International Journal of Environment & Water
ISSN 2052-3408

تقييم جودة المياه الجوفية باستخدام المؤشرالكندي CCMEWQI والحساب الموزونWAWQI بمنطقة عين زارة - ليبيا.

خيري محمد العماري[1] ، أحمد إبراهيم خماج[2] ، مواهب مصطفى ابوسنينة[3]، سالم علي الفيتوري[4]
[1،3]قسم العلوم والهندسة البيئية، الاكديمية الليبية للدراسات العليا، ليبيا.
[2]قسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة طرابلس، ليبيا.
[4]مركز البحوث النووية تاجوراء

الملخص: تهدف الدراسة الي تقييم نوعية المياه الجوفية في منطقة عين زارة والتي تقع جنوب مدينة طرابلس وتحديد مدى صلاحية المياه الجوفية للشرب باستخدام المؤشر الكندي (CCMEWQI) ومؤشر الحساب الموزون (WAWQI) ، وقد جمعت 40 عينة من مياه الابار في شهر مارس وأبريل سنة 2023 ، وجمع البيانات المتعلقة بالإبار من حيث تحديد الموقع عن طريق جهاز تحديد الموقع (GPS) وإسقاطها على الخريطة ، وتم قياس كل من الأوكسجين المذاب DO، والنتريت NO_2^-، التوصيل الكهربي (EC) والأملاح الذائبة الكلية (TDS) وتركيز أيون الهيدروجين (pH) والأيونات الذائبة الموجبة (Na^+، Ca^{+2} ، K^+ ، Mg^{+2})، والأيونات السالبة (HCO_3^- ، Cl^-، NO_3^- SO_4^{2-}). كما تم حساب كل من (COD) و (BOD)، وتم مقارنة النتائج مع المواصفات القياسية الليبية للشرب رقم (82) لسنة 2013. حيث أظهرت نتائج التحاليل أن هناك زيادة في تركيز الأملاح الذائبة الكلية (TDS) في بعض العينات حيث تجاوزت أعلى تركيز (7100 مليجرام/لتر) في البئر (10)، وزيادة في تركيز كل من أيون الصوديوم في الآبار (10، 11، 12، 13، 14، 16، 17،18 ، 19، 32، 34، 35، 36،37)؛ وأيون الكالسيوم في الآبار (7، 10، 13، 14، 15، 16 ،17، 18، 32 ،35) في شمال وشمال غرب منطقة الدراسة. كما لوحظ أيضا أن أيونات الكلوريد والبيكربونات يزيد تركيزهما في الآبار الواقعة شمال وشمال غرب منطقة الدراسة. أما باقي البارامترات فكانت ضمن الحدود المسموح بها طبقاً للمواصفات القياسية الليبية لسنة 2013. وصنفت مياه الآبار (1، 2، 3، 6، 9، 21، 22، 23،25 ، 26، 27، 28، 31،38، 39، 40) الواقعة في جنوب وجنوب شرق منطقة الدراسة؛ وفقاً لمؤشر جودة المياه، (CCMEWQI) ومؤشر (WAWQI) على أنها ذات جودة ممتازة صالحة للشرب، أما بقية الآبار الواقعة شمال وشمال غرب منطقة الدراسة فيتدرج التصنيف فيها من جيد الي مقبول إلى سيئ ، وتعتبر غير صالح للشرب وقد ثبت من خلال الدراسة أن المؤشرين متشابهان في التوزيع المكاني لتلك المؤشرات.

