مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد 40- العدد 3 (2024)130-118

Damascus University Journal For Engineering Sciences
Vol 40 No.3 (2024):130-118

تقييم العوامل المؤثرة على قيمة مؤشر جودة المياه لبحيرة سد الباسل في طرطوس

هناء كمال سلمان

أستاذ، قسم الهندسة البيئية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين.hanasalman@tishreen.edu.sy

الملخص

يستخدم مؤشر جودة المياه على نطاق واسع لتقييم مواصفات المياه الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية ومجالات استخدامها، ويتطلب تقييم نوعية المياه جمع وتحليل كم كبير من البيانات من المصدر المائي مكانياً وزمانياً. وقد تم تطوير عدداً من مؤشرات الجودة التي تصف كمياً برقم وحيد بدون واحدة نوعية المياه السطحية أو الجوفية وتتضمن العوامل الهامة التي تدخل في حساب المؤشر. تم في هذا البحث استخدام مؤشر الجودة الكندي Canadian Council of Ministers of the Environment WQI (CCME QWI) في تقييم العوامل التي تحدد جودة مياه بحيرة سد الباسل في طرطوس لأغراض الشرب. حيث أخذت نتائج التحاليل المخبرية لعينات مأخوذة من وسط البحيرة للعوامل التالية: درجة الحرارة C°، درجة الحموضة pH، الناقلية الكهربائية .Con، الأكسجين المنحل DO، القساوة الكلية TH، الأمونيوم NH_4^+، النتريت NO_2^-، النترات NO_3^-، الفوسفات PO_4^{-3}، الكلوريد Cl^-، الكبريتات SO_4^{-2}، الطلب البيوكيميائي للأوكسجين BOD، بالإضافة إلى عصيات الكولي فورم Coliform Bacteria Fecal (FCB) وحسب مؤشر الجودة لها على أساس سنوي. بينت النتائج أن البحيرة تتعرض إلى تلوث جرثومي يؤثر بشكل كبير جداً على تصنيف نوعية مياه البحيرة ويضعها في المجال سيء، ومع استبعاد تأثير التلوث الجرثومي تبين أن معدل جودة المياه بين الجيد والمقبول. وتبين أن عدد العوامل التي تتجاوز الحدود المسموحة إلى العدد الكلي للعوامل (F1) ترتبط بقوة بمؤشر جودة المياه وبمعامل ارتباط 0.95، بينما كان معامل ارتباط نسبة القياسات التي تتجاوز الحدود المسموحة لجميع العوامل إلى العدد الكلي للقياسات (F2) يبلغ 0.89، أما بالنسبة للمدى الذي تتجاوز فيه القياسات الحدود المسموحة (F3) كان معامل الارتباط لها 0.79. وتشكل العكارة والأوكسجين المنحل والطلب الحيوي للأوكسجين، والفوسفات العوامل التي تؤثر بشكل هام في قيمة مؤشر جودة المياه ويجب أخذها بالاعتبار عند وضع الحلول الهندسية لحماية بحيرة سد الباسل من التلوث.

تاريخ الإيداع: 2022/8/27
تاريخ القبول: 2023/3/23

حقوق النشر: جامعة دمشق -سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص **CC BY-NC-SA 04**

الكلمات المفتاحية: مؤشر جودة المياه، مؤشر الجودة الكندي، نماذج نوعية المياه، بحيرة سد الباسل، تحليل الحساسية.

Evaluation of parameters affecting the Water Quality Index in the Al-Basel Dam Lake in Tartus

Hana Kamal Salman
Professor in the Department of Environmental Engineering. - Civil Engineering Faculty. of Tishreen University. hanasalman@tishreen.edu.sy

Abstract

The water quality indexes (WQI) widely used to assess physical, chemical and biological water characteristics. WQI calculation requires the collection and analysis of a large water quality dataset from the water source, spatially and temporally. Several WQIs have been developed, which quantify in a single dimensionless number the surface or groundwater quality, and include important parameters that used for WQI calculation. In this study, the Canadian Council of Ministers of the Environment WQI (CCME QWI) was used to evaluate the parameters that most important in WQI value for Al-Basel dam lake in Tartus for drinking purposes. The data of samples analysis taken from the site in the middle of the lake for the parameters: Temperature (°C), pH, conductivity (Con.), dissolved oxygen (DO), total hardness (TH), ammonium (NH_4^+), nitrite (NO_2^-), nitrate (NO_3^-), phosphate (PO_4^-), chloride (Cl^-), sulphate (SO_4^{-2}), biochemical oxygen demand (BOD) and fecal coliform bacteria (FCB). WQI was calculated on an annual basis. The results indicated that the lake is exposed to microbiological pollution that affects the value of WQI, the classification of water quality is bad. While with the exception of (FCB), WQI is fair to good. It also showed the percentage of parameters that exceed the guideline (F1) significantly correlated with WQI, the correlation coefficient was 0.95, while the correlation coefficient was 0.89 for the percentage of individual testes within each parameter that exceed the guideline (F2), and the extent to which the fail test exceeds the guideline (F3) the correlation coefficient was 0.79. Turbidity, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand and phosphate are the parameters that significantly influence the value of WQI and should be consider when developing engineering solutions to protect the AL Basel dam lake from pollution.

