مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية ــ (2007) ــ المجلد (23) ــ العدد 1 ــ الصفحات: 141 -168

أثر التغيرات المكانية في الخصائص الكيميائية لمياه الري الجوفية في واحة الأحساء بالمملكة العربية السعودية

عبد الرحمن بن محي الدين السفرجلاني[1]
وعبد الرحمن بن محمد المديني[2]

الملخص

دُرِست التغيرات المكانية للخصائص الكيميائية لمياه واحة الأحساء الجوفية وقُيِّمت نوعيتها وإمكانية ربطها بتأثير عمليات الضخ الجائر في حدوث خلل في الميزان المائي للموارد المائية الجوفية التي تعدُّ من الوجهة الزراعية المصدر الرئيس لأغراض الري في الواحة. أوضحت النتائج المستخلصة وجود زيادة في قيم الملوحة الكلية، التي يمكن التعبير عنها بقيم الناقلية الكهربائية (EC)، وتراكيز الأيونات الرئيسة (Na^+,Ca^{2+} Mg^{2+},K^+,Cl^-,CO_3^{2-},HCO_3^-,SO_4^{2-})، بالإضافة إلى قيم نسبة الصوديوم الممتص(SAR) والنسبة المئوية للصوديوم المتبادل(ESP) بدءاً من الأطراف الجنوبية والجنوبية الغربية إلى الأطراف الشمالية والشمالية الشرقية للواحة، حيث تتركز القيم العليا وبشكل يتوافق مع اتجاه حركة المياه الجوفية في الحامل المائي للنيوجين. يمكن أن تعزى هذه الزيادة إلى تأثير مجموعة من العوامل:1) زيادة كمية الأملاح الذائبة بفعل جريان المياه الجوفية في الطبقة المائية الحاملة؛ 2) زيادة كمية الأملاح الذائبة بفعل استنزاف المياه الجوفية نتيجة الضخ الجائر؛3) زيادة الملوحة بفعل تأثير عمليات تدوير مياه الري الراشحة باتجاه الطبقة المائية؛ 4) زيادة الملوحة بفعل الاتصال الهيدروليكي بين الحامل المائي النيوجيني والحوامل المائية السفلى. كما بينت النتائج أن نوعية مياه الري في الواحة تتراوح بين عالية الملوحة (C3) والعالية جداً (C4)، وبين مياه صودية منخفضة الخطورة (S1) والخطورة المتوسطة (S2)، وبمتوسط عام بلغ (C4-S2)، الأمر الذي يشير إلى تدنٍ عام في نوعية مياه الري في واحة الأحساء.

الكلمات المفتاحية: واحة الأحساء، مياه الري الجوفية، الخصائص الكيميائية، المملكة العربية السعودية.

[1] أستاذ مساعد في قسم علوم التربة كلية الزراعة جامعة دمشق دمشق ص. ب.30621 سورية.
[2] أستاذ مشارك في قسم الأراضي والمياه، كلية العلوم الزراعية والأغذية جامعة الملك فيصل 31982 الأحساء ص.ب.55036 السعودية.

Effect of Spatial Variations in Chemical Properties of Irrigation Groundwater at Al-Hassa Oasis, Kingdom of Saudi Arabia

Al-Safarjalani M.,Abdulrahman[(1)]
and Abdulrahman M. Almadini[(2)]

ABSTRACT

The spatial distribution of chemical characteristics and evaluation of groundwater quality in Al-Hassa Oasis was studied with the aim to determine the effect of the disturbed water balance of groundwater resources, which is from agricultural point of view the major source of irrigation in the area. The results showed that the total salinity, which can be expressed by electrical conductivity EC values, and concentrations of major ions (Na^+,Ca^{2+} Mg^{2+},K^+,Cl, CO_3^{2-}, HCO_3^-,SO_4^{2-}) as well as sodium absorption ratio (SAR) and sodium exchangeable ratio (ESP) increased from western and south-western areas to north and north-eastern areas of the oasis, where the highest value exists, together with accordance with the direction of groundwater flow of the Neogene aquifer. This increase may be due to several factors:1) increase of amount of dissolved salts due to water movement in the aquifer; 2) increase of salts due to mining water (over pumping) ; 3) increase of salts due to recycled irrigation water penetrated towards the aquifer; 4) increase of salts as a consequence of interconnection between the Neogene aquifer with the deeper water bearings. The study showed that the classification of the irrigation groundwater is high (C3) to very high (C4) salinity and low (S1) to medium (S2) sodicity hazard, with an overall average class of C4-S2, which suggests that the irrigation groundwater in Al-Hassa oasis is subjected to a process of quality degradation.

Key words: Hassa Oasis, Irrigation Groundwater, Chemical Properties, Saudi Arabia.

(1) Associate professor, Department of Soil Sciences, College of Agricultural,Damascus University, Damascus ,P.O.Box:30621-Syria.
(2) Associate professor, Department of Soil and Water, College of Agricultural and Food Sciences, King Faisal University- 31982, Al- Hofuf - P. O. Box: 55036, Kingdom of Saudi Arabia.

المقدمة

تعدُّ واحة الأحساء أكبر واحات شبه الجزيرة العربية الزراعية، وتعني كلمة الأحساء وفرة المياه نتيجة كثرة آبار مياهها الجوفية وغزارة عيونها الفوارة. وقد لوحظ أن المياه الجوفية في الماضي القريب كانت قريبة من سطح الأرض مما جعل الوصول إليها ممكناً بالحفر يدوياً لبضعة أمتار قليلة (الجاسر، 1399هـ).

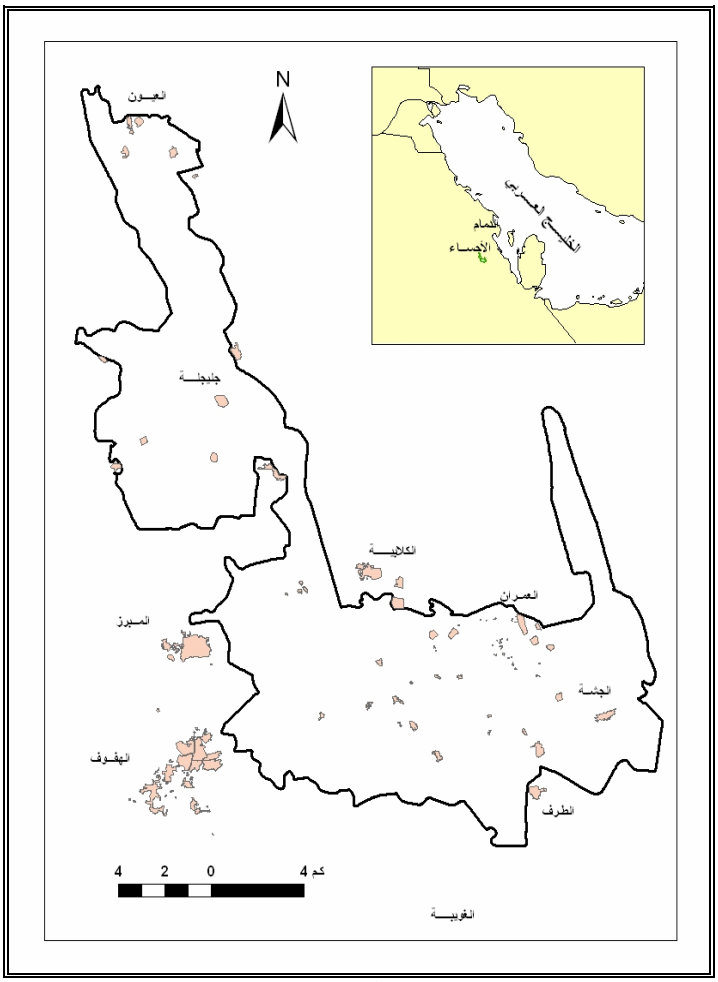
تقع واحة الأحساء غربي الخليج العربي قرابة 70كم، جنوبي مدينة الدمام بنحو 130كم ضمن نطاق المنطقة المدارية بين دائرتي العرض 25 20 و 25 40 شمالي خط الاستواء وبين 49 30 و 50 49 شرقي خط غرينتش، وتتميز بشكلها الطولي الذي يمتد على محورين متعامدين يتقاطعان في الجزء الجنوبي الغربي منها حيث تقع مدينة الهفوف (الشكل 1). تتميز الواحة من الناحية الطبوغرافية بالاستواء مع الانحدار العام البسيط من الغرب إلى الشمال والشمال الشرقي ويتراوح ارتفاعها بين 130 -160م فوق سطح البحر(نخلة، 1400هـ؛ الرويلي، 2002). تضم واحة الأحساء ثلاث مدن رئيسة هي الهفوف المبرز والعيون وقرابة ثمانٍ وأربعين قرية، ويبلغ مجموع عدد سكانها ما يقارب 535 ألف نسمة (Abdurrehman,1988)، وتشغل مساحة كلية تقدر بنحو 360 كم^2. وتحاط من الجهات الشمالية والشمالية الشرقية والجنوبية الغربية بحزام من الكثبان الرملية، ويسودها مناخ صحراوي شديد الحرارة والجفاف، وتعدُّ من أعلى مناطق المملكة حرارة ومن أقلها أمطاراً (ربيع، 2003). تبلغ مساحة الأراضي الزراعية في واحة الأحساء نحو 80كم^2 تروى معظمها بمياه حامل النيوجين الجوفي، الذي يسدُّ نحو 90% من احتياجاتها المائية، في حين يؤمن حامل أم الرضمة نحو 10% المتبقية (Edgell,1989)، ويقدر المتوسط السنوي لحجم المياه المستخرجة قرابة 210 مليون م^3.

الهدف من الدراسة

أدى الاستنزاف الجائر والمتزايد بفعل زيادة كميات المياه المستخرجة من حامل النيوجين المائي الجوفي في السنوات الأخيرة إلى خلل في التوازن المائي الطبيعي، كما أدى إلى انخفاض مستوى الماء في الطبقة المائية وزيادة ملحوظة في ملوحتها (Etewy, et al.,1983; Al-Hawas,2002). تركز الهدف الرئيس لجميع الدراسات السابقة على تحديد نوعية مياه الري لواحة الأحساء دون الأخذ بالحسبان التغيرات المكانية في نوعيتها. ونظراً للأهمية القصوى للموارد المائية الجوفية لمياه الري في الواحة، هدف هذا البحث بشكل رئيس إلى إيضاح التغيرات المكانية في نوعية هذه المياه وتقييم خصائصها الكيميائية المميزة.

الوضع الجيولوجي

تتكشف في واحة الأحساء بشكل رئيس التوضعات الصخرية العائدة للنيوجين لعصري الميوسين والبلايوسين، والتي تشكل جميع الكتل الجبلية المحيطة بواحة الأحساء أو تختفي تحت التوضعات الرباعية الأحدث منهـا. وتبلـغ ثخانتهـا نحـو 185م (Hoetzel, et al.,1978)، تتألف التوضعات الصخرية النيوجينية مـن الـصخور الكلـسية والرمليـة والمارنية الرملية والطفال الكلسي إضافة إلى الكونغلوميرات والعقد الصوانية، التي قسمت إلى ثلاثة تشكيلات صخرية من الأقدم إلى الأحدث كما يأتي:



الشكل (1) الموقع الجغرافي لواحة الأحساء (مركز الدراسات المائية، 2004).

- **تشكيل الهيدروك:** تتكشف صخوره بعيدة عن واحة الأحساء بالقرب من مدينة أبقيق ويتألف من رواسب بحرية تعود إلى عصر الميوسين المبكر وتصل ثخانته إلى90م، يغلب عليه الحجر الكلسي الرملي إضافة إلى تداخلات من الطفال والمارن مع وجود بعض العقد الصوانية والتوضعات الجصية (Powers, 1968).
- **تشكيل الدام:** تظهر صخوره في قطاعات محدودة بين جبل الدلاسيس وبرقاء الركبان في الجزء الشمالي الغربي من الواحة، كذلك جنوبي جبل غنيمة وجنوبي جبل ملدة، إضافة إلى بعض المناطق التي تتوزع في الجانب الشمالي من الواحة، تتكون رواسب الدام البحرية بشكل أساسي من توضعات مارنية إضافة إلى بعض الصخور الرملية والكلسية، تتراوح ثخانتها بين 60 -100م، وتعود بأعمارها إلى منتصف عصر الميوسين.
- **تشكيل الهفوف:** يمثل أحدث توضعات النيوجين عمراً، يعود إلى عصري الميوسن المتأخر والبلايستوسين، يتوضع فوق تشكيل الدام مباشرة ويفصل بينهما سطح عدم توافق واضح (McClure,1978) وتنتمي إليه جميع الكتل الجبلية المحيطة بالأحساء. تصل ثخانة تشكيل الهفوف في مقطعه النموذجي شمال غربي مدينة الهفوف إلى 95م، ويقسم إلى أربع وحدات صخرية رئيسة هي: قاعدة من الصخور اللحقية الكونغلوميراتية تتكون من الحصى والجلاميد وتتضمن قطعاً صخرية من صخور نارية، ومتحولة ورسوبية، وصخور رملية كلسية، وصخور رملية غضارية وأخيراً صخور مارنية كونغلوميراتية (Murris ,1980).