الكلمات الدالة: *المياه الجوفية، CCMEWQI ، WAWQI ، الهرم العنقودي، عين زارة.*

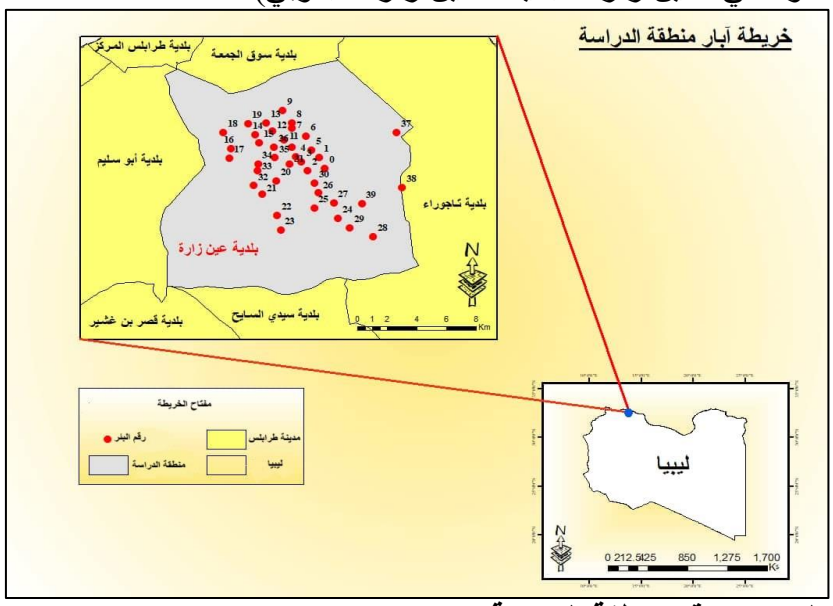
المقدمة تعتبر المياه الجوفية من أهم مصادر المياه العذبة، إذ تمثل حوالي 98% من مجموع المياه العذبة في العالم، ولأتزيد المياه العذبة المتمثلة في الأنهار والبحيرات العذبة والجداول عن 2%، وقد تكون المياه الجوفية متجددة بسبب تغذيتها الدائمة بمياه الأمطار التي تسقط بصفة دائمة أو عن طريق مياه الانهار والبحيرات التي تتخلل التربة وتصل للمياه الجوفية، أوقد تكون المياه الجوفية غير متجددة فيقل منسوبها تدريجيا حسب ما يستهلك منها (عساف والمصري، 2007). المياه الجوفية عبارة عن مياه موجودة في تكوينات مسامية تكونت عبر أزمنة مختلفة قد تكون حديثة أو قديمة جدا منذ ملايين السنين، وأن مصدر هذه المياه غالبا ما يكون الأمطار أو الأنهار الدائمة أو الموسمية أو الجليد، وتتسرب المياه من سطح الارض إلى داخلها فيما يعرف بالتغذية (Recharge)، وتعتمد عملية التسرب على نوع التربة الموجودة على سطح الأرض الذي يلامس المياه السطحية (مصدر التغذية). وتقع المياه الجوفية في منطقتين مختلفتين وهما المنطقة المشبعة بالماء والمنطقة غير المشبعة بالماء؛ فالمنطقة غير المشبعة بالماء تقع مباشرة تحت سطح الأرض في معظم المناطق وتحتوي علي المياه والهواء ويكون الضغط بها أقل من الضغط الجوي مما يمنع المياه بتلك المنطقة من الخروج منها إلى أي بئر محفور بها وهي طبقة مختلفة السمك ويقع تحتها مباشرة المنطقة المشبعة، أما المنطقة المشبعة هي طبقة أو تكوين صخري حامل للمياه يحوى هذه المياه داخل فراغات التي تكون متصلة مع بعضها البعض ويكون الضغط بها أكبر من الضغط الجوي مما يسمح للمياه بالخروج منها إلى البئر أو العيون؛ وتغذية المنطقة المشبعة يتم عبر ترشيح المياه من سطح الأرض إلى هذه الطبقة عبر مرورها بالمنطقة غير المشبعة (السعيدي،2022). ومع تنامي وتيرة الاهتمام بقضايا المياه من ناحية الكم والنوعية على المستويين المحلي والعالمي أصبحت الحاجة ملحة إلى الاهتمام بوضع خطط لتصنيف نوعية المياه ((Said *et al*., 2004). حيث تقوم المؤسسات والهيئات المهتمة بجودة المصادر المائية بتصميم وإدارة مشاريع وبرامج لمراقبة جودة المياه، ومهمة هذه البرامج دراسة وتعيين بارامترات الجودة أو بعضها عن طريق القياسات الحقلية أو بواسطة القياسات المخبرية عبر جمع العينات وتحليلها ومن ثم تحليل النتائج وتقييمها وإصدار التقارير النهائية التي تساعد في اتخاذ الإجراءات اللازمة لضمان سلامة المياه. في الآونة الأخيرة تم تطوير العديد من المؤشرات المهتمة بتقييم جودة المياه. ويعتبر كل من المؤشر الكندي (CCME WQI) ومؤشر الحساب الموزون من أفضل تقنيات التصنيف المستخدمة في هذا المجال. ويمثل مؤشر جودة المياه الكندي والذي تم تطويره في عام 1995 بناءً على مؤشر جودة المياه الصادر عن جامعة كولومبيا البريطانية، وتكمن أهمية هذا المؤشر في احتوائه على العديد من محددات الجودة. كما يعد المؤشر الموزون (WAWQI) من أكثر الأدوات فعالية لتوصيل المعلومات عن جودة ونوعية المياه ويعكس تأثير جودة محددات المياه الذي يعبر عن قيمة واحدة تفسر المعلومات المعقدة لعدد كبير من المحددات الفيزيائية والكيميائية ذات صلة بنوعية المياه (Atulegwu, *et al*., 2004) ، (Horton, R.K.,1965). تهدف الدراسة الى معرفه الخواص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمياه الجوفية وتحديد مستويات جودة نوعية المياه ومدى صلاحيتها للاستخدامات البشرية باستخدام المؤشر الكندي (CCME WQI) ومؤشر الحساب الموزون (WAWQI). وتطبيق التحليل الاحصائي للحصول على الهرم العنقودي لتشابه مجموعات الابار والتوزيع المكاني للخصائص الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية ومؤشرات الجودة المستخدمة.

المواد وطرق البحث

وصف موقع الدراسة: تقع منطقة الدراسة في عين زارة غرب طرابلس، بين دائرتي عرض 32.75728 و32.81566 شمالاً، وبين خطي طول 13.25076 و 13.34468 شرقاً. ويحدها من الشمال منطقة الفرناج ومنطقة السبعة ومنطقة سوق الجمعة، ومن الجنوب منطقة وادي الربيع، ومن الشرق منطقة تاجوراء وبئر الاسطى ميلاد، ومن الغرب منطقة الهضبة صلاح الدين، والشكل (1) يوضح موقع الجغرافي

International Journal of Environment & Water
ISSN 2052-3408

بمنطقة الدراسة، حيث تنقسم منطقة عين زارة إدارياً إلى خمس مناطق وهي (شهداء عين زارة، جابر بن حيان، عين زارة الوسطي، عين زارة الجديدة، عين زارة الجنوبي).



شكل (1) موقع منطقة الدراسة.

الوصف العام للمؤشر الكندي والحساب الموزون

المؤشر الكندي (CCMEWQI)

يتميز النموذج الرياضي الكندي بنوعية المياه بدقته العالية، وتم إيجاد قيم الدليل بحساب ثلاثة عوامل وهي كما يلي:

أ- المدى (Scope): ويرمز له بالرمز (F_1) ويمثل النسبة المئوية للمتغيرات المتجاوزة للحدود القياسية مقارنة بالعدد الكلي للمتغيرات (ولو مره واحدة خلال فترة الدراسة)، ويمكن حسابه من خلال العلاقة التالية:

$$F_1 = \frac{\text{عدد المتغيرات المتجاوزة}}{\text{العدد الكلي للمتغيرات}} \times 100 \quad (1)$$

ب- التردد (Frequency): ويركز له بالرمز (F_2) وهو النسبة المئوية للفحوصات الفردية المتجاوزة لحدود القياسية على العدد الكلي للفحوصات.

$$F_2 = \frac{\text{عدد الفحوصات المتجاوزة}}{\text{العدد الكلي للفحوصات}} \times 100 \quad (2)$$

ج- السعة (Amplitude): ويرمز لها بالرمز (F_3) تمثل الاختبارات المتجاوزة وتحسب بمرحلتين:

المرحلة الأولى: عدد مرات تجاوز التراكيز الفردية القياسية ويطلق عليها الانحراف (Excursion) وتحسب كما يلي:

$$Excursion = \frac{\text{قيمة الفحص المتجاوزة}}{\text{القياسية القيمة}} - 1 \quad (3)$$

وفي حالة كون قيمة الاختبار المتجاوز اكبر من القيمة القياسية تحسب بقلب النسبة.

المرحلة الثانية: كمية مجموعة الاختبارات الفردية المتجاوزة ويتم حاسبها بجمع الانحرافات الفردية وقسمتها على العدد الكلي للفحوصات (المتجاوزة وغير المتجاوزة) ويطلق على هذا المتغير مجموع الانحرافات المعدلة normalization of (Excursion) ويرمز له (nse):

International Journal of Environment & Water
ISSN 2052-3408

$$nse = \frac{\sum_{i}^{n=1} \text{انحراف كل فحص}}{\text{العدد الكلي للفحوصات}} \quad (4)$$

ويتم حساب قيمة F_3 من المعادلة الأتية:

$$F_3 = \frac{nse}{0.01\,nse + 0.01} \quad (5)$$

وبعد إيجاد قيمة العوامل الثلاثة يتم حساب الدليل الكندي من خلال العلاقة التالية:

$$CCME\ WQI = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \quad (6)$$

حيث القيمة 1.732: ثابت النموذج لتعديل قيمة المؤشر لتلائم قيمته المحصورة بين 0 و 100.
وتصنف نوعية المياه لهذا المؤشر إلى خمسة أنواع بحسب (Kumar وآخرون، 2014) وعلى النحو الوارد بالجدول (1):

جدول (1). تصنيف نوعية المياه لمؤشر (CCMEWQI).

