

دراسة في تلوث المياه الجوفية في حوض صنعاء

مصطفى رشيد العبيدي

جامعة صنعاء - قسم الجغرافيا - كلية الآداب - صنعاء - اليمن

الملخص

أن حوض صنعاء يمثل من الناحية الجيولوجية حوض انهيار شبه مغلق تتراكم فيه حوالي أكثر من 300 متر من الرواسب الرباعية والتي تمثل خزاناً جوفياً من المياه إلا أن النشاط العمراني والصناعي لمدينة صنعاء والتي تمثل القاع أصبح يهدد وبشكل خطير هذا الخزان وخاصة في الأجزاء الشمالية منه. ولهذا فأنا اخترنا طريقة دراستيك التي استعملت أول مرة عام 1993 بكندا والتي هي قائمة على سبعة معايير فيزيائية:

- 1- عمق المياه الجوفية
- 2- التغذية المائية
- 3- المواد المكونة للخزان
- 4- نوع التربة
- 5- الميل الطبوغرافي
- 6- أثر المنطقة المهواة أو المحوات
- 7- الناقلية المائية

أن هذه القيم السبعة هي التي تحدد مدى الحساسية للتلوث وتوزيعها المكاني عبر الخرائط التي تم إنشاؤها. أتضح لنا من خلال التحليل للأحواض المائية الثانوية أنه من بين المواقع الأكثر حساسية هي المناطق الشمالية لمدينة صنعاء وتلك المحاذية للمناطق العمرانية.

المقدمة

يتعرض حوض صنعاء وخاصةً في أجزائه الوسطى (قاع أو سهل صنعاء) إلى أزمة مياه وهذه الأزمة تشمل نضوب وانخفاض في مستوى المياه الجوفية وكذلك تعرضها للتلوث نتيجة النمو الاقتصادي والعمراني تحت الضغط الديمغرافي المتزايد والتي أدت إلى زيادة في الاحتياجات اليومية من المياه.

أن هذه الموارد تبقى محدودة بالنظر للإمكانات المناخية السائدة وكذلك طبيعة هذه المياه بالنسبة لحوض صنعاء حيث تمثل المياه الجوفية المورد الوحيد لكل النشاطات المذكورة إلا أن هذه الأخيرة أصبحت معرضة للتلوث بحكم الخصائص الطبيعية للتخزان و نوع وطبيعة النشاطات المتمركزة في الحوض . يقطن في حوض صنعاء (حسب تعداد 2004) 2027501 نسمة ما يعادل 10.3% من إجمالي سكان اليمن وضمن مساحة 3200 كم² ما نسبته 0.58% من مساحة اليمن مما يعني نسبة عالية من الكثافة السكانية وأنشطة اقتصادية كثيرة متمركزة فيها وبالتالي إمكانية تأثرها بالتلوث .

تلوث المياه في حوض صنعاء بالمبيدات والأملاح الضارة ومسببات الأمراض بسبب غياب شبكات المجاري من كثير من المناطق في هذا القاع كذلك فإن تلوث المياه الجوفية أصبح مسألة حتمية وعلى الأخص في العاصمة صنعاء . أظهرت نتائج التحاليل الكيميائية للمياه ارتفاع كمية الأملاح والكلوريد والقاعدية والنترات في المناطق الشمالية و الشمالية الشرقية ووسط القاع (سنة 2006). إن هذا الارتفاع ناتج عن قربها من المناطق الحضرية ومناطق تجمع مياه المجاري كما أن زيادة الطلب المائي في القطاع المتزلي الحضري والذي ينمو بشكل عالي ومتسارع سنوياً يجعل خطورة زيادة التلوث وارد.

هدف الدراسة

إن الهدف من هذه الدراسة هو معرفة و قابلية حساسية هذا الحوض للتلوث وبالأخص للجهات الرسمية عند اختيار و تحديد مواقع للتخلص من النفايات الصلبة أو السائلة في ظل الزيادة الكبيرة في

كمية النفايات المتوفرة يومياً وعند التخطيط للتوسع في استخدام الأرض مستقبلاً.

الطرق المستخدمة

استخدمت في هذه الدراسة طريقة دراستيك (DRASTIC METHOD) الكارتوغرافية وهي طريقة تبين القابلية والحساسية للتلوث وهي طريقة ذات منهجية بسيطة ودقيقة تعتمد على التشخيص العددي لمختلف المعايير الفيزيائية لأي حوض (قاله ودريدي 2000) .
إن هذه الطريقة قائمة على سبعة معايير فيزيائية أعطيت لكل معيار قيمة ثابتة حسب وزنه (أي حسب أهميته وتأثيره من حيث الدور الذي يلعبه في الزيادة أو الحد من التلوث) وهذا ما يظهر في الجدول رقم (1) .

جدول (1) يبين وزن معايير دراستيك الفيزيائية

الوزن	المعيار	الرقم
5	عمق المياه الجوفية	1
1	الانحدار (الطبوغرافية)	2
5	تأثير منطقة التهوية	3
4	التغذية السنوية المائية	4
2	نوع التربة	5
3	الطبقة الصخرية للخران	6
3	النفاذية (الناقلية الهيدرولية)	7

وكل معيار تعطى له قيمة استدلالية أو درجة تقييم من 1-10 حسب الظروف المحلية للمنطقة المراد دراستها وهذه القيم موضحة في جداول دراستيك تتعلق بكل معيار (جدول 2) ثم بعدها نشأ 7 خرائط استدلالية تمثل كل واحدة منها أحد المعايير .

جدول رقم (2) جدول دراستيك لمختلف المعايير وقيمها

ميل الميدان (Topography %)	
التقييم (Cotation)	الفاصل (Interval)
10	02-00
09	06-02
05	12-06
03	18-12
01	18+

التغذية السنوية سم / سنة (Annual recharge)	
التقييم (Cotation)	الفاصل (Interval)
01	05-00
03	10-05
06	18-10
08	25-18
09	25+

نوع التربة (Soil media)	
التقييم (Cotation)	طبيعة التربة (Soil)
10	تربة غير سميكة
10	حصى
09	رمل
07	طين مشقق
06	تربة سميكة رملية
05	تربة سميكة
04	تربة سميكة وطمي
03	تربة سميكة طينية
01	طين غير مشقق

تأثير منطقة التهوية (Impact of vadose zone)	
التقييم (Cotation)	تأثير منطقة التهوية
01	طمي وصلصال
03	طين شيسبي
06	صخر كلسي
06	صخر رملي
06	طبقات كلسية، رملية وطين شيسبي
06	رمل وحصي مع طمي وطين
06	صخور متحولة
08	رمل وحصي
09	بازالت
10	كلس كارستي
عمق المياه (Depth of water)	
التقييم (Cotation)	الفاصل (Interval)
10	1 – 00.5
09	4.5 – 1.5
07	09 – 4.5
05	15 – 09
03	23 – 15
02	31 – 23
01	31+

الوسط المائي (Aquifer media)	
التقييم (Cotation)	طبيعة الوسط المائي
02	صخر شيسيتي صلب
03	صخور متحولة
04	صخور متحولة هشة
06	طبقات من الصخور رملي، كلس وطين
06	صخر رملي صلب
06	صخر كلس صلب
08	رمل وحصي
09	بازالت
10	صخر كلسي كارستي

الناقلية الهيدرولية م / اليوم (Conductivity)	
التقييم (Cotation)	الفاصل (Interval)
01	04 - 0.04
02	12 - 04
04	29 - 12
06	41 - 29
08	82 - 41
10	82+

أما الخطوة التالية فهي عملية التراكم والانتضاد لهذه الخرائط لنستخرج منها الخريطة النهائية (خارطة دراستيك) وهي عبارة عن خريطة تظهر فيها المنطقة المدروسة مقسمة إلى وحدات وكل وحدة معرفة بمدلول دراستيك (DRASTIC INDEX) الذي يعبر عن مدى حساسيتها. ويحسب مدلول دراستيك بالشكل التالي :

مدلول دراستيك = مجموع حاصل ضرب وزن كل معيار × درجة التقييم .

وهذا المدلول يمثل تقييم مستوى الخطر المتعلق بالتلوث للوحدة الهيدروجيولوجية التي تظهر محددة في الخريطة النهائية وكلما كان المدلول كبير يدل على حساسية تلوث عالي والعكس صحيح

أن هذه الطريقة المعتمدة على الخصائص الطبيعية قد تم إضافة أربعة معايير بشرية لها وكل معيار تم إعطائه قيمة استدلالية أو درجة تقييم حسب مقدار التأثير و الاختلافات في استخدام الأرض وكما موضحة في جدول رقم (3) والتي تمثل مختلف النشاطات الاقتصادية والاجتماعية لمنطقة معينة تسمح هذه النتائج باتخاذ القرارات الملائمة وفي المحافظة على الموارد الطبيعية .

