة) في الفترة من (2001/11/17-2002/3/27م)، والتي تزود منطقتي المكلا و غيل باوزير. اسفر التحليل المختبري وجود زيادة كبيرة في تراكيز معظم العناصر الفيزيائية و الكيميائية عن المعايير المسموح بها من قبل منظمة الصحة العالمية (WHO) والمواصفات اليمنية لمياه الشرب، وذلك بارتفاع تراكيز الملوحة، و القاعدية والعسرة والكبريتات والمنغنيز والفلور في هذه المياه.

تم تحديد مناطق واعدة لتطبيق مفهوم حصاد مياه الامطار عن طريق التفسير البصري لمرئية فضائية ملتقطة عام 2001 من خلال التحليل الجيومورفولوجي لعناصر سطح الأرض وذلك لمعالجة مشكلة الزيادة المفرطة في تراكيز بعض العناصر وتحسين نوعية المياه الجوفية لاستخدامها كقاعدة معلومات تبنى عليها القرارات المستقبلية. تم دراسة الامكانات التنموية للاحواض المائية و تحديد انسب المواقع لحقن الخزانات الجوفية أعلاه بمياه السيول الخاطفة، كوسيلة للتخفيف من تدهور واستنزاف المياه الجوفية في مواقع حقول المياه الجوفية الحالية.

Geomorphology and Hydrogeology of Hadramout Area South of Yemen Using Remote Sensing and Field Data

Hekmat S. Al-Daghastani
Remot Sensing Center
Mosul University

Abdullatif A. Al-munaifi
University of Hadramout
Yemen

ABSTRACT

The state of Hadramout Governorate South of Yemen is facing serious water crises as a result of its limited natural water resources, and the over-abstraction from the Shihr, Tawilah and Quaternary deposit aquifer systems. The aquifer heads have fallen, giving rise to the problem of seawater intrusion and resulting in the loss of the fresh ground water resources.

A hydrological map showing the spatial distribution and characteristics of three different types of ground water aquifer systems associated with the nature of rock types and permeability in the study area. The physical and chemical analysis from the water resources (AL-Naqaá-Adhibah-Thilah and Fowah) which supply Mukalla and Gail Ba Wazeer zones were tested during the period 17/11/2001 to 27/3/2002. Laboratory analysis showed clear high concentration almost in all the water constitutions. These results are above the values set by the World Organization of Health (WHO) and exceed the Yemeni guidelines for drinking water. The high results are in total dissolved solids (total alkalinity, total hardness, sulphates, manganese and fluorine).

Techniques of water harvesting which was appropriate for this application using remote sensing satellite, taken in 2001, has been analyzed in both descriptive and quantitative geomorphic methods to improve water quality in the area of study a whole, which suffers from high concentration of water constitutions, ending with the adoption of the concept of water harvesting using flash flood in the main drainage basins. So, there is great necessity to give these water resources the superior priority in the future decision planning, to improve ground water aquifer systems in the study area.

المقدمة

إن تزويد المدن والقرى بمياه عذبة خالية من الملوثات هو امر في غاية الاهمية، كما ان البحث عن مصادر جديدة للمياه لا تقل اهمية عن البحث عن مصادر النفط والغاز الطبيعي. هذه المياه و ان توفرت ولو بالقدر الموجود حالياً لا بد من ترشيدها و حسن استخدامها و حمايتها من جميع اشكال التلوث.

تمثل المياه الجوفية المصدر المضمون نسبياً من بين المياه المتاحة في اليمن و يجري حفـظ هـذا النوع من المياه بطريقة التغذية المباشرة عبر تسرب مياه الامطار المتساقطة الجارية فوق سطح الارض الى باطنها، او بطريقة التغذية عبر الوديان وذلك اثناء تسرب المياه السطحية عبر قيعان مجاري الوديان او الحقول المروية. ان من المشاكل الرئيسية لهذا المصدر من المياه هو الاستنزاف الجائر، فقد تجاوزت استغلال المياه الجوفية في معظم مناطق اليمن كل المستويات اللازمة لاعادة تجديد مصادرها حيث تقدر كميات المياه المسحوبة من الخزانات الجوفية خلال عام 1994 حوالي (1.8)مليار متر مكعب، مع معـدل

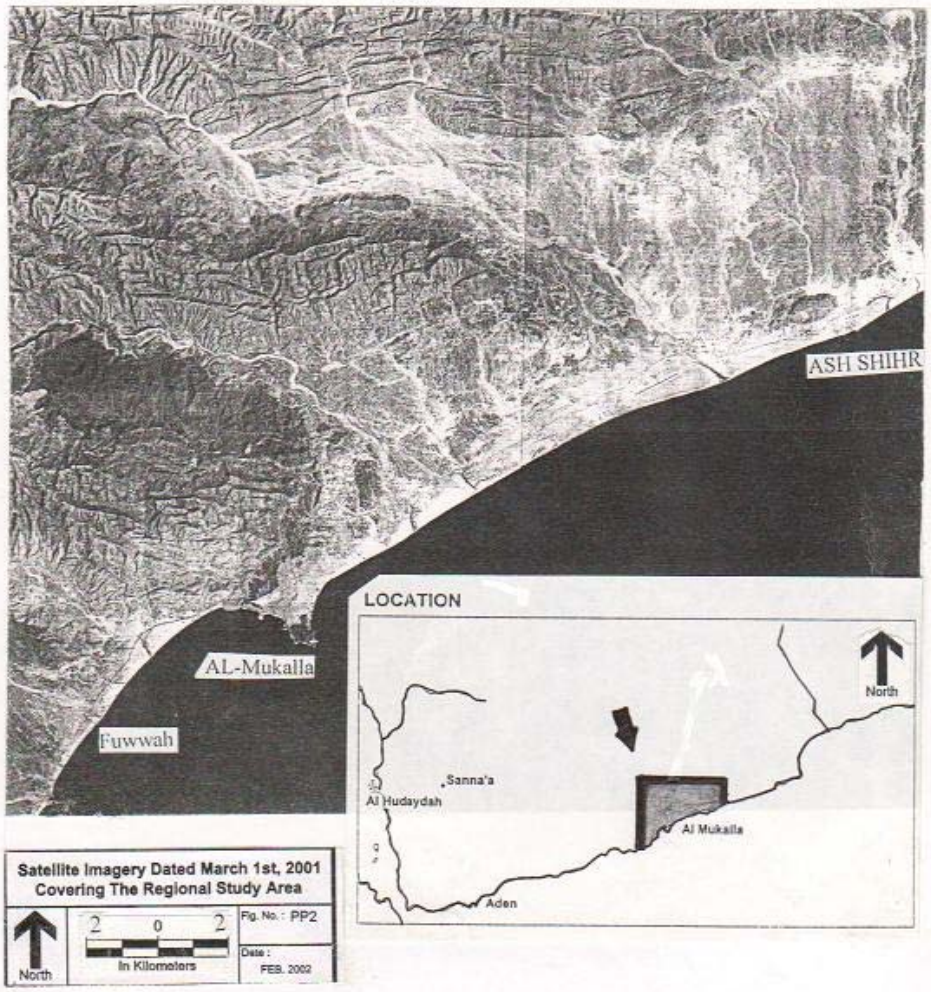
تغذية يقدر بحوالي (1.1) مليار متر مكعب، وادى هذا الافراط في السحب الى وجود عجز دائم يقدر بحوالي (0.7) مليار متر مكعب (عمرون، 1995). فضلاً عن مشكلة تدهور نوعية المياه الجوفية نتيجة لاسباب عدة منها الاندفاع الصاعد لمياه مالحة تقع اسفل الخزانات الجوفية الساحلية حيث تؤدي مثل هذه الاسباب الى زيادة مستوى ملوحة المياه الى الحد الذي تصبح فيه غير صالحة للشرب او ري المزروعات (باعباد، 1997).