قيمة المؤشر (CCMEWQI)	التصنيف	الدرجة
100 - 95	ممتاز	1
94 - 80	جيد	2
79 - 60	مقبول	3
59 - 45	فقير	4
44 - 0	سيئ	5

مؤشر الحساب الموزون (Weight Arithmetic Index Method)

يستخدم هذا المؤشر لحساب مؤشر جودة الماء، ويتم احتساب مقياس تقدير الجودة (Rating Scale Quality) لكل متغير (qi) وذلك بقسمة التركيز الفعلي لكل متغير في الماء (Ca) على التركيز القياسي (Cs) لنفس المتغير مضروبا في الرقم (100)، وبالإمكان حساب قيمة المتغير (qi) من خلال العلاقة التالية:

$$qi = \frac{ca}{cs} \times 100 \quad (7)$$

ثم يحسب الوزن النسبي (Relative Weight) لكل متغير (Wi) والذي يتناسب عكسيا مع التركيز القياسي (Cs) لنفس المتغير، وبالإمكان حساب قيمة المتغير من خلال العلاقة التالية:

$$Wi = \frac{1}{cs} \quad (8)$$

يحسب مؤشر جودة الماء (WQI) من خلال التجميع التراكمي لحاصل ضرب مقياس تصنيف الجودة (qi) بالوزن النسبي (Wi) مقسوما على الوزن النسبي (Wi) لجميع المتغيرات المقاسة، ومن ثم يمكن حسابه من خلال العلاقة التالية:

$$WQI = \frac{\sum_{i}^{i=\frac{n}{1}} qi \times wi}{\sum_{i}^{i=\frac{n}{1}} wi} \quad (9)$$

تؤخذ قيمة مؤشر جودة الماء وتقارن مع الجدول (2) المقسم إلى مراحل اعتمادا على تصنيف جودة المياه من مستوى ممتاز إلى مستوى غير صالح للشرب.

جدول (2) تصنيف جودة المياه حسب مؤشر (WQI).

قيمة المؤشر (WQI)	تصنيف جودة المياه
أقل من 50	ممتاز
100 - 50	جيد
200 - 100	ضعيف
300 - 200	ضعيف جدا
أكبر من 300	غير صالح للشرب

تجميع البيانات لإنجاز هذا البحث تم تجميع 40 عينة مياه من آبار المياه الجوفية في منطقة الدراسة في شهر مارس لسنة 2023، وتم تحديد مواقع الآبار بدقة بواسطة جهاز تحديد المواقع الجغرافي (GPS). وقد تراوحت أعماق الآبار ما بين 45 - 120 متر تحت مستوى سطح الأرض. كما تم تجميع بيانات كاملة عن البئر من حيث الموقع والعمق، شملت التحاليل الكيميائية والبيولوجية التي أجريت على مياه الابار، تقدير كل من درجة التوصيل الكهربي (EC) والأملاح الذائبة الكلية (TDS) وتركيز أيون الهيدروجين (pH) والأيونات الذائبة الموجبة (Na^{+} Ca^{+2}، K^{+}، Mg^{+2})، والأيونات السالبة (Cl^{-}، HCO_3^{-}). كما تم حساب كل من (COD) و (BOD) . أجريت التحاليل بمعامل مركز بحوث الطاقة وفقا للطرق المشار اليها من قبل (APHA واخرون، 1992)، كما تم الاستعانة ببرنامج (Rockware-14) للتعرف على هيدروكيميائية المياه الجوفية (مخطط بايبر) المقترح من قبل (Piper,1944).

التحليل العنقودي الهرمي يعتبر التحليل العنقودي الهرمي أحد التقنيات متعددة المتغيرات التي تمكن من تجميع تلك المتغيرات بناء على الخصائص التي تملكها وتوفر علاقات تشابه بين أي عينة أو مجموعات بيانات كاملة. إن الهدف الكامن من تحليل المجموعة التراكمية الهرمية يتجلى في تصنيف البيانات تلقائياً والتي يتم توضيحها عبر المخطط الشجري والذي يوفر ملخصاً مرئياً لعمليات التجميع الناشئة عن وجود تجانس داخلي مرتفع وتباينا خارجي عالي. تم استخدام تقنية التحليل العنقودي الهرمي في العديد من دراسات جودة المياه الجوفية (طه وحسين، 2012)، (Garba et al.,2023)، (El-Rawy et al., 2023)

استخدمت المسافة الإقليدية (Euclidean distance) لقياس التشابه بين متغيرات الخصائص الكيميائية للمياه بطريقة (Complete) كقاعدة للربط.بين المتغيرات وحولت قيم المتغيرات الى قيم قياسية لتحسين توافق البيانات بين الأنظمة المختلفة .ولإجراء التحليل العنقودي تم الاستعانة بالبرنامج الإحصائي (Minitab -21.1).

خرائط التوزيع المكاني للخصائص الكيميائية

تم الحصول على خرائط التوزيع المكاني المختلفة باستخدام طريقة مقلوب المسافة الوزنية (IDW) ضمن تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية واستخدام برنامج (Surfer Version10.1.561) من إصدارات (Goldensoftware, 2011). وتصنف طريقة مقلوب المسافة الموزونة (IDW) على أنها أحد طرق الاستنباط التقديرية(deterministic) التي تنتج اسطح تقديرية بشكل أفضل عند محدودية عدد النقاط وانتظام توزيعها (خماج والرياني، 2020). تم استيفاء القيم المقدرة للبيانات بناءً على البيانات المأخوذة من المواقع المحيطة باستخدام المعادلة التالية:

$$Z^*(x_o) = \sum_{i=1}^{n} w_i Z(x_i) \quad (10)$$

International Journal of Environment & Water
ISSN 2052-3408

حيث تمثل w_i القيمة الوزنية للخاصية عند كل موقع تقديري، وتشير $Z^*(x_o)$ إلى القيمة المقدرة للخاصية عند الموقع x_o، و $Z(x_i)$ وتمثل n عدد البيانات الكلية المتوفرة في هذه الدراسة 40 بئر. تم تحديد القيمة الوزنية w_i وفقا للمعادلة التالية:

$$w_i = \frac{\frac{1}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{d_i^p}} \quad (11)$$

حيث ان

d_i - المسافة بين النقطة معلومة التقدير والنقطة غير معلومة التقدير، p تشير إلى قيمة أس المسافة في هذه الدراسة تم اختيار قيمة للأس مساوية 2. ولقد أشار (Babak و Deutsc، 2008) إلى أن هذه القيمة هي الأكثر استخداماً عند تطبيق طريقة مقلوب المسافة الموزونة في التقديرات المكانية.

