



تقييم جودة المياه الجوفية في جنوب طرابلس وملاءمتها للري باستخدام مؤشر جودة مياه الري (IWQI)

أحمد إبراهيم خمّاج^{1*} وعبد الرحمن أحمد الرياني² و محمد ميلاد دليوم³

¹ قسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة طرابلس، ليبيا

² المعمل المتقدم للتحاليل الكيميائية، هيئة أبحاث العلوم الطبيعية والتكنولوجيا. طرابلس، ليبيا

³ مركز أبحاث شجرة الزيتون، هيئة أبحاث علوم الطبيعة والتكنولوجيا طرابلس، ليبيا.

تاريخ الاستلام: 13 يناير 2021 / تاريخ القبول: 31 يناير 2021

<https://doi.org/10.54172/mjsc.v36i1.12>:Doi

المستخلص: تمثل المياه الجوفية أحد أهم المحددات الرئيسية في تطور، ونجاح استدامة النشاط الزراعي في ليبيا. كما أن الإدارة الجيدة، والتخطيط السليم لهذا المورد يستوجب معرفة نوعية المياه للحد من المشكلات التي قد تواجه مستعملي تلك المياه. تهدف هذه الدراسة إلى التعرف على التركيب الكيميائي للمياه الجوفية في منطقة جنوب طرابلس، وتقييم جودة المياه الجوفية لأغراض الري. ولتحقيق أهداف هذه الدراسة تم تجميع 31 عينة من مياه آبار جوفية منتشرة في جنوب طرابلس خلال شهر يوليو 2016. أجريت العديد من التحاليل الكيميائية على تلك العينات لتقدير درجة التوصيل الكهربائي، ودرجة التفاعل، وتركيز بعض الأيونات الذائبة التي تضمنت كل من الصوديوم، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والماغنيسيوم، والكلوريدات، والبيكربونات، والكبريتات، بالإضافة إلى حساب نسبة الصوديوم المدمص. تم تحديد مؤشر جودة مياه الري ذي الخمس معلمات، والتي تشمل كل من (درجة التوصيل الكهربائي، الصوديوم، الكلوريدات، البيكربونات، نسبة ادمصاص الصوديوم المعدلة). استخدمت طريقة مقلوب المسافة الوزنية بأس 2، للحصول على خرائط التوزيع المكاني للخصائص الكيميائية، ولمؤشر جودة مياه الري. أظهرت النتائج ارتفاع قيم درجة التوصيل الكهربائي عند منتصف منطقة الدراسة، وانخفاضها عند شرقها، وغربها، وأن نمط التوزيع المكاني لها مشابه إلى حد كبير لنمط التوزيع المكاني لكل من أيون الصوديوم، والكلوريد. كما دلت النتائج على أن متوسط الوفرة النسبية للأنيونات الذائبة معبراً عنه بوحدات (ملليمكافىء/ لتر) كانت 65.8، 20.4، 13.8% وذلك للكلوريدات، والكبريتات، والبيكربونات على التوالي. في حين كان متوسط الوفرة النسبية للكاتيونات الذائبة 49.3، 28.1، 21.7، 0.9% وذلك للصوديوم، والماغنيسيوم، والكالسيوم، والبوتاسيوم على التوالي. تراوحت قيم مؤشر جودة مياه الري بين 41.2 و 76.6. كما بينت خريطة التوزيع المكاني لمؤشر جودة مياه الري أن 62% من مساحة منطقة الدراسة صنفت على أنها ذات قيود، ومحددات معتدلة للاستخدام في أغراض الري، وأن 37.5% صنفت على أنها ذات قيود ومحددات مرتفعة.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، نموذج ميرلس IWQI، مقلوب المسافة الوزنية، جنوب طرابلس.

المقدمة

تلك المناطق إلى انخفاض مستوياتها، وانخفاض معدلات التغذية، وارتفاع ملوحتها ومن ثم تدني نوعيتها خصوصاً في المناطق المتاخمة للبحر. تؤثر نوعية المياه الجوفية المستخدمة لأغراض الري على معدلات رشح التربة، بناء التربة، تطور مشاكل الصودية، والملوحة، مشاكل البيكربونات والمشاكل المرتبطة بنوعية الأملاح. وعلى الرغم من أن تلك التأثيرات مرتبطة بالخصائص الكيميائية، والطبيعية للتربة إلا أنها تنعكس بدورها على معدلات إنتاج المحاصيل الزراعية

تعد المياه الجوفية أحد أكثر عناصر الدورة الهيدرولوجية أهمية في المناطق الجافة، وشبه الجافة لما لها من أهمية في نجاح أي استثمار زراعي مرتبط بإنتاج المحاصيل لضمان الأمن الغذائي. في العديد من المناطق الجافة وشبه الجافة التي تعتمد على المياه الجوفية مصدراً وحيداً لعمليات الري الزراعي، أدت عمليات الاستنزاف المستمر للمياه الجوفية في

*أحمد إبراهيم خمّاج، ekhmaj@gmail.com، قسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة طرابلس

الأيونات، والتأثيرات العرضية التي تسببها مياه الري على المحاصيل.

صنفت نوعية مياه الري وفقاً للمؤشر المقترح إلى مياه منخفضة، ومعتدلة، وعالية الجودة. كما استخدم (Misaghi وآخرون، 2017) معلمات تمثلت في الصوديوم (Na^+)، الكلوريد (Cl^-)، درجة التفاعل (pH)، نسبة الصوديوم المدمص (SAR)، والأملاح الكلية الذائبة (TDS)، وقد صنفت مياه الري وفقاً لذلك إلى مياه رديئة جداً، رديئة، معتدلة، جيدة، عالية الجودة. اقترح (Meireles وآخرون، 2010)، مؤشراً جديداً لنوعية مياه الري (IWQI) باستخدام تقنية تحليل المتغيرات المتعددة (Multivariate Statistical Analysis). اقتصرت المعلمات المستخدمة كمدخلات في حسابات هذا المؤشر على ما تضمنه نظام مختبر الملوحة الأمريكي (Richards، 1954) ومنظمة الأغذية، والزراعة (Westcot و Ayers، 1999).

اشتملت تلك المعلمات في مجملها على كل من درجة التوصيل الكهربائي، والصوديوم، والكلوريد، والبيكربونات، ونسبة الصوديوم المدمص المعدلة (SAR^0). كل هذه المعلمات تعكس تأثيرات كل من الخطورة الناشئة عن ملوحة مياه الري، وانخفاض معدلات الرشح، ومشاكل السمية على النبات. تكمن أهمية مؤشر (Meireles وآخرون، 2010) مقارنة بغيره من المؤشرات في كونه قد طور لغرض تحديد نوعية مياه الري، وذلك على النقيض من المؤشر المستخدم من قبل (Misaghi وآخرون، 2017)، والذي تبنى مؤشر WQI-NSF والمطور من قبل المؤسسة الدولية للتطهير للولايات المتحدة الأمريكية، والمستهدف لتقييم نوعية مياه الشرب المنتجة من عمليات معالجة مياه الصرف الصحي.

كما أن اعتماد حسابات مؤشر (Meireles وآخرون، 2010) على تصنيف مختبر الملوحة الأمريكي (Richards، 1954 Westcot و Ayers، 1999). اللذان يعتبران من أكثر أنظمة تصنيف مياه الري استعمالاً، وانتشاراً، مع محدودية عدد المعلمات، وتوفر بياناتها، وسهولة الحصول على تقديراتها، بالإضافة إلى حداتها النسبية، جعله محل دراسة العديد من الباحثين، والمهتمين بقضايا نوعية مياه الري. فلقد استخدم

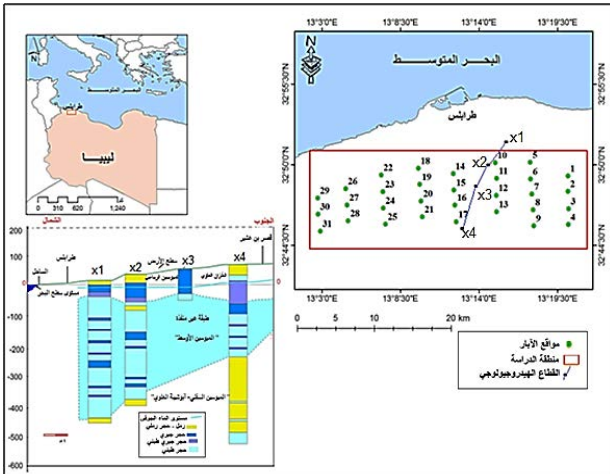
(Simsek and Gunduz، 2007). كما تكمن التأثيرات السلبية لانخفاض نوعية مياه الري أيضاً في تزامن التأثير الأسموزي الناشئ عن ارتفاع الملوحة، مع التأثير السمي لبعض الأيونات الذائبة على المحاصيل الزراعية (Arnon، 1972).

لقد تم تطوير العديد من مؤشرات جودة مياه الري التي تؤثر على مدى صلاحيتها للمساهمة في الحد من الآثار السلبية التي قد تنشأ عن استخدام مياه الري على كل من التربة، والمحصول على حد سواء. تساعد تلك المؤشرات عبر تحويل البيانات المتعلقة بنوعية مياه الري إلى معلومات مهمة لمتخذي القرار، وأصحاب المصلحة في معالجة القضايا المتعلقة بالبيئة، والزراعة، وإدارة مياه الري (Mohammed، 2011).

تتميز مؤشرات نوعية مياه الري عن بقية أنظمة تصنيف نوعية مياه الري في أنها ذات قيمة مفردة (Single value)، تمكن من الحكم على نوعية مياه الري. تختزل تلك القيمة أهمية المعلمات المختلفة المستخدمة في تصنيف نوعية مياه الري عند مكان معين، وفي زمن محدد (Brhane، 2016). وعلى الرغم من أن تلك المؤشرات قد لا تتضمن حساباتها كل المعلمات ذات العلاقة بنوعية مياه الري، إلا أن احتواءها على أكثر المعلمات أهمية قد يوفر دليلاً بسيطاً، وفعالاً للحكم على نوعية مياه الري.