تنتشر **التوضعات الصخرية الرباعية** على مساحات كبيرة من الواحة بسماكة لا تتعدى العشرة أمتار مغطية التوضعات الصخرية النيوجينية في الأودية، تتألف رسوباتها بصورة رئيسة من الحجارة الصغيرة والحصى والرمل والصلصال ومن رواسب السبخات الطينية والسلتية الغنية بأملاح المواد الكلسية وأحياناً الحديدية(Weijermars,1998).

الوضع الهيدروجيولوجي

تعدُّ المياه الجوفية المصدر الرئيس إن لم تكن المصدر الوحيد الذي يعتمد عليه من أجل تأمين جميع الاحتياجات المائية لواحة الأحساء، تعود هذه المياه بمصدرها إلى خمسة حوامل مائية رئيسة، ترتب تصاعدياً من الأعلى إلى الأسفل: النيوجين الدمام (الخبر - العلاة) أم رضمة،العرمة والوسيع.

يخرج الماء من هذه الحوامل إما على شكل ينابيع طبيعية أو آبار محفورة مع العلم بأن مياه جميع ينابيع واحة الأحساء تعود بمصدرها إلى حامل النيوجين التي احتجزت به قبل عدة آلاف من السنين ضمن طبقات كلسية.

- حامل النيوجين: تتميز التوضعات الصخرية النيوجينية بتغيراتها الليثولوجية في الاتجاهين الأفقي والشاقولي (الخطيب، 1980)، وقدرتها الكبيرة على خزن المياه بسبب مساميتها الكبيرة ووجود عدد كبير من التشققات والتكهفات الكارستية، تسهم هذه التشققات والتكهفات أيضاً باتصال هيدروليكي بين مياه حامل النيوجين مع مياه حامل الدمام (وزارة الزراعة والمياه، 1984). يوجد حامل النيوجين في واحة الأحساء على عمق يتراوح بين صفر -180م تحت سطح الأرض وتقدر نسبة الأملاح الذائبة بمياهه وسطياً بنحو1570ملغ/ل، وقد تصل إلى 2500 ملغ/ . تتم حركة مياه حامل النيوجين ضمن واحة الأحساء مسايرة للميول الطبوغرافية العامة، وذلك من الأطراف الجنوبية والجنوبية الغربية إلى الأطراف الشمالية والشمالية الشرقية للواحة (الطاهر،1999).

- حامل الدمام (الخبر -العلاة): وتعود صخوره إلى عصر الأيوسين الأوسط ويقسم إلى خمس وحدات صخرية من الأقدم إلى الأحداث كما يأتي: طفال ميدرا، طفال سيلة، كلس فيولينا، تشكيلات الخبر وتشكيلات العلاة. تبلغ سماكة حامل الدمام في واحة الأحساء قرابة 73م وتوجد على عمق بين 180 -230م تحت سطح الأرض. من الناحية الهيدرجيولوجية، تعد وحدتا الخبر والعلاة من الوحدات الصخرية الخازنة للمياه الجوفية، في حين لا يكون للوحدات الصخرية الثلاث الأخرى أية أهمية من هذه الناحية. ينفصل حامل الدمام عن حامل أم رضمة بطبقة غضارية صماء، تسهم في عزل مياه هذين الحاملين، وعلى الرغم من ذلك يلاحظ اتصال هيدروليكي بين هذين الحاملين، حيث يعود السبب بشكل رئيس إلى انتشار ظواهر التجاويف والتكهفات والفتحات الكارستية إضافة إلى الكسور والشقوق ذات المنشأ التكتوني. تتراوح ملوحة مياه حامل الخبر بين1500 -2500 ملغ/ (وزارة الزراعة والمياه،1984).

- حامل أم رضمة: يقع تحت واحة الأحساء على عمق يتراوح بين280 -600م، وتبلغ ثخانته قرابة 385م، تتميز صخوره بكثرة التجاويف والتكهفات الكارستية لذلك يتسم بقدرته الكبيرة على خزن المياه الجوفية وعلى نفاذيته العالية جداً. تتراوح نسبة الأملاح الذائبة بمياه حامل أم رضمة بين875 -1400ملغ/ل، علماً أن هذه الملوحة تتزايد مع زيادة العمق من ناحية، وكذلك كلما اتجهنا شرقاً أو شمالاً من ناحية أخرى (الخطيب، 1980).

- حامل العرمة: ترجع صخوره إلى الكريتاسي الأعلى، تتكون رسوباته السفلى من الحجر الرملي والمارن والدولوميت وتبلغ ثخانتها 149م، في حين تتكون رسوباته العليا من الصخور الكلسية وتبلغ ثخانتها قرابة 234م. يوجد حامل العرمة تحت سطح الواحة بنحو674م، وتتميز مياهه بملوحة منخفضة لا

تتجاوز1000ملغ/ . وتجدر الإشارة هنا إلى أن آبار واحة الأحساء لم تصل أعماقها بعد منسوب حامل العرمة، لذا تشكل مياه هذا الحامل احتياطياً استراتيجياً واعداً بالخير في المستقبل القريب.

- حامل الوسيع: تعود صخوره إلى عصر الكريتاسي الأوسط، وتقع على عمق يتراوح بين900 - 1330م تحت سطح الواحة، وتبلغ ثخانتها الإجمالية نحو580م، تتألف بشكل رئيس في أجزائها السفلى من الصخور الكلسية في حين تتألف طبقاتها العليا من الصخور الكلسية الغضارية. تتميز المياه المستخرجة من حامل الوسيع في الواحة بملوحتها الشديدة حيث تصل كمية الأملاح الذائبة بها إلى 5 غ/ل، تتزايد بالمناطق القريبة من الخليج العربي لتبلغ 200غ/ (وزارة الزراعة والمياه،1984).

الميزان المائي لحامل النيوجين

نظراً لارتباط واحة الأحساء شبه الكلي مع حامل النيوجين المائي لسدّ احتياجاتها المائية، كان من الضروري تقدير ميزانها المائي، وذلك من خلال تحديد كميات المياه الواردة والمصروفة من هذا الحامل. تتم تغذية حامل النيوجين من مصدرين رئيسين هما: الرشح المباشر لمياه الهاطل المطري التي تتسرب إلى طبقة النيوجين الخازنة عبر تكشفاتها السطحية الواقعة غربي الواحة، والممتدة من شمالي مدينة النعيرية إلى جنوبي منطقة حرض. تقدر مساحة هذه التكشفات بنحو 18ألف كم^2. كما يتلقى حامل النيوجين مساهمة مائية أخرى تستمد من حامل أم رضمة في قمة محدب الغوار غربي مدينة الأحساء، حيث يتلاشى حامل الدمام هنا نتيجة عمليات التعرية، مما يمكن الاتصال المباشر بين حاملي النيوجين وأم رضمة (BRGM,1977).

تمثل مياه حامل النيوجين من حيث مصادر تغذيتها خليطاً ومزيجاً، يتألف من المياه القديمة (Fossil Water) التي يتراوح عمرها بين عشرة آلاف إلى ثلاثين ألف سنة (HARC,1976)، حيث تسهم مياه الحامل ذاته في مخزون الطبقة المائية بنسبة تتراوح بين 75 - 80% في حين تسهم مياه طبقة أم رضمة بنسب تتراوح بين 10 - 15%، ومن المياه الحديثة (Recent Water) المتمثلة بمياه الهطولات المطرية المتسربة باتجاه حامل النيوجين، والتي تسهم بنسبة تغذية تتراوح بين 5 - 15% (BRGM,1977).

حدد استشاريو مركز تنمية الموارد المائية الدولية (GDC,1980) معدل التغذية الإجمالي السنوي لحامل النيوجين بنحو 328 مليون م^3/السنة، أي ما يعادل 10.4م^3 / ثا، في حين حدد (الطاهر،1999) معدل هذه التغذية في الفترة بين 1952 - 1978 بقرابة 202 مليون م^3/السنة، أي ما يعادل 6.4م^3/ ثا. وتجدر الإشارة هنا، إلى أنه نتيجة لتحليل البيانات المناخية لواحة الأحساء في الفترة الواقعة بين عامي1970 -2001، ظهر جلياً

التذبذب الكبير لكمية الهاطل المطري المائي، التي بلغت كميتها العليا 181.3مم عام 1982 في حين بلغت كميتها الدنيا 4.9مم عام1999 (النعيم،2005).

حدد مكتب المسح الجيولوجي والتعديني الفرنسي(BRGM,1977) معدل التصريف الآمن للمياه من حامل النيوجين الضروري لسدّ جميع الاحتياجات المائية في واحة الأحساء بقيمة لا تتجاوز 10.25م^3 / ثا، سواء كانت متمثلة بالتدفق الحر الطبيعي من العيون أو مستخرجة بالضخ من الآبار، مع الإشارة إلى أن هذا المعدل يكافئ المعدلات الوسطية السنوية لتغذية حامل النيوجين المائي. وقدرت الدراسات الحديثة المنفذة من قبل وزارة الزراعة والمياه لعام1984 كميات المياه المسحوبة من حامل النيوجين بنحو 15.2م^3 / ثا (الكويتي وأحمد، 2003)، أي بقيم تفوق قرابة 50% من قيم الصرف الآمن للحامل المائي، وعليه أمكن الاستنتاج أن واحة الأحساء تعاني من خلل شديد في ميزانها المائي الطبيعي، يتمثل بتدني قيم التغذية الطبيعية من المياه مقابل قيم كمياتها المسحوبة أو المتدفقة طبيعياً.

مشروع الري والصرف في واحة الأحساء وأهم منجزاته

شهدت واحة الأحساء تزايداً مستمراً في عدد مصادرها المائية المستمدة مياهها من حامل النيوجين، فقد أشارت دراسات Wakuti (1964) إلى وجود 498 مورداً مائياً جوفياً في الواحة منها 162عيناً و336 بئراً، في حين أشارت دراسات Italconsult (1969) إلى أن عدد تلك المصادر المائية تزايد ليصل إلى 989 مصدراً مائياً منها 102عين و887 بئراً. في حين قدر التعداد الزراعي الشامل بالمملكة العربية السعودية (1982) عدد المصادر المائية في واحة الأحساء بأكثر من 1500 مورد مائي، ويتوقع أن يكون عدد الآبار قد بلغ في السنوات الأخيرة أكثر من خمسة آلاف بئر (الكويتي وأحمد،2003). أيضاً ومع بداية عقد الثمانينيات شهدت الواحة بعد إنشاء وتشغيل مشروع الري والصرف بها، الذي اعتمد للحصول على مياه الري اللازمة له من اثنتين وثلاثين عيناً تعد أهم وأكبر عيون الواحة (رجب، 1990 والدخيل،2001)، عمليات واسعة جداً وعشوائية لحفر الآبار، مما تسبب في نضوب وجفاف عدد كبير من العيون. كما أظهرت الدراسات التي أجريت على مناسيب المياه الجوفية في الواحة خلال العقود الثلاثة الأخيرة، أنها في هبوط مستمر (الخطيب، 1980؛ عثمان، 1983؛ الرويلي، 2002؛ الدخيل والسفرجلاني، 2005). وقد ترافق هبوط هذه المناسيب مع تزايد ملوحة المياه الجوفية، حيث لوحظ وجود ارتفاع لمتوسط قيمة الملوحة، والتي يمكن التعبير عنها بشكل غير مباشر بقيمة الناقلية الكهربائية EC بنحو 38.7% خلال الفترة بين عامي 1985 -1999 (الكويتي وأحمد 2003 Al-Hawas, 2002)، مما جعل مشروع الري والصرف يعتمد في السنوات الأخيرة في

تأمينه لمياه الري على مياه الآبار (المقرن، 1997) التي تزايدت أعدادها بصورة ملحوظة، بالإضافة إلى المصادر المائية البديلة كمياه الصرف الزراعي والصحي المعالج، رغم ارتفاع نسبة الأملاح الذائبة فيها، والتي تتراوح بين 3600 - 4730 ppm (الكويتي وآخرون، 1997و2002)، وذلك لمواكبة الزيادة المضطردة للاحتياجات المائية في الواحة.

