مجلة الخليج العربي للبحوث العلمية 25 (4): 207-218 (2007)

Research Paper Ref. No 2411

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

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

عبد الرحمن محمد المديني[1]، عبدالرحمن محي الدين السفرجلاني[2]، و أحمد عبد اللطيف النعيم[2]

Abdurrahman Mohamed Almadini, Abdurrahman Mohaldeen Al-Safarjalani, and Ahmed Abdulatif Al-Naeem

[1] محطة التدريب و الأبحاث الزراعية و البيطرية

[2] قسم الأراضي و المياه، كلية العلوم الزراعية و الأغذية

جامعة الملك فيصل، ص ب 2455، الإحساء 11451، المملكة العربية السعودية

E.mail: madaini_1960@hotmail.com / aalmadini@kfu.edu.sa

المستخلص: تهدف الدراسة إلى تحديد التغيرات المكانية في الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية إلى جانب تقييم نوعية هذه المياه التي تعتبر المصدر الرئيس لإمداد مياه الري في واحة الأحساء الواقعة شرق المملكة العربية السعودية. أوضحت نتائج الدراسة وجود تباين مكاني في مستوى ملوحة هذه المياه ممثلة بقيم التوصيل الكهربي (EC) ومكوناتها من الكاتيونات (Na^+، Ca^{2+}، Mg^{2+} & K^+) والأنيونات (Cl^-، CO_3^{2-}، HCO_3^- & SO_4^{2-})، وكذلك قيم نسبة إدمصاص الصوديوم (SAR) ونسبة الصوديوم المتبادل (ESP)، حيث تزداد قيمها بالاتجاه من الأطراف الغربية والجنوبية الغربية إلى الأطراف الشمالية والشمالية الشرقية للواحة والتي تتركز فيها أعلى القيم. يتوافق هذا الاتجاه في الزيادة في هذه القيم مع الاتجاه الهيدروليكي العام لجريان المياه الجوفية في الواحة. ويعزى سبب اتجاه هذه الزيادة في القيم إلى عدة عوامل تتمثل في زيادة الأملاح الذائبة أثناء جريان المياه الجوفية في الطبقات الحاملة لها، وزيادة تركيز الأملاح نتيجة استنزاف هذه المياه، أو نتيجة التغذية المباشرة وغير المباشرة لطبقة النيوجين الحاملة لهذه المياه. كما أوضحت النتائج أن نوعية مياه الري في الواحة تتراوح بين عالية الملوحة (C3) والعالية جداً (C4)، وبين الصودية منخفضة الخطورة (S1) ومتوسطة الخطورة (S2) وبمتوسط عام بلغ (C4-S2)، الأمر الذي يشير إلى تدني عام في نوعية مياه الري في الواحة.

كلمات مدخلية: *مياه جوفية، نسبة الملوحة، كاتيونات، أنيونات، ادمصاص الصوديوم، تدهور نوعية، تغيرات مكانية، واحة الإحساء، السعودية.*

Abstract:The study aimed at investigating the spatial variations in the quality and the chemical composition of the groundwater used in irrigation in Al-Hassa Oasis located in the Eastern Province of the Kingdom of Saudi Arabia. The main findings of the study indicated that there is a spatial variability in the salinity levels, as reflected by the values of electrical conductivity (EC), the major cations (Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} & K^+) and anions (Cl^-, CO_3^{2-}, HCO_3^- & SO_4^{2-}), and the values of the sodium adsorption ratio (SAR) and exchangeable sodium percentage (ESP). The results also showed an increasing trend from the southwest and west regions to the north and northeast borders of the Oasis. This direction is well matched with the general direction of groundwater flow in the Oasis. These spatial variations in the groundwater hydrochemical properties may be attributed to the increases for salts dissolved during the passage of the groundwater through the aquifers, increasing salinity due to extensive abstraction of the groundwater and/or due to the direct and indirect recharge occurring to

the Neocene aquifer that supplies the irrigation water in the Oasis. In addition, the results indicated 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. This suggests that the irrigation groundwater in Al-Hassa Oasis is subjected to a process of quality degradatio.
Keywords: *Groundwater, Salinity, Cations, Anions, Sodium Adsorption, Quality Degradation, Spatial Variations, Al-Hassa Oasis, Saudi Arabia.*

المقدمة

تعتبر واحة الأحساء من أكبر الواحات الزراعية في المملكة العربية السعودية. و يعني اسم الأحساء أو (الحسا) وفرة المياه في الواحة، إذ كانت المياه الجوفية في الماضي قريبة نسبياً من سطح الأرض مما جعل الوصول إليها ممكناً بالحفر يدوياً لبضعة أمتار قليلة كما أفاد الجاسر (1399 هـ)، الذي أوضح أيضاً أن الواحة كانت تسمى قديماً بالبحرين بسبب كثرة وغزارة عيونها وآبارها. ونقلاً عن الجبر (2002) فقد عرف Vidal (1951) كلمة الأحساء بأنها أرض المستنقع المغطاة بالرمال. وتميزت الواحة أيضاً وعرفت منذ قديم الزمان بوفرة عيونها الفوارة ومياهها العذبة، مما أكسبها أهمية خاصة جعلتها موطناً لكثير من الحضارات القديمة (الشباط، 1989).

يسعى المختصون في مجال الزراعة والمياه في واحة الأحساء لتأمين احتياجات مياه الري المتزايدة من المياه الجوفية المنتجة بالآبار الارتوازية، والتي زادت أعدادها بصورة ملحوظة في العقود الماضية. فقد ارتفع عدد هذه الآبار من 5 آبار عام 1951 (Vidal, 1951) إلى 336 بئر يضاف إليها 162 عيناً عام 1964 (WAKUTI, 1964)، ثم إلى 887 بئراً و 102 عيناً عام 1967 (Italconsult, 1969) وإلى 689 بئراً عام 1977 (BRGM, 1977)، فيما بلغت 1500 بئر عام 1982 (رجب، 1990). ويقدر الباحثون عددها حالياً بين 5000 و 10000 بئراً ارتوازياً، وذلك نتيجة زيادة الحيازات الزراعية في الواحة التي تجاوز عددها 24000 وحدة زراعية (الكويتي *وآخرون*، 2002). ولقد أدت هذه الزيادة في أعداد الآبار إلى زيادة استنزاف المياه الجوفية في الواحة، مما أثر سلباً على منسوب المياه وبالتالي تدهور نوعيتها (الدخيل والسفرجلاني، 2005).