تتفق أغلب مؤشرات نوعية مياه الري المختلفة في اتباعها منهجية مقارنة تعتمد على إعطاء أوزان محددة للمعلمات المختلفة بناء على أهميتها إلا أنها تتباين في ماهية تلك المعلمات وعددها. علاوة على ذلك، فإنه من المهم الإشارة إلى اختلاف مفهوم جودة مياه الري مع اختلاف المواقع المستهدفة بعملية الري، حيث تختلف أنماط المحاصيل المزروعة، وظروف التربة، والمناخ (Babiker وآخرون، 2007). فلقد اقترح (Simsek و Gunduz، 2007) مؤشراً لنوعية مياه الري تم تطبيقه في سهل سيماف بتركيا. اعتمد المؤشر المقترح على ضوابط، واشتراطات تصنيف نوعية مياه الري الصادرة عن منظمة الأغذية، والزراعة (Ayers و Westcot، 1999) والتي تأخذ في اعتبارها معلمات تعكس مخاطر الملوحة، والرشح، والنفاذية، والسمية النوعية لبعض

الزراعية، والصناعية، ولأغراض الشرب. وقد أدى حفر المزيد من الآبار، واستخدام المضخات ذات القدرات العالية لسحب المياه الجوفية بمعدلات تفوق كميات التغذية السنوية إلى إحداث خلل في الموازنة المائية للخزان الجوفي، وارتفاع ملوحة المياه المستخرجة منها (Ekhmaj وآخرون، 2014). يدل السجل الجيولوجي في منطقة الدراسة، الموضح في الشكل (1) على أن الطبقات الحاملة للمياه الجوفية غير المقيدة تتبع الخزان الرباعي (Quaternary Aquifer) والمكون من تداخلات من الرمل، والحصى، والحجر الرملي، والحجر الجيري (Flogel، 1979). يتراوح عمق مستوى الماء الجوفي في الخزان الجوفي غير المقيد بين 10 و 160 متر تحت مستوى سطح الأرض، ويسمك مشبع يتراوح من 10 إلى 90 متر. كما تتراوح إنتاجية أغلب آبار منطقة الدراسة بين 20 و 50 م³/ساعة (Floegel، 1979).



شكل (1) الموقع الجغرافي والقطاع الهيدروجيولوجي لمنطقة الدراسة

الوصف العام لنموذج IWQI: اعتمدت طريقة (Meireles وآخرون، 2010) لتحديد جودة مياه الري، والتي تستخدم بدرجة رئيسية في تقييم المياه في الأغراض الزراعية على تقنية تحليل المتغيرات المتعددة (Multivariate analysis). ولكي يتم حساب الأوزان النسبية للعوامل المختلفة في هذه الطريقة، يجب استخدام قيم تلك المعلمات المشتقة من بيانات نوعية مياه الري وفقاً لما اقترحتة مستشارية لجنة جامعة كاليفورنيا (UCC) بالإضافة إلى ما ورد من خصائص مياه الري من قبل (Ayers و Westcot، 1999)، وتتلخص هذه الطريقة في التعرف على قيم المعلمات التي لها السيادة في

مؤشر IWQI في تقييم نوعية مياه الري لحوض حلبة سيد صادق بالعراق خلال موسمين رطب، وجاف من قبل (Abdullah وآخرون، 2016)، وفي جنوب الصحراء الشرقية بمصر للعديد من الخزانات الجوفية في حلايب، وشلاتين (Heba وآخرون، 2016)، وفي شمال غربي محافظة المنيا بمصر من قبل (Abdulahdy، 2018)، وفي مناطق شابهار، وسيستان، وبلوشستان، في جنوب شرقي إيران من قبل (Abbasina وآخرون، 2018)، وفي المكسيك، في مناطق Okhuah و Ikhueniro .

محلياً، وعلى الرغم من أهمية استخدام مؤشر IWQI لتقييم نوعية مياه الري، إلا أن أغلب الدراسات المتعلقة بتقييم نوعية مياه الري اقتصرت على التصنيفات المقترحة من قبل مختبر الملوحة الأمريكي، ومنظمة الأغذية والزراعة، وعلى سبيل المثال لا الحصر (عبد العزيز وآخرون، 2009؛ الصادي وآخرون، 2019). تهدف هذه الدراسة إلى التعرف على التركيب الكيميائي للمياه الجوفية، وتقييم نوعية المياه الجوفية باستخدام مؤشر (Meireles وآخرون، 2010) للخزانات الجوفية الضحلة جنوب طرابلس.

المواد وطرق البحث

وصف منطقة الدراسة: تقع منطقة الدراسة بين دائرتي عرض 32.757° و 32.890° شمالاً و بين خطي طول 13.043° و 13.338° شرقاً و تغطي مساحة 340.90 كم² تقريباً، وذلك كما هو موضح في الشكل (1). تتصف تضاريس منطقة الدراسة بأنها على درجة كبيرة من الاستواء، وتندرج في الارتفاع عن مستوى سطح البحر نحو الجنوب. شهدت منطقة الدراسة تطوراً عمرانياً ملحوظاً، خصوصاً في شمالها، كما تنتشر فيها الكثير من الحيازات الزراعية. تمتاز المنطقة مناخياً، بنمط نطاق مناخ البحر المتوسط.

تصل معدلات الأمطار السنوية بين 288 ملم في محطة الإحصاء المناخية بمطار طرابلس الواقع جنوب منطقة الدراسة، و 337 ملم بمحطة مدينة طرابلس الواقعة شمال منطقة طرابلس (الميلودي، 2018). تعد المياه الجوفية المصدر الوحيد للإمدادات المائية اللازمة لمختلف الاستعمالات

حيث تمثل q_{max} القيمة العظمى لكل صنف، x_i تمثل القيمة المقاسة لكل معلمة، x_{inf} تمثل قيمة الحد الأدنى للصنف الذي تتبعه المعلمة، q_{iamp} تمثل سعة الصنف، x_{amp} تمثل القيمة المناظرة لسعة الصنف والذي تتبعه المعلمة. يوضح الجدول (1) قيم q_i والتي تمثل نوعية المياه المقدرة بالنسبة للمعلمة الواحدة المحددة. تعكس قيم w_i الوزن المعياري للمعلمات، ويرتبط بأهميته في تفسير التغير الكلي في نوعية المياه والموضح في الجدول (2). تحدد قيم مؤشر جودة المياه لأغراض الري IWQI من المعادلة (3) التي يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$(3) \quad IWQI = \sum_{i=1}^n q_i w_i$$

طبقاً للمعادلة (3)، فإن المؤشر IWQI هو مؤشر لا وحدات له، وتتراوح قيمته من 0 إلى 100. إن الاختلاف في التقسيمات المختلفة لمياه الري الموضحة في الجدول (3)، تم تنفيذها مع الأخذ في الاعتبار مخاطر مشاكل الملوحة، الانخفاض في معدلات تخلل ماء التربة، بالإضافة إلى تأثيرات السمية على النبات.

أداء الدور المهم في نوعية المياه للأغراض الزراعية. تتضمن هذه المعلمات كل من التوصيل الكهربائي (EC)، معبراً عنها بوحدات ميكروسيمنز/سم، وبعض الأيونات الذائبة في مياه الري معبراً عنها بالملي مكافئ/لتر، والتي اشتملت على كل من الصوديوم الذائب (Na^+)، الكلوريدات (Cl) والبيكربونات الذائبة (HCO_3^-)، بالإضافة إلى نسبة ادمصاص الصوديوم المعدلة (SAR^0)، المقترحة من قبل (Suarez, 1981)، والتي تم حسابها وفقاً لما أشار إليه (Suarez و Lesch, 2009) على النحو الموضح في المعادلة (1).

$$(1) \quad SAR^0 = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}_{eq} + Mg^{2+}}{2}}}$$

حيث يمثل Na^+ تركيز الصوديوم الذائب في مياه الري، Ca^{2+}_{eq} تركيز الكالسيوم المعدل الذائب في مياه الري، Mg^{2+} تركيز الماغنيسيوم الذائب في مياه الري. وفقاً لمؤشر جودة المياه المقترح، فإن الوحدات المستخدمة في وصف تركيزات العناصر الداخلة في حساب SAR^0 هي وحدات الملي مكافئ/لتر.

يتم تحديد مساهمة كل معلمة على حدة عند حساب مؤشر جودة مياه الري، بحيث تشمل هذه المساهمة كل من قيم نوعية المياه المقدرة (q_i) والوزن النسبي (w_i)، كما تستخدم المعادلة (2) في حساب قيم (q_i) وذلك على النحو التالي:

$$(2) \quad q_i = q_{max} - \left(\frac{q_{iamp} \times (x_{ij} - x_{inf})}{x_{amp}} \right)$$

جدول (1) قيم نوعية المياه المقدرة (q_i) وفقاً لقيم المعلمات المختلفة.

q_i	EC (ميكروسيمنز/سم)	SAR^0	Na^+ (ملي مكافئ/لتر)	Cl ⁻ (ملي مكافئ/لتر)	HCO_3^- (ملي مكافئ/لتر)
85-100	(750، 200]	[2-3)	(3، 2)	4 >	(1.5، 1]
60-85	(1500، 750]	3[،6)	(6، 3]	(7، 4]	(4.5، 1.5]
35-60	(3000، 1500]	[6، 12)	(9، 6]	(10، 7]	(8.5، 4.5]
أقل من 35	200 ≥ أو 3000 ≤	$SAR^0 < 2$ $SAR^0 \geq 12$	2 ≥ أو 9 ≤	10 ≤	1 > أو 8.5 ≤

جدول (2) الأهمية الوزنية (w_i) للمعاملات المختلفة

المعلمة	القيمة (w_i)
درجة التوصيل الكهربائي (EC) "ميكروسيمنز/سم"	0.211
الصوديوم (Na^+) "ملييكافئ/ لتر"	0.204
البكربونات (HCO_3^-) "ملييكافئ/ لتر"	0.202
الكلوريد (Cl^-) "ملييكافئ/ لتر"	0.194
نسبة ادمصاص الصوديوم المعدلة (SAR^0)	0.189
الإجمالي	1

تمثل تلك التقسيمات قيود ومحددات استخدام مياه الري والتي تم تصنيفها بالاستعانة بما توصل إليه كل من (Bernardo, 1995) و (Amorim و Holand, 1997). تجدر الإشارة هنا إلى أن القيم الصغرى في هذا النموذج تمثل نوعية المياه الرديئة، وأن نوعية المياه تتحسن مع الارتفاع في قيم IWQI.