تقدير السيادة النوعية للأيونات الذائبة

استخدام مخطط بايبر للتعبير عن كيميائية المياه الجوفية في أماكن مختلفة للتعرف على الاختلافات الكيميائية للمياه، والتي من خلالها توفر المعلومات حول السيادة النوعية للأيونات في المياه.. ويتم التعبير عن تركيز الايونات على أساس النسبة المئوية لمساهمة الكاتيونات والأنيونات في تركيبة المياه الجوفية، وذلك على النحو الذي اقترحه (Piper, 1945).

النتائج والمناقشة

الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية

يوضح الجدول (3) الخصائص الإحصائية لعمق الأبار وبعض الخواص الكيميائية للمياه الجوفية والحدود المسموح بها لتلك الخواص وفقا للمواصفات الليبية لسنة (2013). يتراوح عمق الابار بين 45 متر و 120 متر وبمتوسط 82.05 متر وبمعامل اختلاف 24.38%، وهو ما يشير إلى أن مستوى الماء في الخزانات الجوفية بعيدة نسبيا عن سطح الأرض، مما يجعل وجود احتمالية لتسرب مياه الصرف الصحي الناشئة عن الابار السوداء ممكناً خصوصاً أن منطقة الدراسة لم يتم تزويدها بمنظومة الصرف الصحي. وعلى الرغم من توافق قيمة درجة التفاعل (pH) مع المواصفة الليبية لسنة (2013) إلا إن قيم متوسطات الأملاح الكلية الذائبة تعتبر مرتفعة، كذلك الأمر بالنسبة لكل من الصوديوم والكلوريد، الأمر الذي يشير إلى ارتفاع احتمالية تلوث المياه الجوفية بمياه البحر. أظهرت النتائج أن متوسطات السيادة الكاتيونية في المياه الجوفية كانت على النحو التالي: الصوديوم (235.39ملليجرام/لتر)، يليه الكالسيوم(150.76 مليجرام/لتر)، 150.76 ثم الماغنيسيوم (60.47 مليجرام/لتر)، ثم البوتاسيوم (6.12 مليجرام/لتر)، أما بالنسبة للأنيونات فكانت على النحو التالي: الكلوريد (578.14 مليجرام/لتر)، يليه البيكربونات (196.87 مليجرام/لتر)، ثم الكبريتات (60.73 مليجرام/لتر)، وأخيراً النترات (5.41 مليجرام/لتر). كما إن دلائل التلوث الحيوي قد يستدل عليه بقيم BOD، COD ، DO والتي كانت متوسطات قيمهما 1.532، 1.99، 7.61 (مليجرام/لتر)، على التوالي. وعلى الرغم من انخفاض متوسطات قيمهم إلا إنه من المتوقع ارتفاع قيمهم مستقبلاً طالما لم يتم تزويد المنطقة بمنظومة الصرف الصحي.

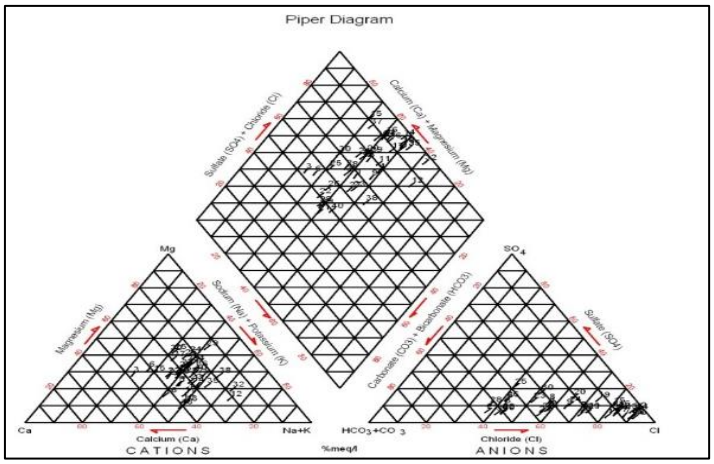
International Journal of Environment & Water
ISSN 2052-3408

جدول (3). الخصائص الإحصائية للخواص الفيزيوكيميائية والحيوية للمياه الجوفية بمنطقة الدراسة.

الخصائص	المتوسط الحسابي	أقصى قيمة	أقل قيمة	الانحراف المعياري	معامل الاختلاف (%)	الحدود المسموح بها
عمق البئر (متر)	82.05	120.0	45.0	20.0	24.38	
pH	7.49	8.0	7.01	0.24	3.19	6.5 - 8.5
EC (us/cm)	2320.04	63630.0	500.0	1773.62	76.45	1600
TDS (Mg/L)	2133.90	7100.0	363.60	1737.72	81.43	1000
Ca^{++} (Mg/L)	150.76	606.0	24.0	146.62	97.25	200
Mg^{+2} (Mg/L)	60.47	132.30	18.57	35.25	58.30	150
Na^{+} (Mg/L)	235.39	838.30	39.0	234.10	99.45	200
K^{+} (Mg/L)	6.12	14.0	2.00	2.58	42.19	40
BOD (Mg/L)	1.532	2.87	0.37	0.61	39.76	2
SO_4^{-} (Mg/L)	60.73	190.0	9.0	41.33	68.05	250
COD	1.99	3.80	0.51	0.85	43.25	4
NO_3^{-} (Mg/L)	5.41	17.46	0.93	3.67	67.86	45
DO (Mg/L)	7.61	8.6	3.21	128.77	460.64	9.2
HCO_3^{-} (Mg/L)	196.87	289.0	121.10	43.97	22.33	200
NO_2	0.04	0.40	0.00	0.06	167.23	3
Cl^{-} (Mg/L)	578.14	2243.0	60.35	600.21	103.82	250

تحديد السيادة النوعية للأيونات الذائبة في المياه

تم إعداد مخطط بايبر لتحديد نوعية المياه لجميع النقاط المائية لمنطقة الدراسة على النحو التالي والمبين بالشكل (2)، لتحديد سيادة الايونات في المياه اعتمد المخطط على موقعها في مخطط بايبر وتبين ان السيادة في مثلث الأنيونات كانت للكلوريدات بنسبة 75%، والبيكربونات بنسبة 25%. أما فيما يتعلق بالسيادة للكاتيونات قسم سيادة للصوديوم وقسم سيادة للكالسيوم، بمعنى سيادة صودية كلسية. أما بالنسبة لمياه الآبار في مخطط بايبر في ذات الشكل (2)، نجد أن مياه الآبار شمال ووسط المخطط يسود فيها الكلوريد مع ارتفاع الكالسيوم والصوديوم؛ والعناصر السائدة هي الكلوريد مع الصوديوم وكذلك الكالسيوم بالآبار الشمالية. وإن سيادة كل من الكلوريد والصوديوم تكون ناتجة عن التلوث بتداخل مياه البحر والزيادة في عنصر الكالسيوم نتيجة للتبادل الأيوني لعنصر الصوديوم مع الكالسيوم نتيجة لتواجد معدن الطين بالخزان الجوفي.

