التغير في ملوحة المياه الجوفية
دولة البحرين ١٩٤١ - ١٩٩٢

١ - د. وليد زيباري ٢- د. إسماعيل المدني
٣ - صباح الجنيد ٤- شوقي المناعي

ملخص الدراسة

تبحث هذه الدراسات في اتجاهات تغير ملوحة المياه الجوفية في دولة البحرين خلال الفترة من ١٩٤١ ــ ١٩٩٢، وتوضح نتائج الدراسة أن ملوحة المياه الجوفية في كل مناطق البحرين تزيد عن ٢٠٠٠ ميللجرام/ ليتر (ملجم/ لتر). ولقد بدأت نوعية المياه في التدهور منذ بداية الستينات بسبب الاستغلال المتزايد للخزانات الجوفية مما أدى إلى تداخل مياه البحر في الخزان، خصوصا في الجزء الشرقي في الجزيرة حيث الملوحة تزيد عن ٢٠,٠٠٠ ملجم/ لتر، إضافة إلى هجرة المياه المالحة رأسيا من الطبقات السفلى، وبخاصة في المناطق الشمالية الوسطى. خلال الفترة من ١٩٨٦ - ١٩٩٢ ازدادت ملوحة ٣٣٪ من آبار المياه إلى ما يزيد عن ٤٠٠٠ ملجم/ لتر، وتوجد أفضل أنواع المياه في الجزء الشمالي الغربي من الجزيرة حيث يتلقى الخزان المياه المتدفقة من الجانب السعودي. هذه الدراسة تعتبر حالة نموذجية تظهر تأثير الاستنزاف المتزايد للمياه الجوفية على نوعيتها.

المقدمة

يعتبر التدهور في نوعية وكمية المياه الجوفية ظاهرة عالمية لوحظت بشكل ملموس خلال القرن العشرين (UNEP & WHO, 1988). ولقد سجلت حالات تلوث المياه الجوفية ومن ثم تدهور نوعيتها في مناطق كثيرة من العالم (Fried, 1975; Jackson, 1980, Chalapati et al.,1986) وأصبح من المهم جدا الآن مراقبة وحماية المصادر المائية الطبيعية من التلوث، خصوصا في البيئات الجافة مثل دولة البحرين، حيث تعتبر المياه الجوفية المصدر

١-٢-٣- برنامج علوم الصحاري والأراضي القاحلة، جامعة الخليج العربي
٤- إدارة مصادر المياه، وزارة التجارة والزراعة، البحرين.

الطبيعي الوحيد للحصول على المياه العذبة.

اعتمدت دولة البحرين كمعظم دول الخليج إلى عام ١٩٧٥ على المياه الجوفية كمورد أساسي للحصول على المياه للأغراض البلدية والزراعية. ولقد استنزفت الخزانات الجوفية باستخراج مياهها بمعدلات تفوق معدلات الاستعاضة الطبيعية مما أدى إلى انحدار مستوياتها وتدهور نوعية مياهها. (Raveendran and Madany ;Zubari et al., 1993; 1991 الجنيد 1190)

تتلخص أهداف الدراسة في ثلاث نقاط أساسية:

١ـ دراسة التغير في ملوحة المياه الجوفية في جميع مناطق البحرين خلال الفترة من ١٩٤١ ـ ١٩٩٢م.

٢ـ تحديد نوعية المياه الجوفية قبل فترة الاستغلال.

٣ـ استقصاء التوزيع الجغرافي لملوحة المياه الجوفية في البحرين.

المياه الجوفية واستخداماتها

تعتمد دولة البحرين في تلبية احتياجاتها من المياه الجوفيةعلى خزان جوفي رئيسي هو خزان الدمام (شكل ١)، والذي يمثل جزءا صغيرا من الخزان الجوفي الواسع الامتداد والمسمى بالخزان العربي الشرقي الذي يمتد من صحراء الدهناء إلى المنطقة الشرقية في المملكة العربية السعودية والبحرين، ويوفر هذا الخزان حوالي ٧٥٪ من المياه الكلية المطلوبة في الدولة. ولقد كانت المياه تُؤخذ من ١٥ عينا طبيعية برية و ٢٤ عينا طبيعية بحرية إلى ما قبل عام ١٩٢٥ عندما حفر أول بئر ارتوازي (Hamilton, 1965)، ومثلت بداية الاعتماد على المياه الجوفية المسحوبة من الآبار لتلبية الطلب على المياه، ولكن بسبب الزيادة المضطردة في الطلب على المياه زادت الكميات المسحوبة من المياه الجوفية ورافق ذلك تدهور واضح في نوعية هذه المياه، مما استوجب التوجه إلى مصادر بديلة. لذلك بنيت ثلاث محطات لتحلية مياه البحر في الجزء الشرقي من جزيرة البحرين في الأعوام ١٩٧٥، ١٩٨٤ و ١٩٩٣، وبقدرة تحلية إجمالية تقدر بحوالي ٦٥ مليون متر مكعب في السنة. إضافة إلى ذلك تم استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة للأغراض الزراعية منذ منتصف الثمانينات بمعدل يبلغ حوالي ٧ مليون مترا مكعبا في السنة (Zubari et al., 1993).