Key words: Water Quality Index, CCME WQI, water quality models, Al-Basel dam lake, sensitivity analysis.

Received: 27/8/2022
Accepted: 23/3/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

1. مقدمة

يستخدم مؤشر جودة المياه Water Quality Index (WQI) من أجل تحويل مجموعة من الصفات الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية للمصدر المائي إلى رقم يسهل فهمه والتعامل معه. وقد تم في مختلف دول العالم تطوير مجموعة من المؤشرات (القرائن) Indexes المركبة التي تجمع بين مجموعة من العوامل (Parameters) لتحديد نوعية المياه السطحية والجوفية من أجل مجالات الاستخدام المختلفة، ويتضمن حساب مؤشر جودة المياه اختيار العوامل الهامة، وجمع البيانات لكل عامل تم اختياره وتحويلها إلى مؤشر ثانوي بدون واحدة، ثم تحديد وزن وأهمية كل عامل وبعد ذلك تستخدم هذه البيانات في علاقات رياضية للحصول على قيمة عددية لمؤشر جودة المياه. وقد تم تطوير أول مؤشر لجودة المياه في الستينات من القرن الماضي باستخدام عشرة عوامل من قبل Horton، ثم تم تطوير مؤشر National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-QWI) في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث قام الخبراء باختيار العوامل الهامة وأوزانها وهي: درجة الحرارة C°، درجة الحموضة pH، الأكسجين المنحل Dissolved Oxygen (DO, %) ، النترات NO_3^-, (mg/L)، الفوسفور الكلي Total phosphors TP, (mg/L)، العكارة Turbidity, (NTU)، المواد الصلبة المعلقة Total suspended Solids (TSS, mg/L) الطلب البيوكيميائي للأوكسجين Biochemical Oxygen Demand (BOD, mg/L)، بالإضافة إلى عصيات الكولي فورم (FCB, Fecal Coliform Bacteria N/100mL) (Tyagi *et al.*, 2013,35). وفي الوقت الحالي تجاوز عدد المؤشرات التي تم تطويرها في العالم من أجل تقييم جودة المياه السطحية الثلاثون مؤشراً، منها مؤشر British Columbia WQI (BCWQI) وكذلك مؤشر Canadian Council of Ministers of the Environment WQI (CCME QWI) الذي تم تطويره في كندا ويعرف بمؤشر جودة المياه الكندي، وكذلك مؤشر (NEWWQI)، (Uddin et al., 2021,4). وعلى الرغم من الجهود الكبيرة للباحثين حول العالم لا يوجد مؤشر يمكن تطبيقه في أي مكان في العالم، ولكن هناك توافق على أن مؤشرات نوعية المياه مناسبة لتقييم درجة جودة المصادر المائية ضمن الجسم المائي الواحد وعبر الزمن ولتقييم الإجراءات المختلفة لحماية المصدر المائي من التلوث ولتحسين نوعية مياهه (Rickwood and Carr, 2007,7). غير أن معظم نماذج WQI لا تتضمن العناصر السامة أو المشعة، فقط قد يوصي بعضها بأخذ بعض المركبات مثل الفينول والمنظفات والمبيدات بالاعتبار عند تقييم جودة المصدر المائي.

2. الدراسة المرجعية

استخدم مؤشر جودة المياه من قبل الباحثين لتقييم نوعية مياه الأنهار والبحيرات والآبار في مختلف المناطق في الجمهورية العربية السورية، وبشكل خاص لتقيم جودة المياه لبحيرات السدود في حوض الساحل الذي يضم محافظتي اللاذقية وطرطوس، والتي تم إنشاؤها من أجل تخزين المياه لأغراض الشرب أو الري أو كلاهما، وتتأثر هذه الخزانات المائية بالنشاطات البشرية، وتتدهور جودة مياهها بسبب الملوثات التي تصل إليها من الأحواض الساكبة لهذه البحيرات. فقد تم تطبيق مؤشر National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI) من أجل بحيرة سد بللوران وتبين أن جودة المياه من الدرجة الرابعة وتوصف بأنها سيئة ولوحظ فيها أن قيم تراكيز BOD و FCB والعكارة والمواد الصلبة الكلية تتجاوز الحدود المسموحة (Awad *et al.*, 2011, 181). وطبق هذا المؤشر أيضاً من أجل بحيرة سد 16 تشرين وتم تصنيف جودة مياه البحيرة وفقه من الدرجة الثانية وهي مقبولة الجودة في وسط البحيرة وعند جسم السد، ومن الدرجة الثالثة في باقي المواقع (Jand *et al.*,