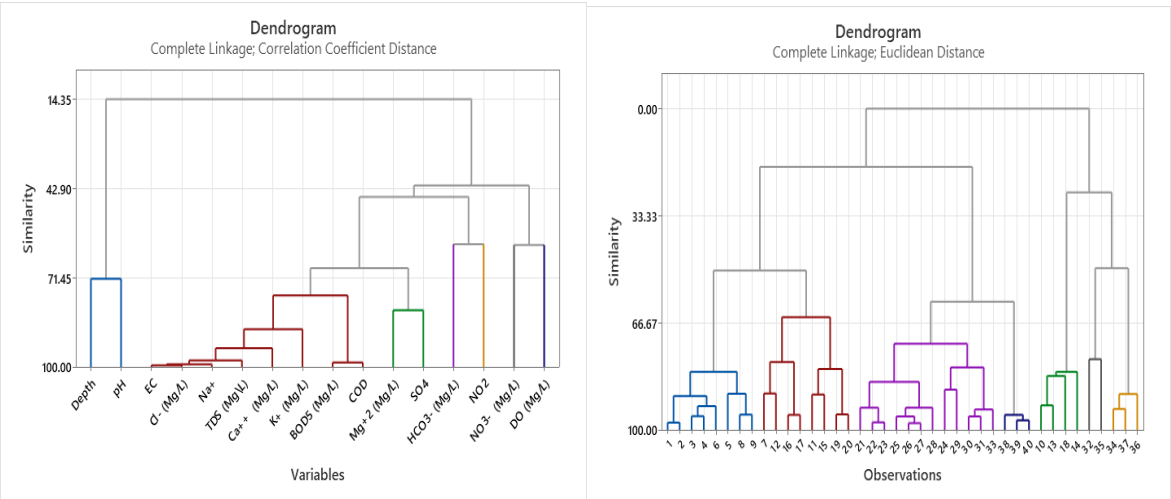


شكل (2) مخطط بايبر لتحديد السيادة النوعية للكاتيونات والانيونات الذائبة.

International Journal of Environment & Water
ISSN 2052-3408

مخطط الهرم العنقودي

مخطط التحليل الهرم العنقودي لمجموعة الأبار، وبناءً على أوجه التشابه تم الحصول على ثمان مجموعات مميزة والتي يمكن حصر أرقام الابار التي تحويها على النحو الموضح في الجدول (4)، حيث يلاحظ من خلاله التقارب الجغرافي بين أبار للمجموعة العنقودية الواحدة. تحتوي المجموعة الرابعة على عدد أكبر من الابار في المجموعات العنقودية وبنسبة 30%، في حين احتوت المجموعة السابعة على نسبة 5% من مجموع الابار. إن ما يميز تصنيف هذه المجموعات هو الاختلاف في قيم درجة التوصيل الكهربي حيث كان متوسط درجة التوصيل الكهربي 653، 1046، 1194، 2254، 3102، 3648، 5597، 5913 مايكروسيمينس/سم، وذلك للمجموعة العنقودية الخامسة، والرابعة، والأولى، والثالثة، والثامنة، والثانية، والسابعة والسادسة، على التوالي. أن الارتباط بين الخصاص الكيميائية تم تصنيفه وفقا للتحليل العنقودي الهرمي كما موضح في الشكل (3). بالإمكان تصنيف الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية وفقا لنتائج التحليل الهرمي العنقودي إلى أربع مجموعات ممثلة في المجموعة الأولى (عمق البئر ودرجة التفاعل)، المجموعة الثانية (EC، Cl^-، Na^+، TDS، Ca^{2+}، K^+، BOD_5، COD، $SO4^{2-}$، Mg^{2+})، والمجموعة الثالثة (HCO_3^-، NO_2) والمجموعة الرابعة (NO_3^-، DO)، وذلك مثلما هو موضح في الجدول (4). إن تواجد أغلب الخصائص الكيميائية في المجموعة الثانية يعكس قوة ارتباطها بعضها ببعض، خاصة فيما يتعلق بالكاتيونات الذائبة ودرجة التوصيل الكهربي، مع الاخذ في الاعتبار العلاقة المميزة بين TDS وEC. كما إن للتأثيرات المتوقعة للنترات على قيم DO جعلها في مجموعة واحدة، حيث أكدت دراسة (Kovač *et al.*, 2016) أن هناك ارتباط موجب بين النترات والاكسجين الذائب في المياه الجوفية.



شكل (3) مخطط الهرم العنقودي لمجموعات الابار والخصائص الكيميائية.

International Journal of Environment & Water
ISSN 2052-3408

جدول (4) تصنيف الابار والخصائص الكيميائية وفقا لمجموعاتها العنقودية

الابار		المتغيرات	
المجموعة العنقودية	رقم البئر	المجموعة العنقودية	الخصائص
1	1،2،3،4،5،6،8،9	1	pH ، Depth of wells
2	7،12،16،17	2	،Na+ ،Cl- ،EC ،K+،Ca+2،TDS ،SO42-،COD ،BOD5 Mg2+
3	11،15،19،20	3	NO2،HCO3-)
4	21،22،23،25،26،27،28،24،29،30،31،33	4	DO ،NO3-
5	38،39،40		
6	،10،13،18،14		
7	32،35		
8	37،36،34		

مؤشر جودة المياه حساب الموزون (WAWQI)