تبلورت فكرة هذا البحث أثناء التفرغ العلمي للباحث الاول في كلية العلوم البيئية والاحياء البحرية في جامعة حضرموت وللفترة من 2001/9/12 ولغاية 2002/7/2، إذ سقطت مزنه مطرية على مدينة المكلا وضواحيها وبكميات هائلة أدت إلى غرق نصف هذه المدينة بمياه السيول المطرية الخاطفة القادمة من المرتفعات الجبلية المحيطة بها.

يوصف مناخ منطقة الدراسة بانه حار رطب صيفاً بدرجة حرارة عظمى 40° مئوية ومعتدل شتاءا بدرجة حرارة صغرى 20° مئوية وترتفع درجة الحرارة الى معدل سنوي 37° مئوية نهاراً وتهبط ليلاً الى معدل سنوي 25° مئوية وبمعدل رطوبة سنوية (70-85%) وهطول مطري لايتجاوز 60 مليمتر في السنة وفي اوقات مختلفة وغير منتظمة تكون مصحوبة احياناً بعواصف رعدية شديدة محدثة سيولاً كثيفة تنحدر من الهضاب الجبلية المحيطة بالمنطقة، وتجري في الوديان بتدفقات عالية تصب اخيرا في البحر العربي. ولغرض الاستفادة من هذه الكميات الهائلة من المياه العذبة عبر مجاري الوديان التي تزود حقول منطقتي المكلا وغيل باوزير تم التفكير بتطبيق واستخدام مفهوم حصاد مياه الأمطار في الدراسة الحالية.

يعتبر تطوير المصادر المائية على الشريط الساحلي لحضرموت (شكل 1) من المناطق ذات الأهمية الاستراتيجية للتنمية، حيث تحظى هذه المنطقة بكونها تضم اغلب سكان المحافظة، ويتركز فيها اغلب الأنشطة الاقتصادية كما إنها تحمل إمكانيات كبيرة للتنمية السياحية و الزراعية، ولهذا السبب تم اختيار هذه المنطقة لأجراء التقييم الهيدروجيومورفولوجي لغرض تامين الاحتياجات المائية اللازمة للتنمية في محافظة حضرموت كجزء من تنمية الجمهورية بشكل متكامل.

يساعد توفير التحاليل الجيولوجية والهيدرولوجية و الجيومورفولوجية و الخرائط المرافقة لها، على التقدير الصحيح و التخطيط السليم لموارد المياه في محافظة حضرموت، وبالأخص المعلومات المتعلقة بتحديد المناطق التي يتم توجيه الاهتمام إليها مستقبلا في تطوير حقول المياه الجوفية، حيث يساعد تحليلها على فهم افضل لانظمة الموارد المائية السطحية و الجوفية في المنطقة ومن ثم تحقيق الربط الكمي بين الأمطار كمصدر لمياه الأودية الموسمية في منطقة الدراسة الحالية ومفهوم حصاد المياه.



شكل 1: موقع منطقة الدراسة للجزء الساحلي لمحافظة حضرموت ملتقطة بواسطة مرئية فضائية بتاريخ 2001/3/1.

أولا :خارطة التعبير الجيولوجي: Geologic Expression Map

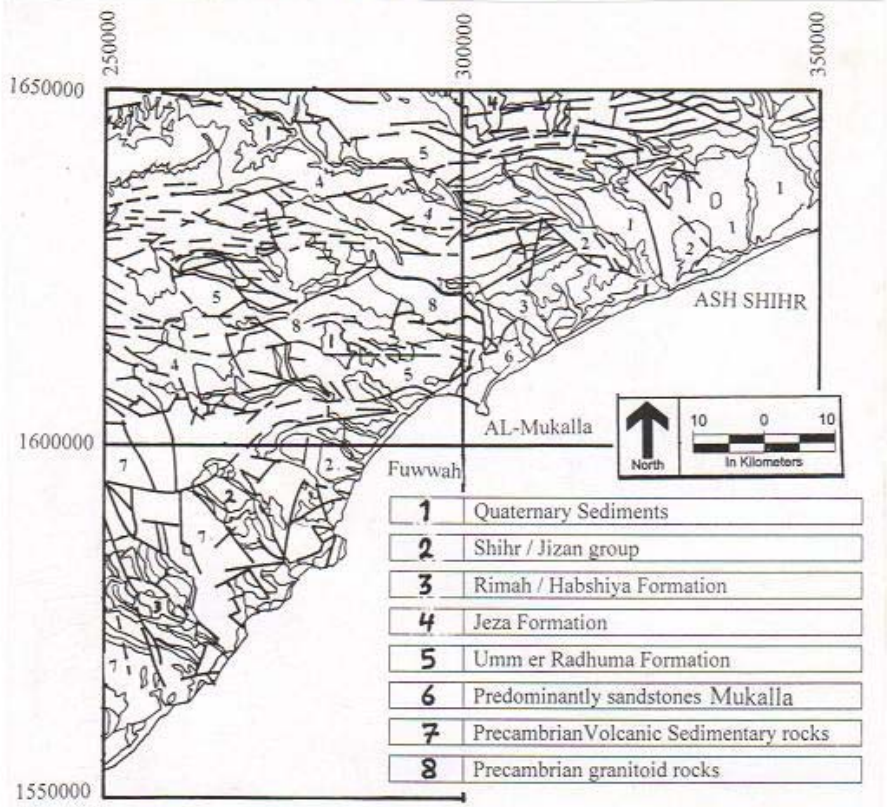
يرتبط التاريخ التكتوني لليمن بمراحل التطور التكتوني للصفيحة العربية حيث يقع ضمن الحافة الجنوبية والجنوبية الغربية لها، اذ اعطى هذا الموقع تأثيراً واضحاً على الوضع و التطور التكتوني لمنطقة الدراسة الحالية. يظهر الشكل (2) الخارطة الجيولوجية لجزء من ساحل حضرموت موضحا فيها الهيكل التركيبي العام لمنطقة البحث والتي تضم صدوعاً اقليمية (Regional Faults) ادت الى تكوين تراكيب جيولوجية سطحية معقدة متباينة الحجم والامتداد والتطور المورفولوجي والمتواجدة على جوانب الكتل المؤلفة لصخور القاعدة و المحددة بصدوع عمودية (Vertical Fault). ان هذه الصدوع هي المسؤولة عن تشوه الغطاء الرسوبي فوقها وبالتالي تشكيل تلك الخصائص التركيبية والهندسية التي تتسم بها التراكيب الجيولوجية للمنطقة عبر تطور العصور الجيولوجية في هذه المنطقة (Robertson ,2002).