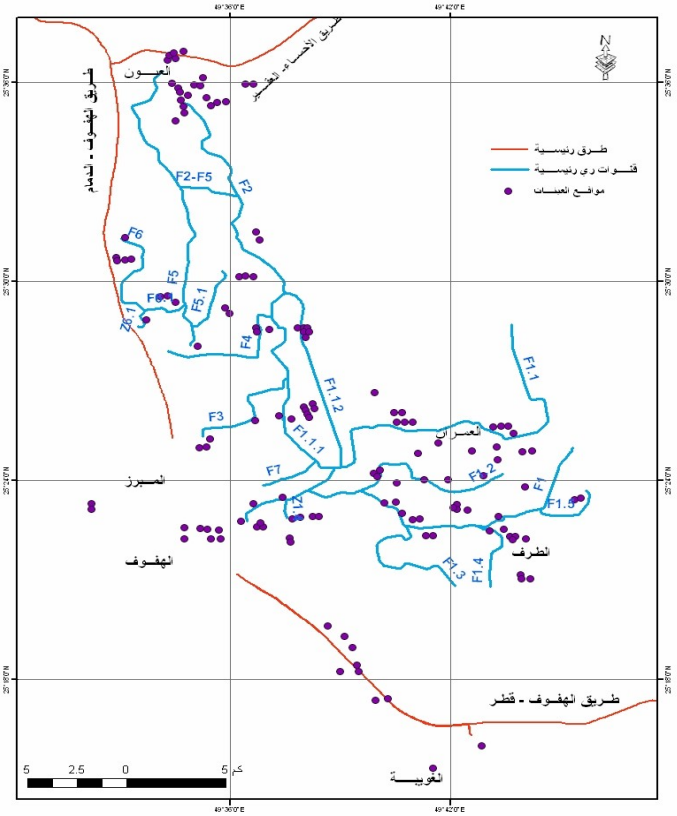
حقق مشروع الري والصرف في واحة الأحساء منجزات متعددة، نذكر أهمها: ازدياد مساحة الأراضي الزراعية في الواحة من 8 آلاف هكتار إلى 20 ألف هكتار، وتحسين خصوبة التربة الزراعية فيها، حيث تزيل عمليات الصرف من الأرضي الزراعية كميات إجمالية من الأملاح تصل إلى 440 ألف طن/سنة، في حين تضيف عمليات الري كميات إجمالية من الأملاح تقدر بقرابة 350 ألف طن/سنة. ولدى النظر إلى طرفي الميزان الملحي المرتبط بهاتين العمليتين يتضح أن النقص يفوق الإضافة بنحو 90 ألف طن/سنة، الأمر الذي جعل هذا الميزان يميل لصالح تحسين التربة الزراعية وتقليل ملوحتها بشكل مستمر، ومن ثم أصبح هذا المشروع يضمن إزالة جميع الأملاح القادمة إلى الواحة مع مياه الري من ناحية وسحب جزء مهم ومنتظم من الأملاح المتراكمة بها منذ آلاف السنين من ناحية أخرى.

جمع العينات المائية وطرائق التحليل

تم جمع 139عينة مائية خلال الفترة الواقعة بين تشرين الثاني وكانون الأول لعام 2003، من الآبار المرتبطة بحامل النيوجين المائي والمستخدمة لأغراض الري. تم اختيار مواقع هذه الآبار بصورة عشوائية بحيث تشمل غالبية أجزاء النطاق الزراعي في الواحة (الشكل 2). جُمعت كل العينات مباشرة من فوهة مضخة البئر بعد تشغيله مدة لا تقل عن ساعة، وذلك لتفادي جمع المياه الراكدة في أنابيب تبطين (إكساء) البئر. جمعت العينات في عبوات بلاستيكية نظيفة، سعتها 250 مل بمعدل عبوة لكل بئر، جُمعت كل عينة بعد غسل العبوة بمياه البئر ثلاث مرات على الأقل. نقلت العينات مباشرة بعد أخذها من الحقل إلى مخبر قسم الأراضي والمياه بكلية العلوم الزراعية والأغذية في جامعة الملك فيصل وحُفظت في الثلاجة إلى موعد إجراء التحاليل الكيميائية عليها.

في الحقل مباشرة تم قياس الناقلية الكهربائية (EC) باستخدام جهاز التوصيل الكهربائي (Conductivity meter) من نوع (Metrohm,model712)، وتحديد قيم الرقم الهيدروجيني (pH) باستخدام جهاز (pH-meter) موديل (Metrohm,model 744)، ودرجة الحرارة بميزان حرارة رقمي، في حين شملت التحاليل الكيميائية على تقدير محتوى الأيونات الرئيسة ممثلة في الصوديوم (Na^+) والبوتاسيوم (K^+) باستخدام جهاز طيف اللهب (Flame photometer) من نوع (Jenway, model PFP7) والكالسيوم (Ca^{2+}) والمغنيزيوم (Mg^{2+})

بطريقة المعايرة بالفيرسنات (EDTA)، والكلور (Cl^-) بطريقة المعايرة بنترات الفضة والبيكربونات (HCO_3^-) والكربونات (CO_3^{2-}) بطريقة المعايرة بحمض كلور الماء المخفف. أما كمية الكبريتات (SO_4^{2-}) فقد تم تقديرها بشكل تقريبي من خلال حساب الفارق بين مجموع الأيونات الموجبة ومجموع الأيونات السالبة (Richards,1954)،علماً أن هذه الطريقة لا تقدم قيماً دقيقة لمحتوى الكبريتات إلا أنها استخدمت لعدم توافر نتائج تحليل لها. أُجريت جميع التحاليل الكيميائية المذكورة سابقاً حسب الطرائق المخصصة لكل منها والمبينة في"Methods of Soil Analysis, Part 2" المحرر بواسطة Page,et al. (1982). وحُسبت نسبة امتصاص الصوديوم (Sodium adsorption ratio, SAR) والنسبة المئوية للصوديوم المتبادل(Sodium exchangeable percentage, ESP) باستخدام النماذج الرياضية المذكورة في Richards(1954). عُرضت النتائج بطريقة الخرائط الكنتورية (contour map) باستخدام برنامج (SURFER-5)(Golden Software, Inc., 1993/94) وذلك بهدف توضيح التباين في تراكيز قيم هذه المكونات على نطاق الواحة، ومن أجل تحديد التغيرات المكانية في خصائص مياه الآبار المستخدمة لأغراض الري في واحة الأحساء.



الشكل (2) مواقع جمع العينات المائية من آبار واحة الأحساء، عام 2003.

النتـــــائج

يبين الجدول (1) القيم المتوسطة والدنيا والعليا لنتائج التحليل الكيميائي لعينات ميـــاه الري في واحة الأحساء بالإضافة إلى قيم الانحـــراف المعيـــاري (standard deviation) ومعامل الاختلافات (coefficient of variations). يتضح من الجدول وجود فارق كبيـــر بين القيمتين الدنيا والعليا للناقلية الكهربائية (EC)، التي تزداد إلى أكثر من ستة أضـــعاف قيمتها الدنيا، ويقترن هذا الفارق بوجود اختلاف واضح في قيم EC التي يمكن ملاحظتها من خلال قيمتي الانحراف المعياري (St.dev.) ومعامل الاختلافات (CV) اللتـــين بلغتـــا ±1291.83 و51.92%، على التتالي. ترتبط اختلافات قيم (EC) لعينات مياه الري فـــي واحة الأحساء بتوزيعها المكاني في نطاق الواحة الزراعي كما يوضح الشكل (3)، الـــذي

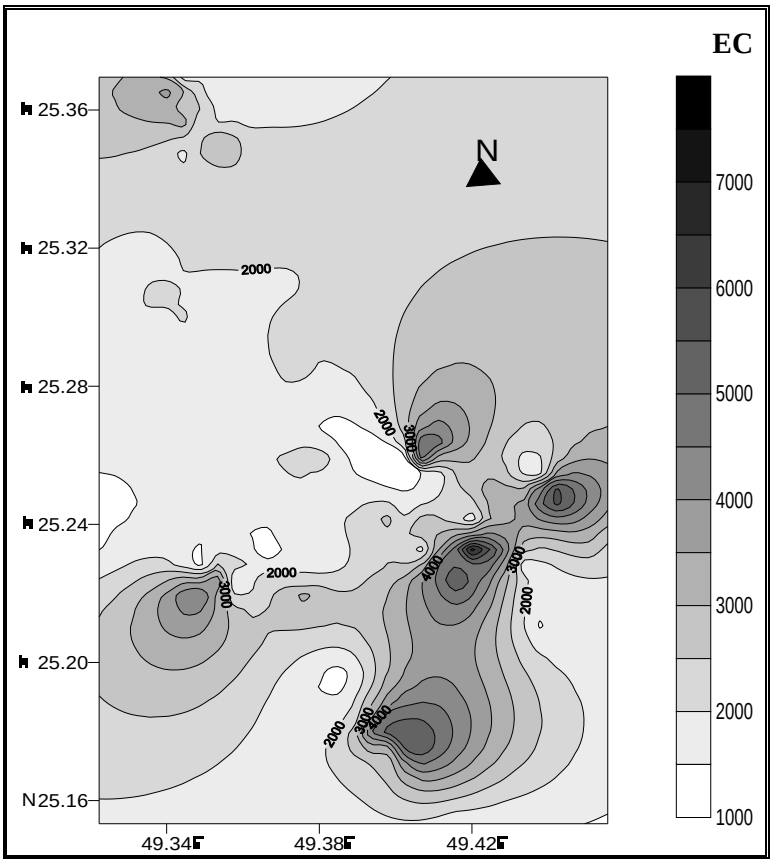
يظهر تمركز القيم العليا من (EC) في الجزء الجنوبي الشرقي من الواحة، مع الأخذ بالحسبان أن الربع الشمالي الشرقي من الواحة هو خارج النطاق الزراعي لها. كما يلاحظ أيضاً وجود ارتفاع لقيم (EC) مياه الري من الطرف الجنوبي (EC ≈ 6000µS/cm) والجنوبي الغربي (EC ≈ 5000 µS/cm) باتجاه الطرف الشمالي الشرقي للواحة، حيث تقع أعلى قيمة EC (7327.8 µS/cm)، وهي في البئر رقم 9 الواقع على أطراف الواحة الشرقية والأقرب للخليج العربي، مما قد يشير إلى وجود إمكانية طغيان مياه البحر المالحة باتجاه الواحة بسبب عمليات الضخ الجائر لحامل النيوجين.

الجدول (1) ملخص نتائج التحليل الكيميائي لعينات مياه الري في واحة الأحساء (العدد الكلي للعينات = 139عينة، لعام 2003).

القيمة		الوحدة	القيمة الصغرى Min.	القيمة الكبرى Max.	متوسط القيم Average	الانحراف المعياري * St. dev. (±)	معامل الاختلافات # C.V. (%)
pH			6.75	7.90	7.43	0.22	2.92
EC		µ S/cm	1180.80	7372.80	2487.88	1291.83	51.92
Na^+	أيونات موجبة	mg/L	165.60	1023.50	345.80	172.50	49.88
Ca^{2+}			122.24	743.48	254.66	126.11	49.52
Mg^{2+}			55.94	419.52	129.88	76.68	59.04
K^+			3.90	62.56	18.34	11.10	60.51
Cl^-	أيونات سالبة		413.30	3723.30	1000.37	538.24	53.80
CO_3^{2-}			0.00	0.00	0.00	0.00	
HCO_3^-			79.31	303.83	221.47	44.64	20.16
SO_4^{--}			0.00	3737.51	337.74	508.33	150.51
SAR	الصودية		3.04	7.64	4.31	0.96	22.29
ESP		%	3.13	9.12	4.83	1.26	26.17

* الانحراف لمعياري standard deviation # معامل الاختلافات coefficient of variations.

ترتبط تغيرات قيم ملوحة مياه الري في واحة الأحساء مع زيادة تراكيز الأيونات الموجبة الرئيسة (جدول 1). يكون الصوديوم (Na^+) العنصر الأكثر وفرة يليه الكالسيوم (Ca^{2+}) ثم المغنيزيوم (Mg^{2+})، والتي تصل متوسطات تراكيزها عشرات أضعاف متوسط تركيز البوتاسيوم (K^+). كما يبرز هذا التباين في قيم الانحراف المعياري (St. dev.) وقيم معاملات الاختلاف (CV's) التي تصل إلى قرابة 50 % أو أكثر. أما فيما يتعلق بالأيونات السالبة، فيكون الكلور (Cl^-) الأكثر وفرة يليه الكبريتات (SO_4^{2-}) ثم البيكربونات (HCO_3^-)، ويعود سبب غياب الكربونات (CO_3^{2-}) في جميع عينات الماء إلى أن قيمة pH كانت أقل دائماً من 8.3 وهي العتبة التي يبدأ عندها تشكل هذا الأيون (Stumm and Morgan ,1981).