لقد أدت الطفرة النفطية إلى زيادة الفعاليات المختلفة على جميع الأصعدة الاقتصادية

والاجتماعية، الأمر الذي دفع إلى زيادة السحب من خزان الدمام الجوفي، حيث كانت الكميات المستخرجة تقارب ١١٢ مليون متر مكعب في السنة في منتصف الستينات (Sutcliff, 1967)، ووصلت إلى ما يقارب ١٨٠ مليون متر مكعب في السنة في بداية التسعينات (Zubari et al., 1993)، في حين أن الحد الآمن المقدر للسحب من الخزان لا يتجاوز ١٠٠ مليون متر مكعب في السنة وهي الكميات المتدفقة من الجانب السعودي في حالة التدفق المستقر للخزان (GDC, 1980; Zubari, 1987)، حيث توجد منكشفات طبقات هذا الخزان الإقليمي وعلى ارتفاعات عالية تصل إلى ٣٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر (شكل ٢). وأدى الاستنزاف المستمر إلى انخفاض المستويات المائية فيه، والتي سجلت انخفاضا يقدر بحوالي ٥ أمتار في مناطق البحرين المختلفة، وبالتالي زادت ملوحة هذه المياه، التي تأثرت بتداخل مياه البحرين معها وكذلك هجرة المياه المالحة رأسيا من الطبقات السفلى. إن موضوع هذه الدراسة يتطرق إلى تلوث مياه خزان الدمام بهاتين الظاهرتين، ومن ثم زيادة ملوحة مياهه في مناطق البلاد المختلفة.

طريقة العمل

بدأت عملية رصد وقياس ملوحة المياه الجوفية في البحرين منذ بداية الأربعينات، وجمعت نتائج الرصد وخزنت كمعلومات لدى جهات مختلفة هي وزارة الزراعة والتجارة، وزارة الأشغال والكهرباء والماء، مركز البحرين للدراسات والبحوث، وشركة نفط البحرين.

تتضمن هذه المعلومات نتائج الرصد الدوري للعيون الطبيعية والآبار (أغلبها على أساس شهري وربع سنوي)، ومجموعة القراءات التي جمعت من الدراسات والمسوحات المختلفة التي أجريت خلال السنوات السابقة، بالإضافة إلى تحاليل الملوحة لمياه الآبار عند حفرها. ولقد تم التعامل مع هذه المعلومات كالتالي:

١) تم تجميع كل المعلومات التي لها علاقة بملوحة الخزان من مختلف المصادر ووصلت إلى ٥٦٠٠ قراءة حتى عام ١٩٩٢م.

٢) تم تصنيف وتنظيم هذه المعلومات بوساطة الحاسب الآلي لتعطي منظومة من المعلومات التي شكلت أرضية أولية لدراسة التطورات المتلاحقة في ملوحة المياه، وبعد استبعاد بعض النقاط والقراءات جمعت القراءات المترابطة ذات الدلالة، ووصل العدد إلى ٢٦٦٩ قراءة.

٣) قسمت البحرين إلى ٧ مناطق أساسية في عملية الدراسة روعي فيها نمط استخدام الأرض ومواقع الخزان وحدوده (شكل٣).

٤) أختير خط الملوحة الكنتوري ٤٠٠٠ ملجم/ لتر، كحد فاصل يمثل بداية مرحلة التدهور في مياه الخزان، ولقد جاء اختيار هذا الرقم كحد فاصل للملوحة من المشاهدات التاريخية لملوحة المياه المستخدمة لري المزروعات في البحرين.

النتائج والمناقشة

المنطقة رقم (١) جزيرة المحرق

تقع هذه المنطقة في الجزء الشمالي الشرقي من البحرين، والأراضي فيها غالبا تستخدم لأغراض حضرية مع وجود بعض الأراضي الزراعية في الجزء الشمالي من الجزيرة (شكل٣). إن قيم ملوحة المياه في آبار هذه المنطقة كانت أقل من ٤٠٠٠ ملجم/ لتر حتى عام ١٩٧٥ (شكل a ـ٤)، وتعتبر هذه القيم طبيعية لأن ملوحة المياه الجوفية في منطقة الخليج العربي تقع ضمن هذه الحدود، حيث أظهرت مجموعة الدراسات التي أجريت في المملكة العربية السعودية، والكويت، والامارات العربية المتحدة، وقطر قيم مقاربة لهذه القيم (Ismail,1984; Bazuhair et al.,1990; Hussain and Sadiq, 1991; AlMohandis, 1991; Al-Jaloud and Hussain, 1993; al.,1993 Alaa-ELDin)

لقد بدأت الملوحة في التدهور تدريجيا بعد عام ١٩٧٥ وبشكل واضح بعد ١٩٨٦، ويوضح جدول (١) أنه بين عامي ١٩٧٦ ـ ١٩٨٠ أظهرت ١,٣٪ من آبار المياه ملوحة تزيد عن ٤٠٠٠ ملجم/ لتر، بينما في الفترة من ١٩٨٦ـ١٩٩٢ فإن ما نسبته ١,١٩٪ من هذه الآبار زادت ملوحتها عن ٤٠٠٠ ملجم/ لتر، ولقد تدهورت نوعية مياه الآبار في هذه المنطقة كنتيجة مباشرة لتزايد السحب للقطاع البلدي مما أدى إلى تداخل مياه البحر في الخزان في الجزء الجنوبي والجنوبي الشرقي من الجزيرة (شكل٥). ومع ذلك لم يصل التدهور في هذه المنطقة المدى الذي وصل إليه في المناطق الأخرى من جزيرة البحرين، كما سيلاحظ لاحقا. ويوضح جدول (١) معدل ملوحة مياه الآبار محسوبة كمتوسط لكل خمس سنوات، والتي تعتبر دليلا واضحا على أن هناك تزايدا تدريجيا للملوحة مع الزمن، فقد ارتفع متوسط الملوحة في المنطقة من ٢٣٢٥ ملجم/ لتر في بداية النصف الأول من عقد الأربعينات إلى ٣٣٤٥ ملجم/ لتر في بداية عقد التسعينات.