تجميع البيانات: لإنجاز هذا العمل تم تجميع 31 عينة مياه من الآبار في منطقة الدراسة خلال شهر يوليو 2016. وتم تحديد مواقع آبار أخذ العينات بالاستعانة بجهاز (GPS). تراوح عمق الماء الساكن في الآبار من 24 إلى 120 متر تحت مستوى سطح الأرض. كما تم تجميع بيانات كاملة عن

البئر من حيث تاريخ الحفر، والعمق. تضمنت التحاليل الكيميائية التي أجريت على مياه الآبار، تقدير كل من التوصيل الكهربائي (EC)، درجة التقاغل (pH)، وبعض الأيونات الرئيسية الذائبة والتي شملت كل من الكالسيوم (Ca^{2+}) والمغنيسيوم (Mg^{2+}) والصوديوم (Na^+)، والبوتاسيوم (K^+)، والبكربونات (HCO_3^-)، والكلوريدات (Cl^-)، والكبريتات (SO_4^{2-}). أجريت التحاليل الكيميائية على عينات المياه في معمل تحليل التربة والمياه بقسم التربة، والمياه بكلية الزراعة- جامعة طرابلس، وفقاً للطرق المشار إليها من قبل (APHA وآخرون، 1992). كما تم حساب الأملاح الكلية الذائبة (TDS) كدالة لدرجة التوصيل الكهربائي باستخدام العلاقة المقترحة من قبل (Albu وآخرون، 1997) على النحو التالي:

$$(4) \quad TDS (mg/l) \approx EC(\mu S/cm) \times 0.640$$

كما تم الاستعانة ببرنامج 14 Rockware للتعرف على هيدروكيميائية المياه الجوفية عبر التمثيل البياني للتحاليل الكيميائية للمياه الجوفية (مخطط بايبر) المقترح من قبل (Piper, 1944).

جدول (3) محددات وقيود استخدام مياه الري وفقاً لمؤشر جودة مياه الري (Meireles وآخرون 2010)

التوصيات	التربة	محددات وقيود الاستخدام	IWQI
لا توجد خطورة للسمية على أغلب المحاصيل	قد تتعرض للإمكان استخدامها لجميع أنواع الترب. قد تتعرض التربة إلى مخاطر منخفضة من الصودية والملوحة.	لا توجد	85-100
ارتفاع خطورة الملوحة على المحاصيل الحساسة للملوحة.	بالإمكان استخدامها للترب خفيفة القوام، أو متوسطة النفاذية. ولاستبعاد مخاطر الصودية في الترب ثقيلة القوام ينصح بإجراء عمليات الغسيل	منخفضة	70 – 85
بالإمكان استخدامها لري المحاصيل متوسطة التحمل للملوحة	من الأفضل استخدامها للتربة متوسطة، وعالية النفاذية. كما ينصح بإجراء عمليات الغسيل المتوسط للأملح لمنع تدهور التربة.	معتدلة	55-70
ملائمة لري المحاصيل من متوسطة إلى عالية التحمل للملوحة مع عمليات تحكم خاصة في الملوحة عدا تلك المياه التي تصلح للمحاصيل عالية التحمل للملوحة، عدا تلك المياه التي تحوي قيم منخفضة من الصوديوم والكلوريدات والبكربونات.	بالإمكان استخدام هذا النوع من المياه للترب عالية النفاذية، والتي لا تحوي طبقات منضغطة. كما يتطلب أن يكون تكرار الري مرتفعاً.	مرتفعة	40-55
	لا يجب استخدام هذه المياه لأغراض الري تحت الظروف الاعتيادية.	عالية	0-40

عند البئر رقم 25 الواقع في الجنوب الغربي من منطقة الدراسة.

يوضح الجدول (5) بعض الخصائص الإحصائية للخواص الكيميائية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة. أظهرت النتائج أن قيم درجة التفاعل (pH) تراوحت بين 7 و8، وبمعامل اختلاف منخفض نسبياً (3%)، كما أنها تقع ضمن المدى الطبيعي المسموح به لمياه الري (6.5-8.4). والموصى به من قبل (Ayers و Westcot، 1999).

يُظهر الشكل (2) أن هناك ارتفاعاً نسبياً في قيم درجة التفاعل عند الحدود الشمالية الشرقية من منطقة الدراسة مقارنة ببقية المناطق. كما يمكن ملاحظة أن المنطقة الشمالية الشرقية تنخفض فيها تركيزات البيكربونات الذائبة، وذلك وفقاً للتوزيع المكاني للبيكربونات الذائبة الموضح في الشكل (3).

تتفق هذه النتائج مع ما خلص إليه (Ramesh و Srinithi، 2014) حيث تنخفض قيم pH مع الزيادة في تركيز البيكربونات في المياه الجوفية. تتميز المياه بخاصية التوصيل الكهربائي؛ لاحتوائها على أيونات تزيد من قدرتها على التوصيل الكهربائي (Richards، 1954). أظهرت النتائج تفاوتاً كبيراً في قيم درجة التوصيل الكهربائي في عينات المياه. فلقد تراوحت بين 490 ميكروسيمنز/سم، و7700 ميكروسيمنز/سم، بانحراف معياري، ومعامل اختلاف مقداره 1797 ميكروسيمنز/سم و 81% على التوالي. فلقد كانت القيم المرتفعة لدرجة التوصيل الكهربائي في الآبار هي تلك الواقعة في مشروع الهضبة الزراعي عند مركز منطقة الدراسة (الآبار 19 و20 و21)، وذلك على النحو الموضح في الشكل (4).

تشير هذه النتائج إلى أن تعاضم كميات السحب من الخزانات الجوفية، في تلك المنطقة أدى إلى حدوث تلوث للمياه الجوفية بمياه البحر (Ekhnaj، وآخرون، 2014)، والذي يعد أحد أسباب ارتفاع كمية الأملاح الكلية الذائبة في المياه الجوفية. حيث يشير ارتفاع قيم التوصيل الكهربائي في عينات المياه إلى ارتفاع كمية الأملاح الكلية الذائبة، وتبايناتها أيضاً، وذلك على النحو الموضح في الجدول (5).

خرائط التوزيع المكاني للخصائص الكيميائية: تم الحصول على خرائط التوزيع المكاني المختلفة باستخدام طريقة مقلوب المسافة الوزنية (IDW) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية عبر استخدام برنامج ArcGis10.4 وملحقاته، والمطور من قبل معهد بحوث النظم البيئية (ESRI، 2012) تصنف طريقة مقلوب المسافة الموزونة IDW على أنها أحد طرق الاستنباط. التقديرية (deterministic) التي تنتج سطوحاً تقديرية بشكل أفضل عند محدودية عدد النقاط، وانتظام توزيعها. كما تم وصفها من قبل (Azpurua و Dos، 2010، Ramos) بأنها طريقة دقيقة، وحدسية. (Intuitive) بالإمكان كتابة الصيغة الرياضية التي تصف طريقة مقلوب المسافة الموزونة على النحو التالي:

$$z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (5)$$

تمثل $z(x_0)$ القيمة المتنبأ بها للخاصية موضوع الدراسة عند الموقع x_0 ، كما تمثل n العدد الكلي للبيانات المتوفرة (في هذه الدراسة 31 نقطة)، و x_i قيمة الخاصية عند الموقع i ، تمثل h المسافة الفاصلة بين النقطة المراد التنبؤ بالخاصية عندها، والنقطة معلومة التقدير، β تشير إلى أس المسافة. على الرغم من أن قيمة الأس تساوي أي قيمة أعلى من الصفر، إلا أنه في هذه الدراسة تم اختيار قيمة للأس مساوية 2. فلقد أشار (Babak، و Deutsch، 2008) إلى أن هذه القيمة هي الأكثر استخداماً عند تطبيق طريقة مقلوب المسافة الموزونة في التقديرات المكانية.

النتائج والمناقشة

الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية: يوضح الجدول (4) أرقام الآبار، ومواقعها، ونتائج تحليل الخواص الكيميائية للمياه الجوفية. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن متوسط عمق منسوب الماء الساكن تحت مستوى سطح الأرض (WSL) في منطقة الدراسة بلغ 77.5 متر، وأن أقل عمق تم تسجيله 24 متر كان في البئر رقم 14 الواقع في شمال منتصف منطقة الدراسة. في حين سجل أقصى عمق 120 متر وذلك

توضح الأشكال (4،3،5،6،7) أن نمط التوزيع المكاني للأيونات الذائبة مشابه إلى حد بعيد مع نمط التوزيع المكاني لدرجة التوصيل الكهربائي، حيث تشكل مجموعة الآبار (19،20،21) بؤرة ترتفع فيها تركيزات الأيونات الذائبة، وفي اتجاهها. تظهر قيم معامل الاختلاف في تركيز الأيونات الرئيسية الذائبة التباينات الواضحة بين مياه الآبار الجوفية في محتواها من تلك الأيونات وذلك كما هو موضح في الجدول (5).

ففي حين كانت أيونات البيكربونات هي الأقل اختلافاً (21%) فإن تركيزات الصوديوم، والكلوريدات كانت الأكثر اختلافاً بنسبة 106%، و 111% على التوالي. من ناحية أخرى، تمثل أيونات الصوديوم، والكلوريدات النسبة الأكبر لمكونات الأملاح الكلية الذائبة بنسبة 18% و 36% على التوالي. كانت مساهمة بقية الأيونات في مكونات الأملاح الكلية الذائبة 7، 5، 0.5، 13، 15% وذلك للكالسيوم، والمغنيسيوم، والبوتاسيوم، والبيكربونات، والكبريتات على التوالي. إن ارتفاع تركيز الكلوريدات في المياه الجوفية مقارنة ببقية الأيونات الذائبة، يوفر المؤشر الأكثر بساطة لحدوث ظاهرة تلوث الخزانات الجوفية بمياه البحر (Mercado، El Moujabber 1985؛ وآخرون، 2006) تكمن أهمية تقدير الكلوريدات الذائبة في المياه

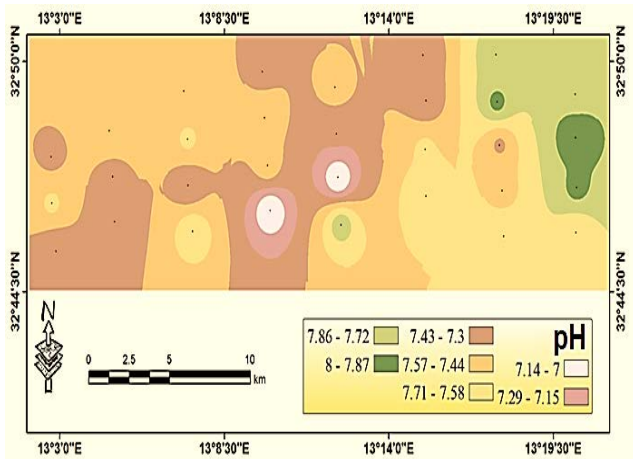
جدول (4). أرقام الآبار ومواقعها ونتائج تحليل الخواص الكيميائية للمياه الجوفية

