الصفات الهيدرولوجية في بعض التكوينات الجيولوجية للجمهورية اليمنية.

دكتور/ حسين مثنى مسعد العاقل
أستاذ الهيدرو جغرافيا المشارك- كلية التربية صبر- جامعة عدن
جمهورية اليمن

ملخص البحث:-

يقدم هذا البحث الموسوم بـ (الصفات الهيدرولوجية في بعص التكوينات الجيولوجية في الجمهورية اليمنية) عرضا تحليليا لطبيعة العلاقة بين الصفات الهيدرولوجية، المتمثلة بنسبة المسامية (**N**) Porosity) ودرجة النفاذية ((**K**) Permeability) ومعامل الناقلية ((**T**) Transmissivity)، وبين التكوينات الجيولوجية، التي تتألف منها الطبقات الصخرية للمرتفعات الجبلية، وذلك بحسب نشأتها خلال مختلف عصور الأزمان الجيولوجية، سواء كانت بفعل العوامل التكتونية الباطنية السريعة (الزلازل والبراكين) أو بفعل العوامل الخارجية البطيئة (التعرية والتجوية). حيث حاول الباحث أن يربط تلك العلاقة، في عرض الصفات الهيدرولوجية، ببعض التكوينات الجيولوجية وقدرة كل منها، على مدى نفاذيتها للمياه السطحية، واختزانها للمياه الجوفية بين ثنايا طبقاتها الصخرية، وما تتعرض له من أعمال الحفر العشوائي الجائر للآبار الجوفية العميقة، باستخدام الآت الحفر الحديقة، وما ترتب على ذلك من تجاوز للحد المسموح به هيدرولوجيا وجيولوجيا في عمليات الحفر حتى أعماق أكثر من ١٠٠٠ متر، بينما طبيعة البنية الجيولوجية للطبقات الحاملة للمياه الجوفية، لا تسمح أن يصل متوسط عمق الحفر ما بين (٢٠٠ – ٥٠٠ مترا)، وعلى وجه الخصوص في خزانات الأحواض الجبلية المحصور (Confined Artesian Aquifer) والأحواض المعلقة (Perched Aquifer) وغيرها من أنواع الخزانات المنتشرة بين سلاسل المرتفعات الجبلية الغربية في الجمهورية اليمنية. ونتيجة ما شهدته تلك الخزانات الحوضية من تنافس وتسابق غير مسؤول لحفر الآبار خلال العقود الثلاثة (١٩٩٠- ٢٠١٩م)، فقد تسبب ذلك في استنزاف ونضوب المياه السطحية والجوفية في معظم المناطق التي تقع فيها تلك الأحواض، الأمر الذي أدى إلى تفاقم الأزمة المائية وجفاف الآبار وارتفاع درجات الملوحة والتلوث فيها.

Hydrological characteristics of some geological formations of the Republic of Yemen.

Dr. Hussein Mothana Mused Al- Aqeel
Associate Professor of Hydrology at Saber Faculty of Education

University of Aden
Republic of Yemen

Research Summary-:

This research tagged (the hydrological characteristics of some geological formations in the Republic of Yemen) provides an analytical presentation of the nature of the relationship between the hydrological characteristics, represented by the porosity ratio (N) Porosity and the degree of permeability ((K) Permeability) and the modulus of transmission ((T) Transmissivity), and between Geological formations, which make up the rocky layers of mountainous hills, according to their origins during different eras of geological times, whether they are due to rapid internal tectonic factors (earthquakes and volcanoes) or by slow external factors (erosion and weathering). Where the researcher tried to link that relationship, in the presentation of the hydrological characteristics, to some geological formations and the ability of each of them, on the extent of their penetration of surface water, and its storage of groundwater between the folds of its rock layers, and what it is exposed to by the random random unfair digging of deep underground wells, using garden drilling machines And the result of that exceeding the permissible limit of hydrology and geology in drilling operations up to depths of more than 1000 meters, while the nature of the geological structure of the layers carrying groundwater does not allow the average depth of drilling to be between (200 - 500 meters), and in particular In tanks ponds c Mechanism confined (Confined Artesian Aquifer) and pans hanging Perched Aquifer)) and other types of reservoirs scattered between the mountainous western highlands chains in the Republic of Yemen. As a result of the competition and irresponsible races in these reservoir tanks during the three decades (1990 - 2019), this resulted in depletion and depletion of surface and underground water in most of the areas where these basins are located, which exacerbated the water crisis, drying wells and rising The degree of salinity and pollution therein.

أهمية البحث:

تتمثل أهمية البحث، في ما عرضه من مشكلات ومخاطر لعواقب استنزاف المياه الجوفية، واختلال العلاقة الطبيعية بين معدلات الحجم الثابت للموارد المائية المتجددة سنويا، المقدرة بحوالي ٢،٥ مليار م^{٣}/ سنة، وتزايد معدلات حجم الموارد المائية المستخرجة للاستخدام في مختلف الأغراض الاجتماعية والاقتصادية بالجمهورية اليمنية.

منهجية البحث:

لقد اقتضت الضرورة البحثية، بأن يتبع الباحث المنهج الوصفي لعرض بعض التكوينات الجيولوجية التي تشكل المظهر العام لتضاريس الجمهورية اليمنية، وكذا المنهج التحليلي لإبراز طبيعة الصفات الهيدرولوجية، التي تتصف بها تلك التكوينات.

أهداف البحث وفرضياته:-

يهدف البحث إلى محاولة الإجابة عن فرضيات واقع الحال للمصادر التغذية الطبيعية للمياه الجوفية، ومدى ما تتعرض له من عواقب الاستنزاف بفعل الحفر العشوائي للآبار العميقة، واستخلاص الاستنتاجات التي تحقق منها الباحث نظريا وتوصل من خلالها إلى طرح التوصيات الممكنة لاتخاذ الحلول والمعالجات العملية مستقبلا.

الدراسات السابقة:-

لقد حظيت أزمة الموارد المائية ومشكلاتها التنموية الاجتماعية والاقتصادية بالجمهورية اليمنية، بدراسات وبحوث لا حصر لها، وهي في الغالب دراسات علمية تحليلية، تضمنتها الدراسات المُناخية، والبحوث الاقتصادية في مجال استخدامات المياه واستخراجها في أعمال الري الزراعي وغيرها، بالإضافة إلى تقارير استشارية للعديد من الهيئات والشركات المهتمة بالأعمال المشاريع التموينية للتجمعات السكانية. ولكن الدراسات المتعلقة منها بالصفات الهيدرولوجية وعلاقتها بطبيعة التكوينات الجيولوجية، لم تعط القدر المطلوب من البحث والتقصي للظاهرة في مجال البحث، وهذا ما ستقدمه دراستنا هذه. ومن الدراسات التي أشارت بإيجاز الى الصفات الهيدرولوجية لبعض التكوينات الجيولوجية في الجمهورية اليمنية، كانت للمهندس: علي سعد عطروس الموسومة بـ (المياه الجوفية Groundwater) فضلا عن ما تضمنته من المراجع التي اعتمد عليها الباحث من معلومات جيولوجية وهيدرولوجية.

خطة البحث: -

اشتمل البحث على محورين أساسين هما: المحور الأول: تصمن التكوينات الجيولوجية وصفاتها الهيدرولوجية، ومنها:-

١- صخور القاعدة Basement Complex Rocks

٢- مجموعة صخور وجيد Wajed Sandston Groups
٣- مجموعة صخور كحلان الرملية Kohlan Sandston Groups
٤- الصخور الرملية:- وهذه التكوينات تضم:-
أ- مجموعة صخور الطويلة الرملية Tawilah Sandstone Groups
ب- الصخور الكلسية Limestone Formation
ت- صخور البركانية اليمنية الثلاثية Tertiary Yemen Volcanic
ث- صخور البراكين الرباعية Quaternary Volcanic Series
ج- صخور الرواسب الحديثة Recent Deposits

المحور الثاني:

الأحواض المائية الجوفية في الجمهورية اليمنية.. ويشمل على:-

١- الحوض الغربي: أو (حوض البحر الأحمر).
٢- الحوض المائي الأوسط: أو (حوض البحر العربي).
٣- حوض خليج عدن.
٤- حوض الربع الخالي.

وعلى ما تتميز به تلك الأحواض هيدرولوجيا، فقد تم تصنيفها إلى أربعة أنواع من الخزانات الحاملة للمياه الجوفية الطبيعية، وذلك بحسب التصنيفات المعروفة في الدراسات العلمية وهي:-

أ- الخزان الجوفي الحر: Unconfined Aquifer.
ب- الخزان الجوفي المحصور Confined Artesian Aquifer.
ج- الخزان شبه المحصور Semi Confined Aquifer
د- الخزان الجوفي المعزول Perched Water Aquifer

كما تناول البحث خاتمة تضمنت عددا من الاستنتاجات المستخلصة من المحورين، ومن ثم وضعت بعض التوصيات الخاصة بالحلول والمعالجات الممكنة للحد من مخاطر استنزاف الموارد المائية في الجمهورية اليمنية..

المقدمة:-

اليمن: تنتمي من حيث تركيب بنيتها الجيولوجية إلى أقدم التكوينات الصخرية للزمن الاركي Archean Age، والتي تمثل القاعدة الأساسية للصخور الأولية ذات الأصل الناري البلورية التي ترجع إليها الصخور النارية (Igneous Rocks)، التي مصدرها المصهورات الماجماتية المندفعة بفعل الحركات التكتونية (Tectonic) من باطن الكرة الأرضية، ومنها تشكلت الكتل الصلبة لقارات العالم ومنها قارة جندوانا لاند، باعتبارها القارة الجنوبية التي كانت اليمن جزء منها، تؤلف صخور ما قبل الكمبري النواة الأولى لصخورها القاعدية والمعروفة بصخور Pre-Cambrian Basement Complex Rocks اشتقت منها بعد ذلك مختلف أنواع الصخور المتحولة Metamorphic Rocks والصخور الرسوبية Sedimentary Rocks تحت مؤثرات زمنية طويلة استمرت أحقاب متلاحقة من عصور ألازمان الأولPaleozoic والثانيMesozoic والثالث Tertiary ثم الزمن الرابع Quaternary وما تنج عنها من عمليات هدم وبناء لعوامل باطنية سريعة (زلازل- براكين) ترافقت معها حركات انكسارية والتوائية، ونشطت خلال تلك المراحل الزمنية عمليات سطحية واسعة اتسمت بحركتها وتأثيراتها البطيئة لعمليتي التجوية Weathering والتعرية Erosion لمختلف العوامل المائية والريحية أو العوامل الميكانيكية التي اشتركت جميعها في أزالت ونحت الطبقات الصخرية ثم نقلها وترسيبها في مختلف مناطق اليمن لتشكل المظهر التضاريسي الحالي لمساحة اليمن البالغة حوالي ٥٥٥ كم٢،'والواقعة جغرافيا في الجنوب الغربي لشبه الجزيرة العربية، إنما هي نتاج طبيعي لمجمل التغيرات والتحولات الجيولوجية المستمرة والمتواصلة منذ ملايين السنين.

