تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقتي صنعاء والحديدة بالجمهورية العربية اليمنية

د. حامد احمد النخال *

موجز

مقدمة

تشمل الدراسة الحالية منطقتي صنعاء والحديدة ، وتعتبر منطقة صنعاء سهلا بين جبلين يتراوح ارتفاعه بين ٢٢٠٠ و ٢٣٥٠ مترا عن سطح البحر . وتحاط مدينة صنعاء بجبال يصل ارتفاعها الى حوالي ٣٠٠٠ متر . ويتكون الحوض الجوفي في هذه المنطقة من الوحدات الصخرية الاتية (مرتبة من أعلى الى أسفل) :

١ ــ **رواسب وديان ، وصخور بازلتية حديثة لم يحدد سمكها** . وتأخذ الابار رقم ٤ ، ٥ ، ٧ ، ١٣ ، ١٥ ، ١٨ ، ١٩ مياهها من هذه الوحدة الصخرية .

٢ ــ **مجموعة تراب** (Trap Group) وتتكون من الصخور البركانية ، وتتبع العصر الطباشيري المتأخر الثلاثي . وهذه الصخور لم يحدد سمكها . والابار رقم ٨ ، ١٦ ، ١٧ ، ٢٠ تستمد مياهها من هذه الصخور .

٣ ــ **مجموعة مدج زير** (Medj-Zir Group) وتتبع هذه المجموعة عهد الباليوسين ، وتتكون من صخور رملية وطينية لم يحدد سمكها .

٤ ــ **مجموعة الطويلة** (Tawilah Group) وتتكون من صخور رملية يبلغ سمكها ٣٧٠ مترا ، وتتبع العصر الطباشيري . وتأخذ الابار رقم ١ ، ٢ ، ٣ ، ٦ ، ٩ ، ١٠ ، ١١ ، ١٢ ، ١٤ مياهها من هذه المجموعة الصخرية .

---

* يعمل استاذا بقسم الجيولوجيا بجامعة صنعاء باليمن .

٥ ــ **صخور جيرية ورملية ناعمة ، وطين صفحي** ، ويتراوح سمكها ما بين ٨٠ ــ ١٠٠ مترا ، وتتبع العصر الجوراسي والطباشيري المبكر .

٦ ــ **مجموعة عمران** (Amran Group) وتتكون من صخور جيرية يصل سمكها الى حوالي ٣٠٠ متر ، وتتبع العصر الجوراسي المتأخر .

وتجدر الاشارة هنا الى أن الوحدات الصخرية الاربع الاولى تحمل مياها جوفية بكميات اقتصادية الا أن مجموعة الطويلة تعتبر أكثرها أهمية .

هذا بالنسبة الى منطقة صنعاء ، أما فيما يتعلق بمنطقة الحديدة فهذه المنطقة هي جزء من سهل تهامة الذي يطل على البحر الاحمر . وهي عبارة عن سهل ينحدر بانتظام وبمعدل ٥٪ تجاه الغرب . ويبلغ أقصى ارتفاع لهذا السهل في الناحية الشرقية حيث يصل ارتفاعه من (١٠٠ــ٣٠٠) متر عن سطح البحر . ويقطع هذه المنطقة عدد من الاودية .

ومن الناحية الجيولوجية ، توجد الوحدات الصخرية الاتية في منطقة الحديدة (مرتبة من الاحدث الى الاقدم) :

١ ــ **رواسب وديان حديثة** يصل سمكها في المناطق الغربية الى حوالي ٥٠٠ متر . وجميع الابار التي درست في منطقة الحديدة تستمد مياهها من هذه الوحدة الصخرية .

٢ ــ **مجموعة عمران** وتتكون من الصخور الجيرية وتتبع العصر الجوراسي المتأخر ، ويصل سمكها الى حوالي ٣٠٠ متر .

٣ ــ **مجموعة كحلان** (Kohlan Group) تتكون من صخور رملية تبلغ من السمك ٣٠٠ متر تقريبا ، وتتبع العصر الجوراسي المبكر .

٤ ــ **صخور القاع** (Basement Rocks) وتتكون من الجرانيت والاردواز وتتبع عصر ما قبل الكمبرى .

وتعتبر الوحدة الصخرية الاولى (**رواسب الوديان**) وكذلك (**مجموعة كحلان**) اهم هذه الوحدات الصخرية نظرا لاحتوائهما على كميات اقتصادية من المياه الجوفية .

ان الهدف من الدراسة الحالية هو تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقتي صنعاء والحديدة ، لاغراض الري والشرب . وقد بنيت هذه الدراسة على نتائج التحاليل الكيميائية لعشرين عينة من المياه الجوفية جمعت من آبار متفرقة في منطقة صنعاء (شكل ١) ، وخمس وعشرين عينة أخرى جمعت من منطقة

الحديدة (شكل ٢) . وقد اخذت نتائج التحاليل المستعملة في الدراسة الحالية . من تقرير منظمة الصحة العالمية (١٩٧٣) .

تصنيف المياه المستخدمة في الري

لقد بذلت عدة محاولات لتصنيف المياه المستخدمة في اغراض الري . وتعتمد تلك المحاولات على عامل او اكثر من العوامل الاتية :

١ ــ **الملوحة الكلية** (او درجة التوصيل الكهربائي للمياه) .

٢ ــ **نسبة الصوديوم** (الى مجموع الكاتيونات) .