البئر	خط الطول (درجة شرقاً)	خط العرض (درجة شمالاً)	WSL (متر)	pH	EC (ميكرو سيمنز/متر)	TDS (ملجم/لتر)	Ca ²⁺ (ملجم/لتر)	Mg ²⁺ (ملجم/لتر)	Na ⁺ (ملجم/لتر)	K ⁺ (ملجم/لتر)	HCO ₃ ⁻ (ملجم/لتر)	Cl ⁻ (ملجم/لتر)	SO ₄ ²⁻ (ملجم/لتر)	SAR ^o
1	13.33748	32.82008	90	7.8	580	371	32	26.4	48.3	3.9	140.3	71	80.6	1.5
2	13.33759	32.80269	90	8	550	352	26.4	26.2	36.8	2.7	134.2	63.9	73	1.2
3	13.33829	32.78288	75	7.9	570	365	28	28.8	44.9	3.5	134.2	71	78.7	1.4
4	13.3379	32.76506	65	7.6	800	512	44	37.2	65.6	4.7	195.2	106.5	102.7	1.9
5	13.29324	32.83579	90	7.8	650	416	36	31.2	54.5	4.7	134.2	85.2	95	1.6
6	13.29381	32.81699	95	7.9	490	314	27.2	22.1	33.6	2.3	103.7	56.8	70.1	1.1
7	13.29525	32.79973	95	7.4	1860	1190	84	52.8	239.9	6.6	134.2	390.5	178.6	5.3
8	13.29664	32.78174	90	7.5	1100	704	61.6	49.4	99.1	5.5	140.3	184.6	143	2.4
9	13.29742	32.76349	90	7.7	670	429	36.8	30.7	52.9	4.3	207.4	92.3	53.8	1.6
10	13.25248	32.83554	60	7.3	5100	3264	144	163.2	864.1	10.9	183	1491	399.4	12.4
11	13.25412	32.81757	55	7.3	3900	2496	184	112.8	503.9	9.8	244	994	383	8.4
12	13.25378	32.79813	75	7.6	880	563	48	40.8	72	4.7	225.7	142	89.3	2
13	13.25414	32.77949	65	7.7	960	614	52.8	45.1	80	5.1	219.6	177.5	95	2.1
14	13.20343	32.82279	24	7.5	4820	3085	268	132	592	8.2	250.1	1207	536.6	8.9
15	13.20431	32.80435	65	7.3	4200	2688	184	144	520	7.8	231.8	1065	481.9	7.9
16	13.20515	32.78694	75	7	2920	1869	144	110.4	319.9	7	219.6	692.3	340.8	5.5
17	13.20687	32.76797	90	7.8	1310	838	64	55.2	127.9	7.8	256.2	241.4	112.3	3.1
18	13.16281	32.8291	27	7.4	3140	2010	172	105.6	336	7	189.1	816.5	269.8	5.6
19	13.16426	32.81062	65	7.5	4100	2624	192	134.4	512	9.4	195.2	1100.5	441.6	7.8
20	13.1659	32.79174	75	7.5	5500	3520	204	171.6	816	16	195.2	1739.5	369.6	11.2
21	13.16736	32.77372	65	7	7700	4928	288	242.4	1136	35.1	189.1	2591.5	395.5	13.2
22	13.11915	32.82137	50	7.5	1540	986	88	98.4	72	5.5	201.3	276.9	213.1	1.3
23	13.12138	32.8022	90	7.6	1870	1197	76	60	239.9	7.4	170.8	426	221.8	5.3
24	13.12144	32.78383	85	7.3	3140	2010	184	24	431.9	12.1	189.1	710	370.6	10.1
25	13.12413	32.76543	120	7.7	1840	1178	72	84	196	6.6	195.2	390.5	174.7	3.9
26	13.0776	32.80561	65	7.5	1060	678	48	72	65.6	5.9	231.8	177.5	105.6	1.5
27	13.07944	32.78724	90	7.4	1450	928	56	79.2	128.1	7	231.8	213	239	2.7
28	13.08064	32.76919	120	7.3	1490	954	57.2	83.3	131.3	6.2	225.7	248.5	245.8	2.7
29	13.04511	32.79514	75	7.4	1140	730	76	31.2	120.1	6.2	183	213	127.7	3.3
30	13.04558	32.77667	90	7.6	1550	992	80	76.8	123.3	8.2	237.9	284	183.4	2.6
31	13.04801	32.75744	95	7.3	1910	1222	108	81.6	180.1	10.9	225.7	319.5	299.5	3.6

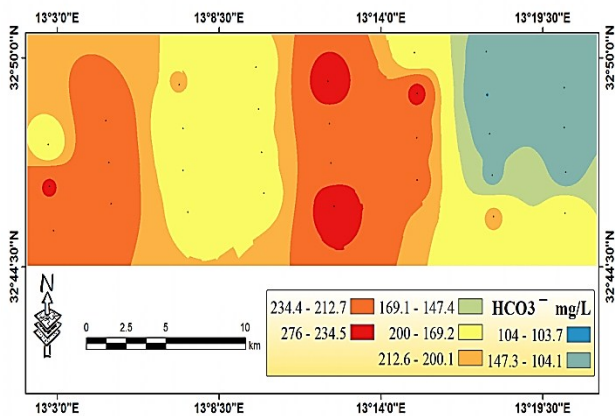
جدول (5) الخصائص الإحصائية لمستوى الماء الجوفي الساكن، ولبعض الخواص الكيميائية للمياه الجوفية.

البارامتر	المتوسط الحسابي	القيمة الصغرى	القيمة القصوى	الانحراف المعياري	معامل الاختلاف (%)
WSL (متر)	77.5	24	120	21.5	28
pH	7.5	7	8	0.26	3
EC (ميكروسيمنز/سم)	2219	490	7700	1797	81
TDS (ملجم/لتر)	1420	314	4928	1150	81
Ca ²⁺ (ملجم/لتر)	102	26	288	73	72
Mg ²⁺ (ملجم/لتر)	79	22	242	53	67
Na ⁺ (ملجم/لتر)	266	34	1136	281	106
K ⁺ (ملجم/لتر)	7.83	2.3	35.1	5.8	74
HCO ₃ ⁻ (ملجم/لتر)	194	104	256	40.6	21
Cl ⁻ (ملجم/لتر)	537	57	2592	594	111
SO ₄ ⁻ (ملجم/لتر)	225	54	537	141	63
SAR ⁰	4.61	1.09	13.24	3.60	78

الكلويدات مع الكبريتات غالباً ما يحدث في الخزان الجوفي العلوي المتأثر بعمليات تداخل مياه البحر بالمياه الجوفية (Alfarrah وآخرون، 2011).



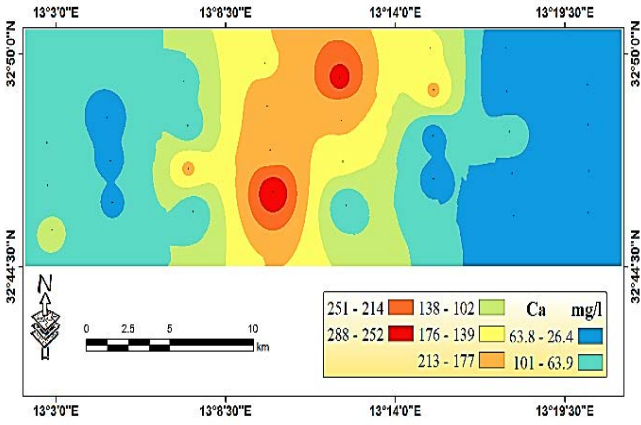
شكل (2) التوزيع المكاني لدرجة التفاعل لمياه آبار منطقة الدراسة.



شكل (3) التوزيع المكاني للبيكربونات الذائبة (ملجم/لتر) في مياه آبار منطقة الدراسة.

الجوفية في إمكانية الاعتماد عليها في وصف المياه الجوفية، وذلك وفقاً لاختلاف تركيزاتها. فلقد أشار (Alfarrah وآخرون، 2011) إلى أن المياه الجوفية يمكن تصنيفها بناء على محتواها من الكلويدات الذائبة، بحيث تكون عذبة عندما يقل تركيزها عن 150 ملجم/لتر، وخليط بين عذبة، وأسنة عندما يتراوح تركيزها بين 150 و 300 ملجم/لتر، وأسنة عندما يتراوح تركيزها بين 300 و 1000 ملجم/لتر، وبين أسنة ومالحة عندما يتراوح تركيزها بين 1000 و 10000 ملجم/لتر. وفقاً لهذا التصنيف فإن الآبار (1-6، 9، 12) وهي آبار تقع شرق منطقة الدراسة، توصف على أنها عذبة، وأن الآبار (8، 13، 17، 22، 26-30) توصف على أنها مياه خليط بين عذبة، وأسنة. كما توصف مياه الآبار (11، 16، 18، 23، 24، 25، 31) على أنها أسنة، أما بقية الآبار (10، 14، 15، 19، 20، 21) فإنها مياه أسنة، ومالحة.

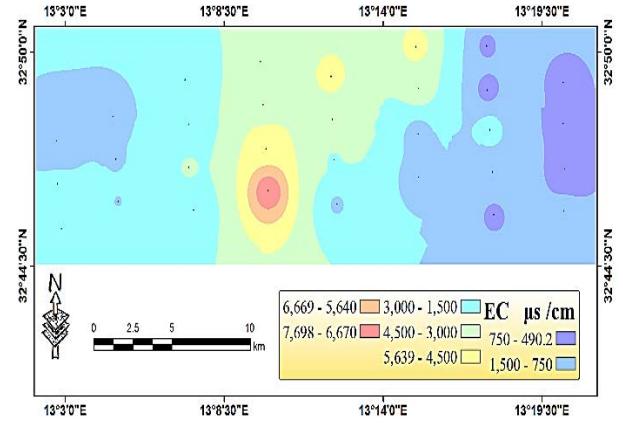
يوضح الشكل (8) أن المياه الأسنة المالحة يتركز وجودها في منطقة مشروع الهضبة الزراعي، ويمتد أثرها نحو الشمال الشرقي. كما يتضح أن نمط التوزيع المكاني لكل من الكلويدات، والكبريتات متشابهان (الشكل 8 و 9) إلى حد كبير، خصوصاً وأن التركيزات المرتفعة من الكبريتات مرتبطة بدرجة أساسية بعمليات الخلط التي تحدث للمياه الجوفية مع المياه المالحة ذات المنشأ البحري، وأن ارتباط كل من



شكل (5) التوزيع المكاني للكالسيوم الذائب (ملجم/لتر) في مياه آبار منطقة الدراسة.