جدول رقم (3) المعايير البشرية

الوزن	استخدامات الأرض
1	الحاجر
2	الزراعة
3	الصناعة
4	السكانية

الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة

تشمل منطقة الدراسة سهل أو قاع صنعاء وهو جزء من حوض صنعاء. يقع هذا السهل في الأجزاء الوسطى من الحوض وهو الجزء المنخفض طبوغرافيا من حوض صنعاء (شكل 1). تبلغ مساحة السهل 425 كم² أما مساحة المنحدرات المحيطة به فهي 360 كم² وهو جزء من إقليم المنخفضات الوسطى. يمتد السهل بين خطي طول 44° 02' و 44° 29' شرقا وبين دائرتي عرض 15° 01' و 15° 37' شمال خط الاستواء.

جيولوجية وطبوغرافية منطقة الدراسة

تنكشف في منطقة الدراسة والمناطق المحيطة بها العديد من التكوينات الصخرية المختلفة والتي تعود لأعمار جيولوجية مختلفة تشمل من الأقدم إلى الأحدث كالا من:

- 1- مجموعة صخور عمران الجيرية (الجوراسي الأوسط و الأعلى) وهي صخور جيرية فتاتية مارلية و طينية لا تنتشر بشكل واسع في منطقة الدراسة و إنما يتركز انتشارها في شمال القاع بمساحة حوالي 3 كم².

- 2- تكوين الطويلة الرملية (الكريتاسي الأعلى - الثلاثي الأسفل) وهي صخور رملية متوسطة إلى خشنة حصوية يتخللها العديد من العدسات الطينية والغرينية (النخال 1993) يتميز هذا التكوين بكثرة الشقوق والكسور و ينتشر هذا التركيب في السفوح الشمالية الشرقية والشمالية الغربية (العبيدي 2006).
- 3- بركانيات اليمن (الثلاثي) وهي صخور بركانية متكونة من مجموعة من الصخور أهمها البازلت القاعدي إضافة إلى فتات و رماد ومقذوفات بركانية احتضنت في فترات الهدوء طبقات رسوبية من الطين والطفل وتمثل مكاشف هذه الصخور المساحة الأكبر من مساحة المنحدرات المشرفة على قاع صنعاء.
- 4- الصخور البركانية الرباعية: تتواجد على شكل مخاريط بركانية مركزية تمثل حوالي 10% من صخور منطقة الدراسة.
- 5- الارسابات الحديثة : وهي ركامات السفوح من صخور فتاتية متفاوتة في الحجم تتراوح بين طمي و حصي و جلاميد تنتشر في قاع صنعاء وتختلف سماكته بين 100-200 متر وأكبر سمك لها في الجزء الأوسط من السهل وخاصة في منطقة الروضة والمطار (شكل 2) ويمثل حوالي 54% من مساحة القاع.
- إن هذا التوزيع أثر على نوع الترب حيث إتضح سيادة التربة ذات النسجة الطينية الغرينية المتجانسة وخاصة في وسط القاع وتزداد نسبة الطين كلما زاد العمق (اليعري 2005).
- يمثل قاع صنعاء حفرة ائيمار تحدها سلسلة من التصدعات الكبيرة المتوازية ذات اتجاه شمال غرب- جنوب شرق. تراكمت في هذا المنخفض مواد رسوبية أثناء العصر الرباعي تتمثل في مواد حصوية ورملية وطينية يصل سمك بعضها إلى أكثر من 200 متر. إن هذه الترسبات قد أعطت لهذا المنخفض مظهر سهل واسع ومستوي تشرف عليه مرتفعات جبلية يزيد ارتفاعها عن ألفي متر تتصل بالسهل بواسطة سفوح شديدة الانحدار .

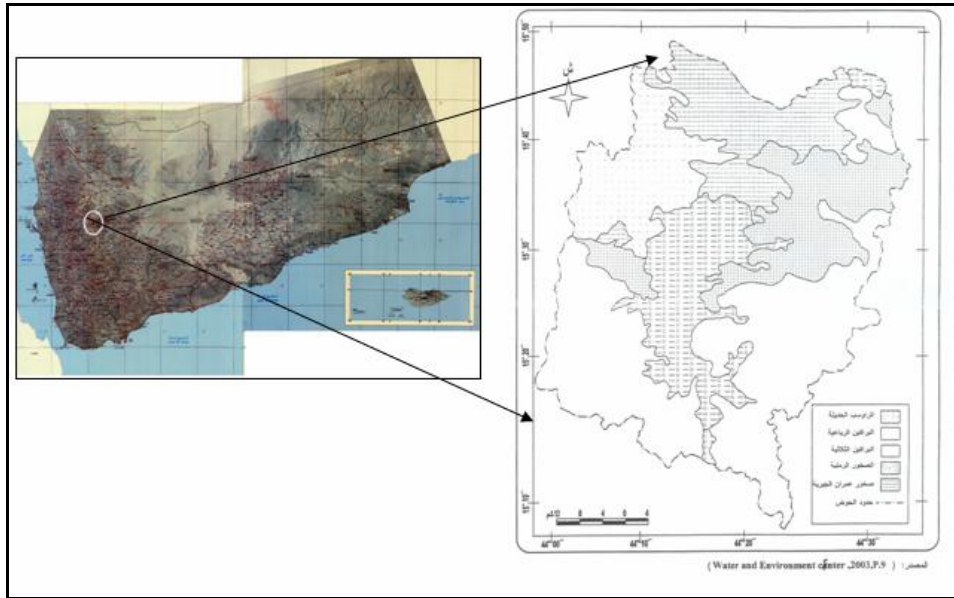
مناخ منطقة الدراسة

يقع حوض صنعاء ضمن الإقليم المداري الشمالي الذي يتصف بمدى حراري سنوي محدود

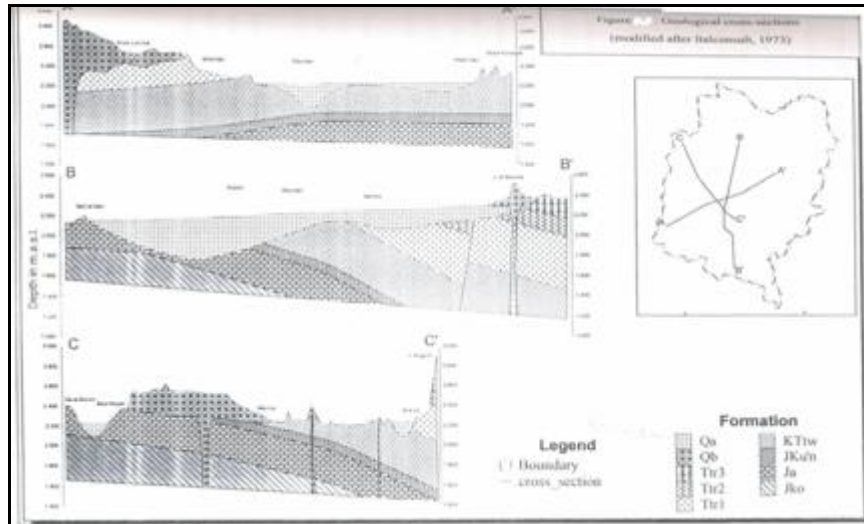
حيث يكون الصيف دافئ (21,5 م) قليل الأمطار (67,6 ملم) والشتاء معتدل جاف وموقع الحوض الفلكي ضمن المنطقة المدارية أدى سلباً على موارد الحوض المائية من خلال زيادة الضائعات المائية عن طريق التبخر الذي يصل إلى 300 ملم في فصل الصيف (نعمان 2000) مقارنة بمعدل الأمطار السنوي المقدرة 186,3 ملم مما يعني وجود فجوة في الموازنة المائية (أبو سمور ، الخطيب 1999 م) .

الموارد المائية في سهل صنعاء

تمثل الموارد المائية في منطقة الدراسة بشكل كبير بالمياه الجوفية والتي هي عبارة عن مياه سطحية ترشحت عن طريق التربة الهشة و إلى داخل القشرة الأرضية ذات التكوينات الصخرية الرسوبية التي تستطيع حمل المياه والاحتفاظ بها في الفراغات التي تتخللها . وتتميز المياه الجوفية في منطقة الدراسة بخصائص هيدرولوجية تبدأ بوصول المياه الجوفية القادمة نحو السهل من الأراضي المرتفعة المحيطة للحوض لتنتهي بسهله أو قاعه وهي عادة ما يكون اتجاه هذه المياه في حركتها من الجنوب إلى الشمال بسبب الانحدار البسيط وارتفاع الأراضي في الأجزاء الجنوبية . تتباين كمية الإيراد المائي السنوي من منطقة إلى أخرى حيث أن الأجزاء الجنوبية تغطي بأكبر كمية وبنسبة 38,7% من إجمالي الإيراد المائي السنوي في الحوض ثم تتناقص نحو الشمال وصولاً إلى وسط الحوض الذي قدرت فيه نسبة الإيراد المائي السنوي ب 35% أما الأجزاء الشمالية فتصل إلى 26% مما سبق يتضح لنا أن كمية الإيراد المائي السنوي تتناقص بشكل عام نحو الشمال تتواجد المياه في المنطقة على أعماق متباينة تنتج عن تسرب مياه الأمطار في الترسبات الحديثة الرملية أو الحصوية وتتوغل في بطون الأودية عبر الفراغات حتى تستقر في الأحواض (الخزانات) القريبة من السطح . أما المياه الجوفية العميقة فهي التي تتواجد في الطبقات الصخرية لتكاوين الطويلة الرملية و جيد الرملية تعتبر مياهها متجددة وكمياتها محدودة ، توجد في حزان كبير يتكون من طبقات حاملة للمياه السفلى منها هي تكوين جيد الرملية والعلية هي الطبقات الطويلة الرملية يفصل بينهما تكويني عمران الجيري الذي يمتاز بوجود تكسرات ومناطق ضعف عمودية وكحلان الطيني.