لقد أظهرت الدراسات العلمية التي أجريت على جيولوجية اليمن ومن أهمها (دراسات بوتر Botez) (1912 وبنيتون(Benyton 1913) ولامير وآخرون(Lamar et al 1930) وشكري وباستا Shukri and) (Batsa 1954 وبيضون(Beydoun 1964) وجيوكينس(Geukens1966) وجرين وود Green Wood)

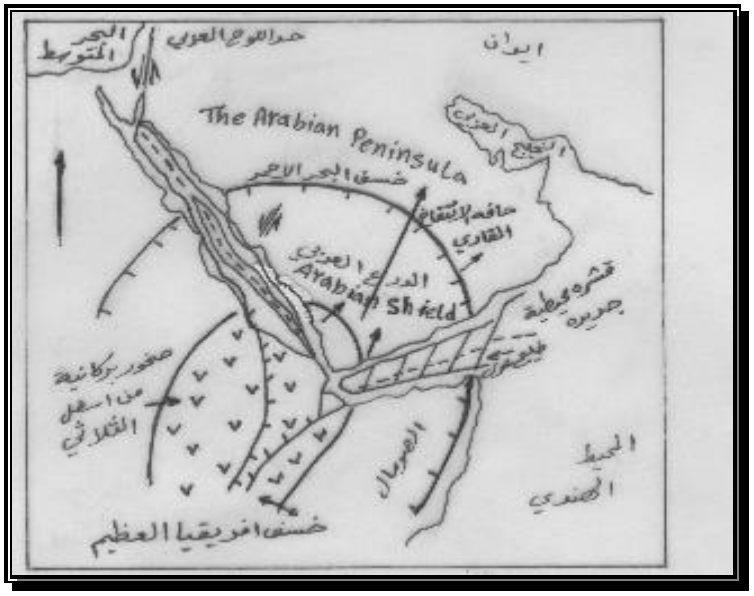
(1967 وغيرهم [١]). من الباحثين الذي كان لهم السبق في تحديد المعالم الجيولوجية وخصائصها الطبيعية وعلاقة ذلك من حيث التوافق والاختلاف مع بقية المناطق المجاورة لليمن التي كانت في عصور ما قبل الكمبري جزء أساسي من القارة الجندوانية (وكانت تقع ضمن الجزء المسمى بالدرع العربي النوبي–Arabian Nubian Shield الذي يتألف من صخور نارية شديدة الصلابة مثل الجرانيتGranite وصخور متحولة مثل النيس (Gneisses) والشست (Schists) [٢]).

وتشير العديد من الدراسات الجيولوجية إلى أنه في عصور الاردفيشي (Ordovician) من الزمن الأول، وحتى عصري البرمي (Parmian) والجوارسي (Jurassic) للزمن الثاني (تعرض الدرع العربي النوبي لعمليات واسعة من التصدعات والتحولات والنحت والتآكل مما أدى بفعل ذلك إلى تحولها هضبة تحاتية (Pen plain) مغطاة برواسب قارية سميكة [٣]). ومع نهاية الكرياتسي (Cretaceous) وبداية الزمن الثالث تعرضت الكتلة العربية النوبية لحركة رفع (Uplifted) ارتفعت بفعلها الأجزاء الغربية من شبه الجزيرة العربية (Arabian Peninsula) وشرق أفريقيا (East Africa) . وهناك دلائل تشير من ان الركيزة العربية بدأت تتمايز في عصر الكريتاسي وقبل نهاية هذا العصر، انفصلت هذه الكتلة إلى جزئيي هما: الجزء العربي والجزء النوبي، فصارتا كتلتين منفصلتين عن بعظهما يفصلهما، أخدود كان أول مظهره عباره عن حفرة انهدامية تولد منها فيما بعد الغور الهائل للبحر الأحمر. وقد أثبتت الدراسات الحديثة (بأنه بعد انفصال الركيزة الأفريقية عن الركيزة العربية خضعت هذه الأخيرة لدوران مقداره ست درجات، كما تبين من دراسة بنية البحر الأحمر وخليج عدن بأنه حصل تمزق للقشرة الأرضية نجم عنها انزياح واندفاع الصفيحة العربية – الأفريقية (African–Arabian Plates) باتجاه الشرق والجنوب [٤]). ونتج عنهما تصادم(Collision) الصفيحتان، وكان تأثيريهما عميقا على جيولوجية الإقليم، حيث اندفعت الصفيحة العربية باتجاه الشمال الشرقي نتج عنها تصدع وارتفاع جبال زاجروس في إيران، والى الغرب والجنوب من انفلاق البحر الأحمر وخليج عدن تكون انفتاح ما بين الجزيرة العربية وشمال شرق أفريقيا. .(ينظر الشكل أ و ب).

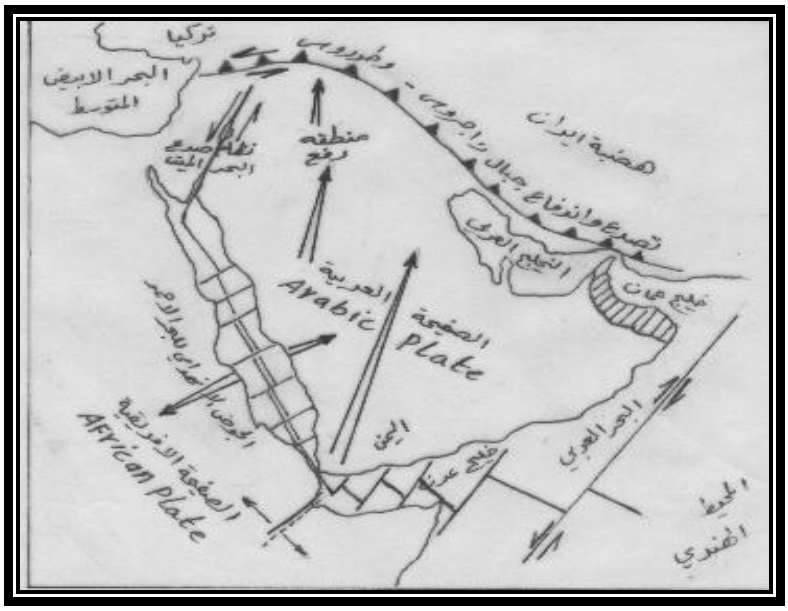
وكل هذا أدى إلى (هبوط الصخور القاعدية في الأجزاء الشمالية والشرقية، التي غطت برواسب سميكة وحديثة نسبيا، فقد وجد أن عمر أقدم الصخور الرسوبية المكونة لقاع البحر الأحمر هو ٧– ١٢ مليون سنة، أي من عمر الميوسين ' بينما صخور القاعدة البلورية لعصر ما قبل الكمبري Pre–Cambrian ورواسبها القديمة غطت الأجزاء المكشوفة من الدرع العربي [٥]).

ومن أهم وأقدم التكوينات الجيولوجية بالجمهورية اليمنية، يمكننا عرضها وتحديد صفاتها الهيدرولوجية في المحور الأول، وذلك على النحو الآتي :–

شكل رقم(١-ا) توضح الحركة التكتونية لعملية حدوث الخسف والهبوط الرأسي للبحر الأحمر والانكسار الأفقي لخليج عدن وانفصال الصفيحة العربية لشبه الجزيرة العربية (The Arabian Peninsula) عن الصفيحة الأفريقية، وبروز الدرع العربي (Arabian Shield) .



شكل رقم(١-ب) تبين الاتجاهات الانكشارية والانهدامية وحركة الصفائح القارية لكل من الصفيحة العربية (Arabian Plate) نحو الشمال الشرقي والصفيحة الأفريقية (African Plate) نحو الجنوب الغربي ، وما ترتب بعد ذلك من معالم تضاريسية لشبه الجزيرة العربية والقرن الأفريقي.



المصدر:- عمل الباحث بالاعتماد على: د. محمد بن عبد الغني عثمان شرف، أساسيات علم الأرض، الجيولوجيا الفيزيائية، دار المريخ، الرياض١٩٩٧ ، ص ص ٧٣٤-٧٤٣..

المحور الأول:

التكوينات الجيولوجية وصفاتها الهيدرولوجية. وتشمل ما يلي:-

١- تكوينات صخور القاعدة (Basement Complex Rocks)

ترجع صخور القاعدة إلى تكوينات ما قبل الكمبري وهي تمثل أساس البناء الصخري لجبال اليمن، حيث شكلت القاعدة الصخرية الصلبة التي تحتوي على بلورات نارية ومتحولة تشغل مساحة ٣٢٠٠٠ كم^{٢} من مساحة النطاق الغربي لليمن، وتتألف من صخور الجرانيت الجابرو Gabbro والشست والنيس، تستلقي فوقها مختلف التكوينات المشتقة منها، والتي تعاقب حدوثها خلال العصور الزمنية نتيجة الحركات التكتونية الباطنية والنشاط الترسيبي للمياه البحرية، وعوامل التعرية السطحية المختلفة.

٢- مجموعة وجيد Wajed Sandston Groups

توجد صخور وجيد الرملية في الشمال الغربي لليمن، وتشغل مساحة محدودة، (وتظهر على هيئة كتل متكسرة، تحيط منخفض صعدة من الشمال، وترجع جيولوجياً إلى حركة الرفع في الزمن الأول، وقد تعرضت للتمزق والتشقق، بفعل الانكسارات والصدوع، حيث ساعدت عوامل التعرية من نقل وترسيب رمالها في بطون الوديان والأحواض الداخلية- كحوض صعدة، و في سهل تهامة وحوض الجوف ورملة السبعتين، وتقدر سماكة صخور وجيد بنحو ٦٠٠ مترا، جاءت على هيئة كتل صخرية ممزقة [٦].) (وتحتوي على رواسب جليدية Glacil Deposits)[٧]). وتغطي مساحة ٤٠٠٠ كم^{٢}، من مساحة الجزء الغربي للمحافظات الشمالية.

الصفات الهيدرولوجية لتكوينات مجموعة وجيد

تتصف تكوينات الطبقات الصخور لمجموعة وجيد بأنها:-

١- تعد من أقدم التكوينات الجيولوجية في تشكيل نواة البنية التضاريسية ليس في اليمن فحسب، وإنما في شبه الجزيرة العربية.
٢- كما تعد من أكثر الطبقات الصخرية صلابة، ونتيجة ذلك فأنها تتصف هيدرولوجيا من حيث معامل النفاذية (**K**) Permeability فيها تكون منخفضة، لا تسمح بفعل تماسك حبيباتها من نفاذ المياه السطحية عبر مساميتها إلا بشكل محدود.

٣- ونتيجة هذا العامل فقد عكس نفسه على درجة التوصيلة الهيدرولوجية، التي تختلف من ٠,١ إلى ٠,٣ م/يوم ومتوسط الناقلية Transmissivity (**T**) [*] تكون ٧٥م٢/يوم، وتتراوح من (٥٠-٧٠٠م٢/يوم)، بينما معدل النوعية الاستيعابية للمياه الجوفية تصل إلى ٣٠م٢/يوم [٨]).

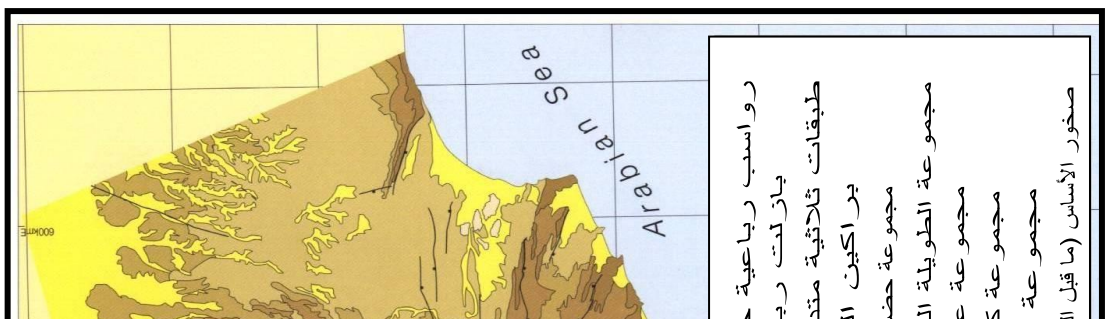
٣- مجموعة صخور كحلان الرملية Kohlan Sandston Groups

ترجع صخور كحلان الرملية في تكويناتها الجيولوجية، إلى عصر الجوارسي المتأخر، وهي عبارة (عن وحدة ثانوية يستلقي جزء منها ٢٠% فوق صخور وجيد و٨٠% فوق صخور القاعدة، حيث يصل متوسط سمكها إلى حوالي ٢٠٠ مترا في شمال غرب اليمن، واحيانا يصل متوسط سمكها ما بين ٧٠-١٠٠مترا إلى أكثر من ٣٠٠ مترا في بعض مناطق اليمن، كما تنتمي إليها صخور مجموعة(Akbra Shales)، التي تقدر سماكتها أكثر من ١٣٠ مترا [٩]).