الارتباط بين الخصائص الكيميائية المختلفة للمياه الجوفية: لقد تم تقدير معامل بيرسون للارتباط لقياس درجة الارتباط بين الخصائص الكيميائية المختلفة. على الرغم من أن العمليات الهيدروكيميائية للمياه الجوفية بالغة التعقيد، إلا أن مثل هذا التحليل قد يسمح بفهم بعض أوجه تلك العمليات (Ekhmaj، وآخرون، 2014).

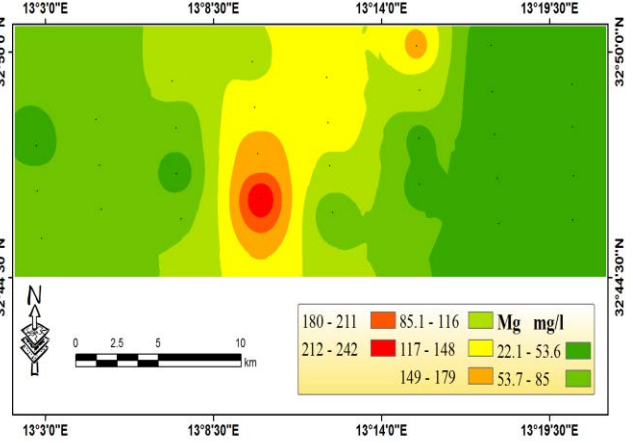
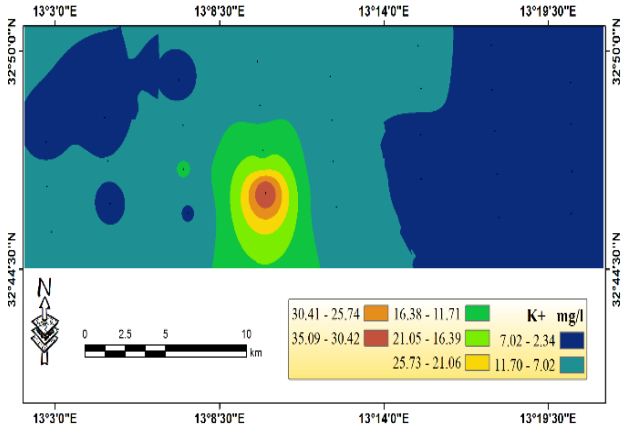
يوضح الجدول (5) مصفوفة الارتباط للعلاقات الخطية بين الخصائص الكيميائية المختلفة للمياه الجوفية. أظهرت النتائج أن هناك ارتباطاً سالباً، ومعنوياً عند مستوى 0.05 بين درجة التفاعل وبقية الخصائص الكيميائية. كانت قيم معامل الارتباط لدرجة التفاعل أكثر سالبية مع الكالسيوم (-0.67) ومع الكبريتات (-0.70). كما كان الارتباط موجباً ومرتفعاً عند مستوى معنوية 0.05 بين درجة التوصيل الكهربائي ومحتوى المياه من الكلوريدات (0.99)، والصدويوم (0.99)، وبدرجة أقل مع الكالسيوم (0.95)، والمغنيسيوم (0.93)، والكبريتات (0.87)، والبوتاسيوم (0.82) وبدرجة أدنى مع البيكربونات (0.28). يعطي ارتفاع قيم معامل الارتباط بين درجة التوصيل الكهربائي، ومحتوى المياه من الأيونات الدائبة دلالة على تحكم تلك الأيونات في قيم درجة التوصيل الكهربائي (Sundaray، 2010). كما أظهرت النتائج ارتباطاً موجباً وعالياً بين الكلوريدات مع الصدويوم (0.99) مما يدل على حدوث عمليات تلوث المياه الجوفية بمياه البحر (Panteleit، وآخرون، 2001).



شكل (4) التوزيع المكاني لدرجة التوصيل الكهربائي (ميكرو سيمينز/سم) لمياه آبار منطقة الدراسة.

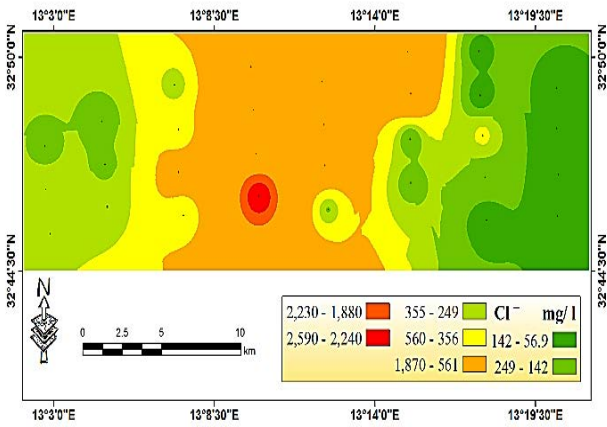
يوضح الجدول (5) أن قيم نسبة الصوديوم المدمص المعدلة SAR⁰ تتراوح بين 1.09 و 13.24، بمتوسط مقداره 4.61، وبمعامل اختلاف 78%. وفقاً لتصنيف منظمة الأغذية والزراعة (Ayer و Westcot، 1985) فإن أغلب مياه آبار منطقة الدراسة تقل فيها قيم نسبة ادمصاص الصوديوم المعدلة عن 3، وبالتالي فإنه لا يتوقع عند استخدامها ظهور مشاكل متعلقة بنسبة ادمصاص الصوديوم المعدلة. في حين تتراوح قيم نسبة ادمصاص الصوديوم المعدلة في المياه بين 3 و 9، وهي المياه التي يتوقع عند استخدامها ظهور مشاكل النفاذية في التربة، وهو ما اتصفت به مياه الآبار (7، 11، 14-16، 18، 19، 23، 25). إن القيم المرتفعة لنسبة الصوديوم المعدلة في المياه، والتي ينتج عند استخدامها ظهور مشاكل حادة (SAR⁰ أكبر من 9) كانت في الآبار 10، 20، 21، 24. يظهر الشكل (10) التوزيع المكاني لقيم SAR⁰ المعدلة، حيث ترتفع قيم SAR⁰ عند منتصف منطقة الدراسة مقارنة بما هو في شرقها، وغربها. يعزى نمط هذا التوزيع إلى ارتفاع قيم الصوديوم في مياه آبار تلك المنطقة، والذي قد تعطي دلالة أيضاً على وجود اتصال هيدرولوجي مباشر بين آبار تلك المنطقة. إن الأثر الضار المتوقع حدوثه عند استعمال مياه مرتفعة SAR⁰ يتمثل في ادمصاص الصوديوم على الأسطح الغروية في التربة (الطين) واحلاله محل المغنيسيوم، وبقية الكاتيونات، مسبباً انخفاض معدل نفاذية التربة (Todd، 1980)، وتصلب التربة عند السطح، و الضرر على عمليات الإنبات (Ayer و Westcot، 1985).

على التوالي. تشير هذه النتيجة إلى ارتفاع قيم تركيز الكلوريدات الذائبة في تلك المياه.

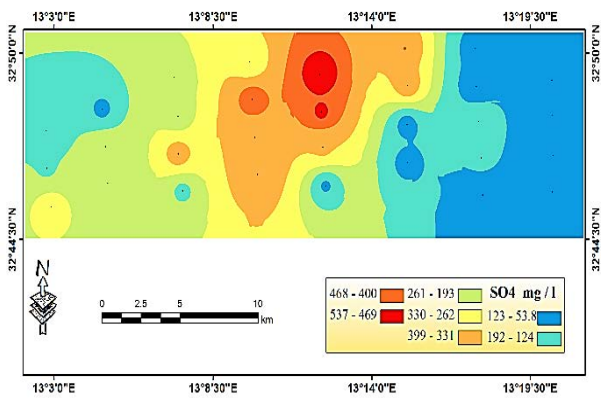


شكل (6) التوزيع المكاني للمغنيسيوم الذائب (ملجم/لتر) في مياه آبار منطقة الدراسة.

شكل (7) التوزيع المكاني للبتاسيوم الذائب (ملجم/لتر) في مياه آبار منطقة الدراسة.



شكل (8) التوزيع المكاني للكلوريد الذائب (ملجم/لتر) في مياه آبار منطقة الدراسة.



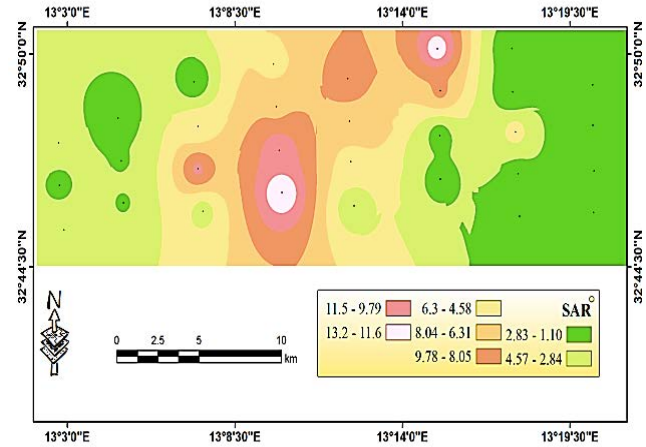
شكل (9). التوزيع المكاني لتوزيع الكبريتات الذائبة (ملجم/لتر) في مياه آبار منطقة الدراسة.

كما يؤكد حدوث مثل هذا التلوث أن كل من أيونات الكلوريدات، والكبريتات كانت أكثر ارتباطاً معنوياً بالكاتيونات مقارنة بأيون البيكربونات، والتي كان ارتباطها مع الكاتيونات منخفضة، وغير معنوي عند مستوى 0.05. إن الكلوريدات، والكبريتات أكثر وفرة من البيكربونات في مياه البحر (Appelo و Postma، 1996).