٣ ــ **نسبة تركيز البورون .**

٤ ــ **نسبة تركيز الكلوريدات والكبريتات .**

ومن اشهر طرق تصنيف مياه الري واكثرها قبولا طريقة Wilcox (١٩٤٩) وطريقة Doneen (١٩٦١) اللتان ستستخدمان في الدراسة الحالية .

تقويم صلاحية مياه الري بطريقة Wilcox (١٩٤٩) :

يعتمد Wilcox في طريقته هذه على العلاقة بين مجموع الكاتيونات من جانب ، ونسبة الصوديوم الى مجموع هذه الكاتيونات من جانب اخر . وبناء على هذه العلاقة تمكن Wilcox من تقسيم مياه الري الى خمسة أنواع تتراوح في خواصها من ممتازة الى غير ملائمة للري .

تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقة صنعاء ، لاستخدامها في الري ، بطريقة Wilcox :

يبين (شكل ٣) نتائج تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقة صنعاء ، لاستخدامها في الري ، بطريقة Wilcox ويمكن ايجاز هذه النتائج كما يلي :

٨٥٪ من مجموع العينات (ممتازة ــ جيدة) للري .
١٠٪ جيدة ــ مسموح بها .
٥ ٪ مسموح بها ــ مشكوك في صلاحيتها .

تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقة الحديدة ، لاستخدامها في الري بطريقة Wilcox :

يبين (شكل ٤) نتائج تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقة الحديدة ، لاستخدامها في الري ، بطريقة Wilcox . ويلاحظ هنا أن عدد العينات التي أمكن

توقيعها في هذا الشكل تسع عشرة عينة فقط ، أما باقي العينات وعددها ست ، فلم يكن بالامكان توقيعها نظرا لاحتوائها على تركيز من الكاتيونات يزيد عـــن ٣٥ ميلليمكافيء/لتر ، لهذا فان هذه العينات تعتبر غير ملائمة للري . ويمكن ايجاز نتائج تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقة الحديدة ، بهذه الطريقة كما يلي :

٤ ٪ من المجموع الكلي للعينات (جيدة ـــ مسموح بها) للري .

٢٨ ٪ مسموح بها ـــ مشكوك في صلاحيتها .

٣٦ ٪ مشكوك في صلاحيتها ـــ غير ملائمة .

٣٢ ٪ غير ملائمة .

تقويم صلاحية مياه الري بطريقة Doneen (١٩٦١) :

اعتمد Doneen في تقويم صلاحية المياه المستخدمة في الري ، على العوامل الاتيـــة :

١ ـــ **الملوحة المؤثرة** (Potential or Effective Salinity)

٢ ـــ **معامل النفاذية** (Permeability or Sodium Index)

٣ ـــ **نسبة تركيز المركبات السامة .**

ونظرا لعدم توفر التحاليل الكيميائية الخاصة بالمركبات السامة ، والتي من أهمها البورون ، فستقتصر الدراسة الحالية على استخدام العاملين الاول والثاني، اي الملوحة المؤثرة ومعامل النفاذية .

تصنيف مياه الري بناء على الملوحة المؤثرة :

يمكن حساب الملوحة المؤثرة كما يلي :

الملوحة المؤثرة = الكلوريدات + ½ الكبريتات (مقدرة بالميلليمكافيء/ لتر)

وقد قسم Doneen مياه الري على اساس الملوحة المؤثرة ، الى ثلاثة اقسام على النحو الاتي :

خواص التربة / خواص المياه	درجة أولى ميلليمكافيء/لتر	درجة ثانية ميلليمكافيء/لتر	درجة ثالثة ميلليمكافيء/لتر
تربة ذات نفاذية منخفضة	اقل من ٣	٣ــ٥	اكثر من ٥
تربة ذات نفاذية متوسطة	اقل من ٥	٥ــ١٠	اكثر من ١٠
تربة ذات نفاذية عالية	اقل من ٧	٧ــ١٥	اكثر من ١٥

تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقة صنعاء ، لاستخدامها في الري ، على اساس الملوحة المؤثرة :

تتراوح قيمة الملوحة المؤثرة في مياه منطقة صنعاء بين ٥٩ر٠ و ٥٢ر٤ ميلليمكافيء/لتر . وعلى هذا فان جميع هذه العينات تعتبر من الدرجة الاولى بالنسبة للتربة ذات النفاذية العالية والتربة ذات النفاذية المتوسطة ، اما بالنسبة للتربة ذات النفاذية المنخفضة فان :

٨٥٪ من العينات الكلية من الدرجة الاولى .

١٥٪ من الدرجة الثانية .

تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقة الحديدة ، لاستخدامها في الري ، على اساس الملوحة المؤثرة :

تتراوح قيمة الملوحة المؤثرة في مياه الحديدة ، ما بين ٥ر٤ و ٥٧ر٧٥ ميلليمكافيء/لتر . ويمكن ايجاز نتائج تقويم صلاحية هذه المياه ، بالنسبة لانواع التربة الثلاثة ، كما يلي :

ا ــ في حالة التربة ذات النفاذية العالية :

١٦٪ من العينات من الدرجة الاولى .

٣٦٪ من الدرجة الثانية .

٤٨٪ من الدرجة الثالثة .

ب ــ في حالة التربة ذات النفاذية المتوسطة :

٨٪ من العينات من الدرجة الاولى .

٤٠٪ من الدرجة الثانية .

٥٢٪ من الدرجة الثالثة .

جـ — في حالة التربة ذات النفاذية المنخفضة :

٨٪ من العينات من الدرجة الثانية .

٩٢٪ من الدرجة الثالثة .