يظهر العديد من التراكيب الخطية (Lineaments) ذات الاتجاهات شرق-غرب وشمال-جنوب ضمن التراكيب الجيولوجية وحولها والتي لها تأثير مباشر على طبيعة وتصنيف حركة المياه الجوفية. تنكشف في منطقة الدراسة ترسبات تمتد بالعمر من زمن البريكامبرين (Precambrian) والى الوقت الحاضر (Recent) تختلف في خصائصها الترسيبية ومقاومتها المختلفة لعمليات الحت (Erosion)، والذين لهما تأثير هام في تحديد المظاهر الجيومورفولوجية المختلفة والمنتشرة في عموم منطقة الدراسة .تم توظيف المعلومات التركيبية والصخرية ونوع العمليات الجيومورفولوجية للتمكن من فصل أنواع المكامن الجوفية ووصفها .وبهدف التعرف على خصائص التكاوين الجيولوجية بالاعتماد على المعلومات المستنتجة من التحليلين التركيبي والصخري التي تتسم بها التكاوين الجيولوجية المشمولة بالمكامن الجوفية في مواقع حقول الآبار الجوفية الحالية. اتبع الباحثان أسلوب وصف الخصائص الرسوبية للتكاوين الحاوية فقط على المياه الجوفية خلال مناقشة محتويات الخارطة الهيدرولوجية والتي سوف يتم الحديث عنها في الفقرة التالية منعا للتكرار.

ثانيا :خارطة التعبير الهيدرولوجي: Hydrologic Expression Map

إن كمية المعادن الذائبة في مياه الامطار عند هطولها تكون قليلة جداً وتتزايد مع حركتها وتنقلها في مسامية الصخور، وهناك العديد من العوامل التي تتحكم في كمية ونوعية المعادن الذائبة في المياه، منها البناء الفيزيائي والتكوين الكيميائي للصخور (عطروس، 2000). إذ لوحظ ان معظم المشاكل التي تعاني منها طبيعة المياه الجوفية ناتجة عن هذا التغاير في البنية الجيولوجية الذي لم يؤخذ في الاعتبار عند تصميم مواقع حقول المياه الجوفية في عموم منطقة الدراسة.

يمكن تقسيم طبيعة الصخور المنتشرة في منطقة الدراسة (شكل 3) الى ثلاثة اصناف حسب قابليتها على نفاذية المياه الجوفية وذلك على ضوء المعلومات والتقارير المعدة سابقاً (Robertson, 2002).



شكل 2: الخارطة الجيولوجية للجزء الساحلي من محافظة حضرموت محورة عن:
(The natural resources project, Ministry of Oil and Mineral Resources, Robertson Group, Fig. No. WR2, 2002).

اولاً : المكامن ذات الجريان المسامي السائدة Aquifers in which intergranular flow is dominant

وتشمل مكاشف صخور الترسبات الحديثة للعصر الرباعي للوديان الموسمية (Quaternary Alluvial Deposits) المتمثلة بترسبات السهول الفيضية والمدرجات النهرية وسفوح المراوح الفيضية. تشمل هذه الترسبات على فتاتيات بأحجام مختلفة نتيجة التذبذب السريع في مستوى جريان الوديان الموسمية وعليه تكون هذه الترسبات رديئة الفرز (Poorly sorted). تمتاز هذه الترسبات في النفاذية المسامية العالية (Highly permeable) ونقل هذه النفاذية كلما اقتربنا من السواحل نتيجة الانخفاض في حجم الفتاتيات (Finer grained deposit). يصل سمك هذه الترسبات إلى حوالي (100) متر في وادي حضرموت.

ج) مجموعة صخور ام الرضومة للعمر الباليوسيني Paleocene Umm er Radhuma Formation

د) مجموعة الصخور البركانية للعمر التيرشيري Tertiary Volcanics

تدرج أدناه خواص التكاوين الجيولوجية المشمولة فقط في حقول الآبار الجوفية الحالية. يمتاز تكوين الشحر بانه يتكون من تتابع لترسبات المدملكات وترسبات السحنات البحرية الساحلية (Conglomerates and marginal marine facies deposits)، إذ يبلغ أعلى سمك لهذا التكوين (450) متر شرق مدينة المكلا. معظم الآبار الارتوازية التي حفرت على ساحل حضرموت قرب مطار الريان تشير إلى افتقار إنتاجية هذا المكمن (Poorly productive aquifer) بالإضافة إلى الرداءة في نوعية المياه والتي تعود الى احتواء هذا التكوين على طبقة من المتبخرات (Soluble evaporate deposits).

يبلغ سمك تكوين الطويلة النموذجي (250) متر متأثرا بنظام الصدوع والفواصل التي تعمل على زيادة نفاذية المياه الجوفية فيه حيث يعتبر من المكامن الجوفية الجيدة (Relatively good aquifer) والقريبة من السطح والذي يتم تغذيته أحيانا من مجموعة الوديان الموسمية في المنطقة. يتالف التكوين من الصخور الجيرية معادة التبلور وصخور الدولومايت. ترتبط مجموعة الصخور الطويلة مع مجموعة صخور ام رضومة المتألفة من الصخور الجيرية معادة التبلور مكونا مكمنا جوفيا متصلا يصل إلى سمك اكثر من (500) متر.

ثالثاً:المناطق غير الملائمة لمصادر المياه الجوفية Regions without significant ground water resources