شكل (1) يبين موقع منطقة الدراسة والصخور المنكشفة في حوض صنعاء



شكل (2) يبين مقاطع جيولوجية لحوض صنعاء

وبناءً على ما سبق فإن المياه الجوفية في منطقة الدراسة محصورة في الأماكن التالية :

- 1- مكمن تكوين الحجر الرملي للطويلة و و جيد وهي مكامن محصورة .
 - 2- مكمن مجموعة البركانيات الثلاثية .
 - 3- مكمن مجموعة الترسبات الحديثة وهي مكامن غير محصورة .
- أن المكامن الغير محصورة هي ما يهمننا في هذا البحث حالياً .

الدراسة الهيدرولوجية والمورفومترية للحوض

أن الخصائص الهيدرولوجية و المورفومترية للحوض تتحكم بشكل مباشر في الحركة المائية أفقية سطحية كانت أو عمودية .

أ- الخصائص المورفومترية :

أن سهل صنعاء هو عبارة عن مصب مائي لحوض صنعاء. إن هذا السهل أو القاع يمثل الجزء الوسطي من الحوض يتميز حوض صنعاء بشكله القريب من الشكل الدائري ومحيط قدره 283 كم وطول الجري الرئيسي يقارب 84 كم (سنهوب 2006) أن أغلب مساحة الحوض البالغة حوالي 55% تنحصر بين ارتفاعي 1000-2000م مما يدل على أن الشكل العام للحوض هو عبارة عن أراضي منحدره نحو السهل والذي يقع في الأجزاء الوسطى للحوض . يبلغ متوسط الانحدار العام في الأجزاء المحيطة بالسهل 24° بينما لا يتجاوز انحدار السهل 2 درجة نحو الشمال .

ب- الخصائص الهيدرولوجية :

أن الموازنة المائية السنوية للحوض تظهر عجزاً كبيراً بسبب التبخر حيث تقدر كمية الأمطار السنوية ب 186,3 ملم سنوياً أما التبخر الحقيقي فيصل إلى 2118.4 ملم سنوياً و أن مقدار التسرب (وهي مقدار التغذية المائية للخزان) تصبغ وكما تبينها المعادلة التالية:

$$\text{التسرب} = \text{التساقط} - (\text{التبخر} + \text{السيلان})$$

وهي كما نلاحظ ستكون ضعيفة بالنظر للاحتياجات المائية للمنطقة من جهة وتغذية الخزان الجوفي من جهة أخرى إذ يصبح تجديد مياه الخزان الجوفي بطيء جداً في حالة تلوث مياهه .

ج- معايير دراستيك المتعلقة بالخصائص الهيدرولوجية :

1- الميل :

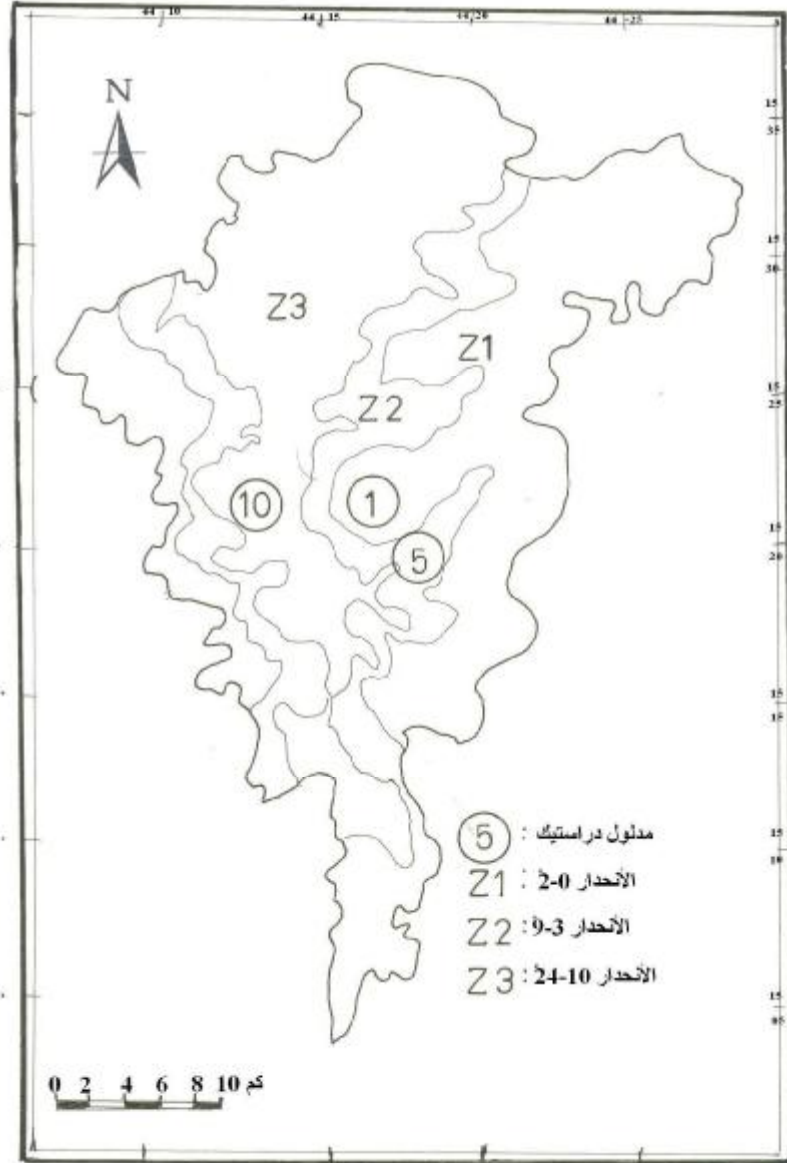
إن انحدار السطح له دور مهم في مقدار ما يتوغل من مياه الأمطار في باطن الأرض ومقدار ما يجري على سطحها (الشلس 1985). إن مناسيب الانحدار تمتد طبيعياً من الجنوب إلى الشمال وبالتالي فإن انحدار المجاري المائية يكون نحو المنطقة السهلية المنخفضة أو ما يعرف بسهل صنعاء (نعمان 2000). تتميز انحدارات منطقة الدراسة بالتنوع فهناك الانحدارات العالية التي لا تسمح للمياه المنطلقة بالتسرب أو التبخر بشكل كبير وهي تمثل الجزء الأكبر من حوض صنعاء تقع بين 9-24° وهناك الانحدارات المتوسطة والتي تقع بين 2-9° أما الانحدار الذي يقع في وسط وشمال السهل فأما قليلة بين 0-2° . وإذا قارنا هذه الخريطة الاستدلالية (شكل 3) بمجدول دراستيك (2-أ) نحصل على النتائج التالية :