الشكل (3) التوزع المكاني لقيم الناقلية الكهربائية (EC) لمياه الري في واحة الأحساء لعام 2003.

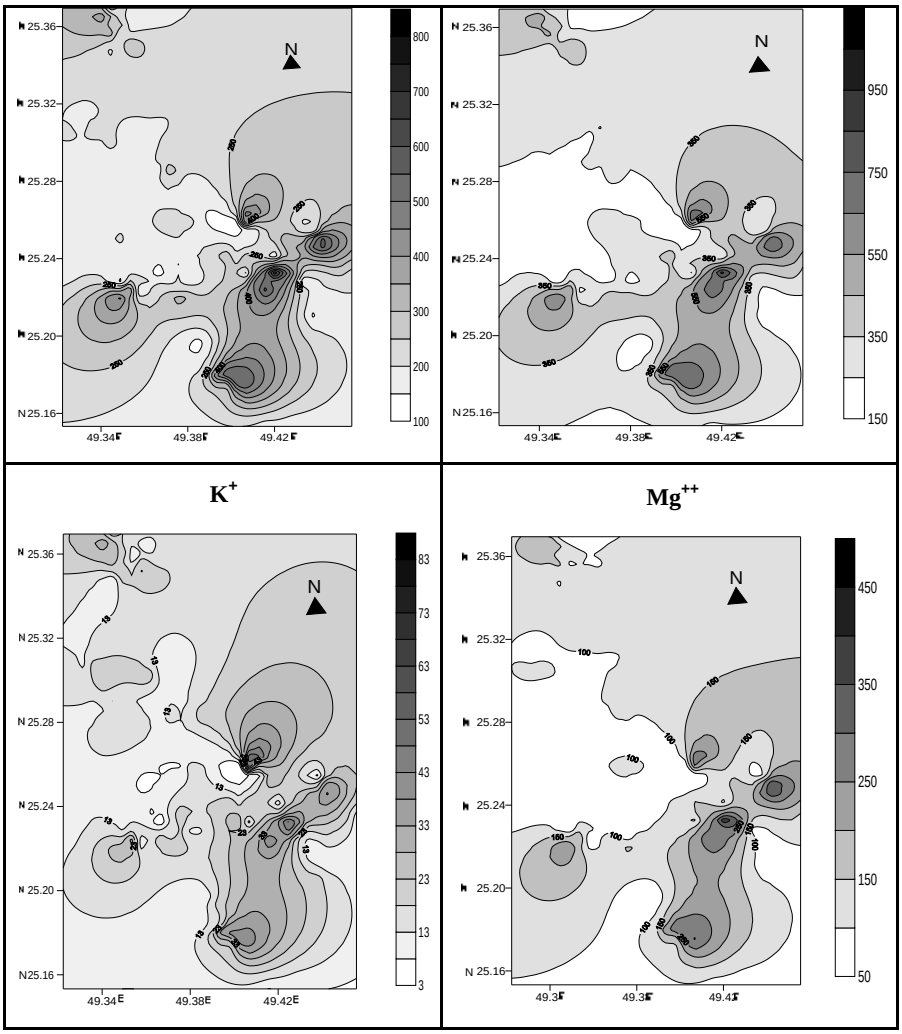
تقترن التغيرات لتراكيز مكونات ملوحة مياه الري من الأيونات باختلاف نمط توزيعها المكاني على نطاق واحة الأحساء كما يتضح من الشكلين (4 - أ، التوزيع المكاني للأيونات الموجبة) و(4 -ب، التوزيع المكاني للأيونات السالبة)، حيث يلاحظ من هذين الشكلين التماثل الكبير للتوزيع المكاني لقيم الأيونات الموجبة (شكل 4 - أ) مع قيم الناقلية الكهربائية EC لمياه الري (شكل 3) في الواحة، خاصة أيونات الكالسيوم ثم أيونات الصوديوم اللذين يكادان يشكلان نمطاً متطابقاً مع ذلك المتعلق بتوزع قيم EC. أما فيما يتعلق بالأيونات السالبة (شكل4 - ب)، فيلاحظ وجود تطابق كبير بين نمط توزع أيونات الكلور وقيم EC فقط ويعود ذلك إلى الحركية العالية لأيونات الكلور وسهولة انحلاليه أملاحه، لذلك يكون من الصعب تشكل أملاح الكلور إلا في تراكيز عالية (عتبات إشباع

عالية لفلزاته). بينما لم يظهر نمط توزع أيونات الكبريتات والبيكربونات وجود تشابه كبير مع نمط توزع قيم EC، والذي يمكن إيعازه جزئياً إلى حدوث عمليات ترسيب لفلز الجص $CaSO_4.2H_2O$أو فلز الأيبسوميت $MgSO_4.7H_2O$ بالنسبة للكبريتات، وترسيب الفلزات الكربوناتية بالنسبة للبيكربونات مثل:(الكالسيت$CaCO_3$،الأراغونيت $CaCO_3$ والدولوميت$(Ca,Mg)CO_3)_2$).

تحدد التغيرات في تركيز مكونات ملوحة مياه الري بواحة الأحساء نوعية هذه المياه التي تتراوح بين عالية الملوحة (C3) إلى العالية جداً (C4) وبين المياه الصودية منخفضة الخطورة (S1) إلى المتوسطة (S2) حسب تصنيف الإدارة الزراعية بالولايات المتحدة الأمريكية (United States Department of Agriculture,USDA) (Richards,1954) وبمتوسط عام يقع ضمن الصنف C4-S2 (جدول 2). تختلف هذه الأصناف لنوعية المياه في تكرار انتشارها في الواحة، حيث يسود الصنف الملحي C3 (65.47%) والصنف الصودي S1 (61.87%) (جدول 2). تشير هذه النتائج إلى عملية تملح تحدث في مياه الري الجوفية في الواحة مما ينذر بتدهور نوعيتها. كما تقترن هذه القيم المتباينة لنوعية مياه الري في الواحة باختلاف توزعها على نطاق الواحة الزراعي خاصة فيما يتعلق بقيمتي SAR وESP والذي يمكن ملاحظته في الشكل (6). يفسر ذلك غالباً، بأنه نتاج عملية تراكمية دورية ومستمرة، تنتج عن شدة عمليات التبخر لمياه الري في الواحة بحيث يتم تشكل أملاح الصوديوم مثل (الهاليت NaCl والثناردیت Na_2SO_4)، التي يتم إعادة انحلالها في مياه الري التالية وهكذا.....

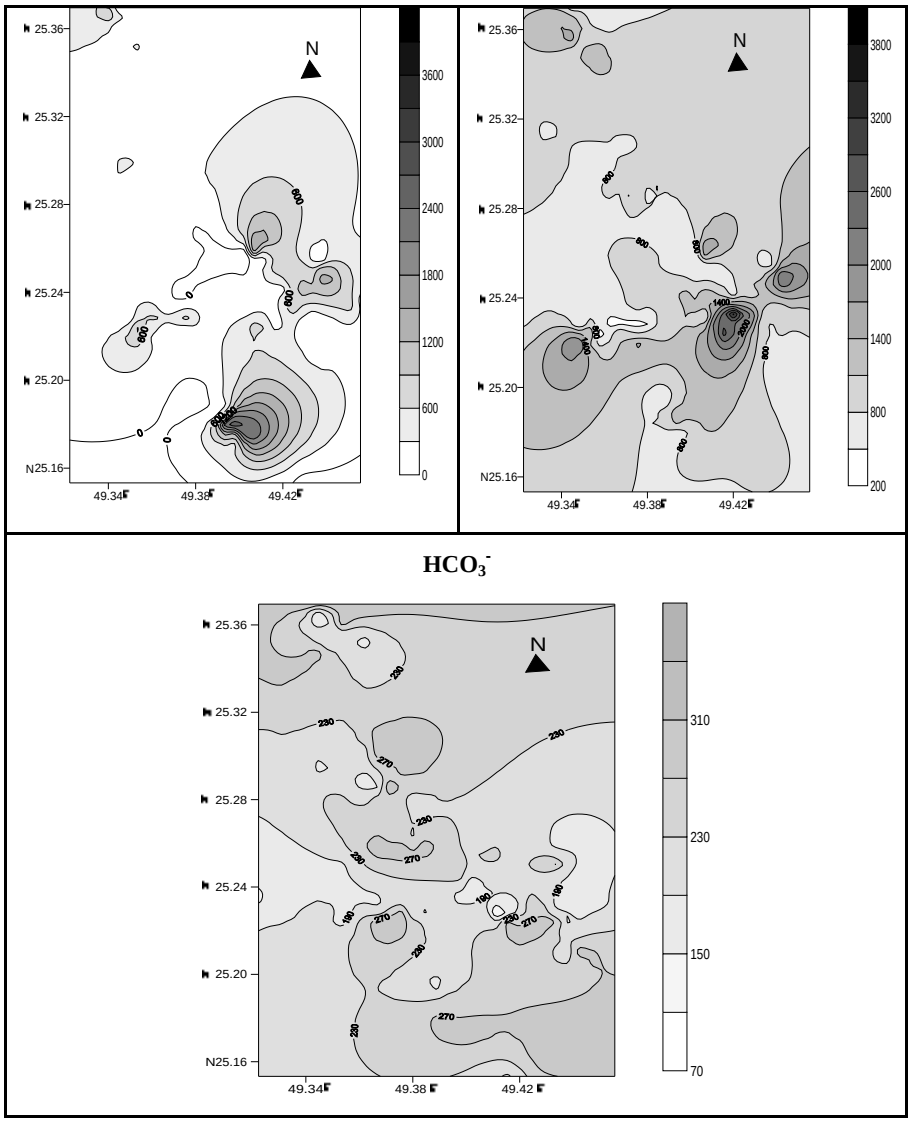
يلاحظ من الشكل (6) تغيرات القيمتين SAR وESP، التي تزداد قيمها من أطراف واحة الأحساء الجنوبية والجنوبية الغربية إلى أطرافها الشمالية الشرقية، مع وجود بعض القيم العالية نسبياً في الوسط والأطراف الشمالية الغربية. يتماثل هذا النمط في توزع هاتين الصفتين لمياه الواحة بشكل واضح مع نمط توزع قيم EC (شكل 3)، الأمر الذي يشير بدوره إلى أن تدهور نوعية مياه الري الجوفية في مواقع التراكيز المرتفعة، وقد يعود ذلك بتفسيره، لكون هذه المناطق ذات التراكيز المرتفعة تعدُّ من أكثر مناطق الواحة استنزافاً جائراً للمياه الجوفية.

Ca^{++}	Na^{+}



الشكل (4 - أ) التوزع المكاني لتراكيز الأيونات الموجبة لمياه الري في واحة الأحساء لعام 2003.

SO_4^{--}	Cl^-



الشكل (4 - ب) التوزع المكاني لتراكيز الأيونات السالبة لمياه الري في واحة الأحساء لعام 2003.

على العكس من ذلك، أظهرت نتائج التغيرات المكانية لقيم (pH) لمياه الري في واحة الأحساء وجود تغيرات طفيفة، تراوحت بين 6.75 و7.90 مع متوسط عام بلغ 7.43 ±0.22 (جدول 1). يتضح هذا التغير الطفيف أيضاً من القيمة المنخفضة لمعامل الاختلافات لقيم تحليل عينات المياه والتي بلغت 2.92% (جدول 1)، كما يقترن هذا التغير في قيم pH بتوزيع مكاني شبه متماثل على نطاق الواحة والذي يمكن التحقق منه من الشكل (7). تشير نتائج قيم pH إلى أن مياه الري في واحة الأحساء تتراوح بين قليلة الحمضية والقاعدية المنخفضة، مما يعني أنها تقع ضمن النطاق العام لمعظم المياه الجوفية وأنها مناسبة لاستزراع معظم النباتات.

الجدول (2) توعية مياه الري في واحة الأحساء حسب تصنيف الإدارة الزراعية في الولايات المتحدة الأمريكية (USDA) (Richards, 1954).