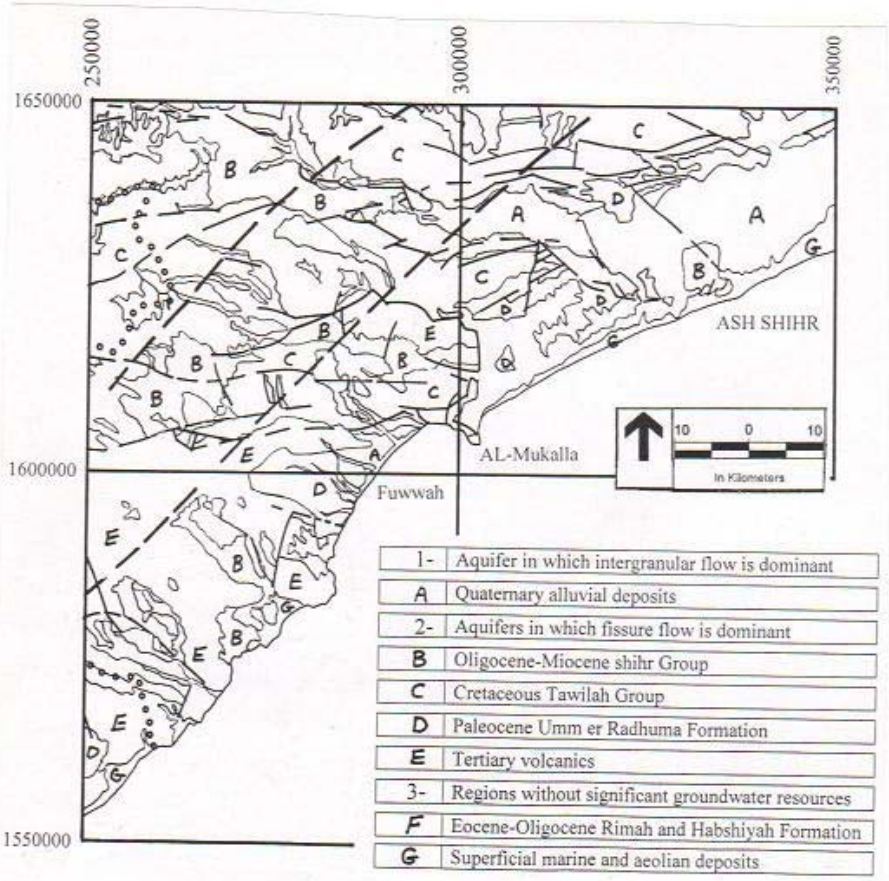
تشكل هذه المناطق مجموعة الصخور التي تتصف بكونها غير ذا أهمية من الناحية الهيدرولوجية وذلك لكون طبيعة هذه الصخور غير مؤهلة لتكون مكامن جوفية. تشمل هذه المناطق إما صخور بركانية (Lava flow) أو ترسبات بحرية ساحلية أو كثبان رملية ساحلية وتشمل مكاشف التكاوين الجيولوجية التالية.

أ) مجموعة صخور رماح و حبشية للعمر الايوسين-اوليكوسين Eocene-Oligocene Rimah and Habshiyah Formations

ب) الترسبات السطحية البحرية و الهوائية Superficial Marine and Aeolian Deposits

ثالثا :خارطة التعبير الجيومورفولوجي: Geomorphic Expression Map

تم إجراء التفسير الجيومورفولوجي المفصل للمرئية الفضائية الملتقطة بتاريخ 2001/3/1 بواسطة القمر الاصطناعي الامريكي لاندسات (Landsat) والتي تغطي معظم منطقة الدراسة، (شكل 1)، وذلك لتقصي المظاهر الأرضية المعنية بالخصائص الجيولوجية والمورفولوجية المتعلقة بطبيعة وخصائص أحواض الصرف السطحية لما تشكله هذه الأحواض من إمكانية استقبال لمياه الأمطار، وكذلك للأهمية



شكل 3: الخارطة الهايدروجيولوجية للجزء الساحلي من محافظة حضرموت محورة عن:
(The natural resources project, Ministry of Oil and Mineral Resources, Robertson Group, Fig. No. WR35, 2002).

ثانياً : المكامن ذات جريان الشقوق السائدة Aquifer in which fissure flow is dominant

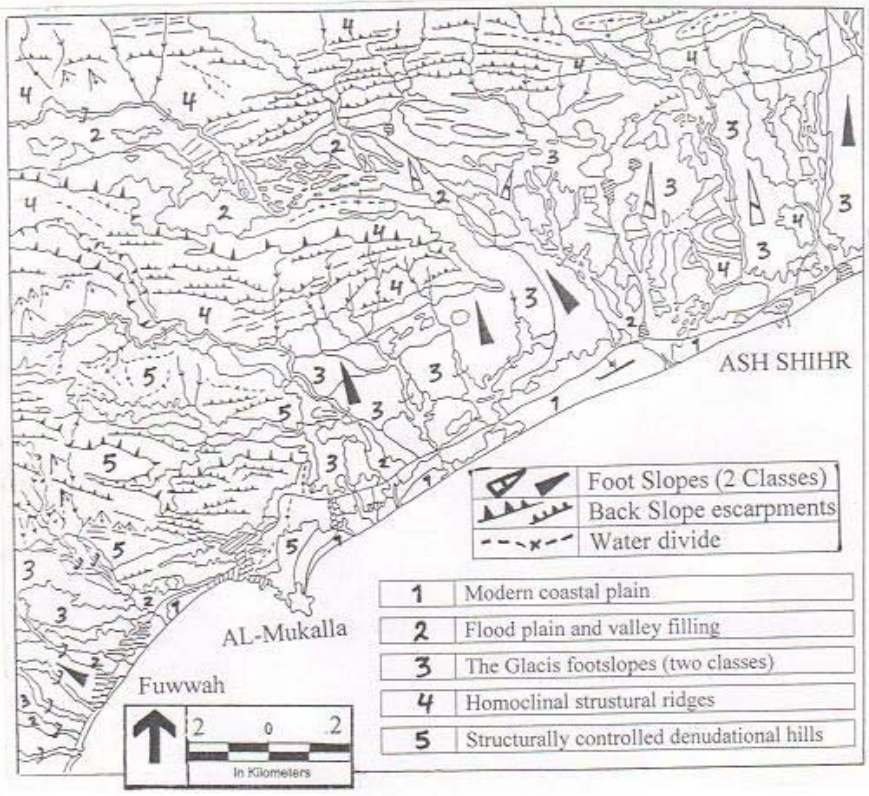
وتشمل مكاشف التكاوين الجيولوجية التالية :

أ) مجموعة صخور الشحر للعمر اوليكوسين-مايوسين Oligocene-Miocene Shihr Group

ب) مجموعة صخور الطويلة للعمر الكريتاسي Cretaceous Tawilah Group

الخاصة في دراسة المياه الجوفية باعتبار وجود أحواض الصرف دلالة من دلالات تواجد هذه المياه. تم استخدام عناصر اختلاف درجة اللون والنمط الفوتوغرافي والتوزيع المورفولوجي لشبكة التصريف السطحي وغيرها من الصفات التصويرية التي تم الاعتماد عليها في عملية التفسير البصري الوصفي والكمي، وكما ذكرها (Zuidam and Zuidam, 1979).

توصف الجيومورفولوجيا الاقليمية لمنطقة الدراسة بانها متباينة التضاريس وبمدى كبير في الاجزاء الشمالية والغربية في حين تتدرج الى الاستواء في أقصى الجنوب والجنوب الشرقي (شكل 4).



شكل 4: الخارطة الجيومورفولوجية للجزء الساحلي من محافظة حضرموت كما فسرت من المرئية الفضائية الملتقطة بتاريخ 2001/3/1.