كما أشارت دراسة (El-Ttriki، 2006) إلى أن حدوث تلوث الخزانات الجوفية المتاخمة للبحر بمياه البحر، مرتبط بعمليات تداخل مياه البحر، والذي يحدث نتيجة لانخفاض ضغط المياه العذبة حول منطقة الضخ للبر، وباستمرار الضخ من البر فإن المياه المالحة تتحرك إلى أعلى في شكل مخروط تحت منطقة الضخ مما يسبب في تلوث المياه الجوفية بالمياه المالحة للبحر. إن العلاقات الموجبة عالية الارتباط بين أيوني الكالسيوم، والمغنيسيوم، تدل على حدوث عمليات الإذابة، والترسيب لمعدني الدولوميت، والكالسيت (Aris وآخرون، 2007)، خصوصاً وأن الارتباط بينهما مع أيون البيكربونات مرتفع نسبياً عند مقارنته مع الارتباط بأيوني الصوديوم، والبتاسيوم.

السيادة النوعية النسبية للأيونات الذائبة في مياه الآبار:

إن متوسط الوفرة النسبية للأيونات الذائبة في مياه آبار منطقة الدراسة، معبرا عنه بوحدات (ملييمكاف/لتر) كانت 65.8، 20.4، و13.8% وذلك للكلوريدات، والكبريتات، والبيكربونات،



شكل (10) التوزيع المكاني لنسبة ادمصاص الصوديوم المعدلة (SAR^o) في مياه آبار منطقة الدراسة.

جدول (5) معامل بيرسون للارتباط للخصائص الكيميائية المختلفة.

	pH	EC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
EC	-0.66								
Ca ²⁺	-0.67	0.95							
Mg ²⁺	-0.65	0.93	0.83						
Na ⁺	-0.62	0.99	0.90	0.89					
K ⁺	-0.61	0.82	0.74	0.78	0.83				
HCO ₃ ⁻	-0.43	0.28*	0.35*	0.36*	0.19*	0.19*			
Cl ⁻	-0.62	0.99	0.91	0.92	0.99	0.86	0.20*		
SO ₄ ²⁻	-0.70	0.87	0.91	0.79	0.82	0.55	0.41	0.80	
SAR ^o	-0.63	0.95	0.90	0.80	0.97	0.76	0.20*	0.94	0.85

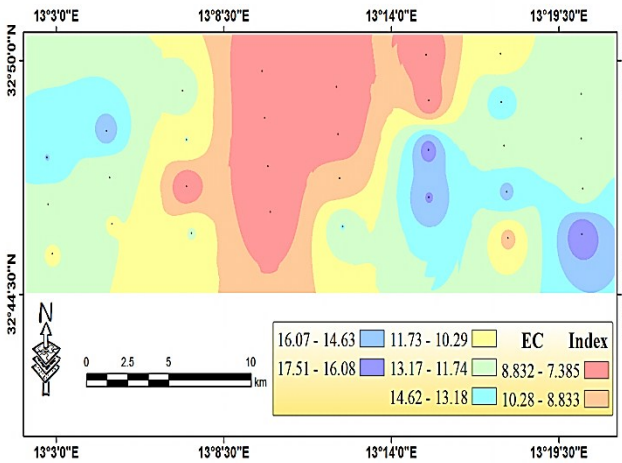
*الارتباط غير معنوي عند مستوى 0.05

التوزيع النسبي لتلك الأيونات على مثلث الكاتيونات أن السيادة كانت لأيوني الصوديوم، والبوتاسيوم بحيث تجاوزت 50 ملليمكافئ/لتر % وذلك في الآبار (7، 10، 11، 14، 15، 19، 20، 21، 23، 25)، ويجدر الإشارة هنا إلى ملاحظة انخفاض نسبة مساهمة البوتاسيوم الذائب في تلك النسبة المئوية، وذلك كما هو موضح في الشكل (11).

كما يشير مثلث الكاتيونات إلى ارتفاع محتواها النسبي من الماغنيسيوم بحيث تفوق 40 ملليمكافئ/لتر % وذلك للآبار 2، 3، 23، 26، 27، 28، 30. أما بالنسبة لمحتوى المياه من الكالسيوم فإن هناك انخفاضاً ملحوظاً في نسبة وجوده النسبي حيث لم تتعد نسبته في المياه 30 ملليمكافئ/لتر % في جميع الآبار عدا البئر 24، 29. إن اختلاف التوزيع النسبي للأيونات الذائبة في المياه الجوفية تخضع للعديد من العوامل أهمها عمليات الإذابة، والخلط بمياه البحر بالإضافة

كما يتضح من الشكل (11) فإن السيادة النوعية للأيونات كانت كلوريدية وذلك وفقاً للتوزيع النسبي لها على مثلث الأنيونات حيث تتراوح نسبها بين 50-86 (ملليمكافئ/لتر، %)، وذلك للآبار (7، 14، 11، 10، 25، 29، 30)، كما كانت السيادة النوعية المرتفعة للكبريتات في الآبار (27، 28، 31)، بنسبة سيادة 32، 33، 33 ملليمكافئ/لتر (%). على التوالي. وعلى الرغم من أن السيادة النوعية لأيون البيكربونات للبئر 9 كانت الأعلى بقيمة 49 ملليمكافئ/لتر (%). إلا أن مياه بقية الآبار تميزت بانخفاض نسب البيكربونات فيها، حيث تراوحت تلك النسبة ما بين 4 و39 ملليمكافئ/لتر (%). أما بالنسبة للكاتيونات الذائبة، فإن متوسط الوفرة النسبية لها، معبرا عنه بوحدات (ملليمكافئ/لتر) كانت 49.3، 28.1، 21.7، 0.9% وذلك للصوديوم، والماغنيسيوم، والكالسيوم، والبوتاسيوم على التوالي. يظهر

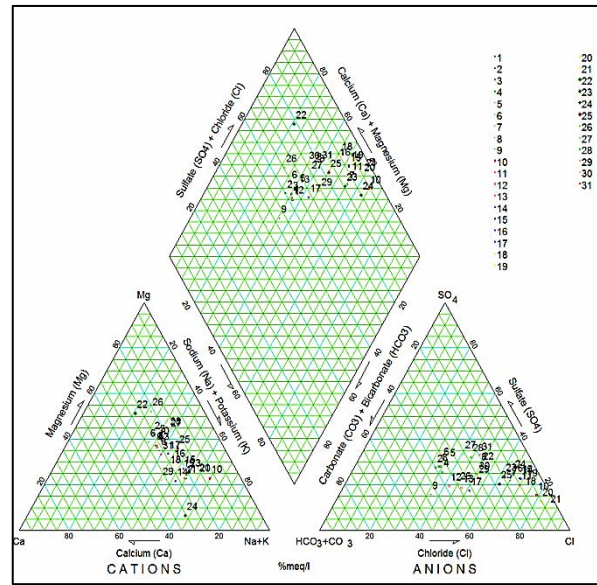
التوصيل الكهربائي، والصوديوم، و الكلوريد. يمكن أن يعزى هذا التشابه إلى أن درجة التوصيل الكهربائي مرتبطة بالأملاح الكلية الذائبة والتي يشكل فيها الصوديوم، والكلوريد أكثر مكوناتها خصوصاً في المياه عالية الملوحة في المناطق القريبة من البحر (Ekhmaj وآخرون، 2014). كما أن قيم الأهمية النسبية لكل من درجة التوصيل الكهربائي، والصوديوم، والكلوريد متقاربة، وذلك كما هو موضح في الجدول (2)، مما قد يفسر أيضاً تشابه نمط التوزيع المكاني لهذه الأيونات. يظهر الشكل (15) ارتفاع قيم مساهمة البيكربونات في الشمال الشرقي من منطقة الدراسة، وتناقصها في اتجاه الغرب، ومن ثم ارتفاعها مجدداً، يعزى هذا الاختلاف في التوزيع المكاني لمساهمة البيكربونات بدرجة رئيسية إلى اختلاف تركيز البيكربونات في المياه الجوفية نتيجة لتفاعلات الإذابة للحجر الجيري في الطبقات الحاوية للمياه (Appelo، 1994).



شكل (12) التوزيع المكاني لمساهمة درجة التوصيل الكهربائي في قيم مؤشر جودة مياه الري

إن عمليات الإذابة التي تتم في الخزانات الجوفية المحتوية على الحجر الجيري يلاحظ تأثيرها في ارتفاع قيم الكالسيوم، والمغنيسيوم الذائبين خصوصاً في غرب منطقة الدراسة حيث تتخفض بدورها قيم مساهمة نسبة الصوديوم المدمص المعدلة مقارنة ببقية منطقة الدراسة وذلك على النحو الموضح في الشكل (16).

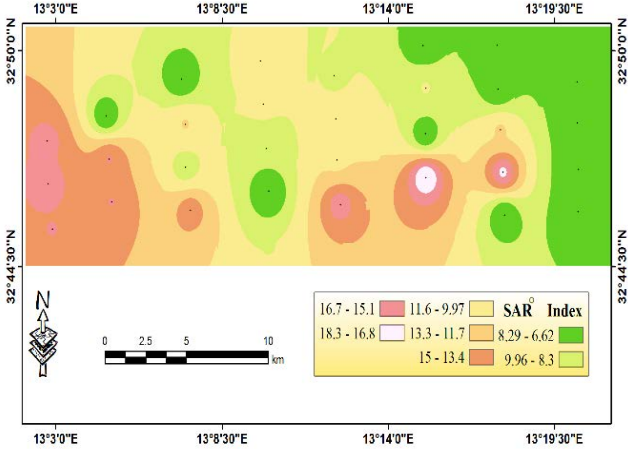
إلى حدوث تفاعلات التبادل الكاتيوني (Pulido، 2004، Walraevens; و VanCamp، 2005). تظهر تأثيرات هذه العمليات في نوعية المياه على شكل معين بايبر. يوضح الشكل (11) أن نوعية المياه في الآبار 7، 10، 11، 15، 19، 20، 21، 23، 24 يسود فيها كلوريد الصوديوم المكون الرئيسي لمياه البحر، وهذا يعطي دلالة على حدوث خلط لمياه تلك الآبار بمياه البحر. كما أن بقية مياه الآبار تسود فيها كلوريدات، وكبريتات الكالسيوم، والمغنيسيوم، والتي تميز حدوث عمليات الملوحة، وتفاعلات التبادل الكاتيوني (Alfarrah وآخرون، 2011).