تصنيف مياه الري على اساس معامل النفاذية :

يمكن تقدير معامل النفاذية على النحو الاتي :

$$\text{معامل النفاذ} = \frac{\text{الصوديوم} + \sqrt{\text{البيكربونات}}}{\text{الصوديوم} + \text{المغنيسيوم} + \text{الكالسيوم}} \times ١٠٠ \text{ (مقدرة بالمليليمكافيء)}$$

وبالربط بين معامل النفاذية والملوحة الكلية ، تمكن Doneen، من انشاء رسم لتقسيم مياه الري . وبهذه الطريقة قسمت المياه الى ثلاث درجات . وقد قدم Doneen ثلاثة أنواع من الاشكال وذلك على حسب خواص التربة .

تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقة صنعاء ، لاستخدامها في الري ، باستخدام رسم Doneen :

يبين (شكل ٥) نتائج تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقة صنعاء ، لاستخدامها في الري ، باستخدام رسم Donnen (في حالة التربة ذات النفاذية المتوسطة) ويمكن تلخيص هذه النتائج كما يلي :

٤٠٪ من العينات ، من الدرجة الاولى .

٥٥٪ من الدرجة الثانية .

٥ ٪ من الدرجة الثالثة .

وتجدر الاشارة الى أن معامل النفاذية لعينة المياه المأخوذة من البئر رقم ١٧ ، هو ١٢٦ر١٥ ، لذلك فان هذا البئر لم يوقع في (شكل ٥) وتعتبر مياهه من الدرجة الثالثة .

تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقة الحديدة ، لاستخدامها في الري ، باستخدام رسم Doneen :

يبين (شكل ٦) نتائج تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقة الحديدة ، لاستخدامها في الري ، باستخدام رسم Doneen . ويلاحظ أن عدد العينات التي امكن توقيعها في هذا الشكل هو احدى عشرة عينة ، أما العينات المتبقية ، وعددها

اربع عشرة ، فلم توقع في الشكل نظرا لاحتوائها على تركيز من الكاتيونات يزيد عن ٢٢٫٥ ميلليمكافيء/لتر . لهذا فان هذه العينات تعتبر من الدرجة الثالثة . وفيما يلي ايجاز النتائج الخاصة بمياه الحديدة بهذه الطريقة (في حالة التربة ذات المسامية المتوسطة) :

٢٠٪ من المجموع الكلي للعينات ، من الدرجة الاولى .
٢٠٪ من الدرجة الثانية .
٦٠٪ من الدرجة الثالثة .

تصنيف المياه المستخدمة في الاغراض المنزلية

لكي تكون المياه ملائمة للاستخدامات المنزلية ، يجب أن تتوفر فيها بعض المواصفات البكتريولوجية والطبيعية والكيميائية . فهي لا بد أن تكون خالية من الميكروبات الضارة وأن تكون عديمة اللون والطعم والرائحة . كما يجب الا تزيد فيها نسبة بعض العناصر والمركبات الكيميائية عن تركيز معين . ومن الناحية الكيميائية ، فلا توجد حتى الان معدلات أو معايير ذات قبول عالمي ، لتحديد مدى صلاحية المياه لاستخدامها في الاغراض المنزلية . ولهذا السبب فقد استخدمت في الدراسة الحالية ، المعدلات المعمول بها في الولايات المتحدة الامريكية .

تقويم صلاحية المياه الجوفية في منطقتي صنعاء والحديدة ، لاستخدامها ، في الاغراض المنزلية ، باستعمال المعدلات الامريكية :

يبين الجدول الاتي الحد الاعلى للتركيز المقبول لبعض العناصر والمركبات الكيميائية في المياه المستخدمة للشرب ، بناء على المعدلات المعمول بها في الولايات المتحدة الامريكية ، عن (Davis and De Wiest ١٩٦٦) :

جزء في المليون

الاملاح الكلية	١٥٠٠
الصوديوم	٢٢٠
الكالسيوم	٢٠٠
المغنيسيوم	١٢٥
الكلوريدات	٢٥٠
الكبريتات	٢٥٠
البيكربونات	٥٠٠

النيتـــرات	٢٠
الفلوريـــدات	٥٠ر١
النحـــــاس	٠٠ر١
الحـــديـــد	٠٠ر١
الرصـــاص	٠٥ر
الزنـــــك	٥ر
المنجنـــيز	٠٥ر
البـــــورون	٠٠ر٢٠

وبتطبيق هذه المعدلات في الدراسة الحالية نجد أن :

الامـــلاح الكليـــة :

جميع عينات مياه منطقة صنعاء جيدة للشرب ، فنسبة الاملاح الكلية فيهـــا تتراوح بين ٢٠٥ و ٦٧٢ جزء في المليون . بينما تتراوح هذه النسبة في مياه منطقة الحديدة بين ٥٦٥ر٥٨٢٦ جزء من المليون ، ٤٤٪ منها نسبة الاملاح الكلية فيها اقل من ١٥٠٠ جزء في المليون وتعتبر صالحة للشرب . أما باقي العينات فتزيد فيها هذه النسبة عن ١٥٠٠ جزء في المليون وتعتبر رديئة وغير صالحة للشرب .

الصـــوديـــوم :

الحد الاعلى للنسبة المقبولة للصوديوم هي ٢٠٠ جزء في المليون . وعلى هذا فان جميع عينات منطقة صنعاء صالحة للشرب حيث تتراوح فيها نسبـــة الصوديوم بين ٣ر٨ و ٦٩ جزء في المليون . أما في منطقة الحديدة فالعينات التي تحتوي على نسبة من الصوديوم اقل من الحد الاعلى المسموح به هي ١٢٪ أما باقي العينات فغير صالحة للشرب .