ومن جهة أخرى (حدثت إعمال بنائية عنيفة نتيجة انهدام غور الأحمر وخليج عدن، مما أدى ذلك إلى انضغاط وهبوط بعض المناطق الداخلية في لأجزاء لجنوبية والغربية من اليمن، ولكن المنطقة ازدادت ارتفاعا وظهرت إعداد كبيرة من الصدوع، أثرت على المظهر التضاريسي من حيث الارتفاع والانخفاض، مع مرافقة ذلك نشاط بركاني هائل غمر المنطقة بغشاء واسع وسميك من الحمم والمسكوبات البازلتية، وظهرت عشرات الفوهات البركانية الكبيرة التي لا يزال قسم منها ماثل إلى ألآن [١٠]).

وقد أسهمت العوامل التكتونية الباطنية، وعوامل التعرية السطحية في خلق وتشكيل المعالم الجيولوجية لبنية اليمن طوال المراحل الزمنية المتعاقبة، وجعلت تركيبها العام يتصف بتداخل و اندماج الطبقات الصخرية، بدليل عدم توافق وانتظام التكوينات، حسب قدمها وحداثتها، سواء كان ذلك في الأجزاء الغربية المنتمي للدرع العربي(Arabian Shield) أم في الأجزاء الشرقية المنتمية للرف العربي(Arabian Shelf)، فهي عبارة عن تكوينات تتألف من طبقات صخرية متعددة الأعمار اختلطت مع بعضها البعض بفعل الأحداث الجيولوجية لكنها تبدو في النطاق الغربي لمرتفعات اليمن أكثر وضوحا من حيث أقدميتها وشدة صلابتها بالإضافة إلى تتابع ومواقع انتشارها من لشمال إلى الجنوب، على وفق التوزيع الإقليمي الأفقي والراسي الذي قسم أرض اليمن بموجبها إلى التكوينات التالية:- يتظر خريطة رقم (١)..

خريطة رقم (١) التكوينات الجيولوجية الرئيسة لبنية الجمهورية اليمنية..



المصدر:- عمل الباحث بالاعتماد على:

Jac A.M.Van der Gun and Abdul Aziz Ahmed, The water resources of Yemem, a summary and digest of available information, report WRAY-35,Sanaa 1995,p5..

٤- تكوينات الصخور الرملية

تعد الصخور الرملية من أكثر وأوسع الطبقات الصخرية المنتشرة فوق مساحة أرض اليمن، وهي عبارة عن تكوينات غير متماثلة في سماكتها ومساحة امتدادها، لكنها على الرغم من تباين فترات حدوثها الجيولوجي، إلا أنها تنتمي في صلابتها إلى الأصول الأولية للصخور البلورية ، التي اشتقت منها في أثناء عمليات الرفع وحركات التصدع والانكسار، التي أصابت الجزء الغربي من اليمن بفعل عملية الشد والضغط الجانبي، المترافق مع انزياح الصفيحة العربية عن الصفيحة الإفريقية وهبوط الغور الانهدامي للبحر الأحمر وخليج عدن. وتتمثل الصخور الرملية بثلاث مجموعات رئيسة:- هي:-

أ- **مجموعة الطويلة الرملية (Tawilah Sandstone Groups)**

تعرف صخور الطويلة (باسم الصخور الرملية الكريتاسية المتعاقبة Cretaceous Sandstone Successiona1 [١١]). وذلك لما لها من مميزات هيدروجيولوجية حيث ترجع في نشأتها إلى عصر الكريتاسي المتأخر (Late Cretaceous) وبداية الزمن الثالث (Early Tertiary)، حيث تتصف بتنوع طبقاتها وقلة صلابتها، وسرعة تعرضها للتفتيت والتشقق، فعلى الرغم من أنها كانت تنتشر فوق مساحة واسعة من المرتفعات الغربية وترتكز فوق صخور القاعدة، إلا إن عوامل التجوية والتعرية، قد أزالت أجزاء كبيرة من قممها المرتفعة، وبقيت في الوقت الحاضر محدودة الامتداد في بعض المناطق الوسطى، كما هو الحال في حوض صنعاء وحوض رداع البيضاء، وفي الأجزاء الشمالية لحوض الضالع–قعطبة، كما تظهر في بطون الأحواض الجبلية وعند مخارج الوديان الشرقية والجنوبية، تكون على هيئة رواسب رملية ومجروفات سيلية، تداخلت مع رواسب كلسية ومارين في المناطق السهلية، بينما طبقاتها الصخرية المنتشرة في المناطق الوسطى من المرتفعات اليمنية التضاريسية، تتكون من صخور الطويلة ومن الحجر الرملي خشن الحبيبات، توجد في على هيئة طبقات متقاطعة... يتغير لون الصخر من الأبيض في سطحها السفلي إلى اللون الأحمر في سطحها العلوي، نتيجة لزيادة المادة اللاحمة الهماتيتية لحبيبات الرمل الكوارتزية، وتنتشر جنبا إلى جنب مع صخور بركانيات تراب Trap ويبلغ سمكها حوالي ٣٨٠ مترا. [١٢]).

الصفات الهيدرولوجية لطبقات الصخور الرملية.

من أبرز الصفات الهيدرولوجية التي تتصف بها طبقات الصخور الرملية في الجمهورية اليمنية تتمثل بما يلي:-

١- تعد التكوينات الجيولوجية لطبقات مجموعة صخور الطويلة الرملية في الجمهورية اليمنية، من أفضل الطبقات الحاملة للمياه الجوفية، (حيث يقدر متوسط سمك صخور الطويلة ما بين ٣٠٠-٤٠٠ مترا في المحافظات الشمالية وبنحو ٧٠٠ مترا في المحافظات الشرقية وتمتاز هيدرولوجيا بان نسبة المسامية (**N**) Porosity فيها مزدوجة ومعامل النفاذية (**K**) Permeability والتوصيلة المائية معتدلة تصل إلى ٠,٢٦م^{٢}/يوم ومعامل الناقلية (**T**) Transmissivity تتشابه مع صخور

وجيد الرملية لكنها تختلف من ١٠-٥٠٠م^{٢}/يوم ومعدل الإنتاج النوعي (**SY**) Yield Specific يكون ١,٨% [١٣]).

٢- تمتد صخور الطويلة الرملية على هيئة كتل جبلية مرتفعة تستلقي فوق طبقات صخور الأساس لعصر ما قبل الكمبري (Basement Complex Rocks)، وتشكل سلسلة من الكتل والطبقات المتصلة مع بعضها حينا ومن كتل متفرقة حينا آخر، وعلى وجه الخصوص في المناطق الوسطى من مرتفعات اليمن الغربية. حيث تشير الدراسات الهيدرولوجية التي أجريت على طبقات الصخور الرملية لمجموعة الطويلة، إلى (أن متوسط سمك صخور الطويلة يكون ما بين ٣٠٠-٤٠٠ متر في المحافظات الشمالية، وحوالي ٧٠٠ متر في المحافظات الشرقية، وتمتاز هيدرولوجيا بأن نسبة المسامية (**N**) فيها مزدوجة ومعامل النفاذية والتوصيلة الهيدرولوجية Hydraulic Conductivity (المائية) معتدلة تصل إلى ٠,٢٦م^{٢}/يوم ومعامل الناقلية (**T**) تتشابه مع صخور وجيد الرملية لكنها تختلف من ١٠- ٥٠٠م^{٢}/يوم ونسبة الإنتاج النوعي ***(SY)*** Yield Specific يكون ١,٨%) [١٤]).

٣- تعتبر طبقات صخور الطويلة الرملية (من أكثر الطبقات الحاوية على الخزانات الجوفية (Sandstone Aquifer) بل ومن أهم الخزانات المائية الجوفية في جميع انحاء العالم، وذلك لما تحتوي من مياه جوفية أحفوريه .... ومسامية الصخور الرملية قليلة (١٠%) مقارنة بالرمل (٣٠-٥٠%) وذلك بسبب التراص الحبيبي والمواد اللاحمة بين حبيباته، كذلك معامل النفاذية الذي يقل عن (١٠ $^{-١٠}$ م/ث [١٥]).

ب- طبقات الصخور الكلسية (Limestone Formation)

تعد الصخور الكلسية (Limestone) (من ابرز مظاهر الترسيب البحري التي غمرت مياه البحار الجنوبية، مناطق واسعة من ارض اليمن، في نهاية الزمن الأول ومطلع الزمن الثاني، وبعد انحسارها وتراجع المياه البحرية نحو الجنوب، تاركة رواسب عظيمة السمك تنتمي إليها مجموعة صخور عمران الجيرية (Amran Limestone Group)، التي تتألف من صخور كلسية على شكل كتل صخرية كبيرة يدخل في بعض أجزائها مركبات طينيه (طفل Clay)، لها تشققات وتصدعات عميقة، يصل متوسط سمكها إلى ٨٠٠ مترا، تتوزع في مناطق واسعة من ارض اليمن، وخصوصا في المحافظات الجنوبية والشرقية مثل رملة السبعين، حوض الجوف، مأرب، وفي حضرموت والمهرة، وتعز. ويعود تكوينها الجيولوجي إلى عصر الجوراسي المتأخر من الزمن الثاني، ومن الشواهد الدالة على طغيان البحار في هذه الصخور الرسوبية وجود العديد من الكهوف والاحافير(Fossils [١٦]).

الصفات الهيدرولوجية لتكوينات الصخور الكلسية.

من أهم الصفات الهيدرولوجية التي تتصف بها التكوينات الصخور الكلسية في الجمهورية اليمنية بأنها :-

١- تتصف من الناحية الهيدرولوجية بأن طبقاتها فقيرة في مساميتها (**N**) ، في حين تكون درجة نفاذيتها (**K**) للمياه الجوفية ثانوية، ويتراوح إنتاجها النوعي (**SY**) للمياه من ٠,٣- ٣ لتر/ثانية [١٧].

٢- تتداخل التكوينات الكلسية مع تكوينات الأخرى، تعرف باسم (مجموعة مجزير Zir (Medj Groups) وهي عبارة عن صخور حطامية رملية جيرية، توجد بالقرب من صنعاء وفي منطقة الغراس تصل سماكتها إلى حوالي ١٢٠ مترا. وتمثل رواسب شاطئية مكونة في عصر الجوراسي الأوسط حين غمرت مياه البحار بعض المناطق الوسطى من اليمن، وبعد انحسارها تركت رواسبها على هيئة بحيرات شاطئية(Lagoons) امتلأت بالرواسب الجبسية والملحية [١٨]).

ج-<u>الصخور البركانية اليمنية الثلاثية (Tertiary Yemen Volcanic)</u>

شهدت ارض اليمن خلال عصور الزمن الثالث (Tertiary)، (وتحديدا من الباليوسين(Paleocene) وحتى البلاستوسين(Pleistocene)، نشاطا تكتونيا تعرضت البنية اليمنية للعديد من الصدوع والانكسارات والالتواءات المحلية والإقليمية (ترافقت معها حركات عنيفة من هبوط الحفر الانهدامية العميقة وانبثاق الحمم البركانية الهائلة، حيث تكونت بفعلها طبقات صخرية سميكة يطلق عليها سلسلة تراب البركانية Trap) (Volcanic Series، وهي عبارة عن طفوح بركانية تتألف من طبقات شبه أفقية من صخور الماجما القاعدية (Basic) والحمضية (Acidic) التي تشكلت منها صخور البازلت والانديزيت، وصخور التراكيت والتوف، غطت مناطق واسعة من غرب اليمن وامتدت فوق صخور الطويلة الرملية تشغل مساحة ٤٥٠٠٠كم^{٢}، من المحافظات الشمالية وبخاصة في المناطق الوسطى والجنوبية [19])،

الصفات الهيدرولوجية لتكوينات الصخور البركانية اليمنية الثلاثية.

من أهم الصفات الهيدرولوجية التي تتصف بها تكوينات الصخور البركانية في الجمهورية اليمنية، يمكن تحديده بما يلي:-

١- يقدر سمك طبقات الصخور البركانية (بحوالي ١٥٠٠ مترا، وتوجد بداخلها رواسب مائية عذبة، تحتوي على حفريات وعلى تربة اللاتريت، مما يؤكد إن الصخور البركانية لسلاسل التراب (Traps) قد تكونت في فترات ليست متصلة، حيث تخللها فترات هدوء مطيرة تكونت في إثناءها مثل هذه الرواسب.