تسود المظاهر المورفوتكتونية المتنوعة ذات التضرس العالي المتمثلة بالحواجز التركيبية (Homoclinal Structural Ridges) والمنحدرات العكسية (Back Slopes) ضمن نطاق المرتفعات التعروية المسيطر عليها تركيبياً (Structurally Controlled Denudadational Hills) ذات الاتجاه شرق-غرب. تتباين تضاريس هذه المظاهر الأرضية في مواصفاتها، خصائصها الهندسية التركيبية، انماط توزيعها، انتظامها وميكانيكية تكونها لتأثرها بنظام الصدوع الإقليمية والمحلية الواقعة على طول السهل الساحلي من البحر العربي ضمن محافظة حضرموت إذ تمثل هذه الوحدة الجيومورفولوجية المورد الرئيسي لمياه السهول الفيضية في المنطقة (شكل 4).

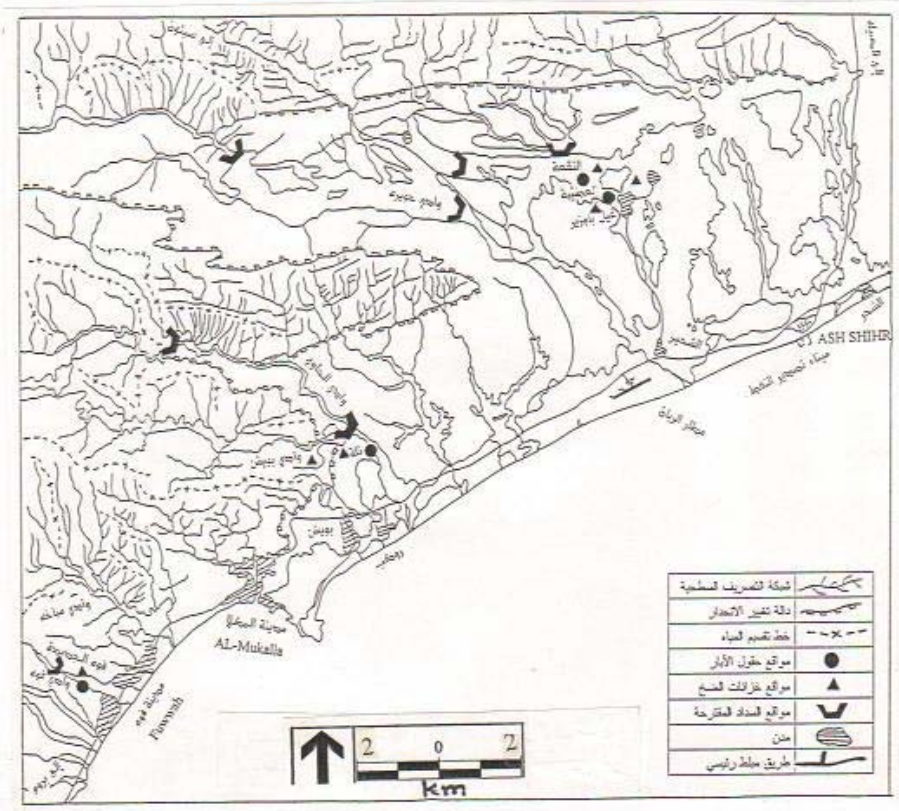
تسود المظاهر ذات التضرس الواطئ المتمثلة بالمنحدرات القدمية (Foot Slopes) الواسعة الامتداد المتمثلة بالكلاسيز التعروي (Erosional Glacis) في الاجزاء الجنوبية لمنطقة الدراسة غير الساحلية والتي تظهر ضمنها آثار للحواجز التركيبية والمكاشف الصخرية المتقطعة الانتشار، فضلاً عن آثار انحشار مجاري الوديان القديمة والحديثة.

بينما تظهر الكلاسيز التراكمية (Accumulation Glacis) بشكل واضح من خلال انتشار ترسبات سطوح المراوح الفيضية (Alluvial Fans) والمدرجات النهرية (River Terraces) الواسعة الامتداد وترسبات قاع السهول الفيضية النشطة (Active Flood Plain Valley Filling) وترسبات السطوح الساحلية الحديثة التكوين (Modern Coastal Plain) المنتشرة في معظم الأجزاء الجنوبية الساحلية من منطقة الدراسة.

لقد كونت التقسيمات الأساسية أعلاه اللبنة الأولى في التفسير الجيومورفولوجي التفصيلي للمرئية الفضائية لغرض إيضاح الخصائص الهيدرولوجية المتعلقة بطبيعة أحواض الصرف السطحية المنتشرة في منطقة البحث.

أوضح التفسير الجيومورفولوجي المفصل لنظام شبكة التصريف السطحية (Drainage Pattern Network) لمنطقة البحث انه متكون من عدة انماط (Patterns) رئيسية منتشرة في أجزائها، بخصائص ومساحات متباينة، متاثرة بنوعية الصخور، الترسبات المنكشفة وبوضعها التركيبي، إذ تظهر سيادة التاثيرين التركيبي والصخري عليها بشكل مباشر. تم رسم شبكة نظام التصريف السطحي لكافة الوديان الرئيسية والفرعية بالاعتماد على قدرة التميز الفراغية (Spatial Resolution) للمرئية الفضائية اعلاه، حيث تعتبر مناسبة لهذف هذه الدراسة الحالية (شكل 5). كما تم تعيين حدود السهول الفيضية المرافقة لهذه الوديان الموسمية الجافة القديمة منها و الحديثة لأهميتها في تحديد المكامن ذات الجريان المسامي العالية. كما تم تحديد الحدود الفاصلة لمناطق الجبال والمرتفعات عن طريق استخدام اسلوب دالة تغير درجة الانحدار (Break of Slope)، وتم الاعتماد على الخرائط الطوبوغرافية في تسمية المدن والوديان في منطقة الدراسة وكما هو موضح على الخارطة لاستخدامها في تحديد مواقع آبار المياه الجوفية وخزانات المياه العاملة في منطقة الدراسة والتي تم زيارتها أثناء اخذ النماذج المختبرية فضلا عن تحديد مواقع

السداد المقترحة تشيدها عن طريق دراسة خواص ومظاهر المقاطع العرضية لمجموعة الوديان الموسمية لمنطقة الدراسة الحالية والتي سوف يتم الحديث عنها بالفقرة اللاحقة.



شكل 5: خارطة شبكة التصريف السطحية للجزء الساحلي من محافظة حضرموت كما فسرت من المرئية الفضائية الملتقطة بتاريخ 2001/3/1.

الفحوصات المختبرية الفيزيائية و الكيميائية Laboratory Physical and Chemical Tests

لغرض تقييم مصادر المكامن الجوفية من الناحية النوعية تم تحديد مواقع حقول ابار المياه الجوفية بالاعتماد على التقرير المعد إلى وزارة الكهرباء والمياه و الذي يمثل دراسة مشروع توصيل المياه الى مدينة المكلا والمقدم من قبل شركة دار الهندسة العربية عام 2002. تم نقل هذه المواقع موقعيا عن طريق تكبير مقياس رسم البيان الفضائي باستخدام قدرة التكبير (Zoom) ليصل إلى مقياس 1:5000 على الخارطة رقم (5) فضلاً عن مواقع خزانات الضخ.