الكالسيـــوم :

جميع عينات صنعاء تحتوي على نسبة أقل من ٢٠٠ جزء في المليون وتعتبر صالحة للشرب . أما مياه الحديدة فـــ ٩٦٪ منها صالحة للشرب .

المغنيسيـــوم :

أعلى نسبة من المغنيسيوم مسموح بوجودها في مياه الشرب هي ١٢٥ جزء في المليون . وعلى هذا الاساس فان ١٠٠٪ من مياه صنعاء و ٨٨٪ من ميـــاه الحديدة ، صالحة للشرب .

الكلوريـــدات :

تتراوح نسبة الكلوريدات في مياه صنعاء بين ١٨ و ١٢٢ جزء في المليون . لهذا فان جميع عينات صنعاء صالحة للشرب . اما في منطقة الحديدة ، فتتراوح هذه النسبة بين ١١٢٫٨ و ٢٥٢٠٫٨ جزء في المليون ، ٤٤٪ منها تحتوي عـــلى نسبة اقل من ٢٥٠ جزء في المليون وتعتبر صالحة للشرب .

الكبريتـــات :

الحد الاعلى من الكبريتات المسموح بوجوده في مياه الشرب هو ٢٥٠ جزء في المليون . وتتراوح هذه النسبة في صنعاء بين ٩٫٥ و ١٢٤ جزء في المليون . ومعنى هذا ان جميعها صالحة للشرب . اما في منطقة الحديدة فتتراوح نسبـــة الكبريتات بين ٨٥ و ٧٣٧٫٥ جزء في المليون ، ٤٠٪ منها صالحة للشرب .

البيكربونـــات :

تتراوح نسبة البيكربونات في مياه صنعاء بين ٤٩٫٨ و ٣٠٥ جزء في المليون . اما في منطقة الحديدة فتتراوح بين ١٢٢ و ٥٢٧ جزء في المليون . ونظرا لان اعلى تركيز مسموح بوجوده من البيكربونات في مياه الشرب هو ٥٠٠ جزء في المليون ، فان ١٠٠٪ من عينات صنعاء ، و ٩٦٪ من عينات الحديدة صالحة للشرب .

النيتـــرات :

الحد الاعلى من النيترات المسموح بوجوده في مياه الشرب هو ٢٠ جزء في المليون . وبالنسبة لعينات المياه المأخوذة من منطقة صنعاء ، فان التحاليـــل الكيميائية الخاصة بالنيترات غير متوفرة . اما فيما يتعلق بمياه منطقـــة الحديدة فتتراوح هذه النسبة بين اثار قليلة و ٥٢٠٫٥ جزء في المليون . وعلى هذا الاساس فان ٩٦٪ من مياه الحديدة تحتوي على نسبة اعلى من الحد المسموح به وتعتبر غير صالحة للشرب .

الخلاصـــــة والاستنتاجـــات

اعتمدت هذه الدراسة على نتائج التحاليل الكيميائية لعشرين عينة ميـــــاه جوفية جمعت من منطقة صنعاء ، وخمس وعشرين عينة جمعت من منطقة الحديدة. وقومت صلاحية هذه المياه ، لاستخدامها في الري ، بطريقة كل من Wilcox ١٩٤٩ ، و Doneen ١٩٦١ ، كما قومت صلاحيتها لاستخدامها في الاغـــراض المنزلية ، بناء على المعدلات الامريكية .

وقد وجد أن المياه الجوفية في منطقة صنعاء اكثر جودة ، سواء للري او للشرب ، من مياه الحديدة . ويمكن ايجاز خواص المياه الجوفية في منطقتـــــي صنعاء والحديدة كما يلي :

منطقـــة صنعـــاء :