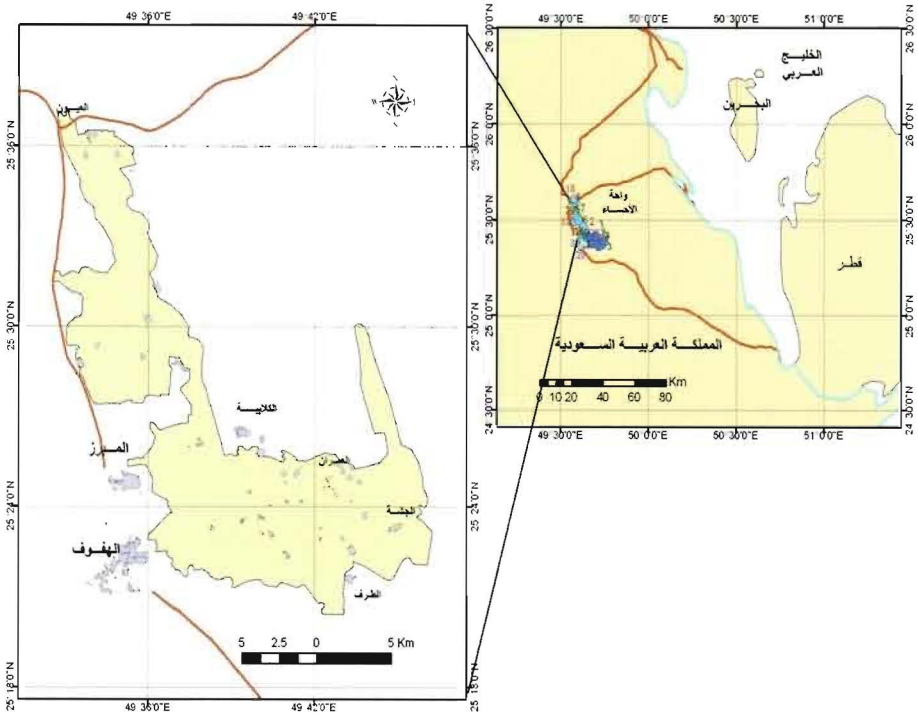
أشارت عدة دراسات (القصيبي والمديني، 2000; Etewy, *et al.* 1983; Al-Hawas, 2002) إلى أن نوعية المياه الجوفية في واحة الأحساء تتميز بصفة عامة بالملوحة العالية (C3) إلى العالية جداً (C4) وبالصودية منخفضة الخطورة (S1) إلى المتوسطة (S2) حسب تصنيف الإدارة الزراعية في الولايات المتحدة الأمريكية (Richards, 1954). ولكن يلاحظ أن هذه الدراسات قد ركزت أساساً على تحديد نوعية هذه المياه واستخداماتها لأغراض ري المحاصيل المستزرعة في الواحة دون الأخذ في الاعتبار دراسة الاختلافات في التوزيع المكاني الذي يمكن أن يحدث في نوعية هذه المياه وخصائصها الكيميائية، على الرغم من المساحة الزراعية الكبيرة نسبياً في الواحة التي تزيد عن 8000 هكتار من أصل 20000 هكتار من مساحة الواحة الإجمالية (الطاهر، 1999؛ الكويتي و آخرون، 2002). ويهدف هذا البحث إلى دراسة الاختلافات المكانية في الخصائص الكيميائية ونوعية المياه الجوفية التي تستخدم لأغراض الري في واحة الأحساء بالمنطقة الشرقية من المملكة العربية السعودية.

المواد وطرق العمل

الوصف العام لمنطقة الدراسة

تقع واحة الأحساء ضمن نطاق المنطقة المدارية بين دائرتي العرض ′20 °25 و ′40 °25 شمال خط الاستواء، وبين خطي الطول ′30 °49 و ′50 °49 شرق خط صفر (غرينتش). تبعد واحة الإحساء عن الخليج العربي بنحو 70 كم غرباً وتقع على مسافة نحو 130 كم جنوب مدينة الدمام (عاصمة المنطقة الشرقية). يتراوح ارتفاع الواحة ما بين 130 إلى 160 متراً فوق سطح البحر (ف س ب) آخذةً شكلاً طولياً يمتد على محورين متعامدين يتقاطعان في الجزء الجنوبي الغربي من الواحة، حيث توجد مدينة الهفوف عاصمة الواحة وأكبر مدنها (Tayeb, 1983). ويمتد المحور الأول بإتجاه شرق الهفوف بطول يصل إلى حوالي 18 كم وباتساع يصل إلى نحو 10 كم في بعض المواقع، فيما يمتد المحور الثاني بنحو 30 كم شمال الهفوف وباتساع يتراوح بين 3 كم في أقصى الشمال و 7 كم في الوسط (Tayeb, 1983). ويوضح الشكل 1 المخطط العام للواحة وموقعها الجغرافي بالنسبة للخليج العربي.

يسود واحة الإحساء المناخ الصحراوي شديد الحرارة (بمتوسطات تتراوح ما بين 33°م و 18°م، للدرجتين الكبرى والصغرى، على التوالي، ومتوسط سنوي عام 26°م) وشديد الجفاف، حيث تعد من أقل مناطق المملكة هطولاً للمطر (المتوسط السنوي 71.32 مم) والذي يهطل عادةً بصورة غير منتظمة و متذبذبة في الشتاء، مع معدل بخر سنوي عالي يصل إلى 3330 مم (الطاهر، 1999). هذه الظروف المناخية السائدة على الواحة أدت أن يتوقف النشاط الزراعي فيها على ممارسة عمليات الري التي تعتمد بشكل رئيس على المياه الجوفية من



شكل 1. المخطط العام لواحة الأحساء وموقعها الجغرافي (مركز الدراسات المائية، 2005).

العيون والآبار الارتوازية المنتشرة في الواحة والمحفورة غالباً على طبقة النيوجين (Neogene Aquifer) التي يتراوح عمقها ما بين 120 - 180م تحت سطح الأرض (عثمان، 1983؛ رجب، 1990).

يتميز الشكل الظاهري لسطح واحة الأحساء الخارجي بالاستواء بصفة عامة مع انحدار عام بسيط من الغرب إلى الشمال والشمال الشرقي، حيث يمر خط ارتفاع الكنتور 155م (ف س ب) جنوب غرب الواحة (عند مدينة الهفوف) بينما يمر الخط 125م (ف س ب) في الطرف الجنوبي الشرقي للواحة (عند قرية الجشة) والخط 110 م (ف س ب) في الطرف الشمالي الشرقي (عند مدينة العيون) فيما يمر الخط 100م (ف س ب) في أقصى الشمال الشرقي خارج حدود نطاق الواحة الزراعي (نخلة، 1400 هـ؛ الطاهر، 1999؛ الرويلي، 2002).

جمع عينات المياه و تحليلها

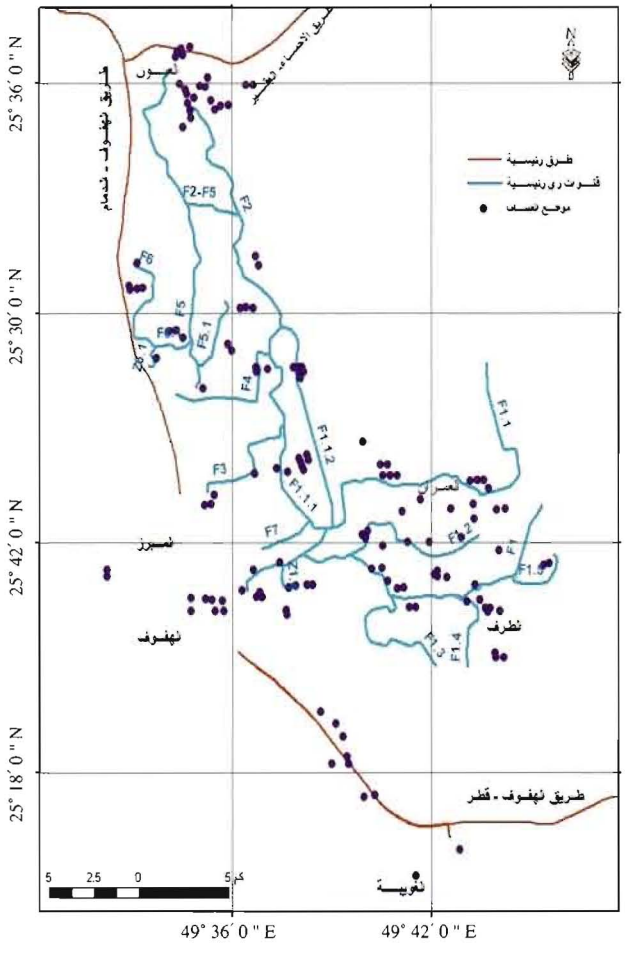
تم جمع 139 عينة من آبار ارتوازية تستخدم مياهها أساساً لأغراض الري، وذلك خلال الفترة بين نوفمبر وديسمبر من العام 2003 وذلك تفادياً لأي تغيرات محتملة في نوعية المياه نتيجة اختلاف المواسم. ولقد تم اختيار مواقع هذه الآبار عشوائياً لتغطي غالبية أجزاء النطاق الزراعي في الواحة (شكل 2). تم جمع كافة العينات مباشرة من فوهة المصب لمضخة البئر بعد تشغيلها لمدة لا تقل عن نصف ساعة، وذلك لتجنب المياه الراكدة في أنابيب تبطين (إكساء) البئر. جمعت العينات في عبوات بلاستيكية منظفة مسبقاً سعة الواحدة 250 مليلتر وبمعدل عينة لكل بئر. تم جمع كل عينة بعد غسل العبوة بمياه البئر ثلاث مرات على الأقل، ثم نقلت العينات مباشرة بعد جمعها من الحقل إلى معمل قسم الأراضي والمياه بكلية العلوم الزراعية والأغذية في جامعة الملك فيصل وتم حفظها في الثلاجة إلى موعد إجراء التحاليل الكيميائية عليها.