أنجزت الدراسة ميدانياً عن طريق تجميع عشرة عينات مختلفة وفي اوقات متباينة (كاعش،2002) وحسب طريقة جمع العينات للتحاليل الكيميائية والفيزيائية المعتمدة في مثل هذه الدراسات حيث أجريت التحاليل الفيزيائية والكيميائية لمصادر المياه المتوفرة في حقول آبار النقعة في غيل باوزير، و حقل آبار ثلة، وخزانات المياه وشبكة التوزيع العامة التي تمون مدينة المكلا وكذلك حقول آبار العضيبة وفوة (شكل 5). تم تجميع عينات من بعض الآبار في منطقة ظلومة والتي تزود بعض محطات المياه المعباة (المياه الصحية). اجريت هذه التحاليل في مختبر المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي بالمكلا للفترة من 2001/11/17 ولغاية 2002/3/17 م، بالاعتماد على شروط الفحوصات المعملية المثبتة من قبل (عبادي، 1990)، وذلك لتقييم نوعية هذه المياه وبيان مدى صلاحيتها للشرب. ان الخصائص الطبيعية سهلة القياس والتحديد وكما ذكرها (الماجد، 1995)، حيث يبين الجدول (1) نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية للعينات الماخوذة وكما يلي، إذ تم تبني مفهوم مقارنة هذه النتائج كما في الدراسة الحالية مع المواصفات اليمنية والعالمية وكما هو مثبت في اسفل الجدول (1).

1- لم تتجاوز نتائج مقياس اللون (Colour) حدود منظمة الصحة العالمية والمواصفات اليمنية فقد تراوحت بين (0-3).

2- هناك تفاوت في نتائج مقياس العكارة (Turbidity) من حقل الى آخر فهي تتراوح بين (0.24 n.t. v.) في العينة رقم (1) الى (0.42 n.t. v.) في العينة رقم (5) وبمقارنة جميع القيم مع معيار منظمة الصحة العالمية والمواصفات اليمنية نجد انها اقل من الحدود المسموح بها.

3- تراوحت نتائج قياس درجة الحامضية (pH) من (7.2-7.7)، اذ تبين عدم وجود تجاوز في قيمها ووقوعها ضمن الحدود المسموح بها دولياً.

4- من خلال ملاحظة نتائج قياس الموصلية الكهربائية (E.C) نجد انها تتراوح بين (2010-3450) µm/cm، اذ تجاوزت جميعاً الحدود المسموح بها عالمياً.

5- اظهرت نتائج مقياس المواد الصلبة الذائبة (TDS) تبايناً واضحاً بمقارنتها مع المعايير الدولية واليمنية، حيث قسم من هذه العينات تقع ضمن الحدود المسموح بها، ويعود السبب في هذه الزيادة الى عمليات الاذابة لطبقات الصخور الحاملة للمياه.

6- تجاوزت كافة العينات الحدود المسموح بها بالنسبة لنتائج قياس القاعدية الكلية (Total Alkalinity)، وذلك بسبب كاربونات وبيكاربونات الصوديوم والبوتاسيوم وايونات الهيدروكسيد الموجودة في المياه.

7- لوحظ تجاوز كبير في نتائج قياس العسرة الكلية (Total Hardness)، اذ يرجع السبب الى وجود ايونات المعادن الموجبة ثنائية الشحنة مثل الكالسيوم (Ca) والمغنيسيوم (Mg)، كما هو موضح في الزيادة العالية في جميع العينات لعنصر الكالسيوم والمغنيسيوم، حيث ان ارتفاع تركيز هذه الايونات يسبب طعم غير مستساغ للماء وعدم قبوله من قبل المستهلك.

8- تجاوزت كافة العينات حدود منظمة الصحة العالمية بالنسبة لنتائج قياس البيكربونات (HCO^{-1}_3) والكلورايد (Cl^{-1}) والكبريتات (SO^{-2}_4)، بينما كانت قريبة من المواصفات اليمنية، ويعود ذلك الى التكوين الجيولوجي للمنطقة المتمثلة بتكوين الشحر والطويلة.

9- من خلال ملاحظة نتائج قياس النترات (NO^{-1}_3) والفلورايد (F^{-1}) والحديد (Fe^{+3}) والمنغنيز (Mn^{+2})، تبين ان جميع القيم تدخل ضمن الحدود المسموح بها دولياً ومحليا ، ما عدا العينة (W2-1) والعينة (W1-3) وجد فيها تجاوز في نتائج قياس الحديد والمنغنيز على التوالي.

المناقشة والاستنتاج

إن تحديد مواصفات الماء كمصدر طبيعي للاستهلاك البشري تحكمه اغراض ودواعي الاستعمال سواء كان ذلك للشرب او للزراعة او غيرها من ضروب الاستعمال المتعددة. بالنسبة لمياه الشرب المتوفرة في حقول الآبار التي تزود مدينة المكلا وغيل باوزير فيجب اولاً ان لا تحتوي هذه المياه على جراثيم او سموم تكون تركيزاتها مؤثرة على الصحة العامة. اذ لوحظ من خلال التحاليل المايكروبايولوجية التي أجريت على عينات المياه المأخوذة من الآبار في حقل (النقعة، تلة، العضيبة) أنها خالية من التلوث البكتيري ومن وجود أي بكتيريا مرضية وكذلك في خزانات أو شبكات التوزيع بسبب وجود محطة للكلور يتم فيها عملية التطهير قبل ضخ المياه للشبكة.

نأتي في المقام الثاني النواحي الكيميائية المبينة في الجدول (1)، وذلك لأنها تسبب مخاطر صحية بعد التعرض لها لفترة زمنية طويلة. إذ ركزت الأهداف الرئيسية في كافة البحوث المنشورة على المواد الكيميائية التراكمية مثل المعادن الثقيلة و المواد المسرطنة. وقد ترجمت هذه المواصفات إلى مؤشرات وخطوط توجيهية بواسطة منظمة الصحة العالمية، وعلى ضوء ذلك يمكن ان تقوم كل دولة بوضع معاييرها و مواصفاتها طبقاً للظروف البيئية والمناخية والنواحي الاقتصادية السائدة بها.

على ضوء طبيعة مصادر المكامن الجوفية في منطقة الدراسة الحالية يمكن مقارنة نوعية المياه الجوفية الصادرة من كل موقع، بطبيعة تحليل هذه المياه و ربطها مع التوزيع الصخري والبنية التركيبية للمنطقة، اذ تساهم بدرجة كبيرة في تلوث المياه الجوفية. اثبت التحاليل المختبرية الحالية وجود زيادة

جدول 1: نتائج الفحوصات المختبرية الفيزيائية و الكيميائية للعينات المأخوذة من مواقع حقول الآبار الجوفية في عموم منطقة الدراسة (كاعش، 2002).