شكل (11) مخطط بايبر لتحديد السيادة النوعية للكاتيونات والأيونات الذائبة

مؤشر جودة مياه الري: لقد تم استخدام قيم درجة التوصيل الكهربائي، والصوديوم، الكلوريد البيكربونات، ونسبة ادمصاص الصوديوم المعدلة في تقدير مؤشر جودة مياه الري، وذلك على النحو الذي اقترحه Meireles، وآخرون (2010). تظهر الأشكال (12 أو 13 و 14 و 15 و 16) التوزيع المكاني لمساهمة درجة التوصيل الكهربائي، والصوديوم، الكلوريد البيكربونات، ونسبة ادمصاص الصوديوم في قيم مؤشر جودة مياه الري على التوالي. وفقاً لما أشار إليه Meireles، وآخرون (2010)، فإنه كلما ارتفعت قيم المساهمة تحسنت جودة مياه الري. يلاحظ من خلال الشكل (12، 13، 14) التشابه الكبير في نمط التوزيع المكاني لمساهمة درجة

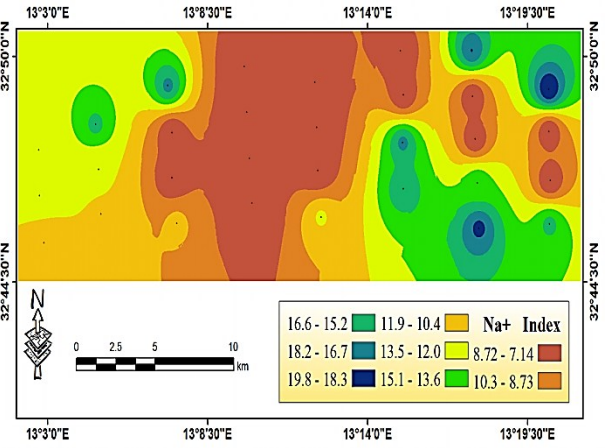
الجدول (3) فإن مياه 12 بئراً (هي الآبار 7، 10، 11، 14-16، 18-21، 23، 24) ذات قيود استخدام مرتفعة، بقيم مؤشر جودة تتراوح من 40 إلى 55.



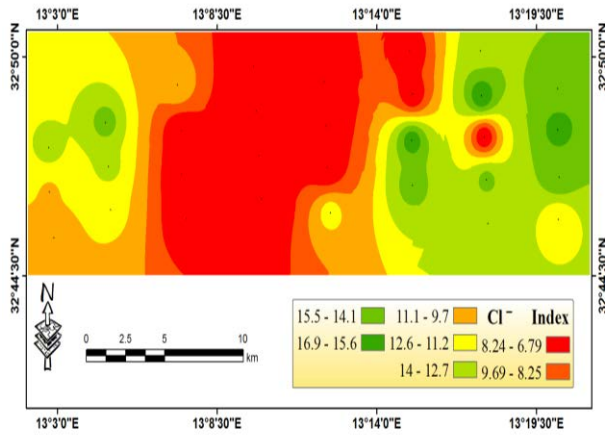
شكل (16) التوزيع المكاني لمساهمة نسبة ادمصاص الصوديوم المعدلة في قيم مؤشر جودة مياه الري

والتي يمكن استخدامها في الترب عالية النفاذية، والتي لا تحوي طبقات منضغطة مما يتطلب حراثتها دورياً، ويجب أن تتم عملية الري بتكرار مرتفع، كما أنها ملائمة لري المحاصيل من متوسطة إلى عالية التحمل للملوحة. بالإضافة إلى ذلك فإن مياه 17 بئراً صنفت على أن قيود استخدامها معتدلة، حيث كانت قيم مؤشر جودة مياه الري فيها بين 55 و 70. إن مثل هذه النوعية من المياه تصلح لري المحاصيل متوسطة التحمل للملوحة، والتي تتم زراعتها في تربة متوسطة، وعالية النفاذية. مع إجراء عمليات الغسيل المتوسط للأصلاح لمنع تدهور التربة. كما بينت النتائج أن هناك بئرين هما البئر رقم 8، و 13 واللذان كانت مياههما ذات مواصفات منخفضة القيود للاستخدام لأغراض الري، حيث تراوحت قيمة مؤشر جودة المياه بين 70 و 85. هذه النوعية من المياه تصلح لري النباتات الحساسة للملوحة مع مراعاة استخدامها للترب خفيفة القوام، أو متوسطة النفاذية.

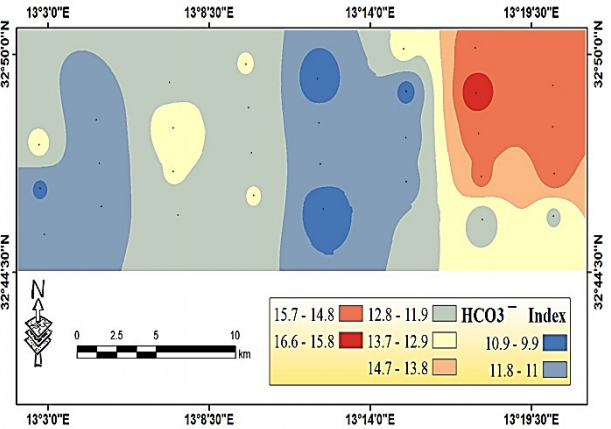
يوضح الشكل (17) التوزيع المكاني لمؤشر جودة مياه الري في منطقة الدراسة. يتبين من خلال الأشكال (12، 13، 14) التأثير الكبير لمساهمة درجة التوصيل الكهربائي، والصوديوم، والكلوريد على نمط التوزيع المكاني لمؤشر جودة مياه الري، الشكل (17). ينخفض مؤشر جودة مياه الري عند منتصف



شكل (13) التوزيع المكاني لمساهمة الصوديوم في قيم مؤشر جودة مياه الري



شكل (14) التوزيع المكاني لمساهمة الكلوريد في قيم مؤشر جودة مياه الري



شكل (15) التوزيع المكاني لمساهمة البيكربونات في قيم مؤشر جودة مياه الري

تم حساب مؤشر جودة مياه الري باستخدام المعادلة (3) وذلك بالأخذ في الاعتبار العوامل المختلفة، وأهميتها الوزنية النسبية. وبالاعتماد على محددات، وقيود الاستخدام الموضحة في

نتائج استخدام مؤشر جودة مياه الري أنه بالإمكان تصنيف أغلب مياه آبار منطقة الدراسة على أنها ذات قيود معتدلة، ومتوسطة. تمكن النتائج المتحصل عليها من المساهمة في إنجاح برامج الري في منطقة الدراسة بحيث تراعى فيها نوعية المياه المستخدمة بالإضافة إلى اختيار نوعية التربة، والمحاصيل الملائمة للري بمثل هذه المياه.

شكر وتقدير

يتقدم الباحثون بالشكر والامتنان إلى المهندس حسام حسن شحادة، مساعد باحث بقسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة طرابلس، على مساعدته القيمة في إجراء التحاليل الكيميائية التي أجريت في هذه الدراسة.

المراجع

الصادي بشير يوسف، رأف الله عطية محمد، بن زقطة، مصطفى محمد والجائر محمد منصور. (2020). دراسة جودة مياه الري بالمشاريع الزراعية بمنطقة مصراتة. مجلة جامعة مصراتة للعلوم الزراعية. 1(2): 465-478.

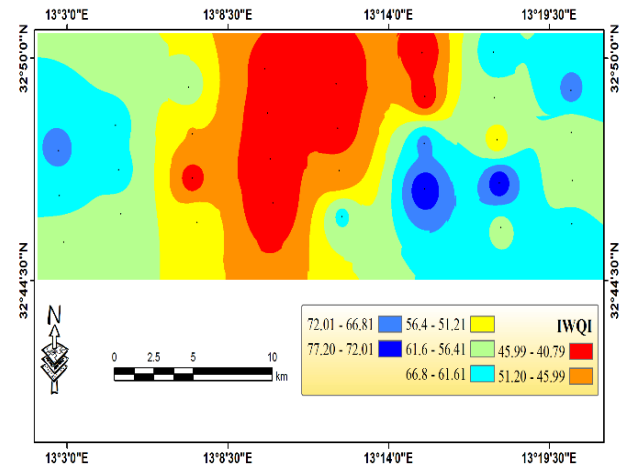
الميلودي، عبير مصطفى (2018). تحديد مؤشرات الجفاف المناخي المعتمدة على الهطول لمنطقة سهل الجفارة. رسالة ماجستير غير منشورة. كلية الزراعة. جامعة طرابلس، ليبيا، طرابلس.

عبد العزيز، عبد الرزاق مصباح الصادق، أحمد إبراهيم خماج وصلاح عبد المولى أبوخدير (2009). رصد نوعية المياه الجوفية بتاجوراء- ليبيا. مجلة الإسكندرية للتبادل العلمي 30(4)، 260-280.

Abbasnia A, Alimohammadi M, Mahvi A. H, Nabizadeh.R, Yousef. M, Mohammadi. H Passalari. Hand Mirzabi. H. M. (2018). Assessment of groundwater quality and evaluation of scaling and corrosiveness potential of drinking water samples in villages of Chabahr city, Sistan and Baluchistan province in Iran. *Data Brief* 16:182-92.

Abdulhady, Y., Zaghlool, E. and Gedamy, Y, (2018). Assessment of the groundwater

منطقة الدراسة مقارنة بشرقها، وغربها. كما أن انخفاض قيمة الأهمية الوزنية لكل من البيكربونات، ونسبة الصوديوم المدمص يجعل من مساهمتهما في قيم مؤشر جودة مياه الري منخفضة نسبياً. توضح النتائج المتحصل عليهما من التوزيع المكاني لمؤشر جودة مياه الري أن 62% من مساحة منطقة الدراسة تصنف على أنها ذات مياه ذات قيود معتدلة الاستخدام لأغراض الري، وأن 37.5% منها تصنف على وجوب تقييد استخدامها بدرجة مرتفعة، في حين كانت 0.5% من مساحة منطقة الدراسة ذات مياه منخفضة القيود للاستخدام في أغراض الري.