شملت التحاليل الكيميائية التي أجريت على عينات مياه الري الجوفية التي تم جمعها تحديد محتواها من الأملاح الذائبة دلالةً عن قيم الملوحة الكلية الممثلة بقيم التوصيل الكهربي (EC) بالمليجرام/لتر (ملجم/لتر) باستخدام جهاز التوصيل الكهربائي (Conductivity meter) وتحديد قيم رقم الأس الهيدروجيني (pH) باستخدام جهاز (pH meter)، بينما تم تقدير الكاتيونات (ملجم/لتر) ممثلة في عنصري الصوديوم (Na^+) والبوتاسيوم (K^+) باستخدام جهاز طيف اللهب (Flame photometer) وعنصري الكالسيوم (Ca^{2+}) والمغنيسيوم (Mg^{2+}) بطريقة المعايرة بالفيرسنات (EDTA)؛ وكذلك الأنيونات (ملجم/لتر) ممثلة في عنصر الكلوريد (Cl^-) بطريقة المعايرة بنترات الفضة وعنصري البيكربونات (HCO_3^-) والكربونات (CO_3^{2-}) بطريقة المعايرة بحامض الهيدروكلوريك المخفف. ولقد تم إجراء هذه التحاليل الكيميائية بإتباع الطرق الموضحة لكل منها في المرجع Page, *et al.* 1982, "Methods of Soil Analysis. Part 2" فيما تم تقدير تركيز عنصر الكبريتات (SO_4^{2-}) بحساب الفارق بين مجموع الكاتيونات ومجموع الأنيونات (Richards, 1954).

كما تم حساب قيمتي معدل إدمصاص الصوديوم (Sodium Adsorption Ratio, SAR) ونسبة الصوديوم المتبادل (Sodium Exchangeable Percentage, ESP) باستخدام النماذج الرياضية التي ذكرها Richards (1954). تم عرض النتائج المتحصل عليها بطريقة الخرائط الكنتورية باستخدام برنامج SURFER النسخة الخامسة (Golden Software, Inc., 1993/94)، وذلك لإيضاح التباين المتوقع في تركيز قيم هذه النتائج على النطاق الزراعي للواحة من أجل تحديد الاختلافات في التوزيع المكاني لنوعية وخصائص مياه الآبار المستخدمة لأغراض الري في واحة الأحساء.

النتـــائج

يتضمن جدول 1 ملخص نتائج التحليل الكيميائي موضحةً بالقيمتين الصغرى و الكبرى وكذلك بقيم كل من المتوسط، والانحراف المعياري والنسبة المئوية لمعامل الاختلافات لكافة عينات مياه الري في واحة الأحساء التي شملتها هذه الدراسة. ويتضح من الجدول الفارق الكبير بين القيمتين الصغرى والكبرى للملوحة الكلية (EC) في هذه العينات والذي يصل لأكثر من ستة أضعاف (1180 و 7372 ملجم/لتر). ويقترن هذا الفارق الشاسع بين هاتين القيمتين باختلافات واضحة بين قيم (EC) المتحصل عليها لكافة عينات المياه المدروسة والتي يمكن التحقق منها من خلال قيمتي الانحراف المعياري ومعامل الاختلافات اللتان بلغتا 1292± و 52%، على التوالي.



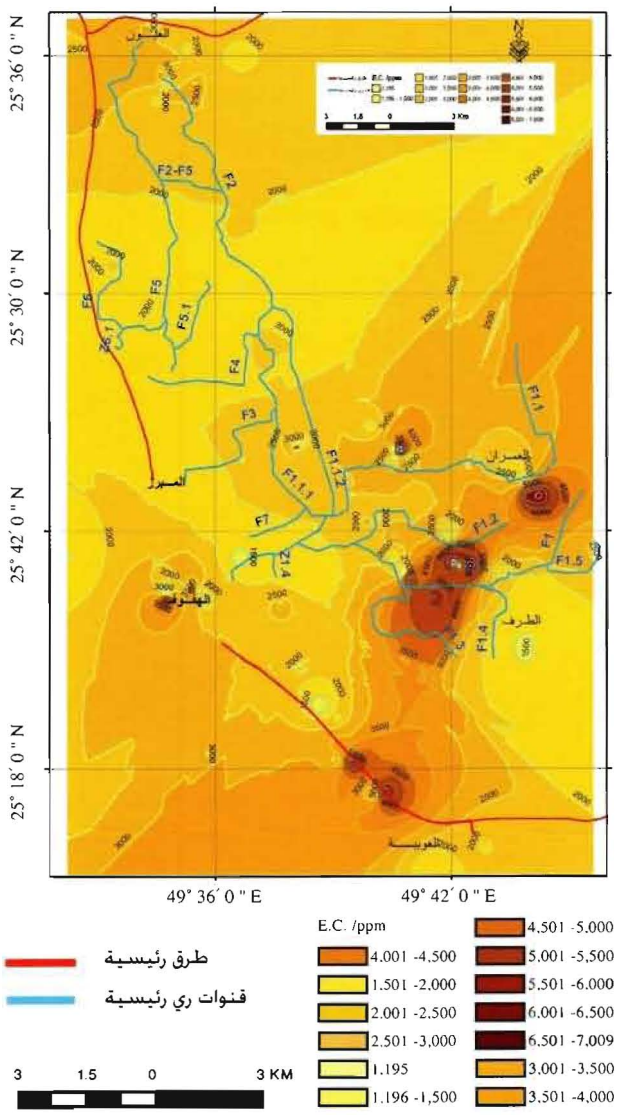
شكل 2. مواقع عينات مياه الري التي تم جمعها من الآبار الارتوازية بواحة الأحساء، العدد الإجمالي للعينات = 139 عينة.

جدول 1. ملخص نتائج التحليل الكيميائي لعينات مياه الري بواحة الأحساء (عدد العينات الكلي = 139).