المنطقة رقم (٢) منطقة المنامة وما حولها

هذه المنطقة هي عاصمة دولة البحرين، وهي منطقة سكنية (شكل٣)، وتشمل مراكز الضخ الرئيسية من الخزان للأغراض البلدية ولإمدادات المياه، ويعطي (شكل b ـ ٤) النتائج المتحصلة من مراقبة الآبار. وتوضح هذه القراءات تغير وترد واضح في المستويات الملحية مع تدهور ملموس في مجموعة محدودة من الآبار منذ عام ١٩٧٠. لقد كانت قيم الملوحة فيما نسبته ٤ ,٧٪ من الآبار خلال الفترة من ١٩٦٦ ــ ١٩٧٠ أعلى من ٤٠٠٠ ملجم/ لتر، ازدادت هذه النسبة لتصل إلى ٩ ,١٧٪ خلال الفترة من ١٩٧١ ـ ١٩٧٥ (جدول١) ويعزى التدهور في هذه المنطقة إلى تداخل مياه البحر في الخزان في الجزء الجنوبي الشرقي (شكل ٥). وبعد عام ١٩٧٥ انخفض السحب من الخزان في هذه المنطقة، عندما بنيت أول محطة تحلية، فتراجعت أعداد الآبار التي تزيد ملوحة مياهها عن ٤٠٠٠ ملجم/ لتر. ويمكننا الاستدلال من (شكل b ـ ٤) وجدول (١) على تحسن ملوحة المياه في هذه المنطقة، الذي يرجع سببه الأساسي إلى انخفاض كميات المياه المسحوبة من الخزان بعد افتتاح محطتي التحلية في عامي ١٩٧٥ و ١٩٨٤.

المنطقة رقم (٣) جزيرة سترة وما حولها

وتقع في شمال شرق جزيرة البحرين (شكل٣) وهي منطقة صناعية مع وجود بعض المناطق السكنية فيها. ولقد اشتهرت المنطقة بالكثافة الزراعية قبل بدء عملية التصنيع في السبعينات، بسبب وجود أغلب العيون الطبيعية البرية والبحرية فيها ويوجد الخزان في هذه المنطقة على اتصال مباشر بمياه البحر، حيث توجد الواجهة الملحية ما بين المياه العذبة والمالحة. وتشكل هذه المنطقة مثالا نموذجيا على تملح المياه الجوفية بسبب تداخل مياه البحر (شكل٥).

ويتضح من (شكل C ـ ٤) و (جدول١) أنه منذ عام ١٩٤٢ كانت هناك بعض الآبار تزيد ملوحة المياه فيها عن ٤٠٠٠ ملجم/ لتر، ومجموعة الآبار هذه تقع ضمن منطقة التذبذب مابين المياه الحلوة والمالحة عند الواجهة الملحية. ولقد تزايدت أعداد هذه الآبار منذ عام ١٩٦٠ ووصلت إلى ما نسبته ٤ ,٩٠٪ من الآبار خلال الفترة من ١٩٧١ ــ ١٩٧٥ (شكلC ـ ٤) و (جدول ١). ويعزى سبب الزيادة المتسارعة في ملوحة المياه إلى كثافة الضخ في هذه المنطقة مما أدى إلى تداخل مياه البحر إلى الخزان، وربما ساعدت عمليات الحفر والتكسير المصاحبة لدفن السواحل في هذا أيضا (Madany et al. 1991). وبعد عام ١٩٧٥ بدأت الملوحة في آبار هذه

المنطقة بالتغير (جدول ١، شكل C ـ ٤)، فانخفضت قيم الملوحة فيها وإن كان لا يزال أكثر من ٤٠٠٠ ملجم/ لتر. ويمكن أن يفسر هذا التغير بسبب هجرة المزارعين من الأراضي الزراعية والآبار المتلوثة في الجزء الجنوبي والأوسط وانتقالهم إلى الجزء الشمالي الشرقي من الجزيرة، لأن مياه الخزان فيها أقل تلوثا.

وتضاف المنطقة رقم (٣) بسبب تملحها وتداخل مياه البحر فيها إلى مناطق كثيرة من العالم تعرضت إلى التملح بسبب هذه الظاهرة.

(Gupta and Yapa 1982; Breuck 1983; Mills et al. 1988; Al-Ibrahim 1991; Xue et al. 1993)

المنطقة رقم (٤) أراضي عالي ـ سلماباد وما حولها

وهي الجزء الشمالي الأوسط من جزيرة البحرين وأراضيها تصنف من الأراضي الزراعية. إن استخدام المياه للقطاع الزراعي في البحرين يعتبر الأعلى مقارنة بالقطاعات الأخرى، حيث تصل نسبته إلى ما يقارب ٦٥٪ من كمية المياه المستخرجة من الخزان (Zubari et al. 1993). ولقد انعكس هذا الوضع مباشرة على نوعية المياه المستخرجة من الخزان. ويوضح (شكل d ـ ٤) ملوحة الآبار المقاسة في هذه المنطقة. إن جميع الآبار قبل عام ١٩٦٠ كانت ملوحتها أقل من ٤٠٠٠ ملجم/ لتر، ولكن وبسبب الاستخدام المكثف للمياه للأغراض الزراعية، انخفضت المستويات المائية للخزان مما أدى إلى هجرة المياه المالحة من النطاقات السفلى رأسيا إلى خزان الدمام وتلوث مياهه (شكل ٥). ومن جدول (١) يتضح أنه منذ عام ١٩٦٠ كانت هناك نسبة عالية من الآبار تتراوح مابين ١٩ ـ ٤٦,٧٪، قيم الملوحة بها تزيد عن ٤٠٠٠ ملجم/ لتر.