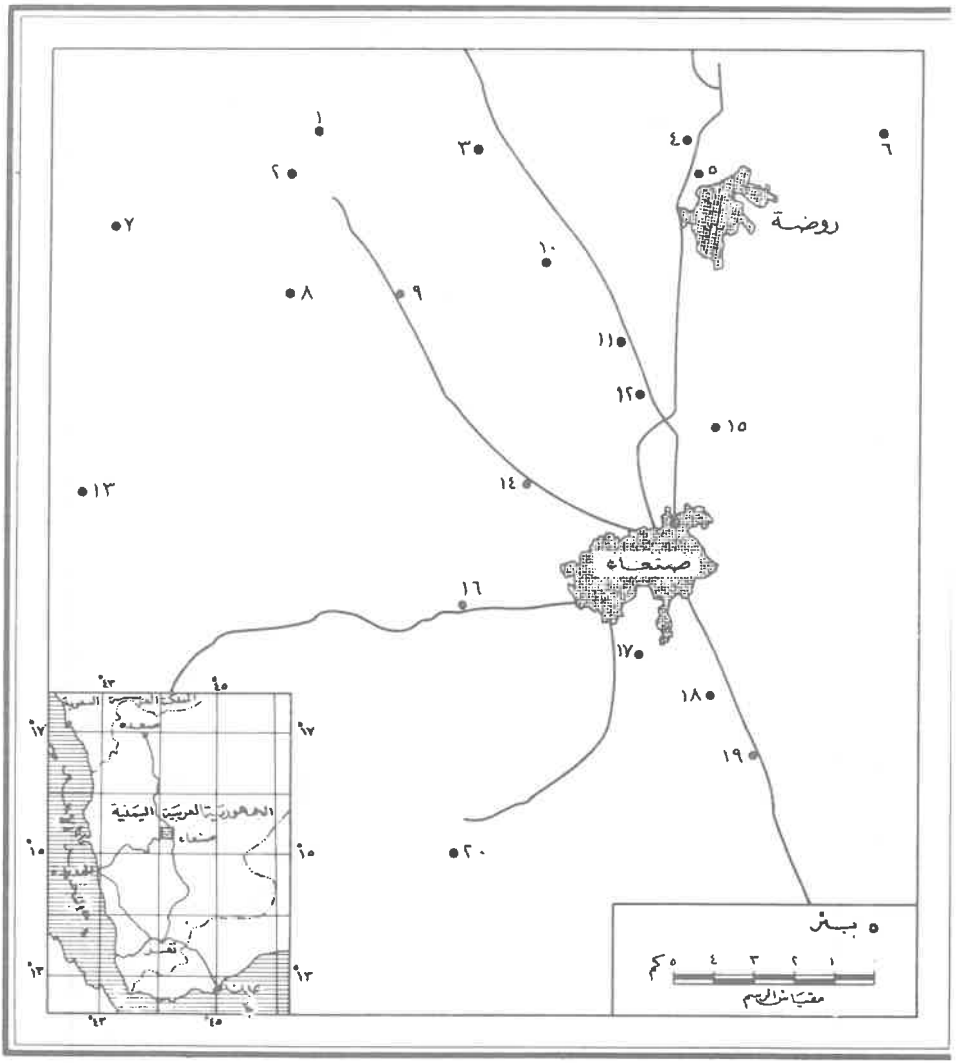
٨٥ ٪ من العينات (ممتازة ــ جيدة) للري .
٤٠ ٪ من الدرجة الاولى (للري) .
١٠٠٪ صالحة للشرب .

وجميع هذه العينات تحتوي على تركيز مسموح به من كل من :

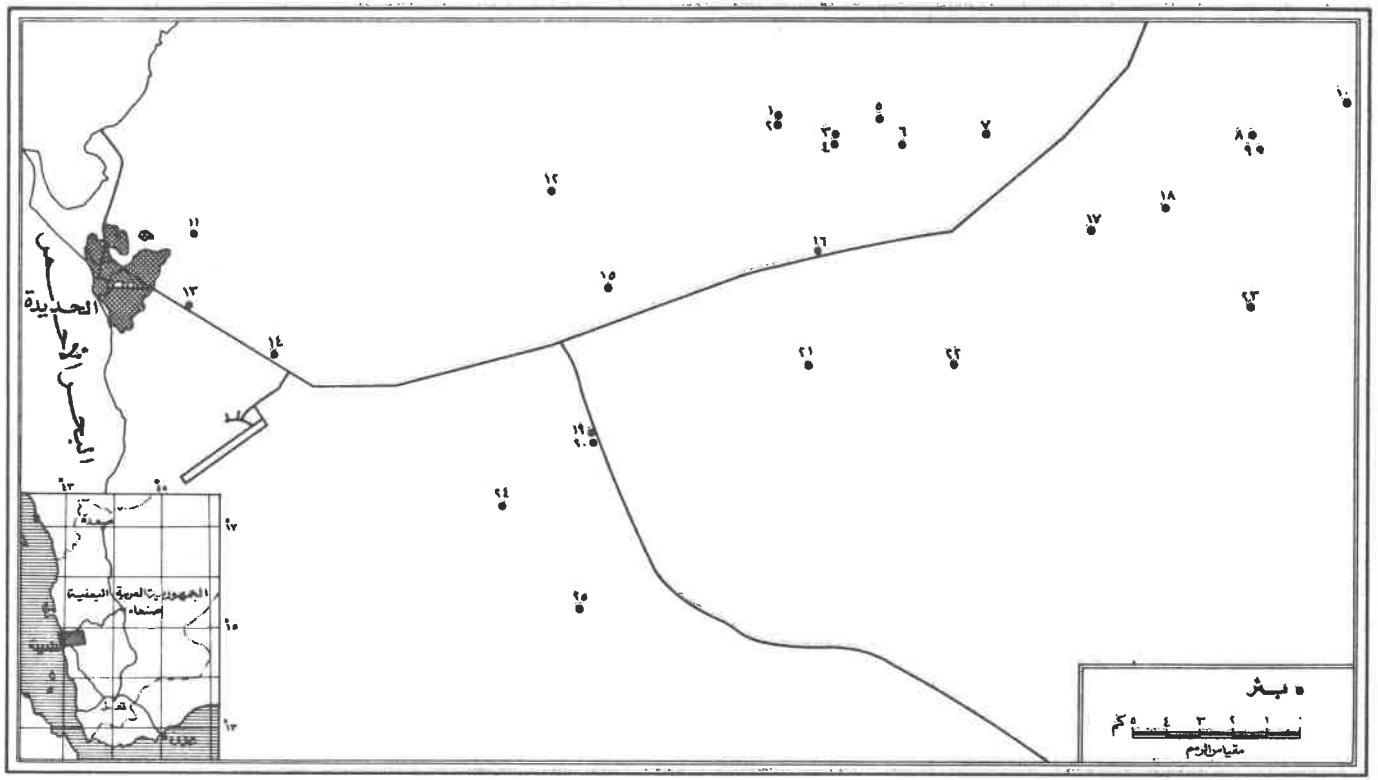
الاملاح الكلية ، الصوديوم ، الكالسيوم ، المغنيسيوم ، الكلوريدات ، الكبريتات والبيكربونات .