القيمة		الوحدة	القيمة الصغرى	القيمة الكبرى	المتوسط	الانحراف المعياري (±)	معامل الاختلافات (%)
pH		-	6.75	7.90	7.43	0.22	2.92
EC		ملجم/لتر	1180.80	7372.80	2487.88	1291.83	51.92
Na^+	كاتيونات		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^-	أنيونات		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^{2-}			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

تتوزع قيم (EC) المتباينة لعينات مياه الري في واحة الأحساء بصورة مختلفة حسب مكانها في نطاق الواحة الزراعي كما يوضح الشكل 3، مع الإشارة بأن الربع الشمالي الشرقي في هذا الشكل هو خارج هذا النطاق الزراعي للواحة كما سبق إيضاحه في الشكل 1. يتضح من الشكل 3 أيضاً وجود ارتفاع مضطرد في قيم ملوحة مياه الري من الطرفين الجنوبي والجنوبي الغربي (EC ≈ 4000 و 5000 ملجم/لتر، على التوالي) باتجاه الطرف الشمالي الشرقي للواحة، حيث تقع أعلى قيمة EC (7328 ملجم/لتر) تم الحصول عليها في هذه الدراسة. يمثل هذا الطرف الأخير من الواحة أقرب أجزائها للخليج العربي.

تتزامن هذه الاختلافات في قيم (EC) مياه الري المنتجة من الآبار الارتوازية في واحة الأحساء مع تباين واضح في تركيزات مكوناتها من العناصر الكاتيونية والأنيونية (جدول 1). فبالنسبة للعناصر الكاتيونية، يلاحظ سيادة عنصر الصوديوم يليه عنصر الكالسيوم ثم عنصر المغنيسيوم،

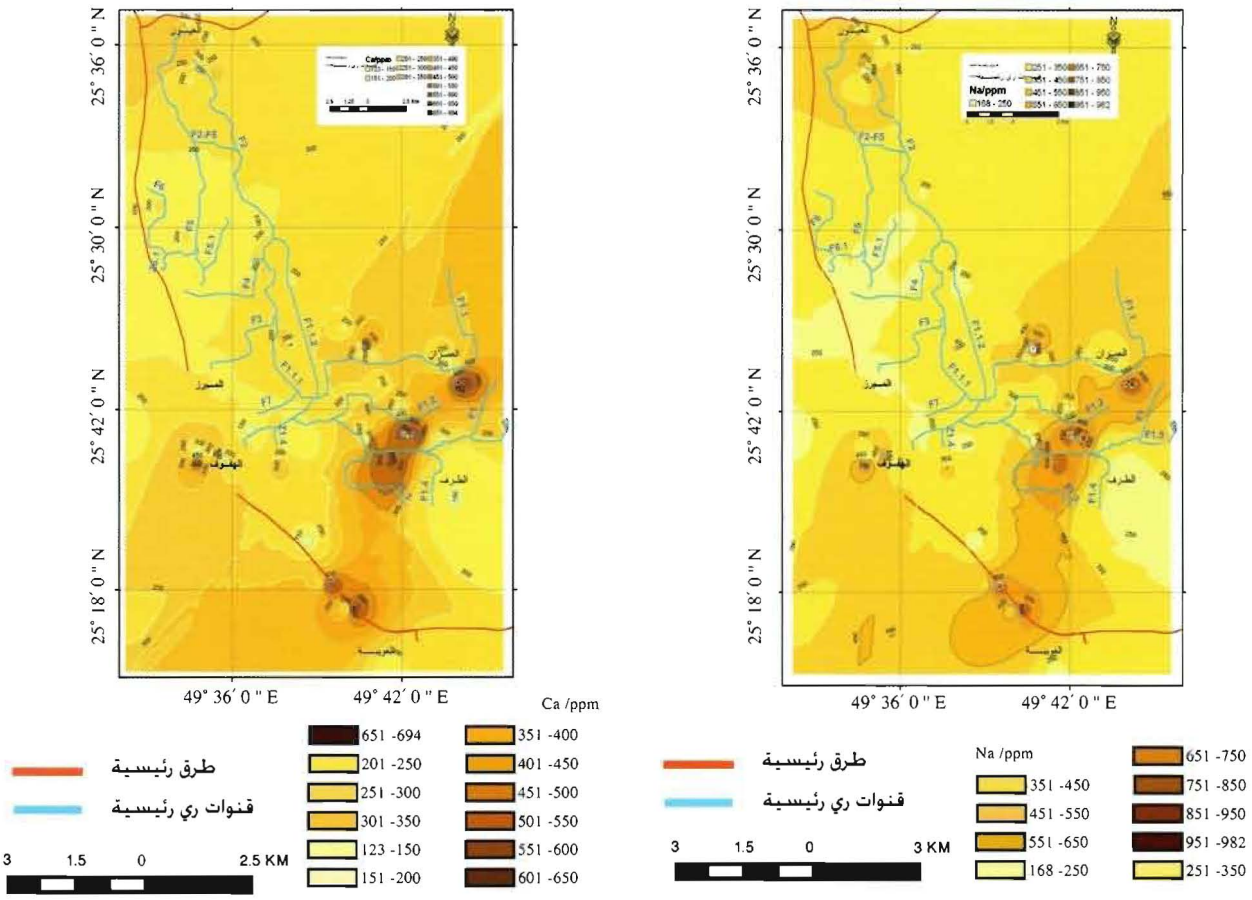


شكل 3. الاختلافات المكانية في قيم الملوحة الكلية ممثلة بقيم EC (ملجم/لتر) لمياه الري الارتوازية في واحة الأحساء، المملكة العربية السعودية.

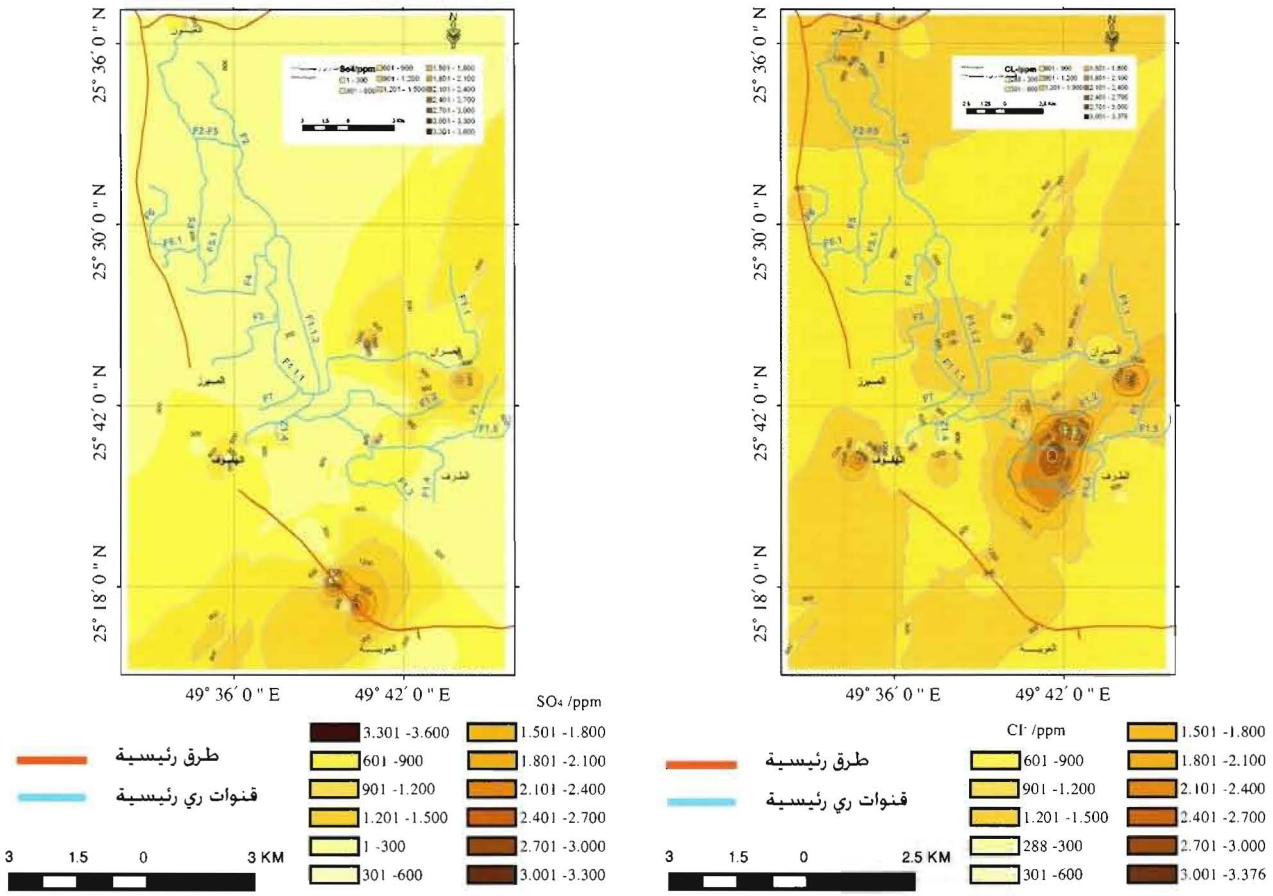
والتي تصل متوسطات تركيزاتها عشرات أضاعف متوسط تركيز عنصر البوتاسيوم (346، 246، 130 و 18 ملجم/لتر، على التوالي). يبرز هذا التباين في متوسطات تركيزات هذه العناصر الكاتيونية في قيم انحرافها المعياري والتي نتج عنها نسب مئوية عالية لمعامل اختلافاتها تصل إلى حوالي 50% أو أكثر (جدول 1). أما ما يخص العناصر الأنيونية، فيسود عنصري الكلوريد والكبريتات اللذان يليهما عنصر البيكربونات (1000، 338 و 222 ملجم/لتر) مع غياب لعنصر الكربونات (CO_3^{2}) في كافة العينات تحت الدراسة (جدول 1). تتضح هذه الاختلافات في قيم متوسطات هذه الأنيونات في تباين مدى انحرافها المعياري الذي أنعكس في النسب المئوية المختلفة لمعامل اختلافاتها التي تبلغ على التوالي 54%، 150% و 20%.