المنطقة رقم (٥) أراضي شاطىء البديع وما حولها

تقع هذه المنطقة في الجزء الشمالي الغربي من جزيرة البحرين، وتصنف أراضيها كأراض زراعية. وهي أول منطقة يتلقى الخزان فيها المياه المتدفقة من الجانب السعودي، ولذلك فهي بعيدة نسبيا عن المصادر الملوثة لمياه الخزان (شكل ٥) مقارنة بالمناطق الأخرى في الجزيرة. وتعتبر مياه الخزان في هذه المنطقة من أفضل أنواع المياه في الجزيرة، ومما يدلل على ذلك نسبة أعداد الآبار التي ملوحتها تقل عن ٤٠٠٠ ملجم/ لتر، (شكل e ـ ٤، جدول ١)، فملوحة معظم الآبار المقاسة تقل عن ٣٠٠٠ ملجم/ لتر، ولكن كنتيجة مباشرة للضخ المتزايد للمياه لتلبية

الاحتياجات المتزايدة للأغراض الزراعية والبلدية انحدرت نوعية المياه بالتدريج منذ عام ١٩٧٦ بسبب التسرب الرأسي للمياه المالحة من النطاقات السفلى.

المنطقة رقم (٦) أراضي الهملة والجسرة وما حولهما

تقع هذه المنطقة على الشاطىء الغربي من جزيرة البحرين، وهي أساسا أراضي زراعية وريفية. وبسبب تشابه نمط استخدام الأراضي فيها مع المنطقة رقم ٥ فإن نوعية المياه فيها تتشابه كذلك، خصوصا وأنها قريبة من مناطق التغذية. وقد لوحظ تملح آبارها بمعدل يزيد عن ٤٠٠٠ ملجم/ لتر منذ عام ١٩٧٦، وكانت نسبة الآبار المتملحة ١,٢٩٪ زادت لتصل إلى ٢,٣٣٪ خلال الفترة من ١٩٨٦ ـ ١٩٩٢، جدول (١) (وشكل f ـ ٤) يوضحان نمط الزيادة في الملوحة خلال كل خمس سنوات، فمن عام ١٩٧١ إلى عام ١٩٧٥ كان متوسط الملوحة ٢٧٠٧ ملجم/ لتر، زادت إلى ٣٥٥٤ ملجم/ لتر و ٤٠٣٧ ملجم/ لتر خلال الفترة من ١٩٨٥ـ١٩٨١ و ١٩٨٦ ـ ١٩٩٢ على التوالي. إن الانحدار المتواصل في نوعية المياه يرجع إلى كثافة الضخ للأغراض الزراعية والبلدية، الأمر الذي أدى إلى حركة المياه المالحة رأسيا من أسفل (شكل ٥).

المنطقة رقم (٧) أراضي الزلاق والوسمية وما حولهما

وتقع في الجزء الجنوبي الغربي من جزيرة البحرين وتصنف أراضيها كأراضي زراعية ريفية. وتتشابه مع المنطقة رقم ٦ في الملوحة (شكل f ـ ٤) و (شكل g ـ ٤)، إلا إن درجة التدهور في ملوحة المياه تلاحظ بشكل أوضح في هذه المنطقة مقارنة بالمنطقة ٦، حيث سجلت مجموعة من الآبار نسبتها تبلغ ٦٢٪ قيم تزيد عن ٤٠٠٠ ملجم/ لتر منذ عام ١٩٧٠ (جدول١). ومنذ ١٩٨٦ ـ ١٩٩٢ تراجعت أعداد الآبار التي تقل ملوحتها عن ٤٠٠٠ ملجم/ لتر إلى ما نسبته ٢٣٪ فقط. لقد زادت معدلات الملوحة بتسارع، حيث كانت قبل عام ١٩٦٥ أقل من ٣٠٠٠ ملجم/ لتر، زادت إلى ٤٥٩٢ ميللجراما في الليتر خلال الفترة من ١٩٧١ ـ ١٩٧٥، وواصلت في تدهورها إلى ٥٤٥٩ ميللجراما في الليتر خلال الفترة من ١٩٨٦ ـ ١٩٩٢. ويرجع التملح في مياه الخزان في هذه المنطقة إلى زيادة الضخ للأغراض الزراعية، والتي أدت إلى تداخل مياه الصبخات في الجنوب إلى داخل الخزان وكذلك مياه النطاقات السفلى إلى أعلى (شكل ٥).

الاستنتاجات

تعتبر المياه الجوفية في البحرين عالية الملوحة قياسا بمناطق أخرى في العالم، فتركيز الأملاح فيها يزيد عن ٢٠٠٠ ملجم/ لتر. لقد أدى الاستنزاف المتزايد للخزان الجوفي بزيادة كميات المياه المسحوبة منه إلى تداخل مياه البحر خصوصا في الجزء الشرقي وبشكل أقل في الجزء الجنوبي الغربي، وكذلك حركة المياه المالحة من النطاقات السفلي رأسيا إلى خزان الدمام وتلويث مياهه في الأجزاء الوسطى من جزيرة البحرين. وهذا ملاحظ في ٣٣٪ من آبار المياه في البحرين، حيث زادت ملوحتها عن ٤٠٠٠ ملجم/ لتر خلال الفترة من ١٩٨٦ــ١٩٩٢م. ويمكن التغلب على هذه الظاهرة والحد من آثارها عبر خفض الكميات المستخرجة من الخزان بشكل عام، وفي المناطق المتلوثة بشكل خاص، والاعتماد على المصادر البديلة مثل المياه المحلاة في المناطق الحضرية أو السكنية للاستخدام المنزلي ومياه الصرف الصحي للأغراض الزراعية.