منطقـــة الحديـــدة :

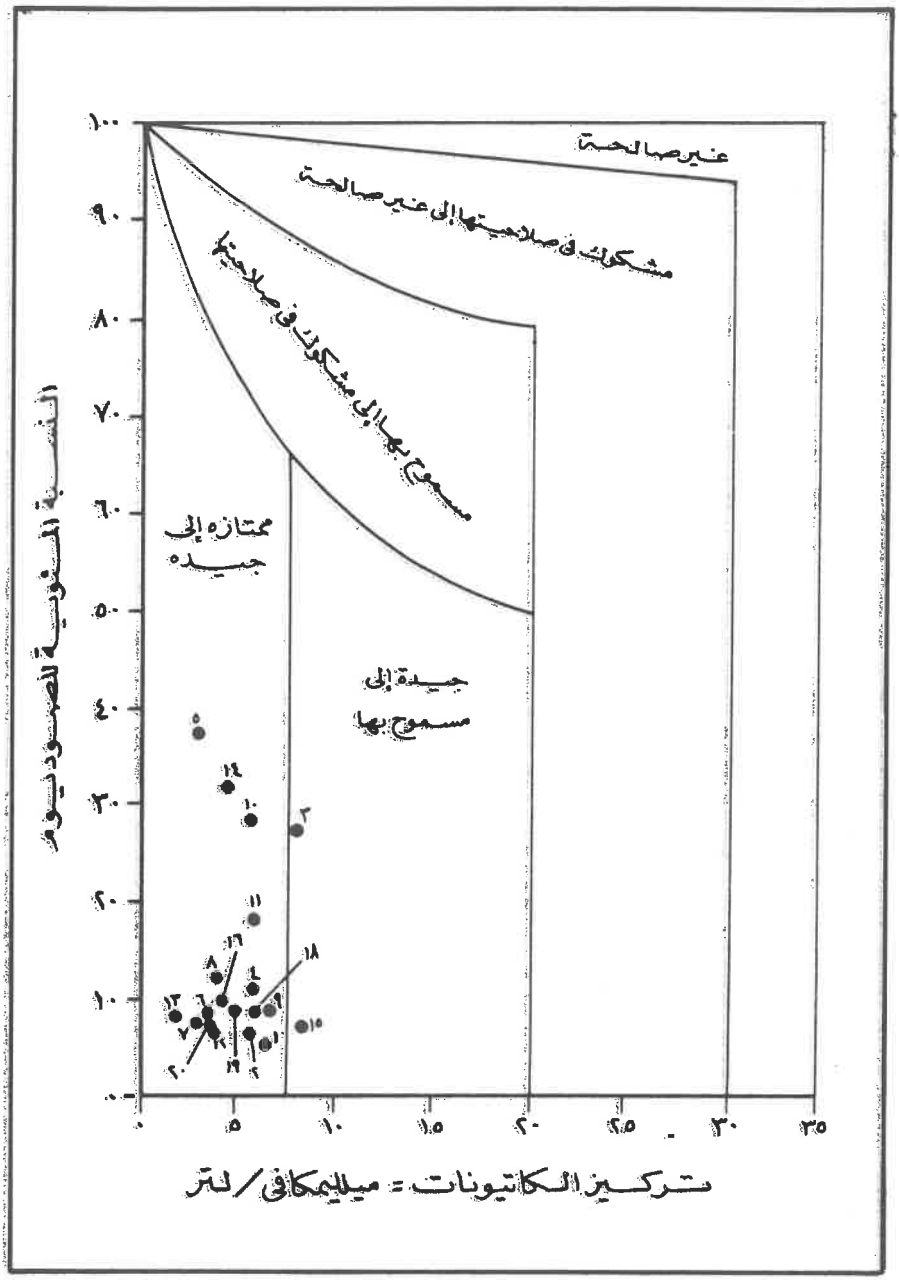
٤ ٪ (جيدة ــ مسموح بها) للري .
٢٠٪ من الدرجة الاولى (للري) .
٤٤٪ تحتوي على نسبة مقبولة من الاملاح الكلية .
١٢٪ نسبة الصوديوم فيها أقل من الحد الاعلى المسموح به .
٩٦٪ تركيز الكالسيوم فيها غير ضار .
٨٨٪ نسبة المغنيسيوم فيها مقبولة .
٤٤٪ تحتوي على تركيز مقبول من الكلوريدات .
٤٠٪ تركيز الكبريتات فيها دون الحد الاقصى المسموح به .
٩٦٪ بها نسبة مقبولة من البيكربونات .
٤ ٪ نسبة النيترات فيها مسموح بها .