٢- تنتشر الصخور البركانية الثلاثية البازلتية (TVB)، في المناطق الأكثر ارتفاعا من مرتفعات اليمن الغربية والجنوبية، (لذلك فأنها تحظى بهطول أمطار موسمية سنويا تتراوح ما بين ٥٠٠-٧٠٠ملم /سنة، وتميزها بصلابة الصخور ومحدودية المسامية (**N**) إلا أن وجود العديد من الصدوع (Folds)

والانكسارات (Faults) العميقة وامتداداتها المتقاطعة حينا والموازية لامتداد البحر الأحمر وخليج عدن حينا أخر، جعلت صخورها لها نفاذية(K) بصورة ثانوية وإنتاجية الآبار متغيرة جدا ، تصل إلى ٣٠ لتر/ ثانية، ومن أفضل المواقع إنتاجا للمياه هي مجاري الوديان والمرتفعات المنخفضة [20]).

٣- ومن الصفات الهيدرولوجية العامة للتكوينات صخور البازلتية الثلاثية (TVB)، (أنها في الأصل عبارة عن صهير (Molten) من الماجما (Magma) النارية التي انقذفت من باطن الأرض عبر فوهات البراكين لتنساب فوق السطح على هيئة طبقات من المقذوفات الافية (Laves)، التي تتميز بقلة مساميتها الصخرية، لكنها كثيرة الشقوق والفواصل، وهي تحتوي على مكامن جوفية (Aquifers) متوسطة إلى ممتازة في الإنتاجية للمياه الجوفية، خصوصا في الأماكن التي تلتقي عندها خطوط الامتدادات الانكسارية [21]).

د- <u>الصخور البراكين الرباعية (Quaternary Volcanic Series)</u>

تشير الدراسات الجيولوجية للجمهورية اليمنية، بأن أرض اليمن قد شهدت مع نهاية عصور الزمن الثالث (Tertiary) وبداية عصر الزمن الرابع، فترة طويلة من الاستقرار التكتوني النسبي، استمرت حوالي عشرة مليون سنة، ما بين ثورات اليمن البركانية الثلاثية، إلى تجدد النشاط البركاني الرباعي، والتي أطلق عليها براكين مصيدة عدن (Aden Traps Volcanic) Series)، وهي عبارة عن مسكوبان من البازلت الحديثةRecent Basalt تشكل العديد من الفوهات والمخاريط البركانية. استمر النشاط البركاني خلال الرباعي في أجزاء واسعة من اليمن، وما زال البعض منها يتصاعد منها الأبخرة والغازات حتى يومنا هذا، تستخدم كحمامات للاستجمام بمياهها المعدنية كما هو الحال في حمام علي بصنعاء وحمام دمت وشرعة في الضالع وغيرها، ومن ابرز مظاهر البركنة الرباعية (جود الكتل الجبلية الحديثة على طول بعض المناطق المحاذية لسواحل البحر الأحمر وخليج عدن، وتغطي مساحة ١٧ ألف كم^{٢} من المحافظات الشمالية، إلى حوالي ٣٠ ألف كم^{٢} من مساحة المحافظات الجنوبية [٢٢]). (وتتكون من صخور طفحية بركانية من البازلت، والانديزيت، والتراكيت، والتوف Tuff، تظهر على هيئة طبقات متراصة فوق بعضها البعض، مما يجعل البعض يعتقد بأنها صخور رسوبية وليست صخور بركانية، وتحتوي على الكثير من القواطع والسدود والداكوليت المنبعثة من المفاصل والصدوع، يبلغ سمكها في بعض مناطق اليمن أكثر من ١٥٠٠ مترا، ويتراوح عمرها الجيولوجي ما بين عصري الطباشيري المتأخر والثلاثي. ويوجد بداخل الصخور البركانية رواسب مائية عذبة... تحتوي على حفريات، مما يؤكد بأن الصخور البركانية لمجموعة تراب Trap قد تكونت خلال فترات ليس متصلة تخللتها فترات هدوء مطيرة تكونت إثناءها مثل هذه الرواسب [٢٣]).

الصفات الهيدرولوجية لصخور البراكين الرباعية.

بحكم إن الصخور البركانية العائدة للحقب الثالث والرابع تتألف من صخور البازلت ، فأنها تتصف هيدرولوجيا بالاتي:-

١- تعد هيدرولوجيا من الصخور غير المتجانسة في مساميتها ودرجة نفاذيتها، ويرجع سبب ذلك إلى طبيعة نشأتها ومصدر الطفوحات الافية Lavas، التي تكونت منها الطبقات الصخرية للبراكين الرباعية، لذا فأن معامل النفاذية (**K**) فيها، كطبقة حاملة للمياه الجوفية يتوقف على عوامل التشقق ومقدار التجوية التي تعرضت لها الصبات البازلتية أثر تدفقها خلال فترات النشاط البركاني.
٢- تكوينات الصخور البركانية الرباعية، (المشتقة أساسا من صخور القاعدة (البازلت) تكون أعلى نفاذية من الصخور الحمضية كالريوليت، وهذا ما يمكن ملاحظته في الهضاب البازلتية باليمن[٢٤]).

هـ- <u>طبقات الصخور الرسوبية الحديثة (Recent Deposits)</u> ;-

لقد تعرضت مختلف التكوينات الجيولوجية لصخور اليمن القديمة والحديثة، لعمليات واسعة من النشاط الحتي والترسيبي ومن عوامل الهدم والبناء التكتوني خلال العصور الزمنية المتلاحقة، أما الرواسب الحديثة بالذات فقد أقتصر تكوينها بواسطة عوامل التجوية (Weathering) والتعرية (Erosion) وخصوصا في عصر البلايستوسين (Pleistocene) الذي تشير معظم الدراسات المناخية إلى أن هذا العصر قد تميز بظروف مناخية رطبة، أطلق عليها بالعصر المطير(Pluvial Periods)، نتيجة هطول الأمطار الغزيرة على الإقليم المداري، الذي تقع فيه أرض اليمن بدليل ازدهارها الحضاري وخصوبة أراضها، وما نعتت به من تسميات قديمة مثل العربية السعيدة (Arabian Felix)، (حيث نشطت المياه السطحية من نحت الطبقات الصخرية المرتفعة في الأجزاء الغربية والجنوبية، وحملت رواسبها عبر مجاري الوديان والمسايل المنصرفة إلى سهل تهامة في الغرب، وحوض الجوف ورملة السبعتين في الشرق، وسهل تبن وأبين وحضرموت جنوبا، كما عملت على نحت المنحدرات الجبلية المحيطة بالأحواض الداخلية (Inter Mountain Plains) تموضعت رواسبها على هيئة طبقات سميكة من الرواسب الغرينية (Alluvial Deposits أو Wadi Fill)[٢٥])، بالإضافة إلى نشاط التعرية الريحية (Aeolian)، وبفعل هذه العوامل الطبيعية، فقد ساهمة جميعها في عمليات النحت والنقل للمفتتات الصخري، وترسيبها في الأراضي السهلية والقيعان الجبلية، شكلتها على هيئة رواسب حديثة متراصة من الطبقات المتداخلة مع بعضها، تتألف من رواسب الحصى (Gravels) والرمل (Sands)، ومن الطمي (Silts) والطين Clay، ومن رواسب أخرى مثل الجلاميد (Boulders) الصخرية المشتقة من صخور نارية ومتحولة.

الصفات الهيدرولوجية لطبقات الصخور الرسوبية الحديثة.

تختلف طبقات الصخور الرسوبية الحديثة في الجمهورية اليمنية، من حيث صفاتها الهيدرولوجية (Hydrogeology)، وذلك بحسب طبيعة ونوعية مصدر اشتقاقها الصخري، فعلى الرغم من

تتبـاين نسـبة المسـامية (**N**) Porosity ، ومعامـل نفاذيـة(**K**) Permeability ودرجـة الناقليـة (**T**) Transmissivity فيما بينها، إلا أنها تتميز عن غيرها من الطبقات الصخرية بما يلي:-

١- تعد من أكثر وأفضل الطبقات الرسوبية، التي تسمح للمياه السطحية في عملية الارتشاح أو التسرب إلى خزانات الأحواض الجوفية (Ground Water Aquifers)، وذلك بسبب حداثة ترسيبها، ومحدودية الضغط الترسيبي الواقع على طبقات بعضها البعض، فهي بفعل ذلك تعد من رواسب الطبقات الصخرية عالية المسامية، ولها درجة عالية من النفاذية، ومعامل الناقلية، التي مكنتها من القدرة الاستيعابية لخزن كميات كبيرة من المياه الجوفية.

٢- يتراوح معدل تدفق المياه الجوفية في الطبقات الرسوبية الحديثة، (ما بين مترين في اليوم إلى مترين في العام. يعتمد معدل تدفق المياه الجوفية على نفوذية المادة التي يتدفق ضمنها. حيث ... تتدفق المياه الجوفية من منطقة الترسب التي تسمى نقطة إعادة الملء إلى منطقة التفريغ المسامية، التي هي مقياس للمسامات أو الفراغات بين جزيئات الطين أو حبات الرمل أو قطع الحصى، في الطبقة. ويتم التعبير عنها بحجم الفراغ مقسمًا على الحجم الكلي وتكتب كنسبة مئوية بين ٠- ١٠٠%. وتشير النفوذية إلى قدرة الماء على الحركة بين تلك المسام الفارغة[٢٦]).

لذلك يمكن أن نتبين من معطيات الجدول رقم (١) مدى تباين نسبة درجات المسامية والنفاذية بين بعض أنواع من الرواسب الصخرية المختلفة.

النوع الرسوبي Sediment Type	المسامية Porosity (%)	درجة النفاذية Permeability
الحجم الرملي أو الحصى الموحد Uniform size sand or gravel	25- 50	مرتفع High
الحجم الرملي أو الحصى المختلط Mixed size sand or gravel	20 - 35	متوسط Medium
الحت الجليدي Glacial Till	10- 20	متوسط Medium
الطمي Silt	35 -50	منخفض Low
الطين Clay	33 - 60	منخفض Low

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على: طبقات المياه الجوفية، يتظر الرابط:

https://www.google.com/search?q=%D8%B7%D8%A8%D9%82%D8%A7%D8%AA+%D8

٣- يتبين من البيانات المعطاة في الجدول: أن رواسب الطين يتمتع بمسامية عالية ونفوذية ضعيفة. أما الحصى فلها نفوذية عالية ومسامية ضعيفة. لذلك تسمح الطبقات ذات النفوذية العالية بحرية أكثر لحركة للمياه بين فراغات المسام. وعادة ما تختزن طبقات الحصى كمية أكبر من المياه بسبب نفوذيتها العالية، لذلك فهي تعد مصادر أفضل للمياه الجوفية من الطين.

٤-

المحور الثاني:-

الأحواض المائية الجوفية في الجمهورية اليمنية.

تعتمد الجمهورية اليمنية على الأمطار الموسمية كمصدر أساسي ووحيد في مواردها المائية السطحية والجوفية، وأمطار اليمن عادة لا تنتظم في هطولاتها السنوية، إلا خلال فترتين معلومتين: الأولى خلال شهري ابريل ومايو من فصل الربيع، والثانية خلال الأشهر يوليو- وأغسطس- وسبتمبر من فصل الصيف، والفترة الثانية تعرف بقمة التهاطل المطري في اليمن، وفيها تهطل نسبة تتراوح ما بين ٧٠ – ٨٠ % من إجمالي كمية الأمطار الموسمية بالجمهورية اليمنية تقريبا.