الوزن = 1		
الميل الطبوغرافي	التقييم	المدلول
2-0°	10	10
9-2°	5	5
24-9°	1	1

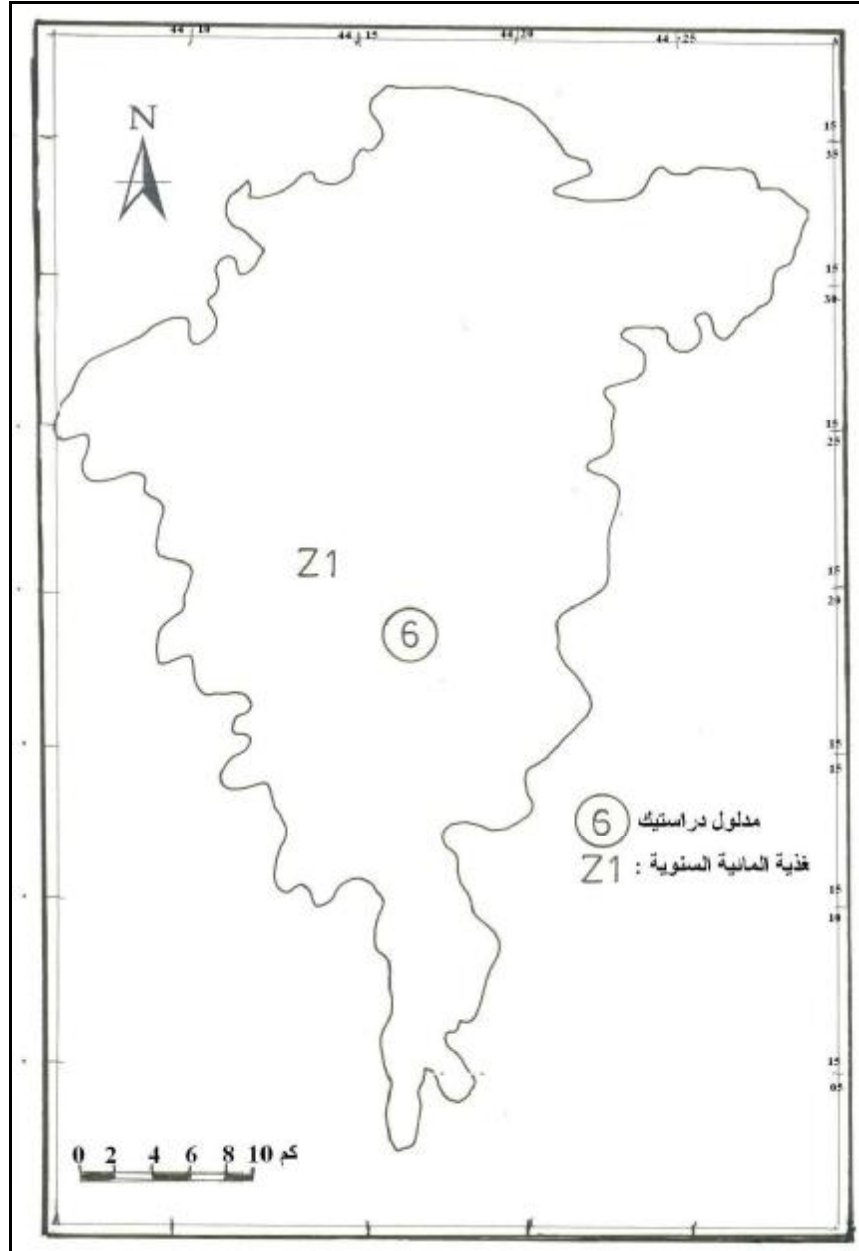
2- التغذية المائية :

ليس من السهولة حساب ظاهرة التسرب في سهل صنعاء وذلك للاختلاف التغذية المائية السنوية بسبب تذبذبها وكذلك اختلاف الخصائص الجيولوجية للحوض ولكن مع ذلك تم حساب معدل التغذية المائية للحوض على مدى 9 سنوات وبصورة تقريبية وذلك لصعوبة الحصول على قراءات متكاملة حيث قدرت هذه التغذية (التسرب) بما يعادل 1,5 ملم في السنة وكما في الخارطة (شكل 4) :

الوزن = 4		
التسرب / ملم / السنة	التقييم	المدلول
1,5	4	6



شكل (3) خارطة توزيع الانحدارات في قاع صنعاء



شكل (4) يوضح التغذية السنوية في قاع صنعاء

الدراسة الجيولوجية

أن الدراسات الجيولوجية للترسبات المتراكمة في حوض صنعاء وخاصة في الأجزاء الوسطى من الحوض وعبر عمليات الحفر أو الطرق الجيوفيزيائية المختلفة أظهرت اختلاف أنواع الترسبات في توزيعها أفقياً وعمودياً حيث أظهرت بأن ترسبات الحبيبات التي تقع في الأجزاء الوسطى من الحوض تتميز بأحجامها الصغيرة من تربة طينية ورملية وغرينية بينما تلك التي تقع عند حافات السهل فأما تتميز بأنها تربة خشنة حصوية . أن هذا التغيير في سحنة الترسبات المتراكمة ناتج عن اختلاف كميات التهاطل السنوي والفصلي للأمطار واختلاف سرعة جريان المياه .

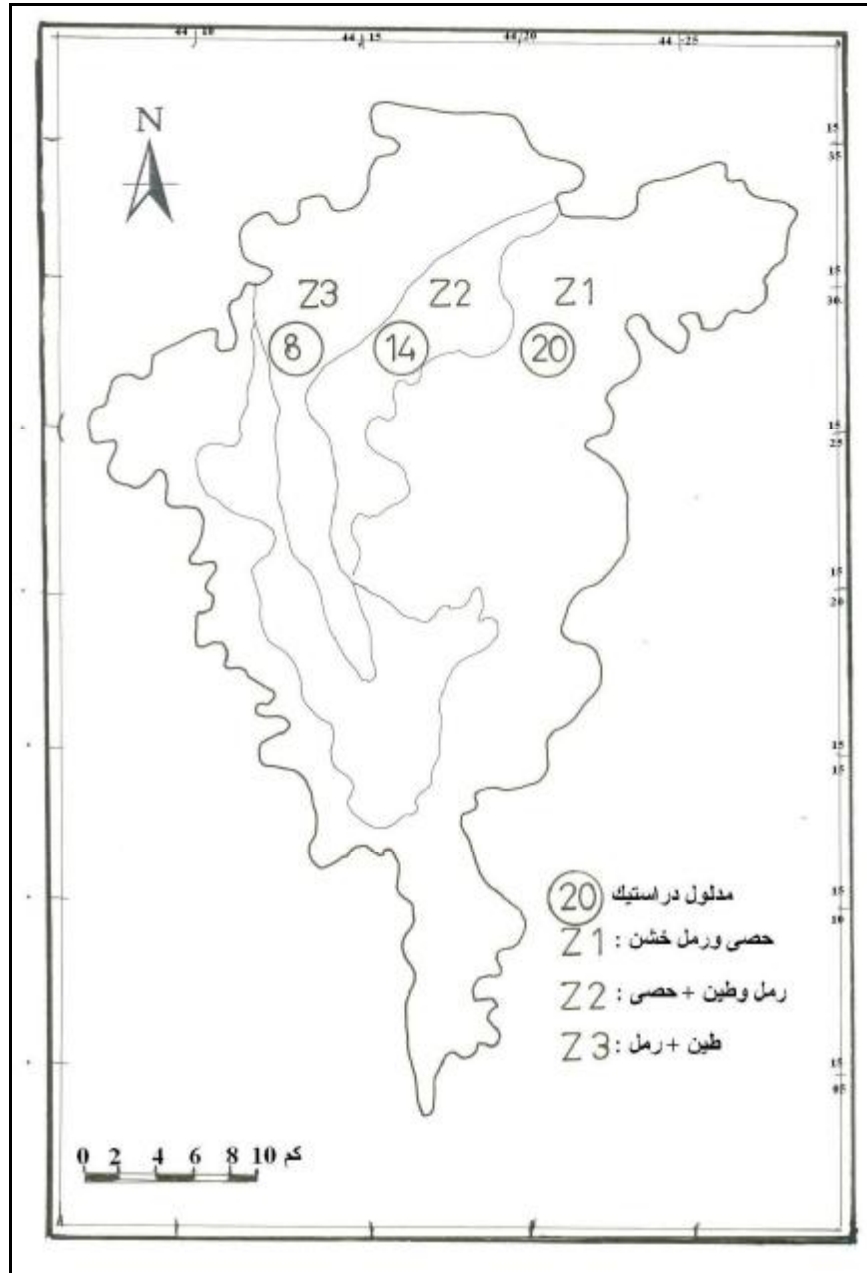
أن عمق التربة في هذا الحوض تزداد باتجاه وسط وشمال السهل حيث تصل إلى حوالي 200 متر بينما تقل عند الحافات الخارجية إلى أقل من 50 متر . أما الأساس المقاوم فإنه يتكون من الصخور البازلتية والرملية والكلسية والتي تقع على أعماق مختلفة بسبب كثافة التصدع في المنطقة (العبيدي والقطبة 2003).