يستخدم هذا المؤشر كأسلوب لتقييم جودة المياه باستخدام مجموعة من المعايير البيئية المختلفة، حيث يعتمد هذا المؤشر علي تخصيص أوزان مختلفة لكل معيار بناء علي أهميته النسبية في تأثيره علي جودة المياه؛ والهدف من ذلك هو الحصول على تقييم موزون وشامل يعكس حالة المياه الجوفية بطريقة دقيقة. وتم تطبيق مؤشر الحساب الموزون علي 40 بئرا لمنطقة عين زارة، واستخدم في هذه الدراسة خمسة عشر بارامتراً، ويوضح الجدول (5) وبناءً على آلية التصنيف المتبعة والواردة بالجدول (6)، عليه فإن نتائج مؤشر WAWQI لكل بئر من منطقة الدراسة تراوحت ما بين التصنيف من ممتاز إلى جيد، وبعد حساب دليل جودة المياه بطريقة الحساب الموزون لخمسة عشر بارامتر لتحديد نوعيتها ووصفها وصلاحيتها للشرب ومقارنتها بالمواصفات القياسية الليبية للشرب رقم (82) لسنة 2013. ووفقا لنتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية كانت قيم WAWQI لكل بئر صنفت بين الممتازة وذلك للآبار (40، 39، 38، 31، 28، 27، 26، 25، 23، 22، 21، 9، 8، 6، 3، 2، 1) صالحة للشرب وبنسبة 42% من الآبار المدروسة، إلى غير ملائمة للشرب لبقية الآبار. ويعزى هذا التردي في نوعية المياه بالدرجة الأساسية إلى التراكيز المرتفعة للأملاح الذائبة الكلية والموصلية الكهربائية وأيونات الصوديوم وأيونات الكالسيوم والكلوريد وهي المسئولة عن تدهور مياه الآبار المدروسة.

International Journal of Environment & Water
ISSN 2052-3408

جدول (5). نتائج مؤشر الحساب الموزون (WAWQI) والمؤشر الكندي (CCMEWQI).

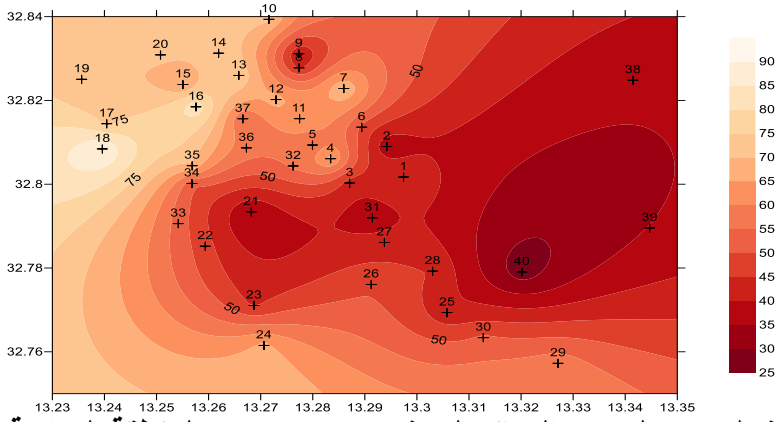
رقم البئر	WAWQ I	التصن يف	CCMEW QI	التصن يف	رقم البئر	WAW QI	التصني ف	CCMEW QI	التصن يف
1	45.42	ممتازة	100	ممتازة	21	35.13	ممتازة	100	ممتازة
2	36.28	ممتازة	100	ممتازة	22	47.07	ممتازة	100	ممتازة
3	42.43	ممتازة	95	ممتازة	23	44.27	ممتازة	95	ممتازة
4	66.68	جيد	88	جيدة	24	66.32	جيد	84	جيدة
5	55.58	جيد	77	مقبولة	25	41.1	ممتازة	100	ممتازة
6	48.82	ممتازة	95	ممتازة	26	49.36	ممتازة	95	ممتازة
7	69.98	جيد	62	مقبولة	27	42	ممتازة	95	ممتازة
8	44	ممتازة	95	ممتازة	28	44.75	ممتازة	100	ممتازة
9	40	ممتازة	95	ممتازة	29	58	جيد	83	جيدة
10	71	جيد	52	سيئة	30	50.89	جيد	89	جيدة
11	64.93	جيد	71	مقبولة	31	37.54	ممتازة	100	ممتازة
12	66.65	جيد	66	مقبولة	32	56	جيد	60	مقبولة
13	74.2	جيد	52	سيئة	33	53	جيد	90	جيدة
14	73.23	جيد	57	سيئة	34	51	جيد	76	مقبولة
15	64.12	جيد	76	مقبولة	35	69.3	جيد	60	مقبولة
16	84.22	جيد	57	سيئة	36	57.45	جيد	73	مقبولة
17	74.01	جيد	58	سيئة	37	54.76	جيد	76	مقبولة
18	90.69	جيد	50	سيئة	38	36.32	ممتازة	100	ممتازة
19	70.12	جيد	72	مقبولة	39	35.12	ممتازة	100	ممتاز
20	71.67	جيد	73	مقبولة	40	27.17	ممتازة	100	ممتازة

جدول (6). التصنيف المتبعة حسب مؤشر حساب الموزون (WAWQI).

WQI	التصنيف
50>	مياه ممتازة
100-50	مياه جيدة
200-100.1	مياه رديئة
300-200.1	مياه رديئة جدا
>300	غير ملائمة لأغراض الشرب

بعد تطبيق مؤشر حساب الموزون علي البارامترات لمنطقة الدراسة ومن خلال التوزيع المكاني وعلى النحو الموضح بالشكل (4) يلاحظ أن المنطقة الشمالية والشمالية الغربية حسب الجدول التصنيفي لمؤشر حساب الموزون جيدة للاستعمال وغير صالحة للشرب والمتمثلة في الآبار (37، 36، 35، 34، 33، 32، 30، 29، 24، 20، 19، 18، 17، 16، 15، 14، 13، 12، 11، 10، 7، 5، 4)؛ أما المنطقة الجنوبية والجنوبية الشرقية ذات جودة عالية صالحة للشرب طبقا للمواصفات القياسية الليبية للشرب رقم (82) لسنة2013، والمتمثلة في الآبار (40، 39، 38، 31، 28، 27، 26، 25، 23، 22، 21، 9، 8، 6، 3، 2، 1).

International Journal of Environment & Water
ISSN 2052-3408



الشكل (4). التوزيع المكاني لمؤشر (WAWQI) لمنطقة الدراسة.