وبحسب التقديرات المعتمدة للمتوسطات الشهرية لتهاطل الأمطار في الجمهورية اليمنية ومعدلاتها السنوية، وما يترتب عنها من مياه سطحية (تقدر كمياتها سنويا بحوالي ٦٨ مليار م^{٣}، ينصرف منها ٢٤,٥ مليار م^{٣} بنسبة ٢٦% نحو الغرب (البحر الأحمر)، وحوالي ٦,٨ مليار م^{٣}بنسبة ١٠% ينصرف نحو الشرق (رملة السبعتين والربع الخالي)، وحوالي ٣٦,٧ مليار م^{٣} بنسبة ٥٤% ينصرف نحو الجنوب (خليج عدن والبحر العربي)، وإن ما يستفاد من هذه الكميات لا يتعدى ٤,٧ مليار م^{٣} في عملية الري الزراعي بنسبة ٧% وحوالي ٢,٥ مليار م^{٣} عبارة عن مياه سطحية وجوفية متجددة سنويا تمثل نسبة ٣,٦% من إجمالي الموارد المائية المتاحة سنويا في الجمهورية اليمنية. في حين أن حوالي ٦٠,٨ مليار م^{٣} بنسبة ٨٩,٤% من هذه الموارد غير مستغلة[٢٧]). وتذهب هذه المياه هدرا عبر مجاري الوديان الموسمية إلى البحر الأحمر غربا، وخليج عدن وبحر العرب جنوبيا، وإلى صحراء الربع الخالي شرقا.

ولأن طبيعة واقع الحال لمظاهر السطح في الجمهورية اليمنية، وملامح تركيبها التضاريسية من حيث مستوى الارتفاع ودرجة الانحدار، الناتجة بفعل مختلف العوامل الطبيعية، سواء كانت العوامل الباطنية السريعة (زلازل وبراكين)، أو عوامل النشاط المستمر للتعرية السطحية، حيث ساهمت هذه العوامل مجتمعة في رسم المعالم الحالية لمظاهر السطح وتوزيع بيئاته المتعددة، وفي تشكيل ما يعرف بخط تقسيم المياه السطحية (Surface water dividing lineالذي تتحدد عليه اتجاهات جريان المياه السطحية، وبموجب ذلك فقد قُسمت مساحة الجمهورية اليمنية الى أربعة أحواض رئيسية، يتكون كل حوض منها من مجموعة من الوديان الموسمية، والمجاري السيلية التي تتدفق عبرها المياه السطحية الفرعية، والمقدرة بـ حوالي ٢,٥ مليار م^{٣}/ سنويا، تتوزع هذه الأحواض على النحو الآتي:-

١- الحوض الغربي: أو (حوض البحر الأحمر)

تقدر (مساحة هذا الحوض بـ ٣٣٠٠٠ كم٢ ، وإجمالي التدفق السنوي للمياه السطحية بحوالي ٧٤١ مليون م٣[٢٨]). ويشغل هذا الحوض الأجزاء الغربية من اليمن حيث يتميز بسلاسل جبلية شديدة التضرس والانحدار، يتراوح متوسط ارتفاعها ما بين ١٠٠٠ – ٣٠٠٠ مترا فوق مستوى سطح البحر، وتمتد بشكل رأسي من الجنوب إلى الشمال لتشكل مع مرتفعات وهضاب عسير ونجد والحجاز بالمملكة العربية السعودية، وتشكل مرتفعات اليمن الغربية مع سهل تهامة حوالي نسبة ٢٥ % من مساحة الجمهورية اليمنية الكلية تقريبا. ويحظى هذا الحوض بأكبر كميات من هطول الأمطار الموسمية.

ونظرا، لأن هذا الحوض المائي يتألف من صخور شديدة الصلابة، نتيجة نشأتها أما بفعل عوامل تكتونية باطنية سريعة خلال عصور الزمن الأول والزمن الثاني، وإما بفعل طفوحات بركانية شهدتها المنطقة خلال عصور الزمن الجيولوجي الثالث والعصر الأول (البلايوستوسين) من الزمن الرابع الحديث. وهذه التكوينات تتصف غالبا بقلة حجم المسامية فيها، وهذا بدوره ينعكس على طبيعة معامل النفاذية Permeability (K) وعلى درجة الناقلية Transmissivity (T) وبالتالي محدودية قدرتها الاستيعابية على خزن كميات كبيرة من المياه الجوفية.

٢- **الحوض المائي الأوسط:** أو **(حوض البحر العربي)**

يمتد الحوض الأوسط أفقيا من هوامش مرتفعات اليمن المنحدرة تدريجيا إلى محافظة مأرب ومنها يمتد شرقا ليشغل معظم مساحة محافظات الجوف ومأرب وشبوة وحضرموت والمهرة، ويعد هذا الحوض الذي يخترقه وادي حضرموت المتصل بوادي المسيلة، بالإضافة إلى وادي الجزع بمحافظة المهرة وتغلب على مساحة هذا الحوض المظاهر التضاريسية الهضبية، التي ترجع تكويناتها إلى عصور الزمن الثلاثية، بينما تشكل السهول الرسوبية لتكوينات عصري الزمن الرباعي الحديثة، (ويضم هذا الحوض المائي ثلاثة أحواض فرعية هي:-

- وديان رملة السبعتين: تقدر مساحته حوالي ٤٥،٠٠٠ كم٢ وحجم التدفق السنوي للمياه السطحية تقدر بـ ٤٠ مليون م٣.
- وادي حضرموت / تفرعات المسيلة: تقدر مساحة بحوالي ٤٦،٠٧٥ كم٢ وحجم التدفق السطحي السنوي تقدر بـ ١٨ مليون م٣.
- حوض الغيضة : تقدر مساحته بحوالي ١١٥،٣٧٥ كم٢ وحجم التدفق السطحي السنوي يقدر بـ ٧٧ مليون م٣.

٣- **حوض خليج عدن:**

تقدر مساحته بحوالي بـ ٤٦،٦٨٠ كم٢ وحجم التدفق السطحي السنوي بـ ٥٣٥ مليون م٣.

٤- **حوض الربع الخالي:**

وتقدر مساحته بـ ٩٠،٩٠٠ كم٢ وحجم التدفق السطحي السنوي بـ ٦٧ مليون م٣ [٢٩]).

وتشير الدراسات الهيدرولوجية التي أجريت على وادي حضرموت/ المسيلة وبقية الوديان الشرقية، إلى أن (رسوبيات العصر الرباعي يصل سمكها إلى ١٠٠ متر وتنتشر فوق مساحة كبيرة تتراوح ما بين (١٣٥ – ٣٠٠ كم^{٢})، ويمتاز هذا الخزان بقيمة عالية للنفاذية Permeability (K) [٣٠])، لذلك يحتوي على مميزات جيدة من حيث حجم المسامية وقدرتها على ناقلية Transmissivity (T) المياه الجوفية. ومن الخريطة رقم (٢)، يتبين ظاهرة تقسيم الأحواض المائية الرئيسة باليمن.

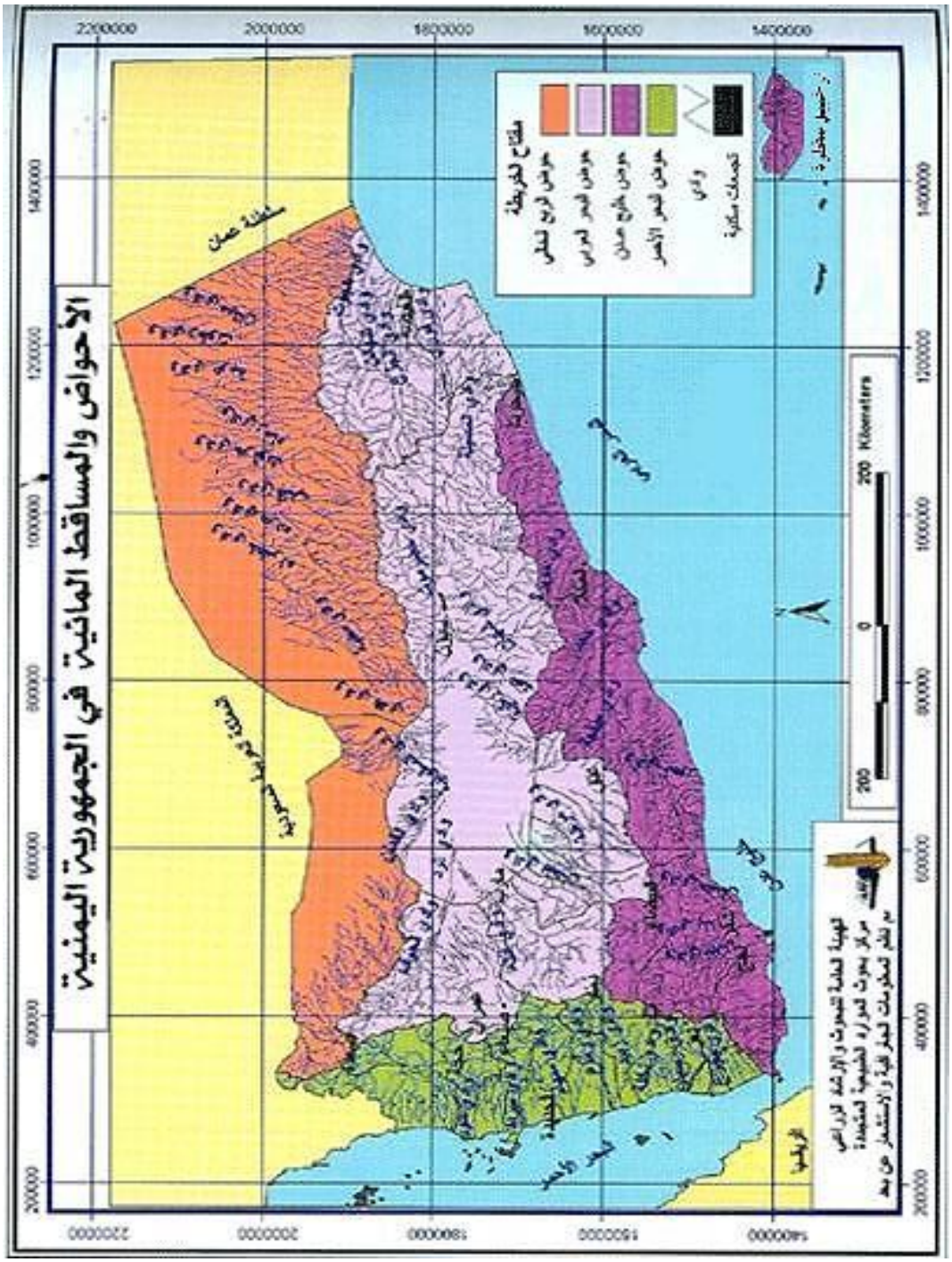
تصنيف أنواع الخزانات الحاملة للمياه الجوفية (Aquifers) في الجمهورية اليمنية.

تؤكد الدراسات الهيدرولوجية أن هناك أربعة تصنيفات لأنواع من الخزانات المائية (Aquifers) الحاملة للمياه الجوفية في الطبيعة، وهذه الخزانات تختلف فيما بينها من حيث مدى عمق مكامن المياه المخزونة بين ثنايا الطبقات الصخرية وهي:-

أ- **الخزان الجوفي الحر (غير المحصور): Unconfined Aquifer**

يتصف الخزان المائي الحر أو غير المحصور بأن الطبقات الصخرية الحاملة للمياه السطحية والجوفية، تحتوي على طبقة صخرية صلبة صماء تعرف بالطبقة الكاتمة أو (الحابسة Aquifer (Confined) من الأسفل وطبقة صخرية صلبة من الأعلى، وكلا الطبقتين الصخريتين غير منفذة للمياه، (وتكون مياه هذا النوع من الخزانات تحت ضغط كبير. لذا يقع هذا النوع من الخزانات المائية تحت سطح الأرض مباشرة، على عمق يتراوح ما بين ٤٠-١٢٠ مترا، وتتم تغذيته (Recharge) من المياه السطحية الناتجة بفعل التهاطل (Precipitation) التي تتسرب بعمليتي الامتصاص والارتشاح، وتكون له القدرة على حمل المياه ونقلها إلى الآبار الضحلة (Shallow Wells) والينابيع (Springs)، في حين يكون نطاقه العلوي المشبع بالمياه متصلاً بالضغط الجوي الخارجي، وهذ النوع يسمى بالخزانات المائية الحرة، ويعرف السطح العلوي للمياه الجوفية في هذه الطبقات بمستوى الماء الساكن (Static Water level) [٣١]). وفي بعض الحالات يوجد داخل هذا النوع طبقة شاذة خازنة للمياه، تعرف بالطبقة المائية المعلقة (Perched Aquifer Water) أو المنفصلة عن نطاق الماء الرئيس، (وتكون عادة قريبة من سطح الأرض، لها شكل العدسات Lenses غير نفاذة، توجد داخل كتلة الصخور الرملية الواسعة، وكمية المياه فيها قليلة وغير متجددة [٣٢]).