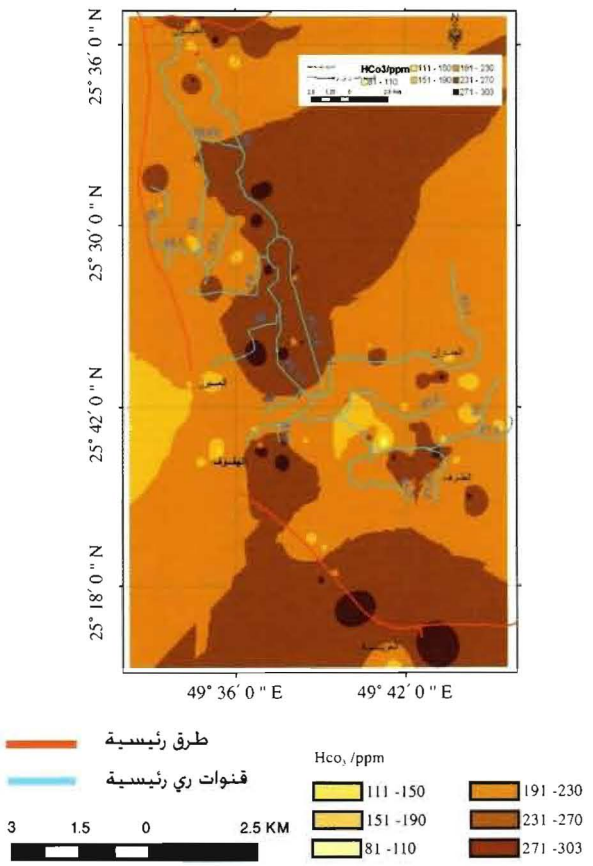
تقترن هذه الاختلافات في تركيزات مكونات ملوحة مياه الري من الكاتيونات والأنيونات مع اختلاف نمط توزيعها المكاني على النطاق الزراعي لواحة الأحساء، كما يتضح من الشكلين 4-أ و 4-ب، على التوالي). ويلاحظ أيضاً من الشكل (4-أ) التماثل الكبير للتوزيع المكاني لقيم العناصر الكاتيونية مع نمط التوزيع المكاني لقيم EC (شكل 3). يبرز هذا التماثل مع عنصر الكالسيوم ثم عنصر الصوديوم وعنصر المغنسيوم، حيث يكاد يشكل توزيع هذه العناصر نمطاً متطابقاً مع نمط توزيع قيم (EC). فيما يمثل تجانس التوزيع المكاني بين عنصر البوتاسيوم و قيم (EC) أقل تطابقاً. أما ما يخص العناصر الأنيونية (شكل 4-ب)، فيبرز تجانس التوزيع المكاني بين قيم عنصر الكلوريد مع قيم (EC) فقط، بينما لم يشاهد مثل هذا التجانس في التوزيع المكاني لعنصري الكبريتات والبيكربونات مع نمط توزيع قيم (EC).

قد يعود عدم التجانس بين الكبريتات و قيم (EC) إلى التباين الكبير في تركيز هذا العنصر في مياه الري بالواحة المقرون بمعامل اختلافات مرتفع (150%)، كما يمكن إيعاز عدم التجانس بين البيكربونات وقيم (EC) للانخفاض النسبي لتركيز البيكربونات (< 304 ملجم/لتر ±45) المقرون بمعامل اختلافات منخفض نسبياً (20%) في مياه الري بالواحة (جدول 1). تحدد هذه الاختلافات في تركيز مكونات ملوحة مياه الري بواحة الأحساء نوعية هذه المياه التي تتراوح بين عالية الملوحة (C3) إلى العالية جداً (C4) وبين خطورة الصودية المنخفضة (S1) إلى المتوسطة (S2) وبمتوسط عام يقع ضمن الصنف C4-S2، حسب تصنيف الإدارة الزراعية بالولايات المتحدة الأمريكية United States Department of Agriculture, (USDA) (Richards, 1954) كما هو موضح في جدول 2. ويتضح من الجدول أيضاً تفاوت تكرار هذه الأصناف لنوعية مياه الري بالواحة مع ارتفاع نسبي لصنف الملوحة C2 (35%) وصنف الصودية S2 (38%)، مما يشير إلى تعرض المياه الجوفية بالواحة إلى عملية تملح تنذر بتدهور نوعيتها.



شكل 4-أ. الاختلافات المكانية في قيم مكونات الملوحة من الكاتيونات في مياه الري الارتوازية في واحة الأحساء، المملكة العربية السعودية.





شكل 4-ب. الاختلافات المكانية في قيم مكونات الملوحة من الأنيونات في مياه الري الارتوازية في واحة الأحساء، المملكة العربية السعودية.