قائمة المراجع

المراجع العربية

الجنيد، ص.ص. ١٩٩٠، الوضع المائي في البحرين من عام ١٩٧٩ ـ ١٩٨٩. البحرين، المنامة، جامعة الخليج العربي، قسم العلوم الفيزيائية والهندسية، رسالة ماجستير.

المراجع الأجنبية

- Al-Ibrahim, A., 1991, Excessive use of groundwater resources in Saudi Arabia:

- Impacts and policy options. Ambio, 20, pp.34-37

- AL- Jaloud A., and G. Hassain1993, water quality of different aquifers in saudi Arabia and its predictive effects on soil properties. **Arid Soil Research and Rehabilitation**, 7, pp. 85-101.

- Al-Mohandis, A., 1991, Elemental and geochemical analysis of the Umm

Khurisan spring water, Al-Hasa area, Eastern Province Saudi Arabia.

International J. Environmental Analytical Chemistry, 43,pp. 277-283.

- Alaa El-Din, M.; Madany, I. M.: Al-Tayaran, A., Al-Jubair, A.; Gomaa, 1993, AQuality of water from some wells in Saudi Arabia. Water, Air, and Soil Pollution, 66, pp. 135-143.

- Bazuhair, A.; Hussain, M.; Hamza, M, 1990; Comparative hydrochemical study of water springs in Saudi Arabia. **International Journal Water Resources Development** 6. pp. 143-150.

- Breuck, W.D., 1983, Salt water intrusion meetings 1968-1983: AReview.

international Hydrological Program, Ghent.

Chalapati, V.R.; Theodore, G.M.: Melnick, J., 1986, Human viruses in sediments, sludges and soils. **Bulletin World Health Organization** 64.pp.1-14.

- Freid, J.J., 1975, Groundwater Pollution. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Scientific Publishing Company.

- GDC (Groundwater Development Consultants), 1980, Umm er Radhuma study, Bahrain assignment. State of Bahrain: Ministry of Commerce and Agriculture.

- Gupta, A.D; Yapa, P.N., 1982, Saltwater encroachement in an aquifer: A case study. **Water Resources Research,** 18,pp. 546-556.

- Hamilton, N.J., 1965, Water resources of Bahrain Island. State of Bahrain: Bahrain Petroleum Company.

- Hussain, G. and M. Sadiq, 1991, Metal chemistry of irrigation and drainage waters of Al-Ahsa Oasis of Saudi Arabia and its effects on soil properties.

Water, Air, and Soil, pp. 57-58.

- Ismail, A., 1984, The quality of irrigation groundwater in Qatar and its effect on the development of agriculture. **Journal Arid Environment,** 7, pp. 101-106.

- Jackson, R.E., 1980, Aquifer contamination and protection. Studies and reports in Hydrology, No. 30. Paris, France: UNESCO.

- Madany, I.M., Abdulla, M.A; Abdu, A., 1991, A Coastal zone management in Bahrain: an analysis of social, economic, and environmental impacts of dredging and reclamation. **Journal Environmental Management,** 32, pp. 335-348.

- Mills, T.; Hoekstra, P.; Blohm, M.; Evans, L., 1988, Time domain electromagnetic soundings for mapping sea-water intrusion in Monterey Country, California. Groundwater, 26.pp. 771-782.

- Raveendran, E.; Madany, I.M., 1991, The quality of groundwater in Bahrain. **The Science of the Total Environment,** 103, pp. 177-183.

Sutcliff, J.W., 1967. Groundwater extraction of Bahrain Islands and Coastal Hasa state of Bahrain: Ministry of Commerce and Agriculture.