شكل (17) التوزيع المكاني لقيم مؤشر جودة مياه الري

الاستنتاجات

أظهرت نتائج التحليل الكيميائي لمياه الآبار في منطقة الدراسة أن درجة التوصيل الكهربائي كانت مرتفعة في منتصف منطقة الدراسة بحيث أخذ نمط هذا الارتفاع شريطاً يمتد من الشمال إلى الجنوب. كما أن نمط التوزيع المكاني لكل من أيوني الصوديوم، والكلوريدات الذائبة مشابه إلى حد كبير لنمط التوزيع المكاني لدرجة التوصيل الكهربائي، مما يعطي دلالة كبيرة على أن المكون الرئيس للأملاح الذائبة في أغلب مياه الآبار في منطقة الدراسة هو ملح كلوريد الصوديوم مع بعض الاستثناءات في جنوب غربي منطقة الدراسة، حيث يرتفع فيها تركيز البيكربونات. كانت الوفرة النسبية للكاتيونات الذائبة الرئيسية هي للصوديوم، يليه الماغنيسيوم، ثم الصوديوم، وأخيراً البوتاسيوم. أما بالنسبة للأنيونات الذائبة الرئيسية فكانت السيادة للكلوريدات، فالكبريتات، ثم البيكربونات. أوضحت

- UFPB. Studies FAO Irrigation and Drainage paper No. 29. FAO: Rome.
- Azpuruá, M and Dos Ramos, K (2010). A comparison of Spatial Interpolation Methods for Estimation of Average Electromagnetic Field Magnitude. *Progress In Electromagnetic Research* (14), 135-145.
- Babiker, I.S. M.ohamed, M. A A. and Hiyama, T. (2007). Assessing groundwater quality using GIS. *Water Resource Manag.* (21): 699-715.
- Babak, O. and Deutsch, C. V (2008). Statistical Approach to inverse distance interpolation. *Stoch. Res. Risk. Assess.* 23(5), 543-553
- Bernardo, S. (1995). Manual of Irrigation. (4th ed), *Vicosa*: Federal University of Vicosa, Brazil.
- Brhane, G.K. (2016). Irrigation Water Quality Index and GIS Approach based Groundwater Quality Assessment and Evaluation for Irrigation Purpose in Ganta Afshum Selected Kebeles, Northern Ethiopia. *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*, 3(09), 4624-4636.
- Ekhmaj, I. A, Ezlit, Y., and Elaalem, M (2014). The Situation of Seawater Intrusion in Tripoli, Libya. *International Conference on Biological, Chemical and Environmental Sciences (BCES-2014)* June 14-15, 2014 Penang -Malaysia.
- El Moujabber M, Bou Samra B, Darwish T, Atallah T (2006). Comparison of different indicators for groundwater contamination by seawater intrusion on the Lebanese coast. *Water Resource Manage* (20), 161–180.
- El-Trriki, N. A. (2006). Groundwater Salinization in the Coastal area of Jifara Plain, *NW-Libya*. MSc. Belgium. University of Ghent.
- ESRI. (2012). ArcGIS Desktop. Environmental Systems Research Institute. Redlands, California. USA.
- quality of the Quaternary Aquifer in reclaimed areas at the Northwestern El-Minya Governorate- Egypt, using the water quality index. *International Journal of Recent Scientific Research* 9(1), 23033-23047.
- Abdullah, T.O., Ali, S. S. and Al Ansari, N. A. (2016). Groundwater assessment of Halabja Saidsadiq Basin, Kurdistan region, NE of Iraq using vulnerability mapping. *Arab J Geosci* 9(3), 223.
- Alfarrah, N., Martens K. and Walraevens, K (2011). Hydrochemistry of the Upper Miocene-Pliocene-Quaternary aquifer complex of Jifarah Plain, NW-Libya. *Geologica Belgica*, 14(3–4), 159–174.
- Albu, M., Banks, D. and Nash, H. (1997). Mineral and Thermal Groundwater Resources. *Springer, Dordrecht*.
- APHA. (1992). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 18th Edition. *American Public Health Association*. Washington DC.
- Appelo C. A. J. and D. Postma (1996). Geochemistry, Ground-water and Pollution. *A.A. Balkema Publishers, Rotterdam*.
- Appelo, C.A.J.(1994). Cation and proton exchange, pH variations, and carbonate reactions in a freshening aquifer. *Water Resource. Res.* 30, 2793–2805.
- Aris, Z. A. M. H. Abdllah, Ahmed.A. and Woong.K. K. (2007). Controlling factors of groundwater hydrochemistry in a small island's aquifer," *Int. J. Env. Sci and Tech.* 4 (4), 441- 450.
- Arnon, I. (1972). Crop production in dry regions London, *leonardHill. United Kingdom*.
- Ayers. R. S. and Westcot. D. W. 1985. Irrigation water quality. FAO, Rome.pp. 174.
- Ayers, R. S and Westcot, D.W (1999). Water quality for agriculture. 2nd Campina Grand:

- Aquifers- Monitoring, Modeling and Management, Essaouira, Morocco*, 23-25.
- Piper, A.M. (1944) A graphic procedure in the Geochemical interpretation of water analysis. *Transactions. American Geophysical Union*, 25, 914 -928.
- Pulido-Leboeuf,P.(2004) Seawater intrusion and associated processes in a small coastal complex aquifer (Castell de Ferro, Spain). *Applied Geochemistry* (19), 1517–1527.
- Ramesh, and Srinithi, K. (2014). Hydrochemical Characteristics of Groundwater in Mayiladuthurai Block of Nagapattinam District, Tamil Nadu. *International Journal of ChemTech Research*. 6 (14), 5698-5708.
- Richards LA (1954).Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. United States Salinity Laboratory, US Department of Agriculture, *Agri Hand book 60 Washington. USA*.
- Simsek, C. and Gunduz, O. (2007). IWQ index: A GIS integrated technique to assess irrigation water quality. *Environmental Monitoring and Assessment* (128) 277–300.
- Suarez, D. L. (1981). Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil and drainage waters. *SSSA J.* 45(3): 469-475.
- Sundaray, S. K. (2010). Application of Multivariate Statistical techniques in hydrological studies- A case study of Brahmani- Koel River (India). *Environ. Monit. Assess* 164, 297-310
- Todd, D.K. (1980) *Groundwater Hydrology*; Wiley: Hoboken, NJ, USA.
- Walraevens K and Van Camp M. (2005) Advances in understanding natural groundwater quality controls in coastal aquifers. *In: 18 Salt Water Intrusion Meeting (SWIM). Cartagena 2004, Spain*, 451–460.
- Flogel, H. (1979). Seawater Intrusion Study. SARALD/FAO project. Unpublished Report. Tripoli, 56p.5 tables, 26 fig. and 3 maps.(AW-295).
- Heba. S.A, Hassan. A. A. and Faid. A. M, (2016). Assessment of Groundwater Quality for Different Aquifers in Halaib and Shalaten at South Eastern Desert of Egypt. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, Mansoura Univ.* 11(6), 203-214.
- Holanda, J. S. and Amorim, J. A. (1997). Management and control salinity and irrigated agriculture water, Congresso Brasileiro de Engenharia setting, 26, Campina Grande: 137-169.
- Lesch, S. M., and D. L. Suarez. (2009). A short note on calculating the adjusted SAR index. *Transactions of the ASABE* 52 (2), 493–496.
- Meireles, A. C. M., Andrade, E. M., Chaves, L. C. G., Frischkorn, H., and Crisostomo, L. A. (2010). A new proposal of the classification of irrigation water. *Revista Ciência Agronômica*,(41), 349–357.
- Mercado, A., (1985). The use of hydro geochemical patterns in carbonate sand and sandstone aquifers to identify intrusion and flushing of old saline water. *Ground Water*(23), 635–644.
- Misaghi, F. (2017) .Introducing a water quality index-dor assessing water for irrigation purposes: a case study of the ghezeloan River. *Sci Total Envi-rov* (589), 107-116.
- Mohammed, M.N. (2011). Quality assessment of Tigris river by using water quality index for irrigation purpose. *European Journal of Scientific Research* 57 (1): 15-28.
- Panteleit, B., Kessels, W., Kantor, W., Schulz, H. (2001). Geochemical Characteristics of Salinization- Zones in the Coastal Aquifer Test Field (Cat-Field) in North-Germany. In *Proceeding of 5th International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal*

Evaluation of Groundwater Quality in the South of Tripoli and its suitability for Irrigation Using Irrigation Water Quality Index (IWQI)

Ahmed Ibrahim Ekhmaj¹, Abdul Rahman Ahmed Alriyani² and Mohamed Melad Dulayoum³

¹*Soil and water Department, Faculty of Agriculture, University of Tripoli.*

²*Advanced Laboratory of Chemical Analysis, Authority of Natural Science Research and Technology, Tripoli, Libya.*

³*Olive tree research center, Authority of Natural Science Research and Technology, Tripoli, Libya.,*

Received: 13 January 2021/ Accepted: 31 January 2021

Doi: <https://doi.org/10.54172/mjsc.v36i1.12>

Abstract: Groundwater represents one of the main constraints to develop successful sustainable agricultural activity in Libya. Good management and proper planning of this resource requires knowledge of water quality to reduce the problems which may face the users of that resource. This study aims to identify the chemical composition of groundwater in the south of Tripoli area and to assess the quality of groundwater for irrigation purposes. In order to achieve the objectives of this study, 31 samples of groundwater were collected from wells scattered around southern Tripoli during July of 2016. Many chemical analyses were conducted on these samples to estimate the electrical conductivity (EC), pH and the concentration of some dissolved ions which included sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), chloride (Cl^-), bicarbonate (HCO_3^-) and sulfate (SO_4^{2-}). The adjusted percentage of absorbed sodium (SAR^0) was also determined. The five-parameters irrigation water quality index was used. These parameters included EC, Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , and SAR^0 . The inverse distance weighted to the power 2 was used to obtain the maps of the spatial distribution of chemical properties and irrigation water quality index. The results showed that the values of the electrical conductivity were high in the middle of the study area and decreased at its east and west, and the spatial distribution pattern was very similar to the spatial distribution of sodium and chloride ions. The results also indicated that the average relative abundance of dissolved anions as expressed in units of (meq/l) were 65.8, 20.4, and 13.8% for Cl^- , SO_4^{2-} , and HCO_3^- , respectively. The average relative abundance of dissolved cations was 49.3, 28.1, 21.7 and 0.9% for Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , and K^+ , respectively. The irrigation water quality index values ranged between 41.2 and 76.6. The spatial distribution map of the irrigation water quality index also showed that 62% of the area of the study area was classified as having moderate restrictions and limitations for use for irrigation purposes, and that 37.5% were classified as having high restrictions and limitations.

Keyword: Groundwater, Meireles index, IWQI, IDW, Southern Tripoli.

*Corresponding Author Ahmed Ibrahim Ekhmaj, ekhmaj@gmail.com, Soil and Water Department, Faculty of Agriculture, University of Tripoli. Tripoli- Libya.