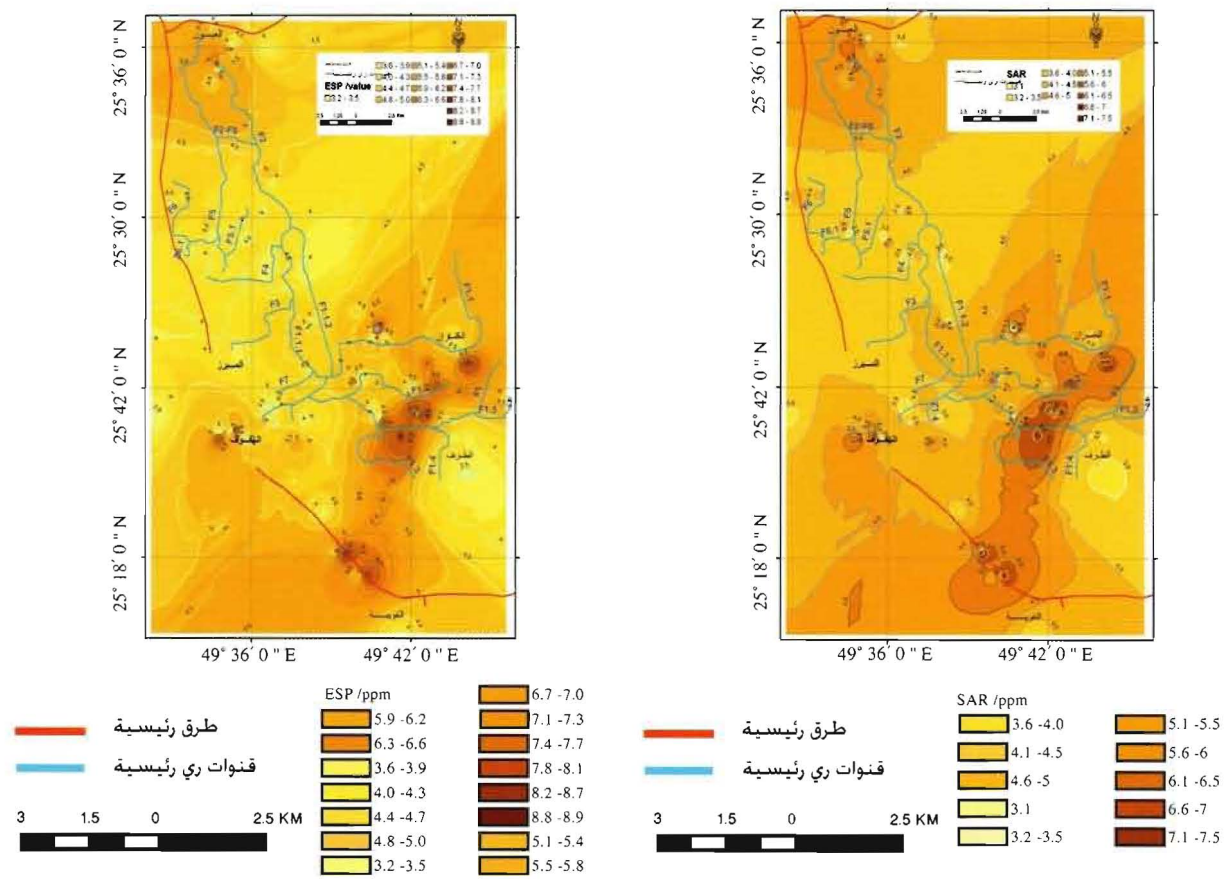
تقترن هذه القيم المتباينة لنوعية مياه الري في واحة الأحساء باختلاف توزيعها المكاني في نطاق الواحة الزراعي، خاصةً فيما يتعلق بقيمتي إدمصاص الصوديوم (SAR) والصوديوم المتبادل (ESP)، كما يمكن مشاهدته في شكل 5 الذي يوضح التغيرات البارزة في هاتين القيمتين اللتان تزدادان من أطراف الواحة الجنوبية والجنوبية الغربية إلى الطرف الشمالي الشرقي مع وجود بعض القيم العالية نسبياً في الوسط والطرف الشمالي الغربي. يتجانس هذا النمط لتوزيع هاتين الصفتين لنوعية المياه في الواحة مع نمط توزيع قيم التوصيل الكهربي (EC)، الأمر الذي يشير إلى أن تدهور نوعية مياه الري الجوفية في الواحة يأخذ هذا المسار مع ضرورة الإشارة إلى الحاجة لتقويم ذلك حسب الاختلافات المحتملة في قيمها مع الزمن (temporal variations).

على العكس مما سبق، أظهرت نتائج رقم الأس الهيدروجيني (pH) في مياه الري بواحة الأحساء كثيراً من التجانس. فقد تراوحت قيم pH ما بين 6.75 و 7.90 مع متوسط عام بلغ 7.43 ± 0.22. يتأكد هذا التجانس أيضاً في قيمة رقم الأس الهيدروجيني لمياه الري في الواحة من خلال القيمة المنخفضة لمعامل اختلافاتها الذي بلغ 2.92% (جدول 1). ويقترن هذا التجانس في قيم رقم الأس الهيدروجيني بتوزيعها شبه المتماثل مكانياً على نطاق الواحة الزراعي (شكل 6). كما تشير نتائج قيم رقم الأس الهيدروجيني إلى أن مياه الري في واحة الأحساء تتراوح بين قليلة الحموضة ومنخفضة القاعدية، مما يعني أنها تقع ضمن النطاق العام لمعظم المياه الجوفية و أنها مناسبة لاستزراع معظم النباتات.

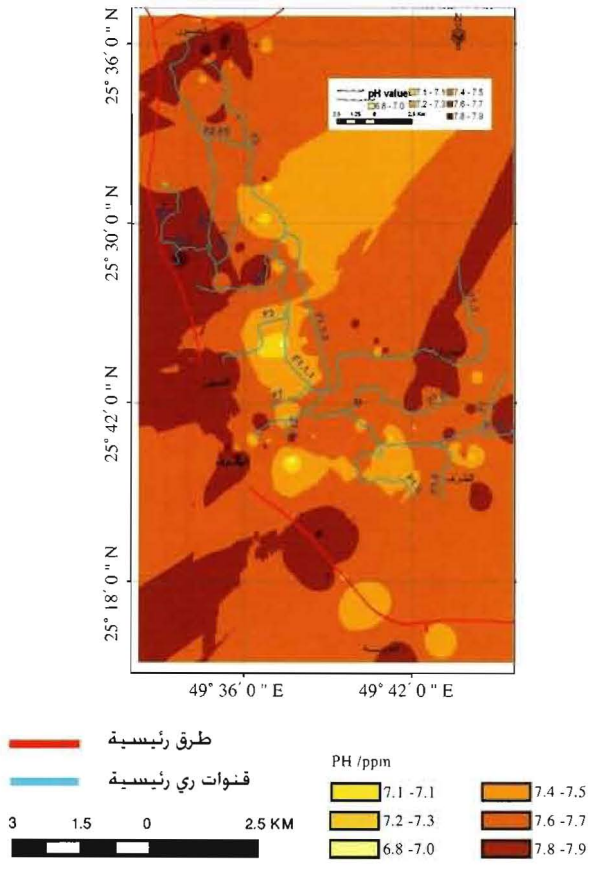
جدول 2. نوعية مياه الري في واحة الأحساء حسب تصنيف الإدارة الزراعية في الولايات المتحدة الأمريكية (USDA) (Richards، 1954).

	الملوحة (EC) (ملجم / لتر)				الصودية (SAR)			
	القيمة	الصنف	تكرار الصنف (%)	درجة الخطورة	القيمة	الصنف*	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

(* تم تحديد هذا الصنف بناء على قيمة SAR الموضحة بالجدول وما يقابلها من قيمة EC لنفس عينة مياة الري).



شكل 5. الاختلافات المكانية في قيم SAR و ESP مياه الري الارتوازية في واحة الأحساء، المملكة العربية السعودية.



شكل 6. الاختلافات المكانية في قيم pH مياه الري الارتوازية في واحة الأحساء.