معايير دراستيك المتعلقة بالمعطيات الجيولوجية :

1- نوع التربة :

بناءً على المعطيات الميدانية والمختبرية وخرائط التربة لسهل وحوض صنعاء يتبين لنا أن هنالك ثلاثة أنواع رئيسية من الترب في هذا السهل وهي كما موضحة في الشكل (5) وتظهر نتائجها على الشكل التالي :

الوزن = 2		
المدلول	التقييم	نوع التربة
20	10	حصى ورمل خشن
14	7	رمل وطنين وحصى
8	4	طين ورمل



شكل (5) نوع التربة في قاع صنعاء

2- تأثير منطقة التهوية :

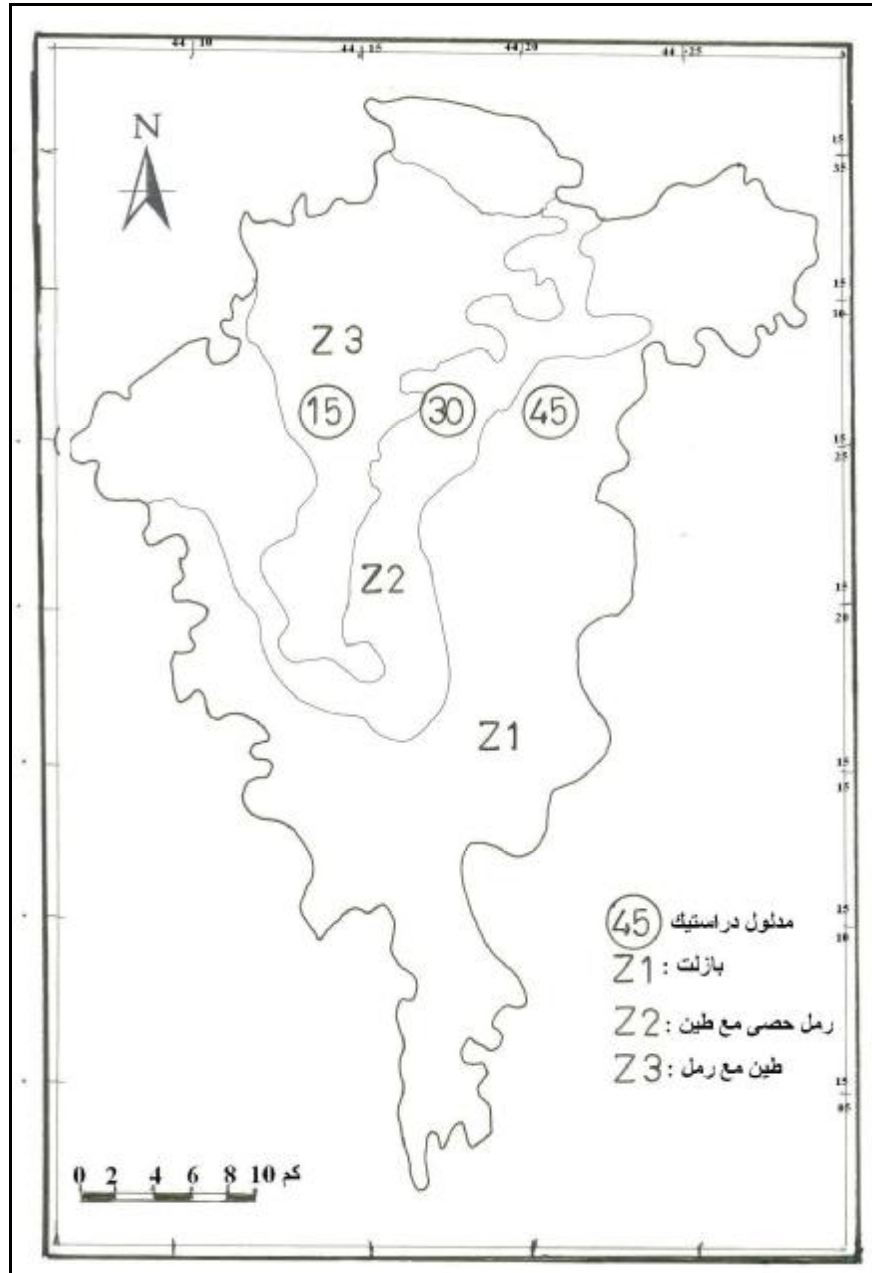
أن مقدار تأثير منطقة التهوية وهي المنطقة الغير مشبعة التي تلعب دوراً رئيساً في انتقال الملوثات وسرعتها نحو المياه الجوفية تعتمد على نوع المادة الصخرية المكونة لها وهي في الغالب متكونة من نفس الصخور الفتاتية من حصى ورمل وطين وأن بنية هذه التربة (منطقة التهوية) من حيث ترتيب ونسب وتوزيع وانتظام هذه المفتتات يحدد دورها في عملية نقل الملوثات . تبين من خلال الدراسة وجود ثلاثة مستويات أو أنواع مختلفة من مناطق التهوية تظهر نتائجها على الشكل (6) التالي :

الوزن = 5		
المدلول	التقييم	منطقة التهوية
15	3	طين + رمل
30	6	رمل + حصى وطين
45	9	بازلت

الدراسة الهيدروجيولوجية

أ- الوحدات الهيدروجيولوجية :

أظهرت الدراسة في حوض صنعاء أن هنالك مستويين للمياه الجوفية الأول هو سطحي متكون من رسوبيات فتاتية تتسم بالتدرج الحبيبي من السفوح المحيطة باتجاه السهل عندما تصبح تكوينات طينية - رملية أو طينية شبه كتيمة (غير نفاذة) يصل سمكها إلى أكثر من 50 متراً . أن تغيير سمك التربة ناتج عن تأثير العمليات البنائية للصخور التي تقع تحتها وأن هذا المستوى من المياه الجوفية السطحية يتكون في الرواسب الرباعية وفي بركانيات اليمن على شكل عدسات أو أحواض يختلف عمقها باختلاف الموقع بالنسبة لمقطع الجيولوجي للطبقات الصخرية (شكل 2) .



شكل (6) يبين تأثير منطقة التهوية في قاع صنعاء

أن صخور الطويلة الرملية تتواجد عميقاً في الأجزاء الجنوبية وتقترب من السطح في الأجزاء الوسطى والشمالية وتختفي تماماً ليظهر تكوين عمران الكلسي في الأجزاء الشمالية من الحوض . أن وجود مناطق الضعف من تشققات و صدوع جعل الاتصال بين الخزانات السطحية والخزانات العميقة وارد كما في طبقات وجيد الرملية .

أن حوض صنعاء تعرض إلى انكسارات وصدوع عميقة وعمودية سببت في انخساف تفاضلي لقاع الحوض حيث ارتفعت جهات وانخفضت أخرى نتج عنها بنية جيولوجية وهيدرولوجية معقدة .

ب- معايير دراستيك المتعلقة بالمعطيات الهيدروجيولوجية :

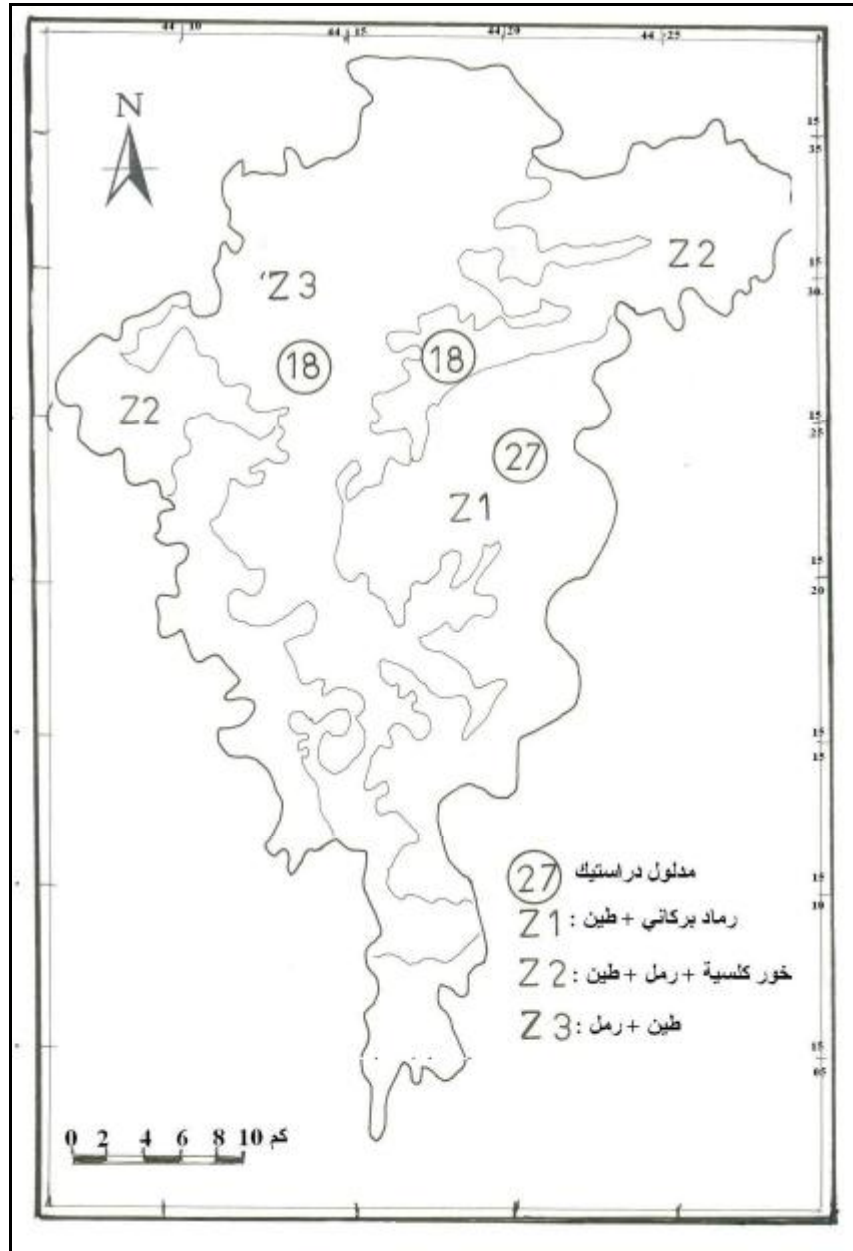
1- الطبيعة الصخرية للخزان :