خريطة رقم (٢) تبين الأحواض المائية الرئيسة في الجمهورية اليمنية.



المصدر: الجمهورية اليمنية، المركز الوطني للمعلومات، خرائط الجمهورية اليمنية، يتظر الرابط:-
https://www.yemen-nic.info/sectors/geog_env/maps/index.php?SHOWALL_1=1

وينتشر هذا النوع من الخزانات المائية بشكل واسع في معظم مناطق اليمن الجبلية وعلى مجاري الوديان الموسمية، وفيها يتم حفر الآبار السطحية (Open Dug Well) التي تحفر باليد غالبا.

ب-الخزان الجوفي المحصور Confined Artesian Aquifer

يعد هذا النوع من أهم الخزانات المائية الجوفية، (يوجد عادة محصورا بين طبقتين كتميتين من الأعلى والأسفل، تحت تأثير ضغط يفوق الضغط الجوي، وليس له سطح حر[٣٣]). وعندما تحفر الآبار في هذه

الطبقات يندفع الماء إلى الأعلى داخل ماسورة الحفر بفعل عامل الانضغاط أو مستوى الضغط الهيدروستاتيكي(**) فإذا تجاوز الضغط البيزومتري سطح الأرض تخرج المياه من البئر بصورة تلقائية، أما إذا لم يتجاوز خروجه مستوى الميل البيزومتري لسطح الأرض، فإن الماء الجوفي يسمى في هذه الحالة بالبئر الارتوازية (Artesian Well) . وهذا النوع من الخزانات المائية توجد عادة في قيعان الأحواض الجبلية المرتفعة (High land plains) ومنها الأحواض الرسوبية المرتفعة (القيعان) التي توجد بين سلاسل المرتفعات الجبلية الوسطى مثل: أحواض (القاعدة/ تعز، الضالع/قعطبة، يريم، جهران/ ذمار، البون/ صنعاء، عمران، حوث، صعدة وغيرها.

وتمتاز الأحواض المائية الجبلية المرتفعة أو (المعلقة) (بأنها تحتوي على طبقات سميكة من رسوبيات التربة الخصبة، التي ارسبتها المياه السطحية الجارية في أثناء هطول الأمطار الموسمية، لتجعل منها أحواضا مائية يتراوح عمق النطاق المائي في أغلب طبقات الصخور الرسوبية ما بين ٥٠-٢٠٠ مترا كمتوسط، وأحيانا إلى أكثر من ٣٠٠ مترا، في حين أنه إذا زاد العمق عن هذه المعدلات، فإن المياه الجوفية تكون عبارة عن مياه أحفوريه (Fossil water) مخزونه منذ ألاف السنين.

إن معظم الأحواض الجبلية الخازنة للمياه الجوفية في الجمهورية اليمنية، تنتمي هيدرولوجيا إلى هذا النوع من أنواع الخزانات المحصورة بين سلاسل جبلية مرتفعة، حيث تعرضت هذه الأحواض خلال العقود الثلاثة الماضية (١٩٩٠ – ٢٠١٩م)، لنشاط واسع النطاق اتسم بالتنافس والتسابق غير مسؤول، لأعمال الحفر العشوائي باستخدام آلات الحفر الحديثة (Drilling Well) لحفر الآبار العميقة، من قبل ملاك الحيازات الزراعية وعلى وجه الخصوص مزارعي أشجار القات وغيرهم، (حيث وصل عمق الكثير من الآبار الجوفية، ما بين (١٢٠٠ – ١٧٠٠ مترا) [٣٤])، متجاوز الحد المسموع به والمحدد جيولوجيا وهيدرولوجيا ما بين (٣٠٠ – ٥٠٠ مترا) خصوصا في الأحواض الجبلية المرتفعة أو (المعلقة) في الجمهورية اليمنية، التي يتراوح متوسط ارتفاعها ما بين ١٥٠٠ – ٣٠٠٠ مترا فوق مستوى سطح البحر.

ج- الخزان شبه المحصور (Semi Confined Aquifer)

يتصف هذا النوع من الأحواض المائية الجوفية، بأن الطبقات التي تحده من أعلى أو من أسفل ذات نفاذية ضئيلة، وغالبا ما يسمح للمياه الجوفية، من التسرب إلى الطبقات الصخرية الخارجية أو الأكثر مسامية ونفاذية منها. وعند حفر الآبار السطحية أو الجوفية في الخزانات شبه المحصورة تكون فاشلة أو ذات إنتاجية محدودة لأغراض الاستخدام.

د- الخزانات الجوفي المعلقة (Perched Aquifer)

توجد هذه الخزانات (عند وجود طبقة غير مسامية فوق منسوب المياه الجوفية الاعتيادي مكونة حاجزاً للمياه المترشحة من سطح الارض فتنحصر المياه في الطبقات الصخرية المعلقة فوق طبقات صلبة، وتتصف بأن طبقاتها قليلة المسامية وبطيئة النفاذية للمياه، وبالتالي تكون قدرتها الاستيعابية للمياه

الجوفية عبارة عن تجمعات معزولة ومحدودة [٣٥]، وكذا غير متصل بأي خزانات أخرى، وفي حالة حفر الآبار السطحية (Open Dug well) فيها، فأن مخزون المياه يكون سريع النضوب وعرضة للجفاف، وهذا النوع من الخزانات إذا تعرصت للحفر باستخدام آلات الخفر الحديثة إلى أعماق تتجاوز حدود الطبقة السفلية الكاتمة للمياه المخزونة، دونما مراعاة لطبيعة تركيب صخورها الجيولوجية الحاملة للمياه، فأن ذلك يؤدي إلى تسرب المياه المختزنة إلى أعماق سحيقة، لا يمكن الاستفادة منها، وتعد هذه الظاهرة من الحالات الأكثر شيوعا في أحواض المياه الجوفية بالمرتفعات الغربية من الجمهورية اليمنية..

على الرغم من صدور قانون المياه في الجمهورية اليمنية رقم(٣٣) لعام ٢٠٠٢م، وقرار مجلس الوزراء رقم (٢٧٧) لعام ٢٠٠٤م بشان آلية تطبيق إجراءات ضبط عملية حفر الآبار الجوفية العميقة. إلا أن مظاهر العبث وانعدام الوعي البيئي والتجرد من قيم الاستشعار بعواقب المخاطر الناتجة عن عمليات الحفر للآبار الجوفية العميقة، ما زالت مستمرة وعلى أشدها تنافسا بين ملاك الحيازات الزراعية وغيرهم.

حيث يشير أحد التقارير الصادر عن الهيئة العامة للموار المائية في الجمهورية اليمنية، إلى أن (عدد الحفارات المرخصة التي تزاول عملها بناء على ترخيص هي ٢٢٧ حفارا، فيما تبلغ عدد الحفارات غير المرخصة بـ ٥١٥ حفارا [٣٦])، وقد بلغ عدد الآبار التي تم حفرها عشوائيا في حوض صنعاء حتى عام ٢٠١٨م، (حوالي ١٣،٤٢٥ بئرا منها ٤٠٤٨ بئرا أصابها بالجفاف، وبلغت نسب السحب من مجموعة أحواض المرتفعات الوسطى ٥٠٠ مليون متر مكعب، بالمقارنة مع تغذية قدرها ١٠٠ مليون متر مكعب [٣٧])، أي أن بنسبة العجز المائي في تلك الأحواض المائية المرتفعة، قد بلغت ٤٠٠% كعجز مائي Water deficit.

الخاتمة

وتشمل:-

أولا:- الاستنتاجات

نستنتج من المعطيات العلمية التي تم عرضها وتحليلها، عن مدى أهمية العلاقة والتكامل الطبيعي بين التكوينات الجيولوجية للطبقات الصخرية، وهيدرولوجية المياه الجوفية وخصوصية الصفات التي تتصف بها بعض التكوينات الصخرية، التي تتألف منها البنية اليمنية سواء كانت الطبقات الصخرية المنتمية جيولوجيا في نشأتها إلى عصور ما قبل الكامبري، وعصور كل من الزمن الأول والثاني بفعل عوامل الحركات التكتونية الباطنية السريعة، أم تكوينات الطفوح البركانية المنتمية لعصور الزمن الثلاثي، وكذلك التكوينات الرسوبية الحديثة التي ترجع نشأتها إلى نشاط التعرية السطحية لعصري الزمن الرباعي. وتتلخص أهم الاستنتاجات بما يلي:-

١- إن أرض الجمهورية اليمنية قد تشكلت جيولوجيا ضمن تكوينات الصفيحة العربية لشبه الجزيرة العربية (The Arabian Peninsula) المنفصلة عن الصفيحة الأفريقية لقارة جندوانا لاند، وبروز

الدرع العربي (Arabian Shield). وحدوث الانكسار العظيم للغور الافريقي المتمثل بالبحر الأحمر، ونتيجة حركة الضغط الجانبي لانزياح الصفيحة العربية باتجاه الشرق والغرب، وانكسار منخفض خليج عدن باتجاه الشمال والجنوب، فقد ترتب على مجل الأحداث الجيولوجية التي شهدتها اليمن وشبه الجزيرة العربية والقرن الأفريقي، خلال عصور الأزمنة الجيولوجية المتعاقبة، ارتفاع الكتلة التضاريسية لسلاسل جبال اليمن وعسير والحجاز، وهي عبارة عن كتلة تضاريسية متصلة مع بعضها تتسع قاعدتها في الجنوب وتضيق كلما اتجهنا شمالا، ويتراوح متوسط ارتفاع جبال اليمن ما بين ١٠٠٠ – ٣٠٠٠ مترا فوق مستوى سطح البحر.

٢- تتصف التكوينات الجبلية لتضاريس اليمن الغربية، بشدة التضرس والانحدار نحو الغرب، وبالانحدار التدريجي نحو الشرق، وتتألف عادة من طبقات صخرية صلبة مجزأة تنسب بتسمياتها المحلية جيولوجيا إلى المناطق المنتشرة فيها، وتتألف في معظمها من الصخور الرملية والجيرية والطفوح البركانية، بالإضافة إلى حدوث ظاهرة الهبوط أو الخسف لعدد من الأحواض الجبلية المرافعة (High land plains)، التي ملأتها الرواسب الحديثة، وجعلتها من أهم الأحواض الجبلية المرتفعة (القيعان)، التي تتصف بالتربة الخصبة، وتحتوي على خزانات كبيرة من الموارد المائية السطحية والجوفية، حيث كانت عاملا طبيعيا لجذب حوالي ٧٠ % من سكان اليمن، ومن أشهر تلك الأحواض الجبلية(حوض القاعدة/ تعز، حوض جهران/ ذمار، حوض البون/ صنعاء، وحوض صعدة وغيرها).

٣- تختلف أو تتباين تكوينات الطبقات الصخرية من حيث نسبة حجم مساميتها (**N**) Porosity ومعامل نفاذيتها(**K**) Permeability ودرجة الناقلية (**T**) Transmissivity، التي على أساسها تحدد القدرة الاستيعابية للصخور في السماح لها بارتشاح للمياه إلى باطن الأرض، ومن هذه الصفات يمكن تقدير حجم المخزون الجوفي من المياه، وقياس معدل الإنتاج النوعي (**SY**)Specific Yield في عمليات الضخ للاستخدام في مختلف الأغراض البشرية.