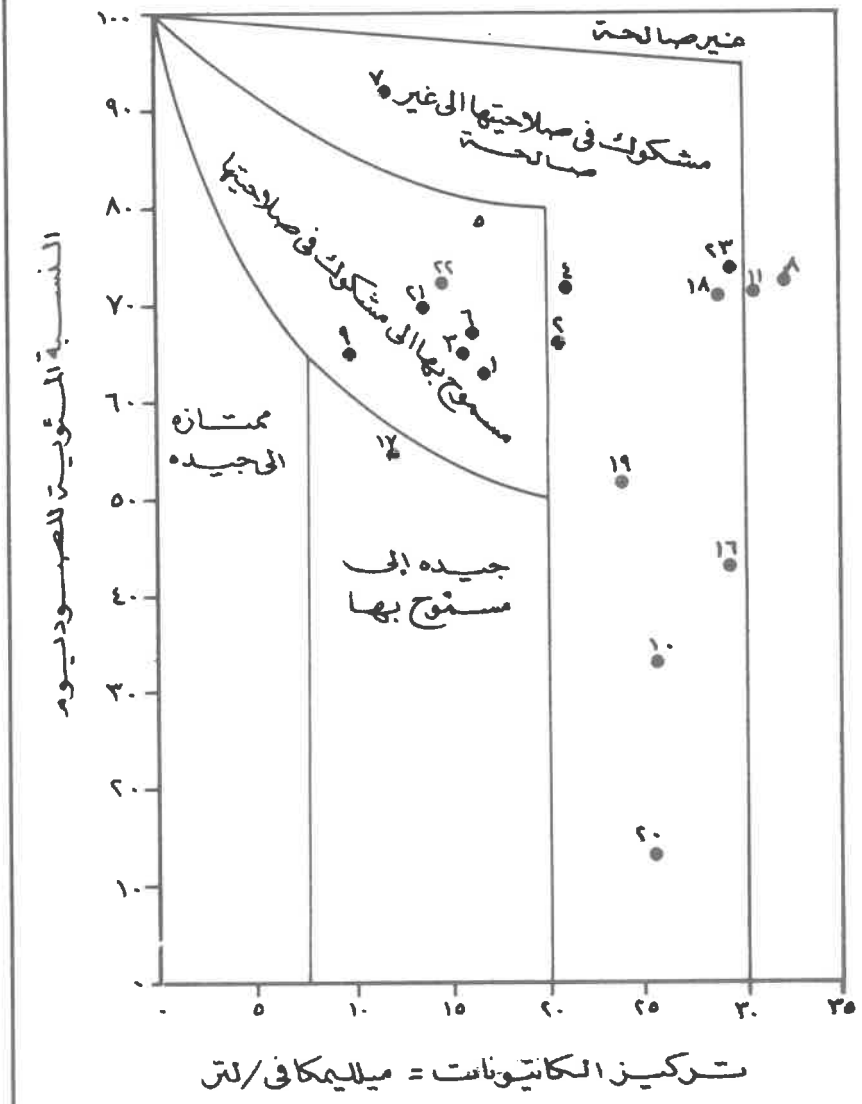
شكل (١) خريطة تبين منطقة صنعاء والآبار التي اختبرت مياهها .



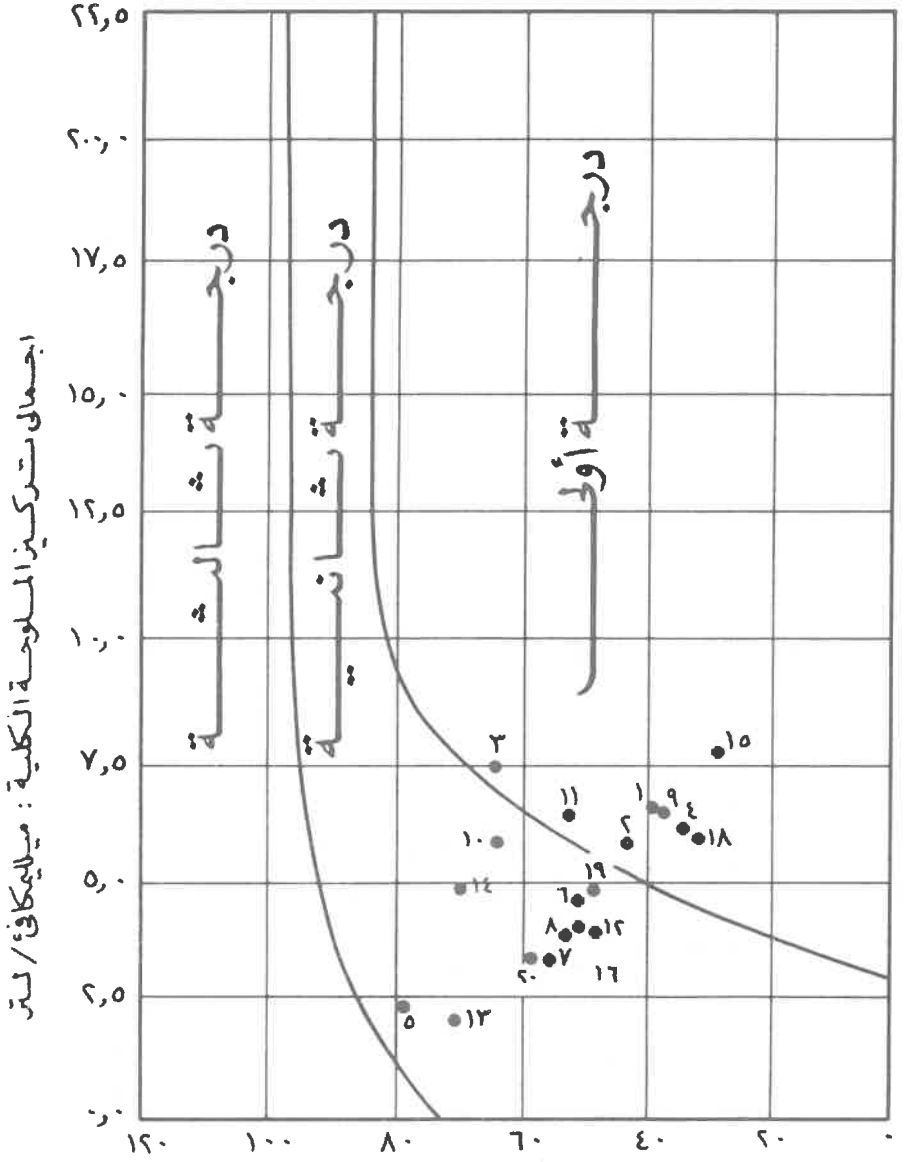
شكل (٢) خريطة تبين منطقة الحديدة والآبار التي اختبرت مياهها