مؤشر جودة المياه الكندي (Canadian Water Quality Index)

الهدف الرئيسي من حساب مؤشر نوعية المياه هو لتسهيل الحكم على نوعية المياه بواسطة تحويل الكم الهائل من البيانات والتحاليل المعقدة لخصائص المياه إلى معلومات سهلة ومفهومة يمكن استخدامها من قبل المختص وغير المختص (الصفاوي ، 2018). ويعتمد دليل النوعية على بعض الصفات والمعايير المهمة التي تعد كدليل أولي لنوعية المياه، وبذلك يعطى فكرة عامة عن المشاكل المحتملة للمياه في أية منطقة (Etim et al., 2013). تم تصنيف نوعية مياه الآبار لمنطقة عين زارة كما هو مبين بالجدول (5) وبناءً على آلية التصنيف الواردة بالجدول (7)، والذى يشير إلى أن قيم مؤشر جودة نوعية المياه تراوحت ما بين (44 و 100) من مياه صالحه للشرب إلى مياه سيئة غير قابلة للاستعمال، حيث سجل عدد 17 بئر ذات نوعية صالحة للشرب ذات جودة ممتازة والمتمثلة في الآبار (1، 2، 3، 6، 8، 9، 21، 22، 23، 25، 26، 27، 28، 31، 38، 39، 40)، والتي تمثل 42% من الآبار المدروسة في منطقة عين زارة؛ وبنسبة 58% من الآبار في المنطقة المدروسة غير صالحة للشرب، حيث تجاوزت الحدود المسموح بها للمواصفات القياسية الليبية، حيث صنفت كالاتي: مياه ذات نوعية جيدة للري المحاصيل والمواشي والمتمثلة في الآبار (33، 30، 29، 24، 4)، ومياه ذات نوعية مقبولة والمتمثلة في الآبار (37، 36، 35، 34، 32، 20، 19، 15، 12، 11، 7، 5)، أما بقية الآبار والمتمثلة بالآبار (18، 17، 16، 14، 13، 10) فكانت ذات نوعية سيئة ورديئة، وهذا التردي في نوعية المياه يعود بالدرجة الأساسية إلى التراكيز المرتفعة للأملاح الكلية الذائبة والموصلية والصوديوم والكالسيوم والكلوريد وهي المسؤولة عن تدهور مياه الآبار في المنطقة المدروسة، وبالتالي انعكست على خفض قيم مؤشر جودة المياه في تلك الآبار.

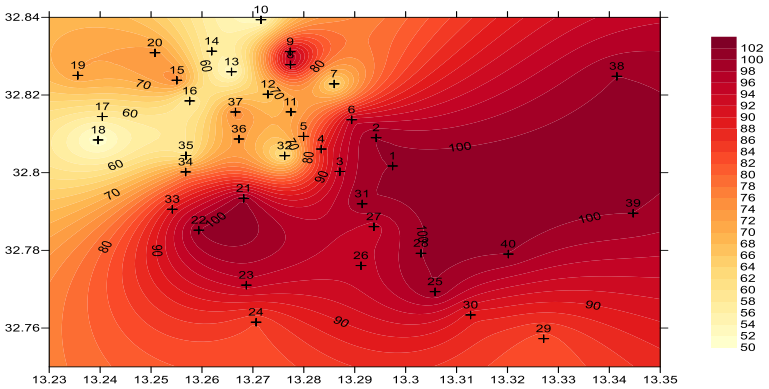
جدول (7). التصنيف المتبع حسب المؤشر الكندي (CCME WQI).

WQI	التصنيف	الدرجة
100 – 95	ممتازة	1
94 – 80	جيدة	2
79 – 60	مقبولة	3
59 – 45	سيئة	4
44 – 0	سيئة جدا	5

بتطبيق مؤشر جودة المياه الكندي على البارامترات في منطقة الدراسة، يتضح من خلال التوزيع المكاني للنموذج الكندي على النحو الموضح بالشكل (5) أن شمال وشمال غرب منطقة الدراسة ذات جودة متفاوتة

International Journal of Environment & Water
ISSN 2052-3408

وبين الجيدة للآبار (24، 4، 29، 30، 33)، والمقبولة للآبار (37، 36، 35، 34، 32، 20، 19، 15، 12، 11، 7، 5)، والسيئة للآبار (18، 17، 16، 14، 13، 10). أما المنطقة الجنوبية والجنوبية الشرقية تعتبر ذات جودة ممتازة وصالحة للشرب حسب المواصفات القياسية الليبية للشرب، وذلك للآبار (40، 39، 38، 31، 28، 27، 26، 25، 23، 22، 21، 9، 8، 6، 3، 2، 1).



شكل (5). التوزيع المكاني لمؤشر جودة المياه الكندي (CCME WQI).

الاستنتاجات أظهرت نتائج الدراسة من خلال تطبيق المؤشرين الكندي (CCME WQI) والحساب الموزون (WAWQI)، لتحديد جودة نوعية المياه ، أن ارتفاع بعض الخصائص المقاسة ولاسيما الأملاح الذائبة الكلية وأيونات الكالسيوم والصوديوم والبيكربونات والكلوريد، سيؤثر في قيم مؤشرات جودة نوعية المياه للتطبيقات المستخدم (CCME WQI)، (WAWQI). ووفقا للمؤشرين صنفت مياه الآبار ذات جودة ممتازة صالحة للشرب والواقعة في جنوب وجنوب شرق منطقة الدراسة؛ أما باقية الآبار يتدرج التصنيف من جيد إلى مقبول غير صالح للشرب. ومن خلال التوزيع المكاني للمؤشرين نجد أن مؤشر الدليل الكندي كان مشابهة لطريقة مؤشر الحساب الموزون. اما مخطط بايبر لتحديد السيادة النوعية لمياه ابار منطقة الدراسة لتمثيل التحليل النسبي لتركيز الأيونات باستخدام مثلث بايبر يتضح أن مياه الابار يسودها من ناحية الكاتيونات عنصري الصوديوم والكالسيوم، وأن التركيز النسبي لأيون الماغنسيوم منخفض في مياه الآبار ولا يشكل أي سياده، أما من ناحية الأنيونات فيظهر مثلث بايبر أن السيادة النوعية كانت للكلوريدات وبنسبة تفوق 50%. وأظهرت نتائج التحليل الهرمي العنقودي لقياس درجة التشابه بين الخصائص الكيميائية المختلفة وعدد الابار بمنطقة الدراسة ، حيث صنفت وفقا لنتائج التحليل الهرمي العنقودي إلى أربع مجموعات ممثلة في المجموعة الأولى (عمق البئر ودرجة التفاعل)، المجموعة الثانية (EC، Cl^-، Na^+، TDS، Ca^{2+}، K^+، BOD_5، COD، $SO4^{2-}$، Mg^{2+})، والمجموعة الثالثة (HCO_3^-) والمجموعة الرابعة (NO_3^-، DO)، وإن تواجد أغلب الخصائص الكيميائية في المجموعة الثانية (NO_2، NO_3^-، DO) يعكس قوة ارتباطها بعضها ببعض، خاصة فيما يتعلق بالكاتيونات الذائبة ودرجة التوصيل الكهربي. وكما إن للتأثيرات المتوقعة للنترات على قيم DO جعلها في مجموعة واحدة.