المناقشة والاستنتاج

أشارت النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة إلى أن نوعية المياه الجوفية المستخدمة لأغراض الري في واحة الأحساء تتميز باختلافات بارزة في توزيعها المكاني في الواحة، خاصة في صفاتها المتعلقة بقيم الملوحة الكلية ممثلة بقيم (EC) ومكوناتها من الكاتيونات والأنيونات والقيم المشتقة منها (SAR و ESP). تبرز هذه الاختلافات المكانية في تزايد قيم هذه الصفات بصورة رئيسة من الأطراف الجنوبية والجنوبية الغربية إلى الأطراف الشمالية والشمالية الشرقية من النطاق الزراعي للواحة. ولقد أشار العديد من الباحثين (رجب، 1990؛ القصيبي والمديني، 2000؛ و Italconsult, 1969; HARC, 1974, 1975, 1976, 1979; BRGM, 1977; Tayeb, 1983; AL-Mahmoud, 1987) إلى مثل هذا الاتجاه في نمط ارتفاع قيم مكونات ملوحة المياه الجوفية بالواحة، و الذي ينسجم مع الاتجاه العام لجريان المياه الجوفية الهيدروليكي في طبقة النيوجين في الواحة. ويمكن إيعاز هذه الظاهرة في الاختلافات المكانية في المكونات الكيميائية لهذه المياه الجوفية في الواحة إلى عدة احتمالات، أهمها زيادة كمية الأملاح الذائبة أثناء جريان هذه المياه في هذه الطبقة، وزيادة تركيز الأملاح الذائبة نتيجة استنزاف المياه بسبب الضخ الجائر و/أو نتيجة عمليات التغذية المباشرة وغير المباشرة لمياه هذه الطبقة واختلاط مياهها مع مياه الطبقات الأخرى الحاملة للمياه في الواحة.

يبرز دور الاحتمال الأول في أن المياه الجوفية بطبقة النيوجين تقطع مئات الكيلومترات من مناطق تغذيتها التي تقع غربي الواحة وصولاً إلى حدود الواحة الشمالية والشمالية الشرقية (رجب، 1990). يحدث هذا الجريان الجوفي لهذه المياه خلال طبقات صخور النيوجين التي تتألف بشكل رئيس من الحجر الكلسي والحجر الطيني الجيري والحجر الكلسي الطباشيري، وبشكل ثانوي من الحجر الرملي الطيني (الخطيب، 1974؛ الطاهر، 1999). أما بالنسبة للاحتمال الثاني، فقد دلت الدراسات التي أجريت على مستويات مياه هذه الطبقة في الواحة بأنها في انخفاض مستمر (الخطيب، 1974؛ عثمان 1983؛ المقرن، 1997، الدخيل والسفرجلاني، 2005 و AL-Mahmoud, 1987)، بسبب الاستهلاك غير المرشد لهذه المياه الجوفية وإلى الكميات الكبيرة من المياه التي تفقد بالبخر في مناطق السبخات (رجب، 1990). ولقد أشار الدخيل والسفرجلاني (2005) إلى وجود علاقة ارتباط إيجابية عند مستوى 5% (r^2= 0.61) في الفترة من 1975 إلى 1991 بين انخفاض مستوى المياه الجوفية وزيادة ملوحتها في الواحة. وعلى الرغم من أن قيمة هذه العلاقة قد تبدو صغيرة، إلا أنها ذات أهمية عالية عند الأخذ في الاعتبار أن مثل هذه العلاقة تخضع لتداخل تأثيرات عدة عوامل من أهمها معدلات الهطول التي تعتبر متذبذبة وغير منتظمة في الواحة. وكما أوضح Al-Mahmoud (1987) فأن انخفاض مستوى مياه طبقة النيوجين في واحة الأحساء يزداد من الأطراف الغربية باتجاه الأطراف الشرقية التي تتميز أيضاً بناقلية منخفضة، مما يعني بطء حركة المياه في الجهات الشرقية من واحة الإحساء وبالتالي زيادة فرص تراكم الأملاح فيها.

ولقد أشار عثمان (1983) إلى تعرض طبقة النيوجين في الواحة إلى عمليتين، أحدهما تغذية مباشرة مصدرها مياه الأمطار تؤدي إلى تحسين نوعيتها، والأخرى تغذية غير مباشرة ناجمة عن تسرب مياه الري إليها وتؤدي إلى تدهور نوعيتها وارتفاع ملوحتها. وكما بينت دراسات سابقة (رجب، 1990؛ الطاهر، 1999) يوجد اتصال هيدروليكي مستمر بين طبقة النيوجين والطبقات التي تقع إلى الأسفل منها كأم الرضمة والعرمة والخبر نتيجة وجود كسور وتصدعات في الجزء الغربي من الواحة، إضافة إلى إنتشار الكهوف الكارستية في منطقة العيون بجنوب غربي الواحة. ويؤدي هذا الاتصال الهيدروليكي إلى عملية مزج وخلط مياه هذه الطبقات الجوفية والتي تختلف في صفاتها الكيميائية. فعلى سبيل المثال، أوضح رجب (1990) تسرب المياه من طبقة أم الرضمة (التي تتميز

بارتفاع تركيز الكبريتات) إلى طبقة النيوجين، وتلك المساهمة قد تكون سبباً لتفسير الاختلافات المكانية في نمط توزيع الكبريتات وتوزيع الملوحة الكلية على نطاق الواحة. هذا، ولقد أكد باحثون آخرون (الخطيب، 1974؛ الجبر، 2002؛ Tayeb, 1983; Al-Mahmoud, 1987) حدوث هذا الاختلاط بين مياه هذه الطبقات الجوفية في الواحة. ويمكن أيضاً التأكيد على حدوث عملية الخلط بين مياه الطبقات الجوفية في الواحة من خلال ارتفاع درجات حرارة مياه بعض العيون التي تتراوح ما بين 35°م و 45°م، و التي تعتبر درجات حرارة غير اعتيادية (رجب، 1990). يؤدي هذا الاختلاط بين مياه الطبقات السفلى بمياه طبقة النيوجين إلى تغيير نوعيتها واختلاف خصائصها حسب أماكن حدوث هذا الاختلاط.

مما سبق، يمكن استنتاج اختلاف الخصائص الكيميائية لمياه الري الجوفية في واحة الأحساء مكانياً حسب توزيعها على النطاق الزراعي في الواحة، وذلك للأسباب المذكورة أعلاه، التي تلعب دوراً بارزاً، سواء منفردةً أو مجتمعة، في تحديد هذه الخصائص الكيميائية، وبالتالي نوعية مياه الري في الواحة وكذلك عملية التدهور التي تتعرض لها. وتبرز هذه الاختلافات في هذه الخصائص الكيميائية لمياه الري الجوفية بصفة عامة في ارتفاع قيمة متوسط ملوحتها الكلية التي تضاعفت عدة مرات مقارنة بمتوسطات ملوحتها المسجلة سابقاً بواسطة الكثير من الباحثين (الخطيب، 1974؛ عثمان، 1983؛ الجبر، 2002؛ رجب، 1990؛ القصيبي و المديني، 2000؛ الدخيل و السفرجلاني، 2005 و Italconsult, 1969; HARC, 1974, 1975, 1976, 1979; BRGM, 1977; Tayeb, 1983; AL-Mahmoud, 1987). وتشير هذه الزيادة في تركيز الأملاح الذائبة في مياه الري بواحة الأحساء إلى أهمية إتباع إدارة مائية جيدة تُعنى بالحد من مشاكل تملح التربة التي تعتبر أحد أهم المشاكل الزراعية في الواحة (Jenkins, 1976; El-Prince, 1982; Al-Barrak, 1986; Abo-Rady, 1987; Al-Barrak and Al-Badawi, 1988; Al-Barrak, 1990). ولذا، يتحتم على المعنيين بالقطاع الزراعي في الواحة ضرورة الأخذ في الاعتبار تأمين الاحتياجات الغسيلية المناسبة لهذه الأملاح الزائدة في مياه الري والتي يمكن تحديدها بناءً على قدرة المحاصيل النامية على مقاومة الملوحة وملوحة مياه الري (المديني، 2006) بهدف المحافظة على التربة الزراعية من التدهور وعلى الموارد المائية من الاستنزاف.