أمكن تقسيم الخزان إلى ثلاثة مناطق هيدروجيولوجية وكما موضحة في جدول دراستيك والخارطة (شكل 7) :

الوزن = 3		
المدلول	التقييم	طبيعة الوسط المائي
18	6	طين + رمل
18	6	صخور كلسية ورمل وطين
27	9	رماد بركاني + بازلت

2- عمق المياه:

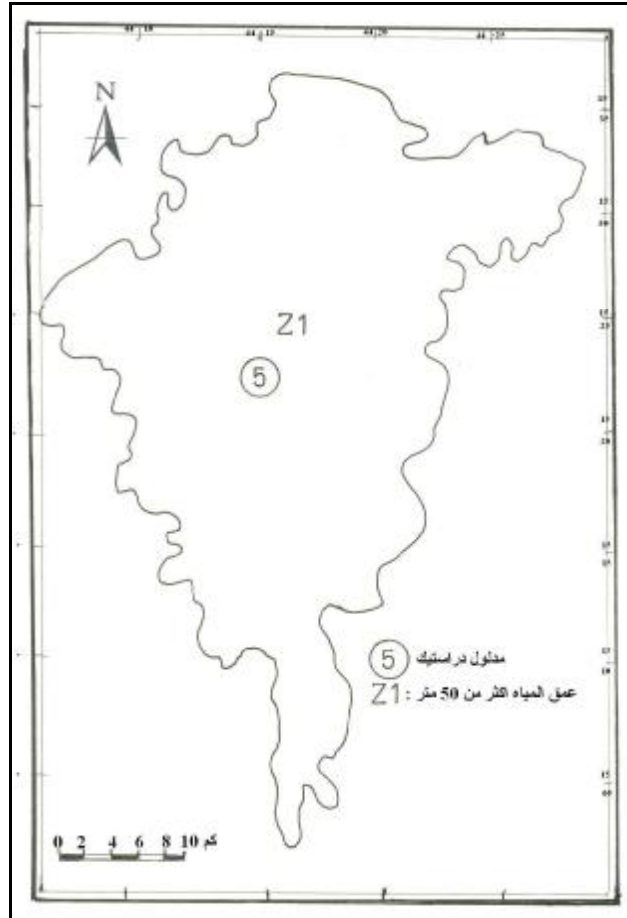
أن مستوى المياه الجوفية في حوض صنعاء عميق يتجاوز في بعضها 250 متر وان التغذية المائية تتم من الحواف الجنوبية والشرقية والغربية. ومن خلال المقطع الجيولوجي يتضح بأن اتجاه السيلان الجوفي يتم باتجاه عام من الشمال نحو الجنوب موازياً باتجاه سهل صنعاء وهو ما يعاكس الانحدار الطبوغرافي للسهل. من خلال الأعمال الحقلية لوحظ بأن جميع الآبار في سهل صنعاء



شكل (7) يوضح الطبيعة الصخرية في قاع صنعاء

يكون أعماقها أكبر من 50م لذلك فإنه استنادا إلى جدول وخارطة دراستيك (8) تحصل على قيمة واحدة لكل الحوض.

الوزن = 5		
المدلول	التقييم	عمق المياه الجوفية (المتر)
5	1	50<



شكل (8) يبين عمق المياه الجوفية في قاع صنعاء

3- الناقلية الهيدرولية

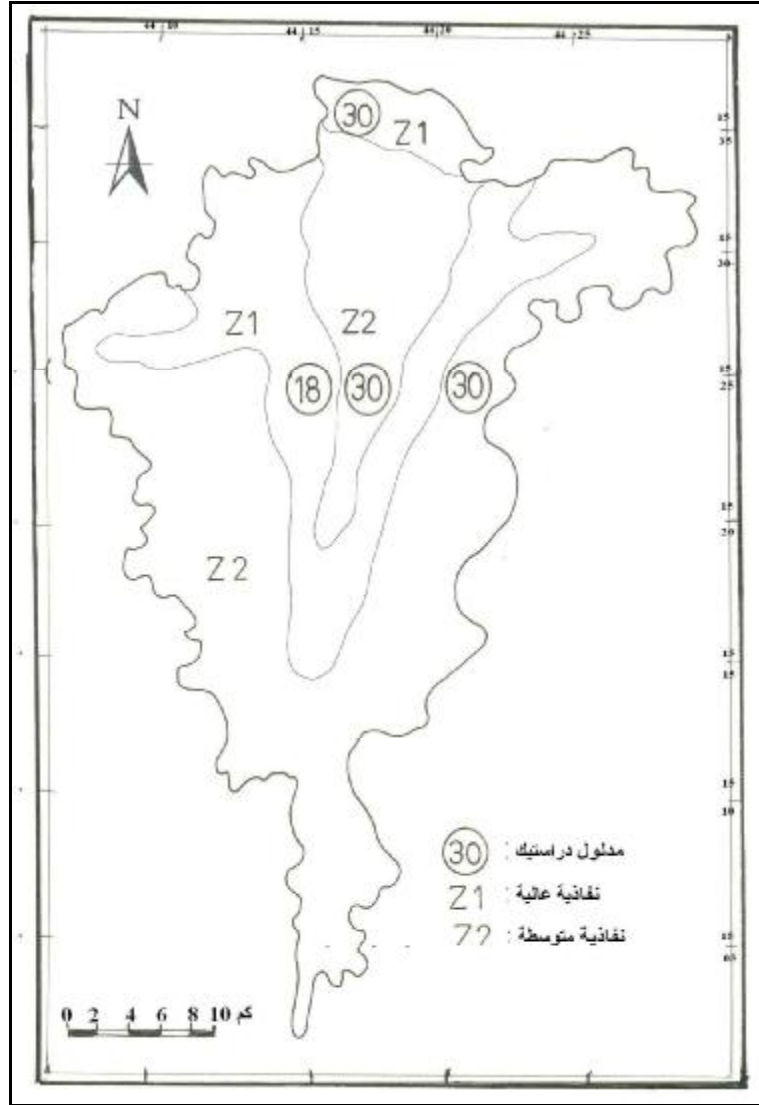
تتميز طبقات الحجر الرملي للطويلة بسعتها التخزينية العالية التي تساعد على رفع خواصها الهيدروليكية مما يساعد على سهولة حركة المياه الجوفية خلال المكونات الصخرية للطبقة و إن نسبة المسامية في هذه الصخور تصل إلى 3.7% (سنهوب 2006). أما الترسبات الحديثة فأها متكونة من رواسب تتألف من الرمل و الغرين والحصى والطين والمواد الكلسية وتتسم صخور هذه المجموعة بأنها مترابطة ضعيفة التماسك تتواجد في بطون الأودية وفي المناطق المنخفضة وتمتاز بنفاذيتها العالية (أغا 1983).

استنادا إلى الطبيعة الرسوبية المكونة للخزان المائي وسمكها فإن التكاوين الصخرية ذات المسامية العالية (تكوين الطويلة) والترسبات الحصوية والكلسية والتي سجلت في مناطق حافات السهل تلتها منطقة السهل ذات النفاذية والمسامية المتوسطة والتي تقع في وسط وشمال السهل وكما مبينة في الجدول والخارطة (شكل 9).