٤- بسبب صلابة الطبقات الصخرية للتكوينات الجيولوجية لتضاريس المرتفعات اليمنية في جزئها الغربي، فأنها تتصف هيدرولوجيا بشحة المياه الجوفية نظرا لحالة حجم مساميتها (**N**) الضيقة، ومعدل نفاذيتها (**K**) ودرجة ناقليتها (**T**) المحدودة، فأن حجم كمية المياه المتجددة سنويا والمترشحة إلى أعماق باطن الطبقات تكون قليلة، وفي حال تجاوز استخراجها للاستخدامات المختلفة بصورة جائرة فأنها تتعرض لسريعة النضوب.. بينما تتصف هيدرولوجية الطبقات الصخرية الرسوبية لتكوينات الأجزاء الوسطى والشرقية من أراضي المحافظات الجنوبية، ومنها طبقات الرواسب الحديثة لرملة السبعتين ووادي حضرموت/ المسيلة ووادي الجزع بمحافظة المهرة، فضلا عن السهول الساحلية لكل من سهل تهامة في الغرب وسهل خليج عدن والبحر العربي في الجنوب، بدرجات

مناسبة من حيث حجم المسامية (**N**) ومعدل النفاذية(**K**) والناقلية (**T**) جعلتها من أكثر وإغناء مناطق اليمن بالموارد المائية الجوفية.

٥- تعرضت المياه الجوفية في الأحواض الجبلية المرتفعة التي تتغذى على مياه الأمطار الموسمية لعمليات الحفر الجائر وبصورة عشوائية للآبار الجوفية خلال السنوات المنصرمة، باستخدام الحفارات الآلية الحديثة، في ضل غياب الرقابة والأشراف الأهلي والحكومي، حيث تجاوز متوسط أعماق الحفر في معظم تلك الآبار حدود الطبقات الصلبة الحاملة للمياه الجوفية، الأمر الذي لم يتسبب في استنزاف ونضوب المخزون الكامن في ثنايا الطبقات الرسوبية من المياه الجوفية فحسب، وإنما تسبب الحفر العبثي إلى ما هو أخطر من الاستنزاف، وهو اختراق الطبقات الصلبة الحاملة للمياه الجوفية، مما سمح للمياه المخزونة في تلك الأحواض من التسرب والنفاذ إلى أعماق سحيقة من المستحيل بعد ذلك الوصول إليها أو الاستفادة منها.

٦- تؤكد الدراسات الهيدرولوجية التي أجريت على الموارد المائية واستخداماتها في مختلف الأغراض الاجتماعية والاقتصادية بالجمهورية اليمنية، خلال سنوات العقود الثلاثة المنصرمة، بأن الوضع المائي في اليمن صار مهدد بالمشكلات والأزمات المتفاقمة سنة بعد أخرى، وذلك نتيجة الاستخدامات الجائرة وعمليات الحفر العشوائي للآبار الجوفية، حيث تشير أحدث الدراسات الهيدرولوجية إلى أن مخاطر التهديد وعواقبه الكارثية، تتمثل بظاهرة ثبات معدلات الموارد المائية المتجددة سنويا والمقدرة بحوالي ٢،٥ مليار م^{٣}/ سنة، خلال السنوات ١٩٩٠- ١٩٩٥- ٢٠٠٠- ٢٠١٠- ٢٠٢٥ على التوالي، بينما معدلات الاستخدام تجاوزت ذلك المعدل الثابت سنويا، لتصل إلى ٢،٩ - ٣،٢ - ٣،٤ - ٤ - ٤،٦ مليار م^{٣}/ سنة على التوالي خلال السنوات المبينة، وبفعل ذلك ستتصاعد معدلات العجز المائي باليمن من ٠،٤ - ٠،٧ - ٠،٩ - ١،٥ - ٢،١ مليار م^{٣}/ سنة على التوالي خلال السنوات المذكورة. والجدول رقم (٢) يوضح ظاهرة الأزمة المائية المتفاقمة باليمن.

جدول رقم (٢) : إجمالي الموارد المائية المتجددة والمستخدمة سنويا، والعجز المائي بالجمهورية اليمنية خلال الأعوام (١٩٩٠- ١٩٩٥- ٢٠٠٠- ٢٠١٠- ٢٠٢٥).

البيان	١٩٩٠	١٩٩٥م	٢٠٠٠م	٢٠١٠م	٢٠٢٥
إجمالي الموارد المائية المتجددة (مليار م^{٣})	٢,٥	٢,٥	٢,٥	٢,٥	٢,٥
إجمالي الاستخدامات المائية (مليار م^{٣})	٢,٩	٣,٢	٣,٤	٤	٤,٦
العجز المائي (مليار م^{٣})	٠,٤	٠,٧	٠,٩	١,٥	٢,١

المصدر:- (العاقل) حسين مثنى ، الموارد المائية واستخدامها في حوض الضالع قعطبة- اليمن- دراسة هيدروجغرافية، اطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة عدن ٢٠٠٧ ص٣٧.

٧- تعتبر اليمن من البلدان التي تشح فيها المياه كثيرا، حيث يبلغ معدل وفرتها ١٥٠ مترا مكعبا للفرد في السنة، مقارنة مع ١٢٥٠ مترا مكعبا للفرد في السنة في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، و٧٥٠٠ مترا مكعبا للفرد في السنة على مستوى بلدان العالم.... وهذه المشكلة تبرز أكثر في الجزء الغربي من البلاد (المرتفعات وتهامة ومنطقة البحر العربي، (حيث يعيش ٩٠ % من السكان بمعدل وفرة المياه يبلغ ٩٠ مترا مكعبا للفرد في السنة [٣٨]). ويشير التقرير الصادر عن الهيئة العامة للموارد المائية في الجمهورية اليمنية عام ٢٠١٠م، إلى أن حصة الفرد سنويا في كل من الأحواض المائية الجوفية (صنعاء – عمران – ذمار – وحوض سهل تهامة يصل فقط إلى (٣٤ – ١٠٠ – ١٧١ – ١٩٠ مترا مكعبا/ سنة على التوالي، (وفي حال ما أستمر هذا الاستهلاك المفرط للمياه الجوفية، من المحتمل جدا أن تجف الأحواض في مدة تتراوح بين ١٥ – ٥٠ عاما [٣٩]). وتتضح المشكلة بصورة أكثر خطورة من خلال بيانات الجدول رقم (٣).

جدول رقم (٣) يوضح تقديرات عدد السكان في أربعة أحواض مائية جوفية، وتقديرات المياه المتجددة فيها سنويا، وحصة الفرد سنويا من المياه المتجددة عام٢٠١٠م،

الحوض المائي الجوفي	تقديرات عدد السكان عام ٢٠١٠م (نسمة)	الموارد المائية المتجددة سنويا (مليون م^3)	حصة الفرد سنويا (م^3)
حوض صنعاء	٢،٣٤٤،٧٤٠	٧٩	٣٤
حوض عمران	٣٩٨،٠٣٠	٤٠	١٠٠
حوض ذمار	٤٠١,٨٢٣	٧٠	١٧١
حوض سهل تهامة	٢،٨٩٣،٠٠٤	٥٥٠	١٩٠

المصدر: التقرير " الأحواض المائية في اليمن مهددة بخطر الاستنزاف، الثورة، صحيفة يومية سياسية، الرابط: https://althawra-news.net/news90342.html

٨) إن مؤشرات الأزمة المائية ومخاطر الجفاف، وتفاقم المعاناة في الجمهورية اليمنية، باتت تهدد حياة أكثر من ٧٠ % من إجمال السكان البالغ عددهم حسب التقديرات لعام ٢٠١٨م (حوالي ٢٨،٩٢ مليون نسمة [٤٠])، فحصة الفرد من المياه المتجددة سنويا تصل فقط إلى ١٥٠ م^3/ سنة، أي إلى أدنى المستويات من المتوسط السنوي لخط الفقر المائي الدولي (International Water Poverty) Line المحدد (بـ ١٠٠٠ م^3 في السنة[٤١]). وهذه المخاطر لا تتمثل بتجاوز معدلات الاستخدامات البشرية لموارد المياه المتاحة سنويا، بما يفوق معدلات الموارد المائية المتجددة سنويا فحسب، وإنما تكمن مخاطر وعواقبه الكارثية فيما تشهده مختلف مناطق الجمهورية اليمنية من أعمال الحفر العشوائي للآبار الجوفية العميقة، باستخدام الحفارات الآلية بطرق وأساليب عبثية، لا تراعى طبيعة الصفات الهيدرولوجية التي تتصف بها التكوينات الجيولوجي للطبقات الصخرية الحاملة للمياه المخزونة، وبالتحديد في الأحواض الجبلية المحصورة (Confined Aquifer) أو الأحواض المعلقة (

Perched Aquifer) وغيرها من أنواع الخزانات للمياه الجوفية باليمن، الأمر الذي جعل تلك الأحواض مهددة بالاستنزاف، أن لم تكن فعلا قد أوشكت على النضوب وارتفاع درجات التلوث والملوحة..

ثانيا:- التوصيات:-

على الرغم من كثرة التوصيات والحلول والمقترحات التي تضمنتها العديد من الدراسات والبحوث العلمية، والتقارير وبرامج المشاريع التنموية التي أجراها الباحثون والخبراء والمتخصصون في علم الجيولوجيا والهيدرولوجيا، وكذا التي تضمنتها قامت بها الهيئات والمنظمات والمكاتب الاستشارية المحلية والعربية والإقليمية والدولية وغيرها، حول أوضاع ومصادر الموارد المائية ومشكلاتها في الجمهورية اليمنية، إلا أن تلك التوصيات والحلول والمقترحات ، لم تجد طريقها للتنفيذ والتطبيق، من قبل الجهات الحكومية المتمثلة بوزارة الموارد المائية والبيئة، وكذلك من قبل الهيئات المحلية والمجتمعية بالجمهورية اليمنية.

وفي هذه الدراسة: التي حرصت على ملامسة جوهر المشكلة وطبيعة الأزمة المائية في اليمن، وذلك من خلال تناولها للصفات الهيدرولوجية في بعض التكوينات الجيولوجية في الجمهورية اليمنية، والتي تعد من أهم المعايير والشروط التي يجب بالضرورة مراعاتها، والحرص على عدم تجاهل واهمال هذه الصفات، خصوصا من قبل المهندسون الجيولوجيون الذين يعتمد عليهم المزارعون في الاستشارات الجيولوجية، لتحديد المكامن المناسبة للطبقات الصخرية الحاملة لخزانات المياه الجوفية، للقيام بأعمال الحفر للآبار الجوفية العميقة..

لذلك يرى الباحث بأن التوصيات مهما طرحت من حلول موضوعية، ومن معالجات واقعية وعملية، للحد من المشكلات المتفاقمة للأزمة المائية بالجمهورية اليمنية، ليست مجدية ولا يمكن تنفيذها أو تحقيق ولو بنسبة متواضعة من مضامينها ومحتوياتها، إذا لم تتوافر الإدارة الحكومية الكفؤة والمقتدرة، والمشاركة الفاعلة للهيئات المحلية والمجتمعية، التي يقع عليها المسؤولة المباشرة وغير المباشرة في تطبيق الاجراءات القانونية والضوابط التشريعية، وهذا ما يستلزم بالضرورة توافر شرطين أساسيين لتنفيذ تلك التوصيات وهما:-

١- وجود دولة ضابطة لمؤسساتها وهيئاتها التنفيذية، بحيث تتولى مهام تنفيذ التشريعات واللوائح القانونية، واتخاذ الإجراءات العقابية، على كل من يقوم بأعمال الحفر العشوائي للآبار الجوفية العميقة بدون تراخيص رسمية، أو مخالفة للمعايير المسموح به جيولوجيا وهيدرولوجيا، التي تجاوز الأعماق الممكنة، ويشكل خطرا على طبيعة وخصوصية الطبقات الصخرية الخازنة للمياه الجوفية.

٢- لا بد من منظمات مجتمع مدني لنشر الوعي الثقافي وتنمية الحس الأخلاقي في الوسط الاجتماعي، بهدف خلق شعور وطني عام لأدراك مخاطر الحفر العشوائي للآبار وعواقب الضخ الجائر للمياه الجوفية، واستخداماتها في مختلف الأغراض الاجتماعية والاقتصادية، دونما مراعاة للمعايير الطبيعية

بين معدلات التغذية السنوية من مصدر الأمطار الموسمية، ومعدلات السحب المفرط للمياه من الآبار السطحية والجوفية.