شكر و تقدير

يتقدم الباحثون بالشكر الجزيل لكل من الدكتور يوسف يعقوب الدخيل، مدير مركز الدراسات المائية بجامعة الملك فيصل، والدكتور مسعود عبدالعاطي، الباحث في المركز، على حُسن تعاونهم المتمثل في تزويدنا بالخرائط وعلى مساعداتهم المثمرة في إعداد وتنفيذ الأشكال.

المراجع باللغة العربية

الخطيب، عبد الباسط (1974) سبع سنابل 1965-1972: التنمية المائية و الزراعية. وزارة الزراعة و المياه، الرياض، المملكة العربية السعودية.

الجاسر، حمد (1399 هـ) المعجم الجغرافي للبلاد العربية السعودية للمنطقة الشرقية : القسم أ-ج. منشورات اليمامة، الرياض، المملكة العربية السعودية.

الجبر، محمد عبداللطيف (2002) الوضع الزراعي في واحة الأحساء: عرض للتنمية. مطابع الحميضي، الرياض، المملكة العربية السعودية.

الدخيل، يوسف يعقوب، السفرجلاني، وعبد الرحمن محي الدين (2005) دراسة النمط التاريخي للتغيرات في جودة مياه ينابيع واحة الأحساء. *مجلة الإنتاجية والتنمية، بحوث زراعية* **10** (2): 211-225.

الرويلي، مفرح معلق عجاج (2002) دراسة آثار التوسع العمراني على استخدامات الأراضي بواحة الأحساء باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد و نظم المعلومات الجغرافية. رسالة ماجستير، برنامج علوم الصحراء و الأراضي القاحلة ، كلية الدراسات العليا، جامعة الخليج العربي، المنامة، مملكة البحرين (غير منشورة).

الشباط، عبدالله أحمد (1989) صفحات من تاريخ الأحساء: مقالات تتحدث عن الأحساء في بعض أدوارها التاريخية. الدار الوطنية الجديدة للنشر و التوزيع، الخبر، المملكة العربية السعودية.

الطاهر، عبدالله أحمد سعد (1999) الأحساء: دراسة جغرافية. مطابع الحسني الحديثة، الأحساء، المملكة العربية السعودية.

القصيبي، عبدالله موسى والمديني، عبدالرحمن محمد (2000) تقويم نوعية ماء الري في واحة الأحساء واستخداماته الزراعية. *المجلة العلمية لجامعة الملك فيصل: العلوم الأساسية والتطبيقية* **1** (1): 87-102.

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 عبدالعزيز» كلية العلوم الزراعية والأغذية، جامعة الملك فيصل، الأحساء، المملكة العربية السعودية.

المديني، عبدالرحمن محمد (2006) تقدير الاحتياجات الغسيلية للمحاصيل الزراعية الرئيسية في واحة الأحساء وعلاقتها بالمحافظة على الموارد المائية و البيئية. *مجلة الإسكندرية للتبادل العلمي* **27**: 322-333.

رجب، زين العابدين عبدالرحمن (1990) واحة الأحساء: دراسة في مواردها المائية و تأثيرها على الاستخدام الريفي للأرض. في: ندوة أقسام الجغرافيا في المملكة العربية السعودية، 17-19 مارس 1987، الرياض، المملكة العربية السعودية.

المقرن، عبداللطيف (1997) استراتيجية تنمية مصادر المياه في المملكة العربية السعودية و المحافظة عليها. في: **على محمد الدربي، وآخرون**، *السجل العلمي للندوة السعودية الأولى للعلوم الزراعية: الزراعة السعودية بين التوسع والترشيد، المجلد الأول*. جامعة الملك سعود ووزارة التعليم العالي، الرياض، المملكة العربية السعودية، ص 21-42.

عثمان، مصطفى نوري (1983) الماء و مسيرة التنمية في المملكة العربية السعودية. مطبوعات تهامة، جدة، المملكة العربية السعودية.

مركز الدراسات المائية (2005) مجموعة خرائط شبكتي الري و الصرف في واحة الأحساء. جامعة الملك فيصل، الأحساء، المملكة العربية السعودية (نسخة غير منشورة).

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

المراجع باللغة الإنجليزية

Abo-Rady, MDK (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.* **5B** (3): 379-389.

Al-Barrak, S (1986) Properties and classification of some Oasis soils of Al-Ahsa, Saudi Arabia. *Arab Gulf Journal of Scientific Research* **4** (1): 349-359.

Al-Barrak, SA (1990) Characteristics of some soils under date palm in Al-Hassa Eastern Oasis, Saudi Arabia. *J. King Saud Univ., Agric. Sci.* **2** (1): 115130-.

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

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

AL-Mahmoud, MJ (1987). *Hydrogeology of the Al-Hassa Oasis*. MSc. Thesis, College of Graduate Studies, King Fahad University for Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia (unpublished).

BRGM, Bureau de Recheres Geologiques et Miniseries (1977) *Al-Hassa Development Project Groundwater's Study and Management Programme.* Final Report vol. 1, (BRGM) Bureau de Recheres Geologiques et Miniseries, Department of Groundwater Resources Development, Ministry of Agriculture and Water, Riyadh, KSA.

El-Prince, AM (1982) *The Search for Suitable Land for Cultivation in the Eastern Province:* Final *Report Submitted to Saudi Arabian National Center for Science and Technology*, Project No. Ar-1-018, Riyadh, KSA.

Etewy, H, Assed, M, Al-Barrak S, and Turjoman AM (1983) Water quality and soil characteristics as related to irrigation and drainage in Al-Hassa area. *In: The Sixth Conference on the Biological Aspects of Saudi Arabia*, March 1-3, 1983, College of Science, King Abdulaziz University, Jeddah, KSA, pp489-811.

Golden Software, Inc. (1993/1994) *SURFER* (Version 5). Colorado, USA.

HARC, Hofuf Agricultural Research Centre (1974, 1975, 1976, and 1979) *Water Resources of the Al-Hassa Oasis*. A Report on the Work of the Leichtweiss-Institute Research Team, Technical University Braunschweig Prepared for (HARC), Hofuf Agricultural Research Centre, KSA, Publications 13, 16, 22, and 38.

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.

Jenkins, DA (1976) *Observation on the Soils of*

the Agricultural Research Centre, Hofuf, Saudi Arabia. Joint Agricultural Research and Development Project, Univ. Col. of North Wales, Bangor, U.K. and Min. of Agric. and Water, Saudi Arabia. Publication 66.

Page, AL, Miller RH, and **Keeney DR** (1982) *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Morphological Properties*, (2nded). Agronomy Monograph No. 9, American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.

Richards, LA (1954) *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA, Agricultural Handbook No. 60.

Tayeb, FA (1983) *The Role of Groundwater in the Irrigation and Drainage of the Alhasa of Eastern Saudi Arabia* . MSc Thesis, Eastern Michigan University, USA (unpublished).

Vidal, FS (1951) *The Oasis of Al-Hassa*. ARAMCO, Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia.

WAKUTI (1964) *Studies for the Project of Improving Irrigation & Drainage in AL-Hassa.* (vol. 2 pt. 1): Study on Present Condition. Westf Lohrstrass 15, West Germany.

Ref. No. (2411)
Received 26/ 12/ 2006
In- revised form 01/ 12/ 2007