النموذج sample	تاريخ اخذ النموذج	اللون color /units	العكارة turbidity n.t.u.	درجة الحامضية PH	الموصلية الكهربائية E.c µm /cm	المواد الصلبة الذائبة TDS mg/l	القاعدية الكلية Total Alkalinity mg/l	العسرة الكلية total hardness mg/l	عسر الكالسيوم Calcium hardness mg/l
حقل النقمة w1-1	17/11/2001	2	0.24	7.6	2020	1293	210	770	485
w1-2	17/11/2001	2	0.34	7.6	2800	1792	138	1265	965
w1-3	17/11/2001	0	0.46	7.5	3540	2266	168	1375	1135
w1-4	17/11/2001	0	0.36	7.7	2450	1586	132	1065	675
حقل ثلة w2-1	2/12/2001	0	0.42	7.4	2110	1350	216	810	485
w2-2	2/12/2001	1	0.33	7.2	2770	1773	224	1275	905
حقل العضيبة w3-1	8/12/2001	1	0.31	7.4	2010	1286	194	744	435
w3-2	8/12/2001	2	0.34	7.4	2190	1402	230	895	555
حقل قوة w4-1	29/12/2001	3	0.23	7.4	3520	2253	278	1350	820
w4-2	29/12/2001	2	0.27	7.3	2700	1728	260	1120	700
منظمة الصحة العالمية WHO Guide Line		5	5	6.5-8.5	1500	1000	120	500	200
المواصفات اليمنية Yemeni Guide Line		15	15	6.5-8.5	2500	1500	-	500	-

النموذج sample	عسر المغنيسيوم Magnesium hardness mg/l	البيكاربونات HCO_3 mg/l	الكلورايد Cl mg/l	الكبريتات So_4 mg/l	النترات NO_3 mg/l	الفلورايد F mg/l	الحديد Fe mg/l	المنغنيز Mn mg/l
حقل النقمة w1-1	285	256.2	346	800	3.6	1.46	0.02	0.2
w1-2	300	168.4	260	1600	4.4	1.83	0.12	0.4
w1-3	240	205	290	1800	3.6	2.15	0.07	6.7
w1-4	390	161	310	1300	3.6	1.64	0.04	0.1
حقل ثلة w2-1	325	263.5	350	1000	5.8	1.32	1.32	0.01
w2-2	370	273.3	335	1300	5.7	1.51	0.03	0.2
حقل العضيبة w3-1	320	236.7	310	1200	5.1	1.76	0.31	0.4
w3-2	340	280.6	340	800	4.4	1.75	0.03	0.1
حقل قوة w4-1	530	339.2	675	1400	19.6	1.32	0.01	0.4
w4-2	420	317.2	485	1100	10	1.13	0.01	0.3
منظمة الصحة العالمية WHO Guide Line	150	146.4	250	400	45	1.5	0.3	0.1
المواصفات اليمنية Yemeni Guide Line	-	500	600	400	45	1.5	1	0.2

كبيرة في تراكيز معظم العناصر الفيزيائية والكيميائية عن المعايير المسموح بها، اذ لوحظ ارتفاع تراكيز الملوحة والقاعدية والعسرة والكبريتات والمنغنيز والفلور في هذه المياه، وهذا يدل على عدم صلاحية المياه للشرب بهذه الحالة قبل إجراء طرق المعالجة لما قد تسببه من اضرار صحية للانسان وممتلكاته العامة (جدول 1).

تشير الدراسات الحقلية إلى إن حقول بئر ثلة (Thilah) تكون مرتبطة مع المجموعة الثانية من أنواع المكامن الجوفية وفي صخور مجموعة الطويلة للعمر الكريتاسي (Cretaceous Tawilah Group) المتكونة من الحجر الجيري والدولومايت (Competent Limestone and Dolomites) والمرتبطة موقعياً بنظام الصدوع والفواصل نتيجة العمليات التكتونية للصفيحة العربية (Tectonic processes associated with major rifting) (Abdul Sattar et al., 1998).

اما حقول آبار النقعة (Al-Naqaa) والعضيبة (Adhibah) فتكون مرتبطة مع المجموعة الاولى من المكامن الجوفية وفي ترسبات مكاشف صخور الترسبات الحديثة للعصر الرباعي المتكونة من المدملكات والرمل والسلت والطين (Cobble, Gravel, Sand, Silt and Clay grade materials). هذه الترسبات تكون فيها حركة المياه الجوفية نتيجة المسامية العالية (High Permeable) للترسبات الحديثة المتمثلة بترسبات السهول الفيضية والمدرجات النهرية وسفوح المراوح الفيضية وتكون اكثر ملائمة عن غيرها من المكامن في المنطقة وفي تطبيق مفهوم حصاد المياه بواسطة السيول الخاطفة كوسيلة للتخفيف من تدهور المياه الجوفية في خزانات هذه المكامن.

اما حقول بئر فوة (Fowah) فتكون مرتبطة مع المجموعة الثانية من المكامن الجوفية وفي ترسبات مجموعة صخور الشحر للعمر اوليكوسين-مايوسين (Oligocene-Miocene Shihr Group) المتكونة من تتابع لصخور البيئات البحرية الساحلية والتي تكون تكويناتها غير مكشوفة على السطح في هذه المنطقة اذ تتاثر حركة المياه الجوفية هنا بنظام الفواصل العالية الكثافة (Fissure facilitated flow). مما تقدم يتبين مدى ارتباط نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية المبينة في الجدول (1) بنوعية وطبيعة مكامن الصخور المعدنية وقابليتها على نفاذية المياه.

تعتبر قاعدة المعلومات المتمثلة بتوفير مجموعة من الخرائط الغرضية بالاعتماد على شواهد وبراهين جيولوجية وحقلية ضرورية في تطبيق مفهوم حصاد المياه، إذ أوضحت الدراسة الحالية في محافظة حضرموت بان منطقة السهل الساحلي يضم مجموعة من الظواهر الجيومورفولوجية التي لها علاقة مباشرة بتواجد المياه الجوفية ضمن مكاشف صخور الترسبات الحديثة للعصر الرباعي كما وضحتها خارطة التعبير الجيومورفولوجي (شكل 4). ولما كانت مياه الأمطار تهطل في مناطق المرتفعات ذات التضرس العالي شمال منطقة الدراسة، لذا فان كميات هائلة من هذه المياه تنفذ وتتسرب إلى الطبقات السفلى حيث تتجمع في أعماق مناسبة وفي اتجاه انحدار الطبقات التي تمتد تحت مجاري الوديان الموسمية وسفوح المراوح الفيضية حتى تبلغ البحر العربي.