الوزن = 3		
المدلول	التقييم	النفاذية
18	6	نفاذية متوسطة
30	10	نفاذية عالية

النتائج

بعد أن تم استعراض الخصائص الفيزيائية لسهل صنعاء وتم رسم معايير دراستيك التي تبني عليها خرائط القابلية للتلوث أستطعنا أن نستنتج الخارطة النهائية للحساسية شكل (10 و 11). وهي عبارة عن تجميع أو تراكم للخرائط السبع المعبرة عن هذه المعايير وقد ظهرت على شكل بقع أو أنطقة أو قطاعات ولكل واحدة منها قيمة رقمية تدل على مدلول دراستيك حيث ظهرت مناطق ذات حساسية متوسطة تقع جنوب وجنوب شرق وغرب مدينة صنعاء بينما تظهر المناطق الشمالية بحساسية أقل وعند مقارنة هذه النتائج مع دراسات سابقة لأحواض أخرى مثل حوض

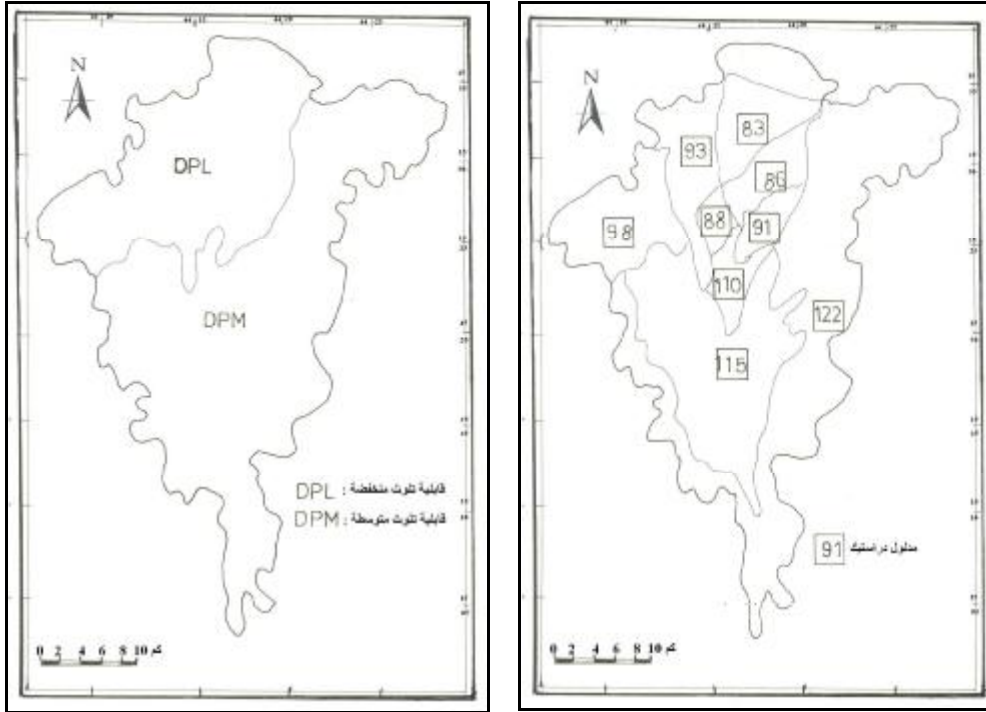


شكل (9) يبين الناقلية الهيدرولية في قاع صنعاء

تبسة في الجزائر (قالة و دريدي 2000) نلاحظ أن حساسية حوض صنعاء للتلوث هي أقل بكثير من تلك الأحواض للأسباب الطبيعية التي تم استخدامها كمعايير في هذه الدراسة حيث لم تصل أعلى قيمة تحسس في الأطراف الجنوبية من سهل صنعاء إلى أكثر من 122 أما المناطق

الوسطى والشمالية فإنها بقت في حدود بين 83-110 بينما وصلت الحساسية في حوض تبسة إلى 179. إن هذه النتائج لم تأخذ بنظر الاعتبار أثر العوامل البشرية واستخدامات الأرض المختلفة أعلى الخزانات المائية وذلك من خلال ملاحظة حالات التلوث للمياه الجوفية في مناطق عديدة من صنعاء.

من المعلوم أن المياه الجوفية تتعرض إلى التلوث نتيجة عوامل طبيعية أو بشرية وقد تتباين شدة الخطورة من الناحية المكانية أو الزمانية بسبب اختلاف هذه العوامل. أن المكامن المائية السطحية منها أو العميقة قد لا تتعرض إلى نفس الشدة أو الخطورة بسبب اختلاف الخصائص الطبيعية و البشرية.



شكل (11) خريطة القابلية للتلوث (دراستك)

شكل (10) يبين معايير دراستك لفاع صنعاء

أن ظاهرة التلوث للمياه الجوفية في أي موقع يعتمد على عوامل عديدة منها كمية الملوثات ، نوع الملوثات ، الوسط الناقل ، الوسط المستقبل أو الخزان المائي وهذه العوامل قد تختلف من موقع إلى آخر حسب طبيعة الموقع . أن الخزانات المائية هي الأخرى ليست ذات طبيعة واحدة أو شكل واحد أو بناء متماثل وإنما هنالك خزانات لها خصائص بنائية مختلفة فمنها الخزانات البنائية البسيطة ومنها الخزانات المائية المعقدة التي صممتها قوى سببت في أنشاء وتكوين أنظمة صدعية أو طبقات جعلت من خزانات المياه الجوفية أن تكون على أشكال وأنماط مختلفة وهذا ما يميز حوض صنعاء. إن وسط الحوض كون منخفضاً أو محدود بنائي وسطي أمتلى بترسبات حديثة ذات أحجام مختلفة توزعت في وسط الحوض مكونة سهلاً أو قاع أمتد بشكل طولي تقريباً تحيطه المرتفعات والمنحدرات من الجهات الجنوبية والغربية والشرقية وهو أكثر توسعاً نحو الشمال. وهو شبه مغلق مفتوح من الشمال نحو وادي الخارد وتقع مدينة صنعاء في وسط هذا السهل .

أنكشف على سطح هذا الحوض أنواع متباينة من الصخور ذات أعمار مختلفة امتدت من صخور حجر الكلس لمجموعة عمران (الجوراسي) حتى الترسبات الفتاتية الرباعية الحديثة . تعتبر صخور الطويلة الرملية (الكريتاسي) الخزان الرئيسي للمياه في هذا الحوض . تظهر الطبقات القديمة (مجموعتي الطويلة وعمران) في شمال السهل بينما الحديثة منها (البركانيات الرباعية والثلاثية) في وسط وجنوب السهل . أن هذا التنوع من الصخور قد انعكس تنوعاً في مسامية ونفاذية الصخور .

استناداً إلى ذلك فإن هذا الموقع سيتميز بحساسية مختلفة من حيث تأثره بقابلية التلوث بين أجزائه المختلفة نظراً لاختلاف الانحدار ، عمق المياه ، التغذية السنوية ، النفاذية والمسامية وكذلك نوع الصخور الحاملة ونوع الوسط الناقل وكذلك التربة . أن تطبيق قانون دراستيك يمكن أن يستخدم لتحديد مقدار الحساسية للتلوث وتحديد المناطق ذات القابلية الأسرع والأضعف لهذه الظاهرة الخطرة ومن ثم إمكانية التعامل مع هذه المناطق على ضوء قابليتها للتلوث على ضوء نوع العلاقات طردية أو عكسية لكل عامل من هذه العوامل مع هذه القابلية مثلاً أن عمق المياه يؤثر تأثيراً مباشراً على قابلية التلوث فكلما كانت مستوى المياه الجوفية قريب من السطح تكون قابلية

التلوث عالية والعكس صحيح ونوع التربة لها علاقة مباشرة وكذلك النفاذية والمسامية وغيرها من هذه الخصائص التي تلعب دوراً رئيسياً في قيمة الحساسية للتلوث .

أما العوامل البشرية فأما تلعب دوراً مهماً في زيادة قابلية ظاهرة التلوث حتى في المناطق التي لا تكون ذات حساسية عالية للتلوث وهذا ما تم ملاحظته في منطقة الدراسة . لقد تبين من خلال التحاليل المخبرية إن مجموع الأملاح الذائبة فيها تتراوح بين 500-550 ملغم/لتر في أقصى حالاتها الطبيعية عدا بعض الحالات التي يظهر فيها ارتفاع مجموع الأملاح الذائبة (منطقة بني الحارث) ويعزى ذلك لتلوث الخزانات المائية نتيجة اختلاطها مع مياه الصرف الصحي وذلك لقرب المناطق الحضرية أو مناطق تجمع مياه الصرف الصحي. تظهر مكاشف هذه الطبقات في بعض المناطق من شمال شرق مدينة صنعاء ومناطق الشمال والشمال الغربي ثم يلاحظ اختفاءها بالتدريج جنوباً.

ولذلك فقد تم وضع معايير بشرية للاستخدامات الأرض أضيفت إلى المعايير الطبيعية التي وضعها دراستيك لغرض تحديد المناطق الأكثر تعرضاً للتلوث وكانت هذه المعايير تشمل ما يلي

- 1- استخدامات الأرض الزراعية .
- 2- استخدامات الأرض الصناعية .
- 3- استخدامات الأرض السكنية .
- 4- المحاجر وغيرها .