إن توافر هذين الشرطين من ناحية، وكذلك خروج الجمهورية اليمنية من محنتها السياسية والقبلية من ناحية أخرى، فمن الممكن بعد ذلك على السلطات الحكومية والمجالس الأهلية المعنية بإدارة مصادر الموارد المائية Water Resources Management، الرجوع إلى مختلف التوصيات العلمية التي تضمنتها وستتضمنها الدراسات والبحوث المتصلة بحلول ومعالجة الأزمة المائية، التي نذكر منها ما يلي:-

١- اعادة تعديل واستحداث مواد قانون المياه في الجمهورية اليمنية رقم(٣٣) لعام ٢٠٠٢م، وقرار مجلس الوزراء رقم (٢٧٧) لعام ٢٠٠٤م بشان آلية تطبيق إجراءات ضبط عملية حفر الآبار الجوفية العميقة، بما يضمن تنفيذ وتطبيق نصوصه القانونية والتشريعية، على أن تستحدث فيه مواد قانونية تحدد العمق المسموح به لحفر الآبار الجوفية العميقة، وعلى وجه الخصوص في مناطق الأحواض الجبلية المرتفعة الخازنة للمياه الجوفية، وذلك بحسب طبيعة واقعها العام، من حيث مراعاة البنية الجيولوجية لتركيب طبقاتها الصخرية وصفاتها الهيدرولوجية. مع وضع ضوابط عقابية صارمة ضد كل من يقوم بأعمال حفر الآبار العمية، بواسطة الحفارات الآلية الحديثة بدون تراخيص رسمية، أو يتجاوزون الحد المسموح به للعمق المناسب لاستخدامات المياه.

٢- تشجيع المواطنين في المناطق الريفية بصفة عامة، وفي مناطق الأحواض الجبلية المرتفعة بصفة خاصة، وتقديم المساعدات المالية والعينية المحفزة لقيامهم بأعمال حصاد مياه الأمطار السطحية Surface water harvesting وتجميعها في خزانات السدود والحواجز والكرفان وغيرها، وذلك بما يساعدهم على استغلالها واستخدامها في احتياجاتهم الاجتماعية.

٣- توجيه الجهات الرسمية النصائح والارشادات للمزارعين وحثهم على ترشيد استخدام مياه الآبار الجوفية في أعمال الري الزراعي، والاهتمام بدعمهم على ادخال الأنظمة الحديثة لأنواع الري المعروفة والمجربة عالميا ومنها: الري بالرش Sprinkler irrigation والري بالتنقيط Drip irrigation وغيرهما.

الهوامش

١) الجمهورية اليمنية، وزارة النفط والمعادن، هيئة المساحة الجيولوجية والثروات المعدنية، جيولوجية اليمن، ينظر الرابط:- https://ygsmrb.org.ye/geology/

٢) الخرباش، عبد الواسع، د. محمد الانبعاوي، جيولوجية اليمن، مركز عبادي، صنعاء ١٩٩٦، ،ص ١٧.

Jac A. M. Van der Gun and Abdul Aziz Ahmed,The water resources of Yemen Water resources Assessment of Yemen, summary and digest of available information, report WRAY 1995 -35 ,p5.

٣) خوري، جون، عبدا لله الدروبي ،الموارد المائية في الوطن العربي ، المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (اكساد)، وثيقة مرجعية تفسيرية للمصور الهيدرولوجية، دمشق ١٩٩٠، ص ٣٥.

٤) الخرباش، و الانبعاوي، جيولوجية اليمن، ص ١٧.

5) Jac A. M. Van der Gun and Abdul Aziz Ahmed,The water resources of Yemen, Op, cit.Water) -35 ,p5.

٦) جون، خوري وعبدا لله الدروبي ،الموارد المائية في الوطن العربي، ص ٣٥.

*) **يقصد بالمسامية** Porosity **(N)**: النسبة المئوية لحجم المسامات الموجودة في الصخور ومختلف أنواع رواسب التربة إلى نسبة الحجم الكلي لتركيبة الطبقات الصخرية. بينما يعنى بالنفاذية Permeability **(K)** هي قدرة الصخور ورواسب التربة علي امتصاص الماء وتوغله نحو الأسفل إلى تجاويف الطبقات الصخرية ليتجمع مشكلا المياه الجوفية. أما النفاذية **Transmissivity (T)**: فتعني قابلية الصخور السماح للماء بالحركة خلالها إلى أعماق باطن الأرض.

٧) The Government of the Republic of Yemen High water council, Groundwater, High council, Groundwater resources, 1992,p10.

٨) The Government of the Republic of Yemen, Op, cit, p7

٩) آغا، شاهر جمال، جغرافية اليمن الطبيعية، ص١٤٧؟

١٠) شرف، محمد بن عبد الغني عثمان ، أساسيات علم الأرض، الجيولوجيا الفيزيائية، دار المريخ، الرياض١٩٩٧، ص٧٧٧.

١١) أبو خضرة، أحمد مختار، التتابع الطباقي والتاريخ الترسيبي للجمهورية اليمنية، نشرة دورية محكمة تعني بالبحوث الجغرافية، يصدرها قسم الجغرافيا، جامعة الكويت، الكويت ١٩٨١، ص٧.

١٢) آغا، شاهر جمال جغرافية اليمن الطبيعية (الشطر الشمالي) مرجع سبق ذكره، ص ١٤٧.

١٣) العاقل، حسين مثنى ، الموارد المائية واستخدامها في حوض الضالع قعطبة- اليمن-(دراسة هيدروجغرافية)، اطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة عدن ٢٠٠٧ ص٤٦.

١٤) عطروس، علي سعد ، المياه الجوفية Groundwater ، ص٤٠.

١٥) بلفقية، عيدروس، جغرافية الجمهورية اليمنية، سلسلة الكتاب الجامعي (٣) دار جامعة عدن، ١٩٩٧م، ص٦٦

١٦) The Government of republic of Yemen, Op, cit,p11

١٧) The Government of the Republic of Yemen , Ibid, p 11

١٨) جون، خوري ،وعبد ا لله الدروبي، الموارد المائية في الوطن العربي، ص ٤٣.

١٩) (العاقل)، الموارد المائية واستخدامها في حوض الضالع قعطبة- ص٦٨.

٢٠) Jac A.M.Van der Gun and Abdul Aziz Ahmed, The water resources of Yemen, summary and digest of available information, report WRAY-35,Sanaa, 1995,p 9

٢١) Jac A.M.Van der Gun and Abdul Aziz Ahmed, Op, cit, p10

٢٢) أبو خضرة، التتابع الطباقي ، ص١٠.

خوري، الدروبي، الموارد المائية في الوطن العربي، ص٤٤.

٢٣) Republic of Yemen, Ministry of Electricity and water, Jehaf water supply project, Interim report in water resources assessment, (Final) Fouad A-Alam Engineering office, 2000, p 1-4.

٢٤) طبقات المياه الجوفية، ينظر الرابط:

https://www.google.com/search?q=%D8%B7%D8%A8%D9%82%D8%A7%D8%AA+

٢٥) الجمهورية اليمنية، مجلس النواب، تقرير لجنة المياه والبيئة،(عن نتائج النزول الميداني المرحلة الأولى) إلى محافظات (عدن، لحج، أبين، الضالع، الحديدة، تعز، إب، ذمار) ملحق رقم (١) الموارد المائية، وملحق رقم (٢) استخدامات المياه في اليمن،صنعاء،٢٠٠٤م. ص٣.

٢٦) الجمهورية اليمنية، وزارة المياه والبيئة، مصادر المياه في اليمن ينظر: http://www.mwe.gov.ye/ministry/water.aspx

٢٧) الجمهورية اليمنية، وزارة المياه والبيئة، مصادر المياه في اليمن،.

٢٨) عطروس،المياه الجوفية، ص٣٧.

٢٩) العاقل، الموارد المائية واستخدامها في حوض الضالع قعطبة- اليمن- ص ٢٤٤.

٣٠) Jac A.M. van der Gun and Abdul Aziz Ahmed The water Resource of Yemen, Op, Cit, p86.

٣١) انواع خزانات المياه الجوفية، ينظر الرابط :

https://sites.google.com/site/scdgndeti/types-of-aquifers

**) يقصد بالضغط الهيدروستاتيكي Hydrostatic Pressure على انه حجم وسمك الطبقات الصخرية التي تجثم فوق قاع الأحواض المحصورة أو الحبيسة بحيث يكون مستوى المياه فيها تحت ضغط أعلى من الضغط الجوي، ويعرف عادة بالضغط البيزومتري Piezometric Pressure.

(٣٢ W. M .C. Chares C. Plummer, et al, Physical Geology, sixth edition, W C B, Brown publishers, Oxford, England, 1993,p238.

٣٤) الزعيتري، شكري عبد الغني ، أزمة المياه في اليمن .. الحلقة الثالثة: مشكلة شحة مياه الشرب وتناقصها، صنعاء ٢٠٠٩م، ينظر الرابط:https://akhbaralyom-ye.net/articles.php?id=58976

٣٥) الزعيتري، أزمة المياه في اليمن،.

٣٦) المرجع الكتروني للمعلوماتية، الأنواع الرئيسية لخزانات المياه الجوفية، ينظر الرابط: https://almerja.net/reading.php?idm=69961

(٣٧ Republic of Yemen, Ministry of Water and Environment and Ministry of Agriculture and Irrigation, Executive summary of the sector Wide Environmental and social assessment (S W E S A), for the Yemen water for Urban centers – Output- based service provision by private operators, Consulting Engineering services, Final report, Limited New Delhi- Sana'a December 2008, p6.

٣٨) Op, cit, p7

٣٩) كم يبلغ عدد سكان اليمن، موضوع أكبر موقع عربي بالعالم، ينظر الرابط: https://mawdoo3.com/%D9%83%D9%85_%D9%8A%D8%A8%D9%84%D8%BA_%D8%B9%D8%AF%D8%AF_%D8%B3%D9%83%D8%A7%D9%86_%D8%A7%

٤٠) (مخلوف) خالد، الدول العربية تتجاوز حد " الفقر المائي" مجلة المجلة، ينظر الرابط: https://arb.majalla.com/node/68606/%D8%A7%D9%84%D8%AF%D9%88%D9%84-%D8%A7%D9%84%D8%B9%D8%B1%D8%A8%D9%8A%D8%A9

Abstract

This research entitled "the hydrological characteristics of some of the geological formations in the Republic of Yemen" presents an analytical explanation for the nature of the geological structure of the rocky layers of which the Republic of Yemen's land consists. it includes an introduction and two main parts. The first part of the research contains a geological presentation of some of the main formations that the rocky layers of the Republic of Yemen's relief consist of, with their hydrological features, in relation with the percentage of the Porosity Size (N), The Permeability Coefficient (K) and, The Transmissivity Degree. Those Geological Formations and their hydrological features being presented are as follows:

1) Basement Complex Rocks.
2) Waged Sandston Group.
3) Kohlan Sandston Group.
4) The Sandstone Formations, and those include:
a) Tawilah Sandstone Groups.

b) Limestone Formations.

c) Tertiary Yemen Volcanic

d) Quaternary Volcanic Series.

e) Recent Deposits.

The second part of the research was specified for an analytical description of the water resources renewed yearly in the Republic of Yemen which depends on monsoon rains, where area of the Republic was divided into four underground water basins, as well as the estimations of underground reserves size for each as follows:

1) The western basin or(Red Sea Basin)

2) The Middle Watery Basin or (The Arabian Sea Basin)

3) Aden Gulf Basin.

4) Rub al- Khali Desert. (Empty Quarter)

The classifications of the water basins were also discussed and can be represented as follows: :

a) Unconfined Aquifer.

b) Confined Artesian Aquifer.

c) Semi Confined Aquifer.

d) Perched Water Aquifer.

According to these geological data and their hydrological features, the research drew some conclusions upon which the researcher has outlined some practical recommendations in order to face the water crisis risks with which different areas of the Republic of Yemen suffer, in general, and specifically some of the highland basins in the Republic which threaten in the Depletion of the underground water reserves and consequently endanger the lives of the population to Water Shortage problems and their expecting disastrous consequences.