تم تحديد مناطق ربما تكون واعدة لتطبيق مفهوم حصاد مياه السهول الخاطفة التي تحدث بصورة متكررة في مثل هذه المناطق الجافة عن طريق تحليل ودراسة أحواض الصرف السطحية (شكل 5) لما تشكله هذه الأحواض من إمكانية استقبال مياه الأمطار الساقطة (الحاج، 1997). وكذلك للأهمية الخاصة في دراسة المياه الجوفية باعتبار وجود أحواض الصرف السطحية (الحديثة والقديمة) دلالة من دلالات تواجد هذه المياه. تم دراسة الإمكانات التنموية للأحواض المائية التي يتواجد فيها مواقع حقول آبار المياه الجوفية مثل وادي حويرة ووادي الحاوي وبويشن ووادي فوة ، لغرض تحديد انسب المواقع لحقن الخزانات الجوفية بواسطة السيول الخاطفة، من اجل معالجة مشكلة الزيادة المفرطة في تراكيز بعض العناصر و تحسين نوعية المياه الجوفية حيث يؤدي مثل هذه الأساليب المستخدمة في مفهوم حصاد المياه إلى زيادة الضغوط المائية عن طريق التغذية المباشرة عبر إقامة مجموعة من السداد أو القواطع (Barriers and stony ditches) على طول مجاري الوديان الرئيسية أعلاه، ان اختيار مواقع هذه السداد مثبتة على الخارطة (شكل 5)، اذ تم اختيارها بالاعتماد على الخصائص المورفولوجية والمعلومات الحقلية لمقطع الوادي فضلا عن قربها من مواقع حقول الآبار وفي ترسبات مكاشف صخور الترسبات الحديثة للعصر الرباعي، اذ يساعد ذلك على تغذية مكامن المياه الجوفية عن طريق اعاقة جريان مياه الامطار واطالة زمن غيض الماء داخل الترسبات الحديثة. ان تصميم وبناء مثل هذه السداد لا يحتاج إلى جهد هندسي او دراسات جيولوجية مكثفة ، اذ تكون هذه السداد مصنوعة من الحجر المتوفر في الوادي نفسه او بشكل قواطع كونكريتية لايزيد ارتفاعها عن مترين .

تشير الدراسات الجيولوجية لحوض المكلا ذي الحجر الرملي (Mukalla sandstone aquifer) الذي يقع على نطاق الرفع على طول خليج عدن مشكلا حوضا مهما ونشيطا يتكون معظمه من طبقات ووحدات صخرية رسوبية تنتمي الى حقب الحياة المتوسطة (Mesozoic) ورسوبيات العصر الثلاثي (Tertiary) (شكل 2) والذي يمتد شمالا ويغطي نطاق الهضاب لشبه الجزيرة العربية. يتراوح سمك طبقات الحجر الرملي لحوض المكلا بين (300-400) متر إذ تتألف من طبقات رملية ناعمة وخشنة يفصل بينهما طبقات من الحجر الطيني والحجر الصلصالي وحجر الجير. إن مواصفات صخر الحجر الرملي الذي يكون حوض المكلا لم يتم دراسته بشكل كاف من حيث نوعيته وخصائصه التكتونية والصخرية ولكن بشكل عام فانه يشكل اكبر نطاق للمياه الجوفية في محافظة حضرموت بما يختزنه من كميات هائلة من المياه الجوفية النقية. يعتبر هذا الحوض كمصدر لتغذية الكثير من الأحواض الصغيرة المرتبطة به ومنها الأحواض الشبه ساحلية مثل مجموعة صخور ام الرضومة والطويلة مكونة مكمنا جوفيا متصلا يصل الى سمك اكثر من (800) متر وخاصة تلك المتواجدة في غيل باوزير والمناطق المحيطة بها ذات النشاط التكتوني (الصدوع) والتي تحتوي على كميات متواضعة من المياه الجوفية. وللحفاظ على الاحواض الصغيرة لابد من التفكير في حمايتها من عمليات الاستنزاف المستمرة وخاصة تلك التي في غيل باوزير، اذ كان الأجدر ان يتم الحصول على المياه النقية من المصدر الاساسي وهو

حوض المكلا حتى لا تتعرض هذه الاحواض الصغيرة للاستنزاف مسببة مشاكل كبيرة للمنطقة. وعليه نرى ان تبذل السلطة المحلية جهود مكثفه للحفاظ على منطقة غيل باوزير وضواحيها ومصدرها المتواضع من المياه الجوفية والتركيز على الحصول على المياه من الحوض الاساسي طالما وان الدراسات الاولية اثبتت بان حوض المكلا ذي الحجر الرملي غني بالمياه الجوفية النقية وبكميات هائلة.

المصادر العربية

الحاج، محمد الحسن الطيب، 1997. حصر وحصاد مياه الفيضانات، حصاد مياه الامطار والري التكميلي، حلقة عمل حصاد الامطار والري التكميلي في المناطق الجافه وشبه الجافه في الوطن العربي، دمشق للفترة 17ـ1997/11/19، ص 30-57.

الماجد، عصام محمد عبد، 1995. الهندسة البيئية، دار المستقبل للنشر والتوزيع، عمان، 11118، الاردن، رقم الايداع لدى دائرة المكتبة الوطنية 1995/5/464، 159 صفحة.

المعتاز، ابراهيم، 1988. تحسين نوعية المياه الجوفية. المجلة العربية للعلوم، العدد12، ص 75-77.

باعباد، عمر بارجاء هود، 1997. جيولوجية المكامن الجوفية ونوعية مياهها في محافظة شبوة ، وقائع الندوة العلمية الاولى لمياه الشرب للفترة 8-1997/12/10، شبوة ، عتق، الجمهورية اليمنية.

عمرون، علي عبيد، 1995. تقييم نوعية مياه الشرب للمدن الرئيسية في وادي حضرموت.

عطروس، علي سعد، 2000. المياه الجوفية، الطبعة الاولى، صنعاء، الجمهورية اليمنية، 180صفحة.

عبادي، سعاد عبد، 1990. الهندسة العملية للبيئة، فحوصات الماء، دار الحكمة للطباعة والنشر، 175 صفحة.

كاعش، مها محمد حسن، 2002. معالجة تلوث مياه الشرب في منطقة المكلا، مشروع بحث تخرج، جامعة حضرموت للعلوم والتكنولوجيا، كلية العلوم البيئية والاحياء البحرية،84 صفحة.

المصادر الأجنبية

Abdul Sattar, O. Nani and Ismail, N. Al - Ganad, 1998. Palaeozic sediments in Yemen .2nd symposium of geological correlation between Arab countries. The Paleozoic Geocome, IV, pp.9-12.

Robertson, G.R., 2002.The natural resources projects of the oil and mineral resources in al-Mukalla water supply and sanitation project, Ministry of Electricity and water, Republic of Yemen, 210p.

Zuidam, R.A. and Zuidam, F.I., 1979. Terrain analysis and classification using aerial photograph. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (I T C), the Netherlands, 108p.