شكل (٣) : صلاحية المياه بحسب طريقة "ولكوكس" Wilcox في منطقة صنعاء

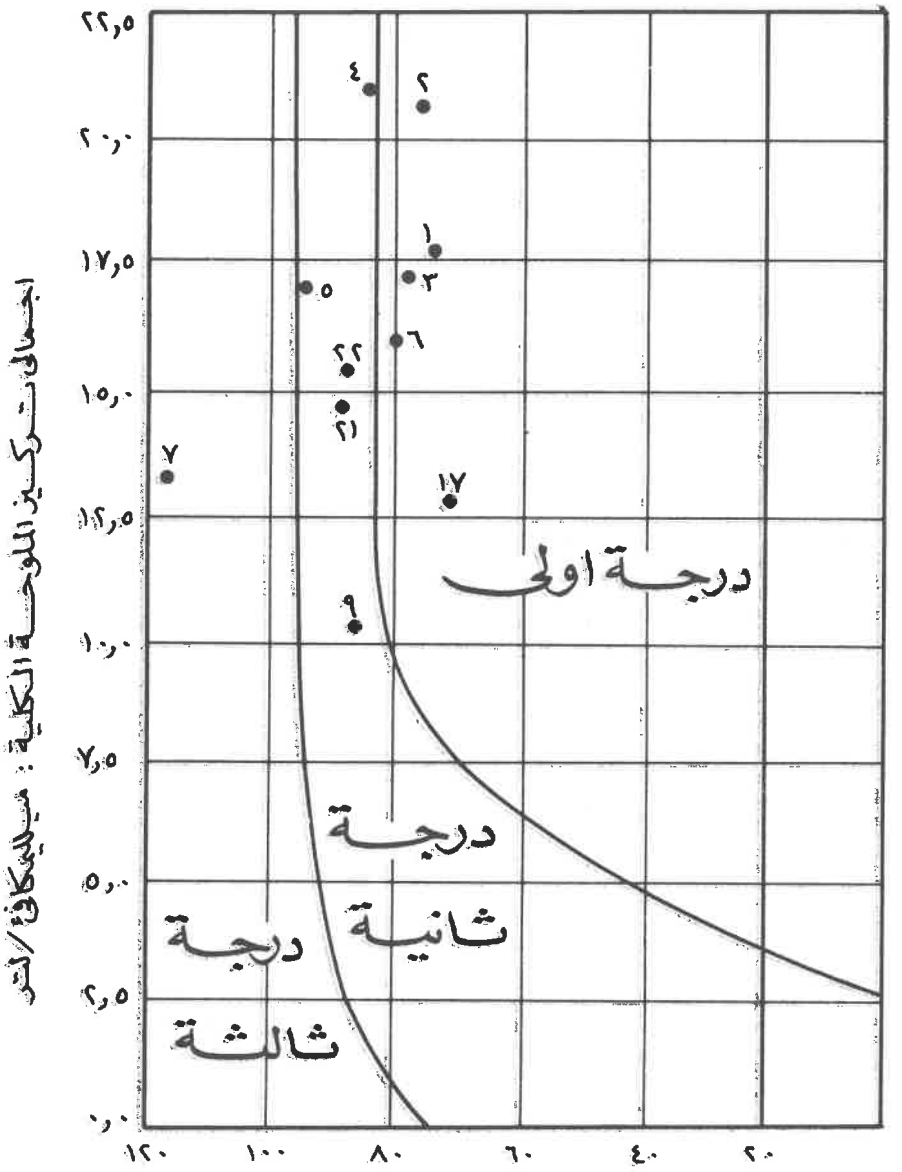


شكل (٤) : صلاحية المياه بحسب طريقة "ولكوكس" Wilcox
فى منطقة الحديدة



شكل (٥) :

صلاحية المياه بحسب طريقة "دونين" Doneen للري في منطقة صنعاء



شكل (٦)

صلاحية المياه بحسب طريقة "دونين" Doneen
في منطقة الحديدة

المراجـــع :

(1) Davis S.N. and De Wiest, Hydrogeology: John Wiley and Sons, Inc. New York, 463 p. 1966.

(2) Doneen, L.D., The influence of crop and soil on percolating waters: Proceedings of ground water conference, California, U.S.A. 1961.

(3) Wilcox, L.V., The quality of water for irrigation use: U.S.A. Department Agric. Tech. Bull., Washington, 1949.

(4) World Health Organization, Water supply for Sana'a and Hodeida, Yemen Arab Republic: Rome 1973.

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب ـ دولة الكو

- يشرف على تحريرها نخبة من رجالات الفكر والثقافة في الوطن العربي
- تهدف إلى تزويد القارئ العربي بمادة جيدة من الثقافة تغطي جميع فروع المعرفة على نحو أصيل ومعاصر
- يتناول كل كتاب دراسة مستقلة متكاملة، سواء أكانت ترجمة أم تأليفاً
- تصدر في مطلع كل شهر ميلادي، في حوالي ٢٥٠ صفحة من القطع المتوسط

المراسلات: باسم السيد الأمين العام للمجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب ـ ص.ب ٢٣٩٩٦ الكويت