القيمة	(EC)				(SAR)			
	القيمة	الصنف	نسبة تكرار الصنف (%)	درجة الخطورة	القيمة	الصنف*	نسبة تكرار الصنف (%)	درجة الخطورة
الصغرى	1180.80	**C3**	65.47	عالية	3.04	**S1**	61.87	منخفضة
الكبرى	7372.80	**C4**	34.53	عالية جداً	7.64	**S2**	38.13	متوسطة
المتوسط	**2487.88**	**C4**		عالية جداً	4.31	**S2**		متوسطة

* حُدّد هذا الصنف بناءً على قيمة SAR الموضحة بالجدول وما يقابلها من قيمة EC لعينة مياه الري نفسها.

كذلك أيضاً أظهرت قياسات درجة حرارة مياه الآبار المدروسة تبدلات طفيفة وتوزعاً شبه متماثل في الواحة، حيث تراوحت قيمها بين 29.3 إلى 32.7مْ (جدول 3)،علماً أن بعض الدراسات السابقة كانت قد سجلت ارتفاعاً لدرجة حرارة بعض العيون مثل: (عين نجم، عين الحارة، عين الحويرات ....) التي تنبع من أعماق تتراوح بين 35و45م، وصل إلى41مْ إذ تعدُّ هذه الدرجة غير اعتيادية، وقد تفسر بأنها ناجمة عن اختلاط مياه هذه العيون والمستمدة من حامل النيوجين المائي مع مياه بعض الحوامل المائية الأعمق منه (رجب،1990).

الجدول (3) نتائج تحليل عينات مياه آبار الري في واحة الأحساء لعام 2003م.

ESP %	SAR	HCO_3^-	SO_4^{--}	Cl^-	Ca^{++}	Mg^{++}	K^+	Na^+	EC	pH	الحرارة C	الموقع		رقم البئر
		mg/L							µS/Cm			Y-Coord.	X-Coord.	
5.32	4.66	284.7	668.3	975.2	330.7	142.3	19.6	402.5	2949.1	7.7	29.8	25.4167	49.7213	01
6.54	5.60	244.0	927.0	1134.7	352.7	178.8	19.6	517.5	3539.2	7.5	30.1	25.4148	49.7099	02
6.74	5.75	203.4	1072.0	945.6	324.6	165.4	27.4	510.6	3348.5	7.3	29.6	25.4024	49.7152	03
4.57	4.10	223.7	361.8	709.2	196.4	103.4	19.6	285.2	1996.8	7.5	29.9	25.4137	49.6854	04
5.86	5.08	203.4	805.3	709.2	252.5	122.8	27.4	393.3	2566.4	7.5	29.3	25.4189	49.6948	05
7.25	6.16	183.0	1745.1	1920.8	627.3	339.3	31.3	770.5	5984.0	7.4	29.8	25.4146	49.7331	06
4.88	4.33	203.2	342.9	809.6	214.4	105.8	15.6	310.5	2131.2	7.5	30.6	25.4270	49.7198	07
4.73	4.22	203.4	323.7	857.0	212.4	120.4	11.7	310.5	2191.4	7.5	29.8	25.4244	49.6148	08
9.12	7.65	183.0	2339.1	2216.3	681.4	408.6	82.1	1023.5	7308.8	7.6	31.1	25.4342	49.6781	09
4.34	3.93	223.9	513.4	531.9	192.4	94.8	15.6	266.8	1879.0	7.5	30.8	25.4141	49.6657	10
3.86	3.58	203.4	85.8	797.9	194.4	87.6	11.7	239.2	1767.7	7.8	30.2	25.4806	49.5620	11
3.93	3.63	183.0	279.1	709.2	218.4	82.7	11.7	248.4	1843.8	7.6	30.4	25.4166	49.5865	12
3.84	3.56	223.7	10.2	620.6	142.3	62.0	15.6	202.4	1368.3	7.5	31.3	25.3764	49.5795	13
4.15	3.79	203.4	152.1	656.0	152.3	83.9	11.7	234.6	1600.0	7.5	29.9	25.3819	49.6378	14
6.48	5.55	244.0	239.0	1270.7	304.6	115.5	23.5	448.5	2867.8	7.4	29. 9	25.4037	49.6653	15
7.47	6.33	183.0	1349.6	2039.0	529.1	344.1	31.3	761.3	5670.4	7.4	29.5	25.3804	49.6831	16
4.40	3.98	172.7	38.6	768.3	142.3	86.3	19.6	243.8	1619.2	7.7	31.6	25.3819	49.7219	17
3.91	3.61	223.7	0.1	650.1	138.3	70.5	7.8	209.3	1408.0	7.5	30.5	25.3528	49.7319	18
5.76	5.00	183.0	702.8	945.6	266.5	156.9	15.6	416.3	2835.2	7.7	32.1	25.3903	49.7567	19
6.02	5.20	183.0	893.4	1063.8	314.6	180.0	31.3	466.9	3302.4	7.5	29.7	25.3969	49.7343	20
6.05	5.22	223.7	987.7	1389.0	414.8	225.0	35.2	531.3	4057.6	7.4	29.9	25.6114	49.5717	21
4.64	4.15	203.2	258.9	797.9	206.4	98.5	11.7	289.8	1998.1	7.5	30.6	25.5923	49.5893	22
3.41	3.25	223.7	244.2	644.3	190.4	92.4	11.7	218.5	1722.9	7.5	31.2	25.4867	49.5979	23
3.91	3.62	244.0	105.7	709.2	182.4	79.0	19.6	232.3	1676.8	7.5	31.9	25.4676	49.5855	24
5.19	4.56	244.0	3.2	1093.4	222.4	110.7	11.7	333.5	2233.6	7.6	30.9	25.5248	49.6119	25
3.68	3.44	203.4	33.5	786.1	164.3	97.3	11.7	225.4	1676.8	7.3	30.7	25.3721	49.7271	26
3.93	3.63	203.4	142.5	762.4	192.4	91.2	3.9	243.8	1779.2	7.4	31.2	25.4236	49.7291	27
4.05	3.71	223.9	19.2	827.3	170.3	94.8	19.6	243.8	1753.6	7.5	29.8	25.4926	49.5687	28
4.27	3.88	203.4	210.9	679.7	166.3	87.6	23.5	248.4	1721.0	7.4	29.4	25.5026	49.6043	29
3.76	3.50	183.0	33.6	691.5	144.3	80.3	7.8	211.6	1484.8	7.7	30.0	25.4006	49.6990	30
3.86	3.58	203.4	105.7	768.3	190.4	86.3	11.7	236.9	1740.8	7.3	31.1	25.4294	49.6757	31
4.68	4.18	223.7	174.5	1241.1	272.5	155.6	23.5	349.6	2707.2	7.3	31.7	25.4006	49.6881	32
5.15	4.53	183.0	0.5	1595.7	308.6	175.1	27.4	402.5	3072.6	7.4	29.8	25.3987	49.6760	33
3.70	3.46	183.0	74.4	824.4	182.4	100.9	7.8	234.6	1779.2	7.7	32,7	25.4767	49.6121	34
6.61	5.66	223.7	429.1	2127.6	472.9	259.0	35.2	616.4	4646.4	7.3	30.8	25.3722	49.6890	35
7.50	6.36	284.9	300.8	2718.6	571.1	305.2	43.0	756.7	5606.4	7.3	30.4	25.3724	49.6922	36
7.65	6.47	264.4	526.7	3102.8	621.2	406.1	62.6	844.1	6579.2	7.3	29.7	25.3854	49.7080	37
4.30	3.90	181.2	0.2	738.8	176.4	55.9	11.7	232.3	1523.2	7.6	30.5	25.3718	49.7298	38
4.26	3.87	203.4	17.1	1119.8	232.5	128.9	7.8	296.7	2257.3	7.5	30.6	25.3912	49.7594	39
7.23	6.14	183.0	1107.9	2511.8	613.2	378.2	43.0	784.3	6201.6	7.2	30.6	25.4148	49.7371	40
7.45	6.32	175.2	1098.7	2412.5	532.7	394.2	42.7	742.8	5446.4	7.4	30.8	25.3881	49.7031	41
5.71	4.96	203.2	755.8	1270.7	372.7	184.8	27.4	469.2	3513.6	7.7	29.1	25.4107	49.7215	42
4.73	4.22	203.2	914.3	472.8	232.5	119.2	19.6	317.4	2284.8	7.5	31.7	25.3857	49.7031	43

يتبع الجدول (3)...

4.17	3.80	183.0	470.7	620.6	198.4	105.8	11.7	266.8	1939.2	7.4	29.8	25.3760	49.5867	44
3.90	3.61	183.0	222.5	679.7	178.4	90.0	7.8	236.9	1715.2	7.6	29.9	25.4168	49.5895	45
7.42	6.29	122.0	688.4	2186.7	499.0	265.1	35.2	699.2	4992.0	7.8	30.5	25.3755	49.5900	46
4.44	4.01	142.2	29.8	886.5	172.3	92.4	15.6	262.2	1788.8	7.6	31.4	25.6122	49.5753	47
3.13	3.04	183.0	40.3	518.1	124.2	60.8	3.9	165.6	1180.8	7.7	29.7	25.3882	49.6106	48
6.40	5.49	79.3	17.9	2098.1	420.8	189.7	27.4	540.5	3893.8	7.1	30.6	25.3807	49.6863	49
3.83	3.55	203.4	35.2	721.0	172.3	73.0	7.8	220.8	1561.6	7.6	30.9	25.4209	49.5910	50
3.74	3.49	183.0	11.0	555.7	124.2	55.9	7.8	186.3	1209.6	7.7	31.2	25.3270	49.6446	51
4.78	4.26	284.7	95.3	1152.5	258.5	132.5	27.4	338.1	2505.6	7.6	32.0	25.3766	49.6126	52
3.66	3.43	183.0	69.3	857.0	190.4	103.4	11.7	236.9	1831.0	7.3	30.8	25.4052	49.6683	53
8.44	7.10	183.0	345.8	3723.3	743.5	419.5	43.0	977.5	7372.8	7.2	29.8	25.3866	49.7016	54
7.26	6.16	183.0	507.5	2334.5	511.0	278.5	27.4	696.9	5081.6	7.4	29.9	25.3708	49.5794	55
3.80	3.53	223.7	31.5	857.0	198.4	94.8	11.7	241.5	1823.4	7.4	29.7	25.4370	49.6339	56
3.97	3.66	183.0	110.5	797.9	178.4	96.1	11.7	243.8	1779.2	7.3	30.5	25.3819	49.6406	57
3.44	3.27	203.4	79.9	508.3	134.3	57.2	3.9	179.4	1237.1	7.8	31.4	25.3708	49.5958	58
6.22	5.35	223.7	1375.3	531.9	308.6	138.6	31.3	450.8	3027.2	7.7	31.1	25.3708	49.5914	59
3.90	3.60	183.0	107.3	679.7	166.3	75.4	7.8	223.1	1561.6	7.7	30.9	25.2555	49.6925	60
4.06	3.72	142.2	25.8	721.0	160.3	64.4	11.7	220.8	1484.8	7.6	29.4	25.3884	49.5372	61
3.25	3.13	183.0	117.2	656.0	164.3	83.9	7.8	197.8	1532.2	7.4	29.0	25.3855	49.5372	62
5.83	5.05	264.4	875.7	827.4	284.6	153.2	23.5	425.5	2937.6	7.1	30.3	25.4294	49.6795	63
3.89	3.60	246.1	8.0	868.8	184.4	103.4	7.8	246.1	1836.8	7.6	29.8	25.4293	49.6829	64
4.03	3.70	137.3	47.1	945.7	202.4	99.7	15.6	257.6	1913.6	7.7	29.6	25.4019	49.6671	65
5.44	4.75	183.0	168.1	1152.5	264.5	111.9	27.4	365.7	2496.0	7.2	31.2	25.3888	49.6702	66
3.75	3.50	183.0	209.7	650.1	178.4	82.7	7.8	225.4	1644.8	7.5	30.7	25.3891	49.6756	67
3.50	3.31	223.9	139.9	679.7	190.4	80.3	11.7	216.2	1648.0	7.7	30.7	25.4748	49.6125	68
4.96	4.40	183.0	392.2	827.4	232.5	102.1	23.5	319.7	2208.0	7.6	30.2	25.4928	49.5719	69
4.48	4.03	183.0	19.2	975.2	198.4	102.1	15.6	280.6	1977.6	7.6	29.6	25.5119	49.5484	70
4.08	3.74	223.9	91.3	797.9	174.3	100.9	7.8	250.7	1796.5	7.8	30.0	25.5110	49.5524	71
4.57	4.10	183.0	232.5	886.5	218.4	104.6	19.6	294.4	2101.8	7.5	31.2	25.5114	49.5552	72
4.64	4.15	213.5	17.6	1004.7	206.4	105.8	15.6	294.4	2060.8	7.5	30.7	25.5104	49.5488	73
4.72	4.21	183.0	245.0	797.9	206.4	88.8	19.6	287.5	1958.4	7.6	30.6	25.3216	49.6520	74
5.63	4.90	264.4	277.0	1241.1	286.6	150.8	19.6	411.7	2886.4	7.7	29.9	25.3162	49.6557	75
6.08	5.24	213.5	465.9	1329.8	332.7	162.9	15.6	466.9	3244.8	7.4	30.4	25.3071	49.6578	76
7.03	5.98	203.4	874.3	2245.8	551.1	323.5	27.4	715.3	5431.7	7.0	31.2	25.4353	49.6346	77
3.76	3.50	183.0	216.6	585.1	176.4	68.1	7.8	216.2	1536.6	7.2	31.1	25.3703	49.7285	78
3.96	3.65	183.0	115.3	720.9	184.4	74.2	11.7	232.3	1646.7	7.5	30.5	25.4273	49.7232	79
3.22	3.11	183.0	115.8	490.4	122.2	63.2	19.6	170.2	1231.4	7.4	30.4	25.3507	49.7325	80
3.72	3.48	183.0	227.5	561.5	164.3	70.5	15.6	211.6	1508.5	7.6	30.2	25.4273	49.7265	81
4.36	3.95	298.9	87.4	864.5	210.4	100.9	7.8	278.3	1990.4	7.1	29.9	25.4300	49.6117	82
4.52	4.07	292.2	156.6	952.1	238.5	115.5	7.8	305.9	2233.6	7.2	29.7	25.4308	49.6282	83
4.47	4.03	261.1	174.3	882.6	216.4	110.7	7.8	292.1	2099.2	6.9	30.1	25.4327	49.6225	84
3.74	3.48	298.3	173.9	659.2	188.4	90.0	7.8	232.3	1734.4	7.1	30.8	25.5210	49.6134	85
4.67	4.18	298.9	120.6	1120.2	279.0	124.0	15.6	333.5	2496.0	7.1	29.8	25.4759	49.6181	86
4.74	4.23	286.7	22.5	994.0	244.9	88.8	19.6	303.6	2124.8	7.3	29.7	25.3712	49.6273	87
6.1	5.25	278.8	208.5	1510.2	338.7	165.4	19.6	471.5	3296.0	6.8	29.9	25.3691	49.6278	88