وقد تم وضع تقييم لكل من هذه المعايير الأربعة وعلى الشكل التالي :

الوزن = 4		
المدلول	التقييم	سكانية
24	6	سكانية مزدحمة
16	4	سكانية وسط
8	2	سكانية واطئة

الوزن = 3		
المدلول	التقييم	صناعة
18	6	صناعة مزدحمة
12	4	صناعية وسط
6	2	صناعة قليلة

الوزن = 2		
المدلول	التقييم	زراعة
10	5	زراعة كثيفة + أسمدة
6	3	زراعة متوسطة + أسمدة
2	1	زراعة ضعيفة بدون أسمدة

الوزن = 1		
المدلول	التقييم	محاجر
3	3	محاجر كثيفة
2	2	محاجر وسط
1	1	محاجر قليلة

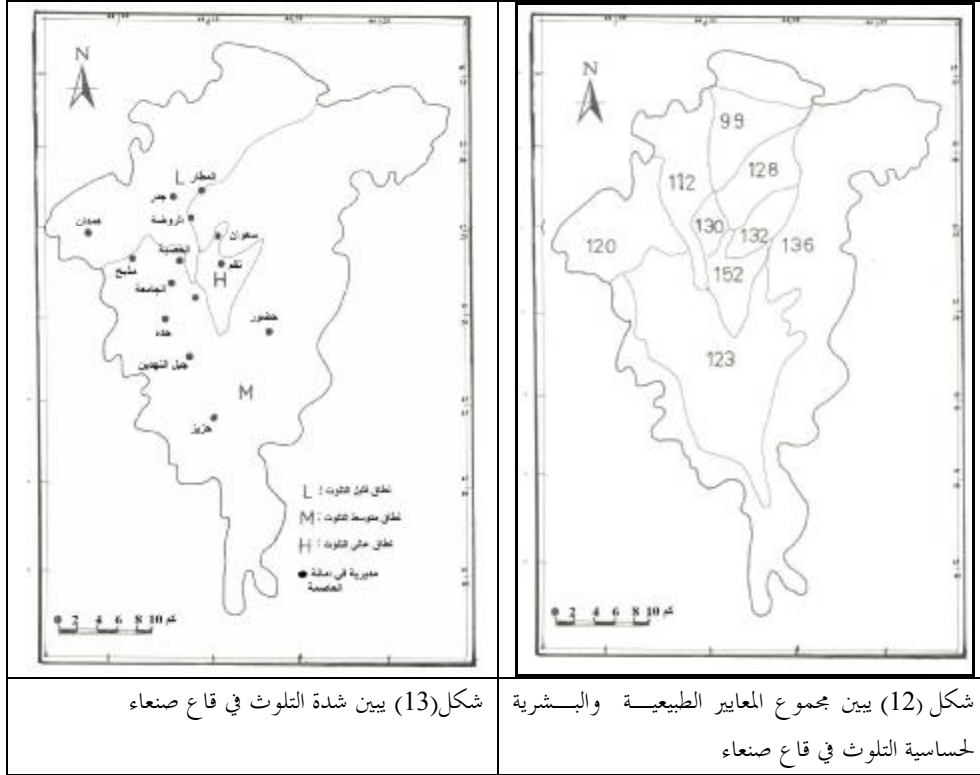
لقد لوحظ باستخدام هاذين المعيارين بأن الحساسية بالتلوث في السهل اختلفت باختلاف المعايير الطبيعية أولاً ثم تغيرت هذه الحساسية عند استخدام المعايير البشرية (شكل 12). فقد أظهرت النتائج بأن مقدار الحساسية حولت بعض المناطق مثل أمانة العاصمة التي كانت حساسيتها للتلوث قليلة إلى مناطق ذات حساسية عالية (شكل 13) وخاصةً في شمالها والذي يمتاز باستخدام الأرض بصورة مؤذية وذلك من خلال عدم وجود شبكة مجاري للمياه الثقيلة .

أن هذه النتائج مطابقة لنتائج الفحوصات المخبرية والميدانية حيث أظهرت نتائج الدراسة الميدانية زيادة في نسبة التلوث في هذه الأماكن وذلك من خلال تسجيل الحالات المرضية التي تتميز بها هذه المناطق .

الخاتمة

أن استخدام قانون دراستيك للمعايير الطبيعية في قياس مقدار الحساسية للتلوث للخزانات المائية أظهرت بأن المناطق الجنوبية والجنوبية الشرقية والغربية من سهل صنعاء هي أكثر المناطق حساسية للتلوث بينما تكون المناطق الوسطى والشمالية هي أقل حساسية لذلك فأنا نقترح عند إنشاء مناطق رمي أو حفظ النفايات أو غيرها فأن اختيار المناطق الشمالية للسهل هي أقل خطورة على الخزانات المائية منها من المناطق الأخرى على شرط أن لا تزيد الكمية عن الحدود المسموح بها مع مراعاة الشروط الصحية . ولكن عند أضافتنا للمعايير البشرية من استخدامات الأرض أظهرت أن المناطق الوسطى وخاصة شمال صنعاء قد غيرت المعادلة بحيث أصبحت هذه الخزانات المائية من أكثر الخزانات تعرض للتلوث وهو ما يطابق الواقع الحالي .

إن طريقة دراستيك و المعايير البشرية التي تم إضافتها في هذه الدراسة قد تصبح أداة فعالة في أيدي أصحاب القرار في ميدان وقاية الموارد المائية الجوفية. إن هذه الطريقة وما تم من إضافة للمعايير البشرية هي ربما قد تحتاج إلى تعديل في أوزان بعض المعايير استنادا إلى طبيعة المنطقة المراد دراستها وكذلك صعوبة حساب بعض المعايير وهذا ما طابق دراسة قالة و دريدي (2000).



شكل(13) يبين شدة التلوث في قاع صنعاء

شكل (12) يبين مجموع المعايير الطبيعية والبشرية لحساسية التلوث في قاع صنعاء

المراجع العربية والأجنبية

أبو سمور , حسن و الخطيب , حامد . 1999 . جغرافية الموارد المائية، دار الصفاء للنشر والتوزيع عمان الأردن.

العبيدي , مصطفى رشيد . 2006. الأهيارات الصخرية في طبقات الطويلة الرملية شمال صنعاء نموذج قرية الظفير, مجلة الجمعية الجغرافية اليمنية, العدد الرابع.

العبيدي, مصطفى رشيد . 2005 . المعطيات التضاريسية الجيولوجية والتكتونية وأثرها على التوزيع الجغرافية للزلاية اليمنية. مجلة الجمعية الجغرافية اليمنية, العدد الثالث.

- اليعبري , حافظ علي محمد . 2005. التربة في منخفض صنعاء دراسة جيومورفولوجية , (رسالة ماجستير غير منشورة) جامعة صنعاء كلية الآداب.
- سنهوب, عبادي حمود أحمد . 2006 . الموارد المائية في حوض صنعاء وأستثمارها في الري (رسالة ماجستير غير منشورة) جامعة صنعاء كلية الآداب.
- الشلش , علي حسين . 1985 . جغرافية التربة, الطبعة الثانية جامعة البصرة.
- أغا , شاهر جمال . 1983. جغرافية اليمن الطبيعية / الشطر الشمالي مكتبة الأنوار دمشق.
- نعمان , فهمي علي سعيد . 2000. حوض صنعاء دراسة في جغرافية الموارد المائية, (رسالة دكتوراه غير منشورة), جامعة بغداد كلية التربية.
- قاله , مهدي و دريدي ، حدة . 2000 . الوقاية من تلوث المياه الجوفية بطريقة دراستيك وتطبيقها على حوض تبسة الجنوبي الشرقي القسنطيني (الجزائر), عدد خاص لأبحاث المؤتمر العلمي الأول للبيئة والموارد الطبيعية, جامعة تعز.
- Aller L. Benett. T, Lehrj. H. et al . 1987. – DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic setting, natural water well association, report EPA – 600/2 – 87 – 035, 622 p.**
- Al-Ubaidi M.R.S. And Al-Kotbah A.M. 2003.** The magnitudes of the Paleostresses of Yemen Faults in the sedimentary cover , Faculty of science Bulletin , Sana'a , Vol. 16 95-106.
- Sana'a Basin Water Resources Management Study . 2001.** Basin Characterization and Selection of Pilot Study Areas , Sana'a Univ. Water and Environment Center (WEC) , Vol. 2 Final Report.

Study of the Underground Water Pollution in the Sana'a Basin

Mustafa Rasheed Al-Ubaidi

Dept. of Geography, College of Arts, Univ. of Sana'a, Yemen

The Sana'a Basin, corresponds, from a structural point of view, to subsidence as a semi closed in which are accumulated of about 300m. Of quaternary sediments. It constitutes an enormous natural lank of underground water. However the industrial and urban Activities of city of Sana'a which occupies the middle of the Basin – represents today a serious threat for this water – bearing.

We tried to adopt a scientific numerical approach in order to evaluate the vulnerability of this basin to pollution. We have chosen, in the present case, the DRASTIC method, which has been used for the first time in 1993 in Canada, which is based on 7 physical parameters

- D. depth to water
- R. net Recharge
- A- Aquifer media
- S- Soil media
- T- Topography
- I- Impact of the Vamoose zone
- C- Hydraulique conductivity

The weighted amount of the DRASTIC 7 parameter defines the degree of sensitiveness and its spatial distribution through the map. This analysis shows that some of the areas especially in the north and the nearest zones of the urban area are the most vulnerable.