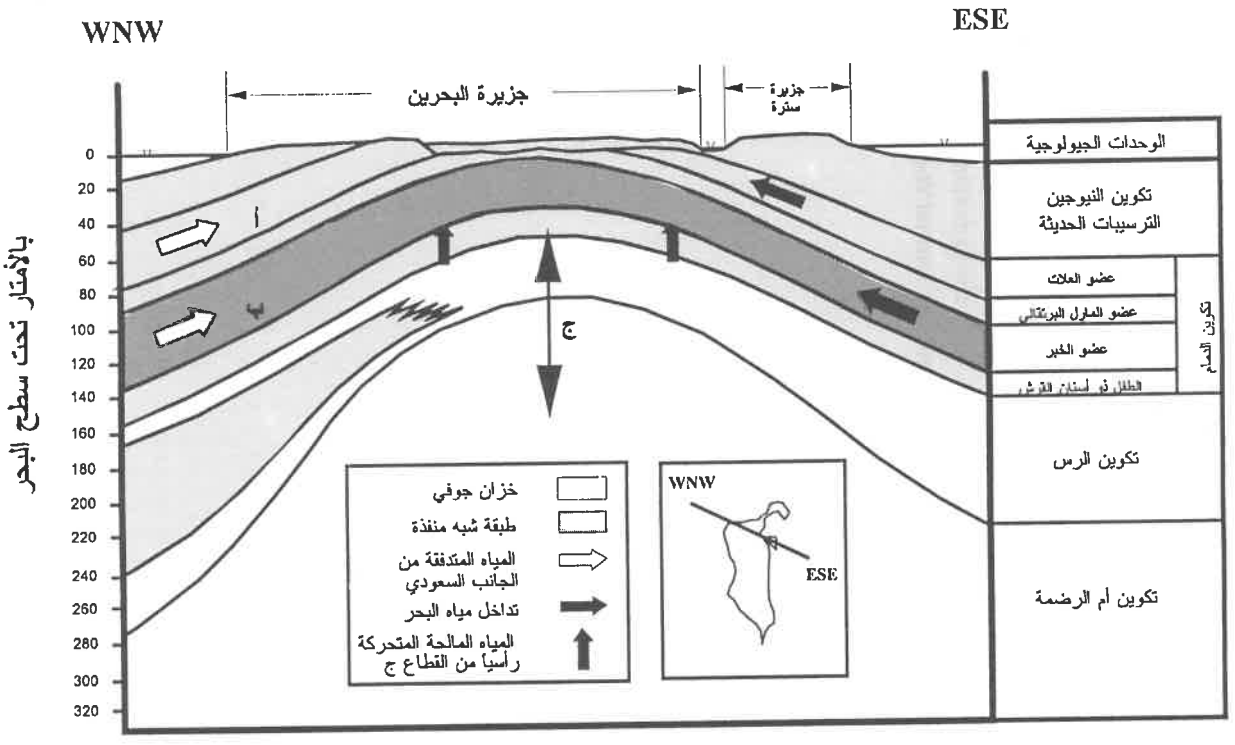
- UNEP and WHO., 1988, Assessment of fresh water quality. Nairobi, Ken-

ya: Global Environment Monitoring System.

- Xue, Y.; Wu, J.; Liu, P.; Wang, J.; Jiang, Q.; Shi, H., 1993, Sea water intrusion in the coastal area of Laizhou Bay, China: 1. Distribution of sea water intrusion and its hydrochemical characteristics. Groundwater, 31, pp. 532-537

- Zubari, W.K., 1987, A numerical three-dimensional flow model for the dammam aquifer system, Bahrain and Eastern Saudi Arabia. Athens, Ohio: Ohio University, Department of Earth Resources MSc thesis.

- Zubari, W.K.; Mubarak, M.A.; Madany, I.M.,1993. Development impacts on groundwater resources in Bahrain, **International Journal Water Resources Development,** 9, pp. 263-279.