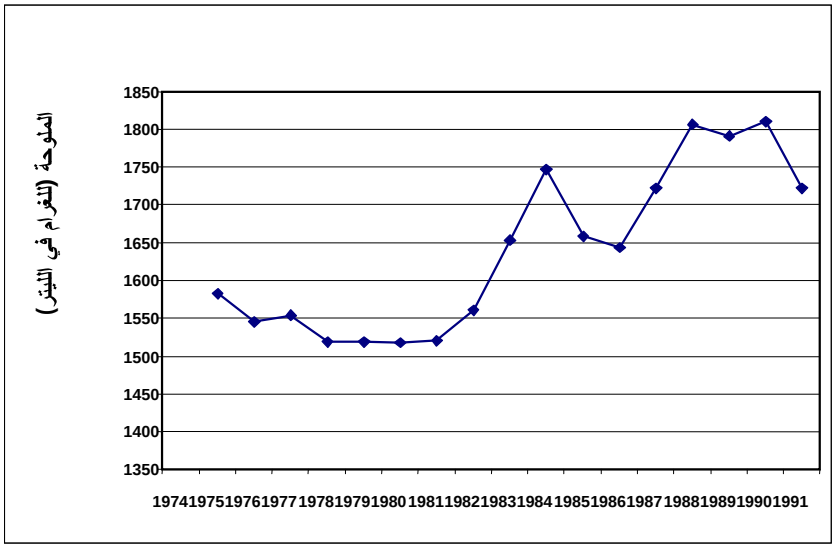
يتبع الجدول (3)...

5.07	4.48	303.2	306.0	775.1	212.4	102.1	15.6	317.4	2124.8	7.4	30.4	25.3766	49.6154	89
8.22	6.93	262.3	3737.5	538.4	637.3	325.9	46.9	862.5	6227.2	7.2	30.5	25.3040	49.6584	90
4.91	4.35	274.5	472.6	846.1	246.5	130.1	15.6	339.4	2444.8	7.7	29.9	25.3040	49.6500	91
5.11	4.50	288.6	375.0	934.8	258.5	124.0	19.6	351.9	2489.6	7.2	29.4	25.2896	49.6662	92
7.39	6.26	284.9	2542.1	1106.4	569.1	322.2	43.0	754.4	5683.2	7.2	30.2	25.2902	49.6719	93
5.02	4.44	303.2	302.1	763.8	224.4	92.4	15.6	312.8	2099.2	7.2	30.2	25.6135	49.5725	94
4.11	3.76	262.3	92.2	704.9	162.3	87.6	15.6	239.2	1670.4	7.1	30.5	25.6148	49.5747	95
4.68	4.19	298.9	290.6	746.4	224.4	91.2	19.6	294.4	2048.0	7.2	29.8	25.6158	49.5789	96
4.30	3.90	278.8	61.5	799.6	184.4	92.4	7.8	259.9	1817.6	7.2	29.9	25.5807	49.5753	97
4.33	3.92	268.4	144.1	748.2	186.4	92.4	11.7	262.2	1824.0	7.3	30.0	25.5222	49.5526	98
4.51	4.06	244.0	295.4	824.4	226.5	108.2	11.7	296.7	2137.6	7.4	30.4	25.4768	49.6308	99
3.572	3.37	245.9	277.1	712.7	216.4	100.9	15.6	239.2	1913.6	7.3	30.5	25.4767	49.6336	100
3.572	3.37	282.5	176.3	762.4	208.4	105.8	11.7	239.2	1907.2	7.0	30.8	25.4767	49.6354	101
3.76	3.50	286.7	112.4	835.4	204.4	111.9	11.7	250.7	1958.4	7.3	29.6	25.4746	49.6336	102
4.21	3.83	250.1	171.6	852.0	210.4	107.0	23.5	273.7	2028.8	7.3	29.6	25.4746	49.6361	103
3.40	3.24	268.4	1.0	729.8	172.3	87.6	7.8	209.3	1600.0	7.1	29.8	25.5028	49.6073	104
4.54	4.08	292.8	152.4	852.0	204.4	108.2	11.7	289.8	2048.0	7.0	30.4	25.5024	49.6109	105
3.39	3.23	204.4	23.6	810.6	178.4	97.3	15.6	216.2	1708.8	7.5	30.7	25.4721	49.6345	106
4.91	4.36	156.2	11.7	964.4	188.4	92.4	11.7	292.1	1920.0	7.5	30.2	25.4841	49.6001	107
3.59	3.38	192.2	19.2	831.5	190.4	88.8	15.6	225.4	1728.0	7.1	31.1	25.3707	49.7344	108
5.11	4.50	303.8	229.6	1082.9	258.5	138.6	11.7	361.1	2579.2	7.4	30.6	25.3749	49.7181	109
4.88	4.33	260.5	181.6	909.5	222.4	104.6	15.6	312.8	2156.8	7.2	30.4	25.3757	49.7246	110
3.54	3.34	244.0	26.9	731.9	176.4	81.5	15.6	213.9	1612.8	7.4	29.7	25.3837	49.6783	111
4.31	3.91	250.1	98.5	902.5	194.4	115.5	11.7	278.3	2022.4	7.2	29.8	25.4332	49.6352	112
4.52	4.07	268.4	27.4	940.8	196.4	107.0	19.6	285.2	2016.0	7.5	31.1	25.4319	49.6360	113
3.39	3.24	241.0	4.8	828.0	194.4	96.1	7.8	220.8	1753.6	7.5	30.4	25.4386	49.6379	114
4.27	3.88	286.7	28.8	865.2	196.3	98.5	11.7	266.8	1900.8	7.5	31.2	25.4363	49.6386	115
5.726	4.97	225.7	375.6	1300.7	310.6	162.9	15.6	434.7	3084.8	7.2	30.7	25.5885	49.5916	116
3.5	3.33	183.0	266.1	622.7	170.3	94.8	11.7	218.5	1670.4	7.6	30.7	25.4897	49.5753	117
5.93	5.13	225.7	121.7	1211.6	246.5	124.0	27.4	395.6	2585.6	7.6	30.5	25.5900	49.5942	118
6.30	5.41	183.0	318.9	1151.0	292.6	103.4	23.5	423.2	2694.4	7.5	30.5	25.5989	49.5840	119
5.91	5.11	183.0	67.2	1329.8	264.5	127.7	23.5	404.8	2681.6	7.8	30.1	25.5974	49.5768	120
4.61	4.13	231.8	86.5	1063.8	230.5	124.0	11.7	312.8	2278.4	7.8	29.8	25.5984	49.5867	121
6.28	5.40	244.0	129.7	1507.1	314.6	153.2	23.5	466.9	3148.8	7.9	29.7	25.5951	49.5774	122
3.45	3.27	286.7	267.0	597.1	194.4	91.2	11.7	220.8	1734.4	7.7	29.9	25.3507	49.7365	123
6.77	5.78	201.3	245.0	1684.4	352.7	175.1	31.3	531.3	3577.6	7.3	30.1	25.5912	49.5778	124
3.53	3.33	183.0	175.8	551.0	142.3	75.4	11.7	197.8	1420.8	7.6	30.4	25.5879	49.5789	125
4.60	4.12	149.5	10.1	1004.9	216.4	88.8	23.5	285.2	1984.0	7.6	30.5	25.5906	49.5984	126
6.21	5.34	201.3	310.6	1359.3	274.5	167.8	31.3	455.4	3078.4	7.7	30.6	25.5849	49.5795	127
3.69	3.45	244.0	238.5	738.8	202.4	107.0	11.7	243.8	1907.2	7.5	30.9	25.5991	49.6073	128
3.56	3.36	298.9	7.7	799.3	178.4	103.4	11.7	227.7	1766.4	7.8	29.8	25.6023	49.5878	129
3.74	3.49	244.0	89.3	838.3	198.4	104.6	15.6	243.8	1888.0	7.1	29.6	25.5991	49.6109	130
5.82	5.04	173.9	8.8	1388.9	278.6	124.0	23.5	402.5	2700.8	7.6	29.9	25.5995	49.5740	131
5.15	4.53	197.7	8.6	1017.0	202.4	96.1	19.6	312.8	2054.4	7.4	30.0	25.5938	49.5810	132
4.89	4.34	201.3	1.9	987.9	210.4	87.6	23.5	296.7	1996.8	7.1	30.3	25.3916	49.6242	133
4.49	4.04	286.7	838.9	295.5	208.4	91.2	19.6	278.3	1952.0	7.7	30.1	25.3809	49.6284	134
3.38	3.23	183.0	510.7	413.7	168.3	91.2	11.7	209.3	1619.2	7.4	29.9	25.3816	49.6321	135
3.294	3.16	201.3	576.4	266.0	166.3	70.5	11.7	193.2	1459.2	7.2	29.5	25.3788	49.6140	136
4.82	4.29	225.7	675.6	472.8	206.4	91.2	15.6	294.4	1990.4	7.1	30.2	25.3797	49.6052	137
4.57	4.10	223.7	838.9	325.1	196.4	96.1	15.6	280.6	1939.2	7.2	30.1	25.3751	49.5952	138

4.81	4.28	292.8	57.6	886.5	202.4	94.8	11.7	294.4	1984.0	7.3	29.7	25.2666	49.7143	139