المراجع

1- السعيدي، محمد علي. 2022. دراسة تقييم الوضع البئي بالمناطق المحيطة بالشركة الليبية للحديد والصلب، مصراته ليبيا.
2- المواصفات القياسية الليبية لمياه الشرب (رقم-82) لسنة 2013. المركز الوطني للمواثفات والمعايير القياسية. طرابلس-ليبيا.
3-الصفاوي، عبد العزيز يونس طليع. 2018. تطبيق المؤشر الكندي CCMEWQI لتقييم جودة المياه لأغراض الشرب: دراسة حالة جودة المياه الجوفية في ناحية المحلبية - محافظة نينوى. مجلة علوم الرافدين. المجلد (27). ص 193-202.
4-خماج، أحمد إبراهيم و الرياني، عبدالرحمن إحميدة. 2020. المقارنة بين طريقتي كريكنج الاعتيادية (OK) ومقلوب المسافة الموزونة (IDW) لتقدير تلوث مياه الخزانات الجوفية بمياه البحر في مدينة طرابلس. المجلة السورية للبحوث الزراعية 7(5): 299-317
5-عساف، هدى، والمصري، محمد سعيد، (2007)، مصادر تلوث المياه الجوفية، منشورات هيئة الطاقة الذرية، سوريا.
6-طه، حذيفة حازم و حسين، محمد زيد. 2012. استخدام التحليل العنقودي لتصنيف نوعية المياه الجوفية في منطقة بعشيقة في محافظة نينوى. المجلة العراقية للعلوم الإحصائية. جامعة الموصل 21: 215-233.
7- APHA (1992) Standard method for examination of water and wastewater, 18th edn. American Public Health Association, Washington
8- Kumar, M.K., Mahesh, M.K. and Sushmitha, B.R. CCME water quality index and assessment of physico-chemical parameters of chikkakere, periyapatna, Mysore district, Karnataka state, India, 2014, 3(8), 15343–15347.
9-Piper, A.M. (1944) A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. American Geophysical Union Transactions, 25, 914-923.
10- Garba, A., Idris, A. M. and Gambo, J. (2023). Groundwater Quality Assessment Using Principal Component and Cluster Analysis. In M. Sherif, V. P. Singh, A. Sefelnasr, and M. Abrar (Eds.), Water Resources Management and Sustainability (Vol. 121, pp. 335–346). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24506-0_22.
11- El- Rawy, M.; Fathi, H.; Abdalla, F.; Alshehri, F.; Eldeeb, H. An Integrated Principal Component and Hierarchical Cluster Analysis Approach for Groundwater Quality Assessment in Jazan, Saudi Arabia. Water 2023, 15, 1466. https:// doi.org/10.3390/w15081466.
Golden Software 2011 **Surfer** Version 10.1.561.
12- Babak, O., Deutsch, C.V., 2008. Statistical approach to inverse distance interpolation. Stochastic Environ. Res. Risk Assess. 23 (5), 543–553. http://dx.doi.org/10.1007/ s00477-008-0226-6.
13- Kovač Zoran, Krešimir Pavlić and Zoran Nakić. 2016. Influence of dissolved oxygen on nitrates concentration in Zagreb aquifer. Conference: 8th Croatian-Hungarian and 19th Hungarian geomathematical congress At: Trakošćan, Croatia.

14-Atulegwu, P.U. and J.D. Njoku, 2004. The Impact of Biocides on the Water Quality. Int. Res. J. Eng. Sci. Technol., 1: 47-52.
15- Horton, R.K.,1965." An IndexNumber System for Rating Water Quality". J. Water Pollut. Control Fed., 37, 300–306.
16-Said, A, Stevens, D.K , and Sehlke , G. 2004. An innovative index for evaluating water quality in Streams. Envirowent Managemeut 34(3). 406-414. http//doi /10.1007/s00267-004-0210-y
17- Etim, E. E., Odoh, R., Itodo, A. U., Umoh, S. D. and Lawal, U. 2013 Water quality index for the assessment of water quality from different sources in the Niger Delta Region of Nigeria, Frontiers in Science, 3 (3), 89–95. https://doi.org/10.5923/j.fs. 20130303.02

Evaluation of Groundwater quality Using the Canadian Index and Weighted Index in the Ain Zara region – Libya.

Khairi Mohammed Alamari[1], Ahmed Ibrahim Khamaj[2], Mawahib Mustafa Abousnena[3], Salem Ali Alfitouri[4].
[1,3]Department of Environmental Science and Engineering, Libyan Academy, Libya .
[2]Department of Soil and Water, Faculty of Agriculture, University of Tripoli, Libya .
[4]Nuclear Research Center Tajoura.

Abstract: The Study aims to evaluate the quality of groundwater in the Ain Zara area, situated south of Tripoli, and assesses its suitability for drinking using the Canadian Water Quality Index (CCMEWQI) and the Weighted Arithmetic Index (WAWQI). A total of 40 well water samples were collected in March and April 2023, with GPS data collected for the wells and mapped accordingly. Key parameters measured included dissolved oxygen (DO), nitrite (NO2-), electrical conductivity (EC), total dissolved salts (TDS), pH, and concentrations of positive ions (Ca^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Mg^{2+}) as well as negative ions (NO3-, $SO4^{2-}$, Cl-, HCO3-). Chemical Oxygen Demand (COD) and Biological Oxygen Demand (BOD) were calculated, with results compared against the Libyan Standard Specifications for Drinking Water No. 82 (2013). Analysis indicated an increase in TDS concentration in select samples, exceeding the maximum concentration (7100 mg/L) in well 10, alongside elevated sodium ion concentrations in wells (10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 32, 34, 35, 36, 37) and calcium ions in wells (7, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 32) and 35 in the northern and northwestern sections of the study area. Furthermore, increased concentrations of chloride and bicarbonate ions were observed in the wells to the north and northwest. Other parameters

remained within the permissible limits according to the 2013 Libyan standard specifications. Wells (1, 2, 3, 6, 9, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 31, 38, 39, and 40), located in the southern and southeastern parts of the study area, were classified as excellent quality for drinking, according to both the CCMEWQI and WAWQI. In contrast, the remaining wells in the northern and northwestern areas were classified from good to acceptable to poor, rendering them unsuitable for drinking. The study demonstrated that both indices displayed similar spatial distributions.

Keywords: *Groundwater, CCMEWQI, WAWQI, Pyramid cluster analysis, Ain Zara.*