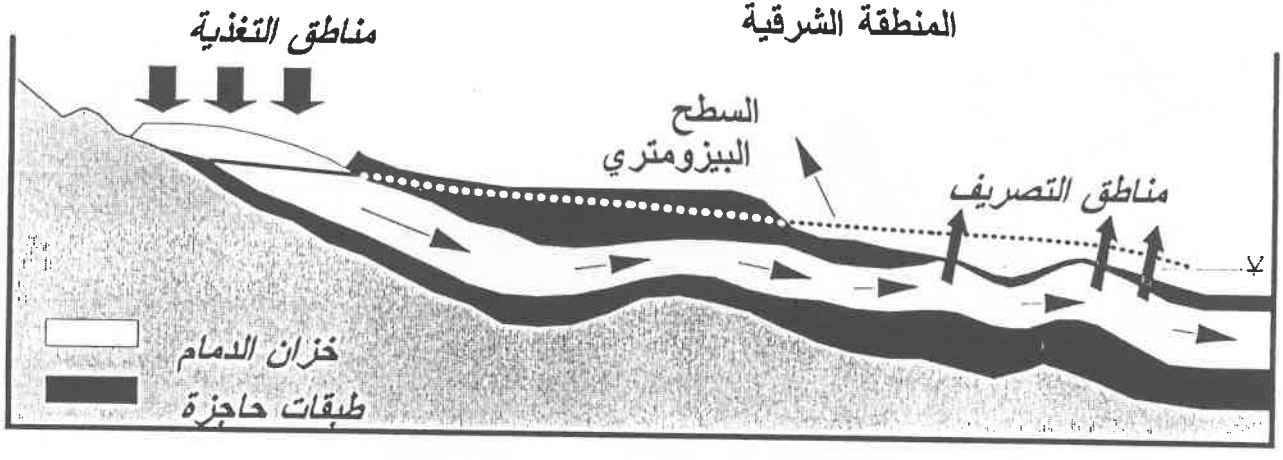


شكل (١): قطاع هيدرولوجي، البحرين

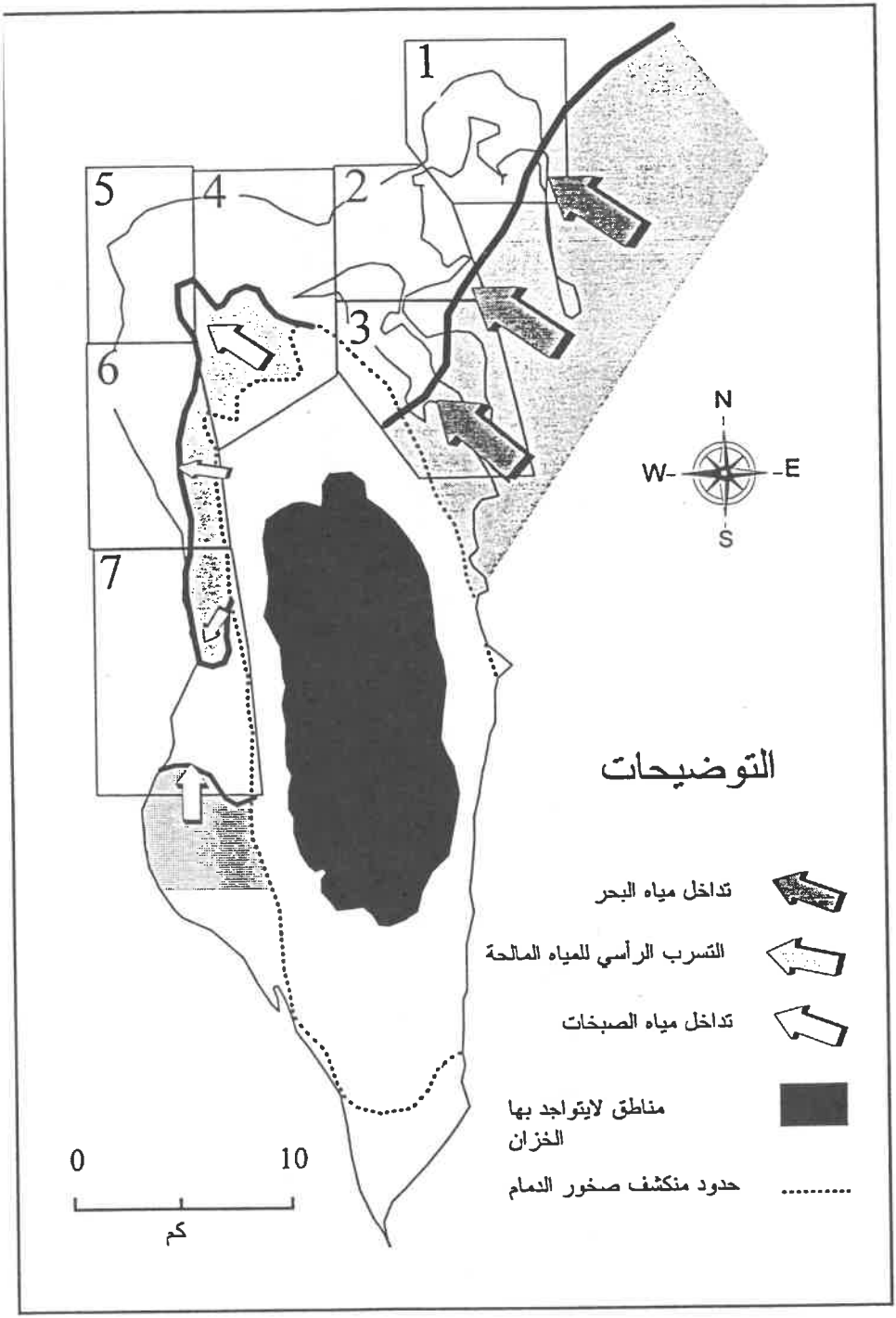
البحرين

المملكة العربية السعودية

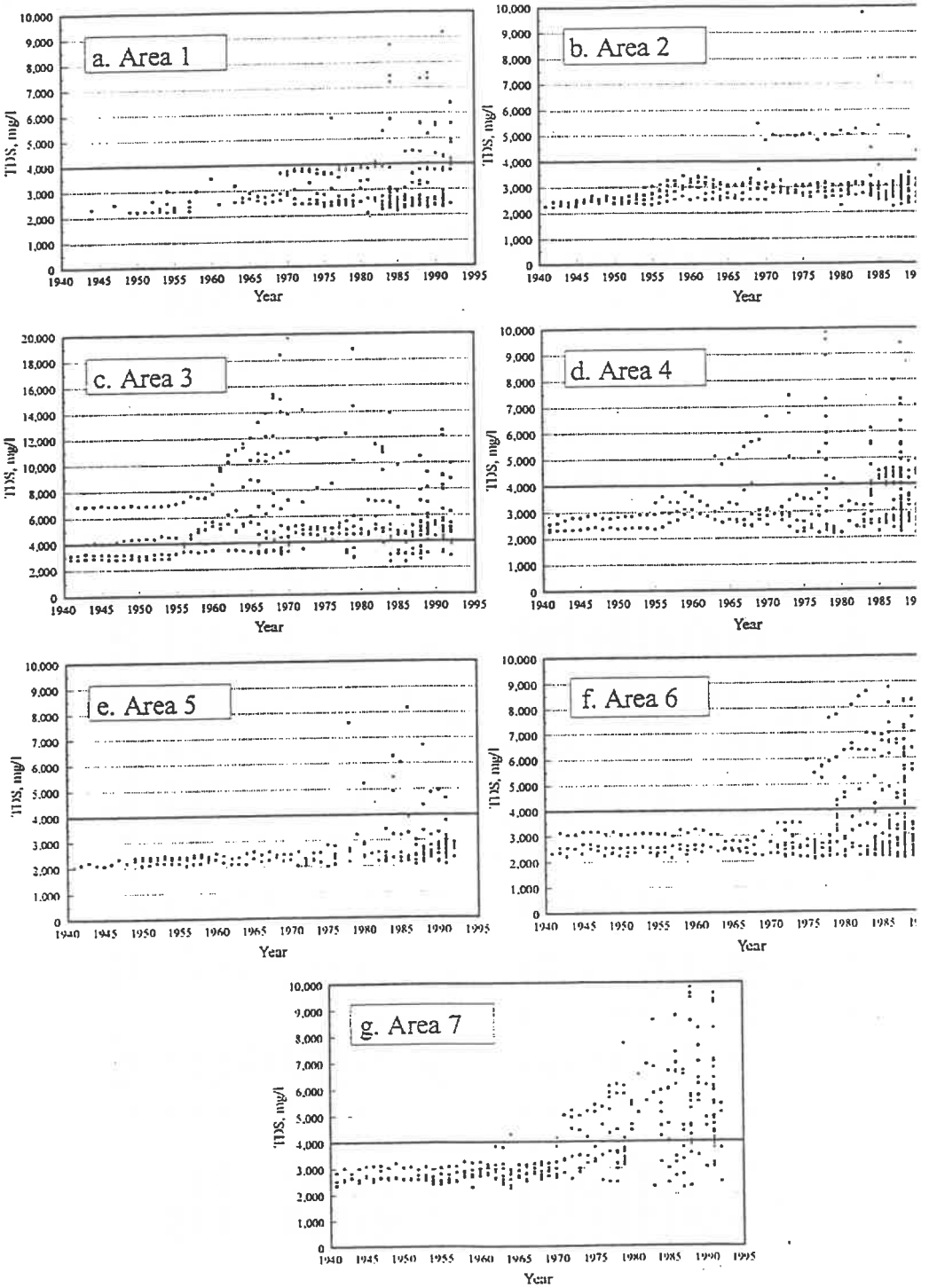
صحراء الدهناء



شكل (٢): قطاع هيدرولوجي إقليمي



شكل (٥): مصادر تلوث خزان الدمام الجوفي في البحرين، معدلة بعد زباري، ١٩٩٣



شكل (٤) اتجاهات التغير في ملوحة مياه الآبار في مناطق الدراسة

جدول (١): إتجاهات التغير في ملوحة المياه الجوفية في البحرين من ١٩٤١ الى ١٩٩٢

السنة	منطقة رقم ١					منطقة رقم ٢					منطقة رقم ٣					منطقة رقم ٤				
	<4000		>4000		Av.	<4000		>4000		Av.	<4000		>4000		Av.	<4000		>4000		Av.
	N*	%	N	%	TDS**	N	%	N	%	TDS	N	%	N	%	TDS	N	%	N	%	TDS
1941-1945	1	100.0	0	0.0	2325	16	100.0	0	0.0	2262	9	56.3	7	43.7	4140	11	100.0	0	0.0	2772
1946-1950	4	100.0	0	0.0	2286	20	100.0	0	0.0	2445	10	50.0	10	50.0	4285	10	100.0	0	0.0	2985
1951-1955	13	100.0	0	0.0	2417	22	100.0	0	0.0	2590	10	5.0	10	50.0	4383	11	100.0	0	0.0	3052
1956-1960	5	100.0	0	0.0	2765	25	100.0	0	0.0	2984	7	30.4	16	69.6	5211	14	100.0	0	0.0	3314
1961-1965	7	100.0	0	0.0	2743	25	100.0	0	0.0	3074	4	14.8	23	85.2	7402	10	76.9	3	23.1	4083
1966-1970	13	100.0	0	0.0	2882	25	92.6	2	7.4	3300	15	28.3	38	71.7	7547	8	53.3	7	46.7	4751
1971-1975	27	100.0	0	0.0	3053	23	82.1	5	17.9	3305	2	9.5	19	90.5	5843	17	81.0	4	19.0	3387
1976-1980	31	96.9	1	3.1	3122	37	88.1	5	11.9	3157	8	25.0	24	75.0	6828	32	62.7	19	37.3	5302