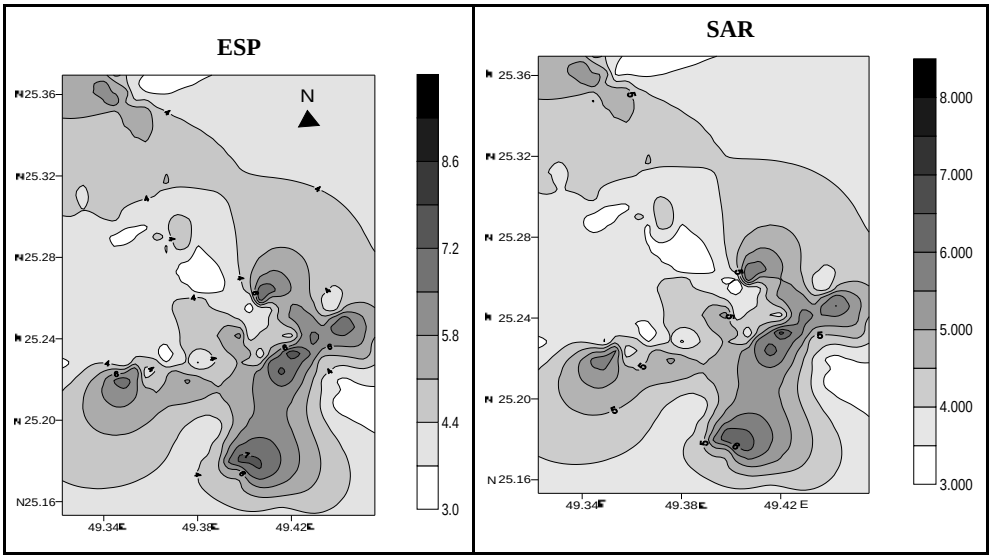
المناقشة والاستنتاج

دلت النتائج المستخلصة على أن المياه الجوفية المستخدمة لأغراض الري في واحة الأحساء تميزت بتغيرات ملحوظة في نوعيتها زمانياً ومكانياً، خاصة في صفاتها المتعلقة بالملوحة الكلية (EC) ومكوناتها من الأيونات الموجبة والسالبة(K^+,Na^+,Ca^{++},Mg^{++}& Cl^-,HCO_3^{--},SO_4^{--}) وقيم المعاملات المميزة الأخرى(SAR وESP). فمن حيث الزمان وضحت دراسة (Abderrahman,1990) للنمط التاريخي لملوحة مياه الري في واحة الأحساء أن قيم ملوحة مياه حامل النيوجين في الواحة لم يطرأ عليها خلال الفترة من 1951 إلى 1976 أي تغير واضح، وتراوحت قيمها بين 1336 - 1515ملغ/ ل، زيادة في القيم المتوسطة لملوحة مياه حامل النيوجين بلغت 23% حسب تقديرات عام 1981 ثم زيادة أخرى وبنسبة بلغت 77% في عام 1987. يبين نمط تغير قيم ملوحة مياه حامل النيوجين الجوفي في واحة الأحساء بين عامي1975 و1991 (الشكل 5) والتي بلغت نسبتها المئوية قرابة 13%، مع الأخذ بالحسبان وجود نوع من التذبذب ارتفاعاً أو انخفاضاً خلال هذه الفترة. كما يتضح من هذا الشكل أيضاً عدم وجود اختلافات جوهرية لقيم الملوحة بين عامي1975و1982، في حين أن قيم الملوحة أخذت في الازدياد بين عامي 1982 و1991 مع وجود انخفاض جزئي في الأعوام 1985 و1986 و1989 قد يكون ناتجاً عن ازدياد كميات الهطولات المطرية. تشير نتائج الدراسة الحالية إلى تزايد قيم الملوحة، حيث بلغت القيم المتوسطة للناقلية الكهربائية2488µS/cm.



الشكل (5) النمط التاريخي لملوحة مياه الري في واحة الأحساء بين عامي 1975 -1991.

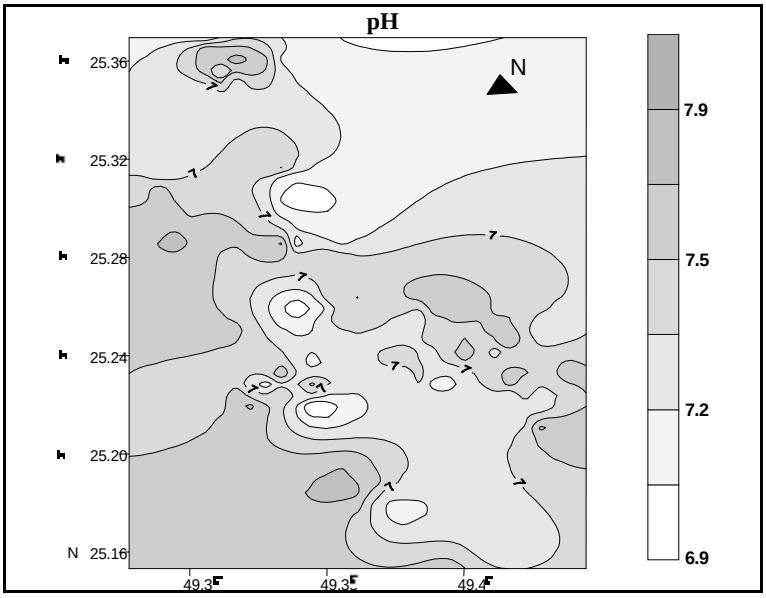
تبدي التغيرات المكانية لقيم الملوحة تزايداً من الأطراف الجنوبية والجنوبية الغربية إلى الأطراف الشمالية والشمالية الشرقية من نطاق الواحة الزراعي. هذا ويمكن أن يعزى تفسير ظاهرة التغيرات المكانية لنوعية المياه الجوفية في واحة الأحساء إلى عدة أسباب منها: زيادة كمية الأملاح الذائبة بفعل جريان هذه المياه في الطبقات الجوفية، أو بسبب زيادة تراكيز الأملاح الذائبة نتيجة لاستنزاف المياه الجوفية بسبب الضخ الجائر، أو نتيجة اختلاط مياه الحامل النيوجيني مع مياه حوامل مائية أعمق ذات ملوحة عالية. فقد أشار العديد من الباحثين سابقاً إلى مثل هذا الاتجاه في نمط ارتفاع قيم ملوحة المياه الجوفية في الواحة والذي ينسجم مع الاتجاه العام لجريان هذه المياه في حامل النيوجين المائي (رجب، 1990؛ القصيبي والمديني، 2000 و Tayeb, 1983; Italconsult, 1969; HARC, 1974, 1975, 1976, 1979; BRGM,1977 ; AL-Mahmoud, 1987).



الشكل (6) التوزع المكاني لقيم الـ SAR والـ ESP لمياه الري في واحة الأحساء2003.

أيضاً يجب أن لا نستبعد احتمال تأثير عمليات الضخ الجائر للمياه الجوفية من حامل النيوجين في طغيان وغزو مياه الخليج البحرية المالحة، وهذا ما قد يفسر درجة الملوحة العالية في البئر رقم 9 الأقرب لشاطئ الخليج العربي.

يبرز دور الاحتمال الأول في أن المياه الجوفية لحامل النيوجين تقطع مئات الكيلومترات من مناطق تغذيتها التي تقع غربي الواحة وصولاً إلى الحدود الشمالية والشمالية الشرقية للواحة (رجب، 1990) ضمن طبقات تتألف بشكل رئيس من الحجر الكلسي، والحجر الكلسي الغضاري والحجر الكلسي الحواري وبشكل ثانوي من الحجر الرملي الغضاري (الطاهر،1999). أما بما يتعلق بالاحتمال الثاني، فقد أظهرت الدراسات التي أجريت على مناسيب المياه لحامل النيوجين في الواحة بأنها تعاني هبوطاً وانخفاضاً مستمراً، تراوح هذا الانخفاض من 143 متراً (فوق سطح البحر) في عام 1974 إلى 137 متراً في عام 1991 أي بنسبة 4% (الدخيل والسفرجلاني، 2005).علماً أن انخفاض مناسيب مياه حامل النيوجين تتفاوت في واحة الأحساء، فبينما بلغ مقدار انخفاضها في آبار منطقة الهفوف ومنطقة الغويبة" الأجزاء المركزية والجنوبية من واحة الأحساء"بين عامي 1978 -1984م قرابة الـ 0.3 م، بلغ جنوب شرقي الواحة قرب قرية الجشة 2.5م. يعزى هذا الهبوط لمستوى المياه الجوفية إلى الاستهلاك غير المرشد والجائر لها، إضافة إلى الكميات الكبيرة من المياه التي تفقد بالبخر في مناطق السبخات (رجب، 1990). أشار الدخيل والسفرجلاني (2005) إلى وجود علاقة ارتباط إيجابية (r^2=0.61 عند مستوى 5%) في الفترة بين عامي 1975 و1991بين انخفاض مستوى المياه الجوفية وزيادة ملوحتها في الواحة، وعلى الرغم من أن قيمة هذه العلاقة قد تبدو صغيرة، إلا أنها تكون ذات أهمية عالية لدى الأخذ في الحسبان أن مثل هذه العلاقة تخضع لتأثيرات مجموعة عوامل والتي من أهمها معدلات الهطولات المطرية التي تعدُّ غير منتظمة ومتذبذبة في واحة الأحساء كما سبقت الإشارة إليه آنفاً (النعيم، 2005). بينت الدراسات أيضاً أن انخفاض مستوى مياه طبقة النيوجين في واحة الأحساء يزداد من الأطراف الغربية باتجاه الأطراف الشرقية التي تتميز أيضاً بناقلية ضعيفة (low transmissivity) علماً أن عمق مناسيب المياه الجوفية تقع بين 160 و130م فوق سطح البحر(AL-Mahmoud, 1987)، مما يشير إلى بطء حركة المياه الجوفية في الجهة الشرقية من الواحة وهذا ما قد يساعد على زيادة فرصة تراكم الأملاح فيها. ويمكن أن يعزى السبب إلى احتمالين هما: وفرة فلز الجص المترافق مع الصخور النيوجينية في الجانب الشرقي من الواحة، أو إلى إمكانية طغيان المياه المالحة البحرية من الجهة الشرقية للواحة أيضاً بفعل عمليات الضخ المتزايدة الجائرة.



الشكل (7) التوزع المكاني لقيم الـــpH لمياه الري في واحة الأحساء 2003.

أشار عثمان (1983) إلى تعرض طبقة النيوجين في واحة الأحساء إلى عمليتين إحداهما تغذية مباشرة مصدرها مياه الأمطار التي تؤدي إلى تحسين نوعيتها والأخرى تغذية غير مباشرة ناجمة عن تسرب مياه الري إليها وتؤدي إلى تدني نوعيتها وارتفاع الملوحة فيها. ويعتقد أن هذا السبب المذكور قد يكون السبب الرئيس وراء ازدياد الملوحة في الواحة. من جهة ثانية أوضحت عدة دراسات سابقة (رجب، 1990؛ الطاهر، 1999) وجود اتصال هيدروليكي بين طبقة النيوجين والطبقات التي تقع إلى الأسفل منها كأم الرضمة، العرمة والخبر وذلك بسبب وجود الكسور والتصدعات التكتونية في الجزء الغربي من الواحة إضافة إلى انتشار الكهوف الكارستية في منطقة العيون بجنوبي غربي الواحة، يؤدي هذا الاتصال الهيدروليكي إلى عملية مزج وخلط لمياه هذه الحوامل المائية الجوفية التي تتباين في خصائصها الكيميائية. فعلى سبيل المثال يتسرب من حامل أم الرضمة (الذي تتميز مياهه بارتفاع تركيز الكبريتات) إلى حامل النيوجين نحو 10% (رجب، 1990)، تلك المساهمة قد تكون السبب أيضاً الذي يفسر التغيرات المكانية بين نمط توزيع الكبريتات وتوزع الملوحة الكلية على نطاق الواحة. كما أكد باحثون آخرون

حدوث هذا الاختلاط بين مياه تلك الطبقات الجوفية في الواحة (الخطيب، 1980؛ الجبر، 2002 و Tayeb, 1983; AL-Mahmoud,1987).

مما سبق، يمكن الاستنتاج أن الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية المستخدمة لأغراض الري تختلف مكانياً على نطاق واحة الأحساء ويعود ذلك للأسباب المذكورة آنفاً. يستنتج أيضاً من هذه الزيادة بتركيز الأملاح الذائبة في مياه الري بالواحة ضرورة اتباع إدارة مائية جيدة تعنى بالحد من مشاكل تملح التربة التي تعدُّ أحد أهم المشاكل الزراعية في الواحة (Al-;Barrak Jenkins,1976;El-Prince,1982; Al-Barrak,1986;Abo-Rady,1987; and Al-Badawi, 1988; Al-Barrak,1990)، مما يحتم على المعنيين بالقطاع الزراعي في الواحة ضرورة الأخذ بالحسبان تأمين الاحتياجات الغسيلية لهذه الأملاح الزائدة في مياه الري والتي يمكن تقديرها بناءً على قدرة المحاصيل النامية على مقاومة الملوحة وملوحة مياه الري (المديني، 2005)، وذلك للمحافظة على التربة الزراعية من التدهور وعلى الموارد المائية من الاستنزاف. ويمكن تأمين مثل هذه الاحتياجات الغسيلية لهذه الأملاح الزائدة في مياه الري عبر إنشاء محطات إزالة ملوحة، أو تعميق طرائق التغذية الصنعية للحوامل المائية الجوفية من خلال إنشاء سدود ترشيحية على المسيلات المائية، فضلاً عن الاستفادة القصوى من المياه الناتجة عن معالجة مياه الصرف الزراعي.