1981-1985	63	90.0	7	10.0	3028	50	79.4	13	20.6	4068	7	17.9	32	82.1	6027	24	66.7	12	33.3	3498
1986-1992	127	80.9	30	19.1	3345	146	98.0	3	2.0	2948	23	25.0	69	75.0	5505	106	57.0	80	43.0	4131

السنة	منطقة رقم ٥					منطقة رقم ٦					منطقة رقم ٧					جميع المناطق			
	<4000		>4000		Av.	<4000		>4000		Av.	<4000		>4000		Av.	<4000		>4000	
	N	%	N	%	TDS	N	%	N	%	TDS	N	%	N	%	TDS	N	%	N	%
1941-1945	4	100.0	0	0.0	2143	11	100.0	0	0.0	2655	19	100.0	0	0.0	2694	71	91.0	7	9.0
1946-1950	9	100.0	0	0.0	2270	16	100.0	0	0.0	2669	20	100.0	0	0.0	2786	89	89.9	10	10.1
1951-1955	15	100.0	0	0.0	2263	16	100.0	0	0.0	2612	24	100.0	0	0.0	2711	111	91.7	10	8.3
1956-1960	14	100.0	0	0.0	2302	16	100.0	0	0.0	2663	32	100.0	0	0.0	2799	113	87.6	16	12.4
1961-1965	10	100.0	0	0.0	2288	13	100.0	0	0.0	2652	32	97.0	1	3.0	2922	101	78.9	27	21.1
1966-1970	10	100.0	0	0.0	2573	14	100.0	0	0.0	2548	27	93.1	2	6.9	3076	112	69.6	49	30.4
1971-1975	17	100.0	0	0.0	2379	37	97.4	1	2.6	2707	8	38.1	13	61.9	4596	131	75.7	42	24.3
1976-1980	18	90.0	2	10.0	3081	39	70.9	16	29.1	3834	21	47.7	23	52.3	4910	186	67.4	90	32.6
1981-1985	21	80.8	5	19.2	3027	54	75.0	18	25.0	3554	4	18.2	18	81.8	5161	223	68.0	105	32.0
1986-1992	96	93.2	7	6.8	2809	181	66.8	90	33.2	4037	19	22.9	64	77.1	5459	698	67.1	343	32.9

N* = أعداد الآبار **TDS= معدل الملوحة لكل خمس سنوات