كلمة الشكر

نتقدم بالشكر الجزيل إلى الأستاذ الدكتور زهير قطان، رئيس دائرة هيدرولوجيا النظائر في هيئة الطاقة الذرية بدمشق لتفضله مراجعة هذه الورقة العلمية.

المراجع REFERENCES

1. البراك، سعد بن عبدالله. (1993). خصائص أراضي الأحساء الزراعية. مطابع الحسني الحديثة، الأحساء، المملكة العربية السعودية.
2. الجاسر، حمد. (1399 هـ). المعجم الجغرافي للبلاد العربية السعودية للمنطقة الشرقية (القسم أ - ج). منشورات اليمامة الرياض، المملكة العربية السعودية.
3. الجبر، محمد بن عبد اللطيف. (2002). الوضع الزراعي في واحة الأحساء: عرض للتنمية. مطابع الحميضي.
4. الخطيب، عبد الباسط. (1980). سبع سنابل 1965 -1972: التنمية المائية والزراعية. وزارة الزراعة و المياه، الرياض، المملكة العربية السعودية.
5. الدخيل، يوسف يعقوب. (2001). تقويم مصادر مياه الري في منطقة الأحساء المملكة العربية السعودية، إصدارات مؤتمر الخليج الخامس للمياه. 24 -28 مارس 2001م. الدوحة، دولة قطر .ص 351 -367.
6. الدخيل، يوسف بن يعقوب والسفرجلاني، عبدا لرحمن بن محي الدين. (2005). دراسة النمط التاريخي للتغيرات في جودة مياه ينابيع واحة الأحساء.جامعة الزقازيق،مجلة الإنتاجية والتنمية"للبحوث الزراعية" المجلد10،العدد211،2 -225،الزقازيق،جمهورية مصر العربية.
7. ربيع، جمال حسن. (2003). الأحساء خير ونماء. مركز التدريب وخدمة المجتمع، كلية المعلمين بالأحساء، وزارة التربية والتعليم، المملكة العربية السعودية.
8. رجب، زين العابدين، عبد الرحمن. (1990). واحة الأحساء، دراسة مواردها المائية، وتأثيرها على الاستخدام الريفي للأرض. مطابع الولاء الحديثة، مصر.
9. الرويلي، مفرح معلق عجاج. (2002). دراسة آثار التوسع العمراني على استخدامات الأراضي بواحة الأحساء باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. رسالة ماجستير في علوم الصحراء والأراضي القاحلة تخصص البيئة والموارد الصحراوية، كلية الدراسات العليا، جامعة الخليج العربي، المنامة، مملكة البحرين.
10. الطاهر، عبد الله أحمد سعد. (1999). الأحساء: دراسة جغرافية. مطابع الحسني الحديثة، الأحساء، المملكة العربية السعودية.
11. عثمان، مصطفى نوري. (1983). الماء ومسيرة التنمية في المملكة العربية السعودية. مطبوعات تهامة، جدة، المملكة العربية السعودية.
12. القصيبي، عبدالله بن موسى والمديني، عبدا لرحمن بن محمد. (2000). تقويم نوعية ماء الري في واحة الأحساء واستخداماته الزراعية. المجلة العلمية لجامعة الملك فيصل: العلوم الأساسية والتطبيقية 1 (1): 87 -102.

13. الكويتي، خ. ع.؛ الظفر، م. س و سيد أحمد، س. م. (2002). دور مشروع الري والصرف بالأحساء في المحافظة على واحة الأحساء خلال حكم خادم الحرمين الشريفين. ورقة علمية مقدمة في مؤتمر:"تنمية الموارد المائية والزراعية في عهد خادم الحرمين الشريفين الملك فهد بن عبد العزيز" تنظيم كلية العلوم الزراعية الأغذية، جامعة الملك فيصل، الأحساء، المملكة العربية السعودية.

14. الكويتي، خليفة عبدالله؛ سيد أحمد، صلاح. (2003). الرصد الهيدروجيولوجي لتكوين النيوجين ضمن نطاق مشروع الري والصرف بالأحساء.مؤتمر الخليج السادس للمياه بالتزامن مع الندوة الثانية لترشيد استخدام المياه بالمملكة العربية السعودية.

15. الكويتي، خليفة عبدالله؛ سيد أحمد، صلاح و بو زيد عادل خضر. (1997). تجربة هيئة الري و الصرف بالأحساء في مجال استخدام مياه الصرف الزراعي للري. السجل العلمي للندوة السعودية الأولى للعوم الزراعية: الزراعة السعودية بين التوسع و الترشيد (تحرير: على بن محمد الدربي؛ محمد بن عمر غندور؛ أحمد بن سعد الحازمي؛ إبراهم بن سعد المهيزع وحمزة بن محمد أبو طربوش)، جامعة الملك سعود، وزارة التعليم العالي، الرياض، المملكة العربية السعودية، المجلد الأول، صفحة 43 -62.

16. مركز الدراسات المائية. (2004). مجموعة خرائط شبكتي الري والصرف في واحة الأحساء. جامعة الملك فيصل، الأحساء، المملكة العربية السعودية (نسخة غير منشورة).

17. المديني، عبدالرحمن بن محمد (2005): تقدير الاحتياجات الغسيلية للمحاصيل الزراعية الرئيسية في واحة الأحساء وعلاقتها بالمحافظة على الموارد المائية والبيئية. مجلة الجمعية السعودية للعلوم الزراعية، تحت النشر.

18. المقرن، عبداللطيف. (1997). استراتيجية تنمية مصادر المياه في المملكة العربية السعودية والمحافظة عليها. السجل العلمي للندوة السعودية الأولى للعوم الزراعية: الزراعة السعودية بين التوسع والترشيد (تحرير: على بن محمد الدربي؛ محمد بن عمر غندور؛ أحمد بن سعد الحازمي؛ إبراهم بن سعد المهيزع وحمزة بن محمد أبو طربوش)، جامعة الملك سعود، وزارة التعليم العالي، الرياض، المملكة العربية السعودية، المجلد الأول، صفحة 21 -42.

19. نخلة محمد عرابي. (1400هـ). تاريخ الأحساء السياسي. ذات السلاسل الكويت، دولة الكويت.

20. النعيم،أحمد(2005):تقدير إمكان الاستعاضة المائية لطبقة تكوين النيوجين الرسوبي وتقويمها في واحة الأحساء المنطقة الشرقية المملكة العربية السعودية، مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، المجلد 21 العدد2 صفحة 171 -188.

21. وزارة الزراعة والمياه (1984):أطلس المياه في المملكة العربية السعودية، الرياض -المملكة العربية السعودية. صفحة 1 -111.

22. Abdurrehman, W. (1988). Water management plan for the Al-Hassa Irrigation and Drainage Project in Saudi Arabia. Agric. Water Manage., 13, 185-194pp.

23. Abo-Rady, M. D. K. (1987). Morphology and composition of some soils under date palm cultivation in Al-Hassa oasis, Saudi Arabia. Arab Gulf J. Scientific Research Agric. Biol. Sci. B5 (3): 379-389pp.

24. Al-Barrak, S. (1986). Properties and classification of some oasis soils of Al-Ahsa, Saudi Arabia. Arab Gulf Journal of Scientific Research 4, 349-359pp.

25. Al-Barrak, S. A. (1990). Characteristics of some soils under date palm in Al-Hassa Eastern oasis, Saudi Arabia. J. King Saud Univ., Agric. Sci. 2 (1): 115-130pp.

26. Al-Barrak, S. and M. Al-Badawi. (1988). Properties of some salt-affected soils in Al-Ahsa, Saudi Arabia. Arid Soil Research and Rehabilitation 2: 85-95pp.

27. Al-Hawas, I. A. (2002). Irrigation water quality evaluation of Al-Hassa springs and its predictive effects on soil properties. Pakistan Journal of Biological Sciences 5 (6): 651-655pp.

28. AL-Mahmoud, M. J. (1987). Hydrogeology of the Al-Hassa Oasis. M. Sc. Thesis, Faculty of the College of Graduate Studies, King Fahad University for Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia.

29. BRGM, Bureau de Recheres Geologiques et Miniseres. (1977). AlHassa Development Project Groundwaters Study and Manamgement Programme.Final Report Vol. 1, Groundwater Resources Development Department, Ministry of Agriculture and Water, Riyadh, KSA.

30. Edgell,H.S. (1989). Geological framework of Saudi Arabia groundwater resoureces, Journal of King Abdulaziz University,Earth Sciences, Vol.3.Scientific Publishing Centre, Jeddah, 267-286 pp.

31. El-Prince, A. M. (1982). The search for suitable land for cultivation in the Eastern Province. Final Report Submitted to Saudi Arabian National Center for Science and Technology, Riyadh, KSA. Project No. Ar-1-018.

32. Etewy, H., M. Assed, S. Al-Barrak and A. M. Turjoman (1983). Water quality and soil characteristics as related to irrigation and drainage in Al-Hassa area. A paper presented in "The Sixth Conference on the Biological Aspects of Saudi Arabia" Held in College of Science, King Abdulaziz University, Jeddah, KSA, March 1-3, 1983. pp. 489-811.

33. Golden Software, Inc. (1993/94). SURFER (Version 5). Colorado, 809 14th Street, CO, 80401, USA.

34. HARC, Hofuf Agricultural Research Center. (1979). Water Resources of the Al-Hassa Oasis. a Report on the Work of the Leichtweiss-Institute Research Team, Technical University Braunschweig Prepared for Hofuf Agricultural Research Centre, KSA, Publication No. 38.

35. HARC, Hofuf Agricultural Research Center. (1974). Water Resources of the Al-Hassa Oasis. a Report on the Work of the Leichtweiss-Institute Research Team, Technical University Braunschweig Prepared for Hofuf Agricultural Research Centre, KSA, Publication No. 13.

36. HARC, Hofuf Agricultural Research Center. (1975). Water Resources of the Al-Hassa Oasis. a Report on the Work of the Leichtweiss-Institute Research Team, Technical University Braunschweig Prepared for Hofuf Agricultural Research Centre, KSA, Publication No. 16.

37. HARC, Hofuf Agricultural Research Center. (1976). Water Resources of the Al-Hassa Oasis. A Report on the Work of the Leichtweiss-Institute Research Team, Technical University Braunschweig Prepared for Hofuf Agricultural Research Centre, KSA, Publication No. 22.
38. Hoetzel, H., Felber, H. and Zoetl, J.G. (1978). The Quaternary development of the upper part of Wadi Ar-Rimah (Saudi Arabia). In: S.S. Al-Sayari and J.G. Zoetl (Editors), Quaternary eriod in Saudi Arabia. Springer-Verlag, New York, N.Y., 173-182 pp.
39. (GDC) Groundwater Development Consultant International Limited. (1980). Umm Er Radhuma Study.Final Report:Main Reported for the Minstry of Agriculture and Water,Saudi Arabia.
40. Italconsult. (1969). Water and Agricultural Development Studies for Area IV: Final Report. A study prepared by FAO, Rome. Ministry of Agriculture and Water, Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia.
41. Jenkins, D. A. (1976). Observation on the soils of the agricultural research centre, Hofuf, Saudi Arabia. Joint Agricl. Research and Development Proj., Univ. Col. of North Walse, Bangor, U.K. and Min. of Agric. and Water, Saudi Arabia. Pub. No. 66.
42. McClure, H. A. (1978). Ar Rub al Khali. In: S.S. AI-Sayari and J.G. Zoetl (Editors), Quaternary Period in Saudi Arabia. Springer- Verlag, New York, N.Y., 252-263 pp.
43. Murris, R. (1980). Middle East: Stratigraphic evolution and oil habitat. AAPG Bull. 64, 597-618 pp.
44. Powers, R. W. (1968). Lexique stratigraphique International:Asie, Vol. III, Fasc.1061-Saudi Arabia. CNRS, Paris, 177 pp.
45. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. (1982). Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Morphological Properties (2nd Edition). Agronomy Monograph No. 9, American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
46. Richards, L. A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA, Agricultural Handbook No. 60.
47. Stumm W. and Morgan J. J. (1981). Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria In Natural Waters. J. Willey, New York, 583 p.
48. Tayeb, F. A. (1983). The role of groundwater in the irrigation and drainage of the Alhasa of Eastern Saudi Arabia (1st Edition). M. Sc. Thesis, Eastern Michigan University, USA.
49. Wakuti. (1964). Studies for the project of improving irrigation & drainage in AL-Hassa (Volume 2 part 1): Study on present condition. West Lohrstrass 15, West Germany.
50. Weijermars, R. (1998). Plio-Quaternary movement of the East Arabian block. Geoarabia, 3:509- 540 pp.

Received	2006/03/05	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2006/06/12	قبول البحث للنشر