(2013, 179). كما استخدم هذا المؤشر لتصنيف نوعية مياه بحيرة السن وتبين أنها جيدة بشكل عام (Jafar, 2016, 61). وكذلك استخدم من أجل تقييم درجة جودة بحيرة سد الباسل وتبين أن تصنيف المياه يتراوح من سيئ إلى متوسط حسب موقع العينات وحسب الوقت من السنة، ولعب التلوث الجرثومي دوراً هاماً في تدني نوعية المياه (Salman et al., 2017, 336). كما تمت المقارنة بين (NSFWQI) ومؤشر (NEWWQI) من أجل تقييم جودة بعض بحيرات السدود الصغيرة في محافظة اللاذقية وهي سدود القنجرة وكرسانا وخربة الجوزية وتبين أنها في الحالتين متوسطة إلى منخفضة الجودة وتحتاج إلى الحماية من التلوث وإلى المعالجة المعمقة في حال استخدامها للشرب (Sabbouh, 2020, 29). وبالمقارنة بين مؤشري الجودة (CCME QWI) و (NSFWQI) من أجل مياه بحيرة يونيون في الولايات المتحدة تبين أن جودة المياه في المجال الحرج (Gamvroula and Alexakis, 2022,10). ويعد مؤشر جودة المياه من العوامل المساعدة لأصحاب القرار في وضع الاستراتيجيات الفعالة لحماية وإدارة الموارد المائية، ومن أجل تحديد طرق المعالجة المناسبة من أجل استخدامات المياه المختلفة.

3. أهمية البحث وأهدافه

تعد بحيرات السدود التخزينية في حوض الساحل السوري مصادر مهمة للمياه من أجل الاستخدامات المختلفة إذ يتم تخزين المياه في موسم الأمطار والاستفادة منها في موسم الجفاف، وتصنف بحيرة سد الباسل في طرطوس كثاني أكبر سد في حوض الساحل وتتجاوز سعته التخزينية مائة مليون متر مكعب، وعلى الرغم من أن مياهها تتجدد باستمرار إلا أنها تتعرض لمختلف أنواع الملوثات التي تصل إليها من المصادر المختلفة. يهدف البحث إلى تقييم جودة مياه بحيرة سد الباسل في طرطوس وتحديد العوامل التي تلعب الدور الهام في تصنيف نوعية مياهها باستخدام مؤشر الجودة الكندي (CCME WQI).

4. طرائق البحث ومواده

4. 1. منطقة الدراسة

ينبع نهر الأبرش من جبال الكفرون في صافيتا في محافظة طرطوس، ويصب في البحر الأبيض المتوسط جنوب الحميدية، ويبلغ طوله 41 km، وتبلغ مساحة الحوض الساكب لنهر الأبرش حوالي 235 km2، ويحده من الشمال حوضي الغمقة والمنطار ومن الجنوب حوض نهر الكبير الجنوبي. كما يبين الشكل (1) يتباين الوضع المورفولوجي للحوض من مناطق جبلية في الجزء الأعلى من الحوض إلى مناطق هضبية في الجزء الأوسط إلى منطقة سهلية في الجزء الأدنى منه.

تقع بحيرة سد الباسل على نهر الأبرش جنوب مدينة صافيتا بحوالي 8 km، وهو سد ركامي بنواة غضارية، أنشئ في العام 1996 من أجل تأمين المياه للري، يتغذى السد من نهر الأبرش ومن قناة العروس، يبلغ ارتفاع السد 50 m وطوله عند القمة 733 m، كما يبلغ حجم التخزين الطبيعي له 103 Mm^3 وحجم التخزين الأعظمي 113 Mm^3، ويرتفع منسوب قمة السد إلى 115.6 m عن سطح البحر، ويبلغ طول البحيرة 6.3 km، ومساحة سطحها 689 ha، وقد تمت تعبئة السد لأول مرة في العام 1997، ووصل إلى التخزين التصميمي لأول مرة في العام 2000 (مديرية الموارد المائية في طرطوس).

تتعرض بحيرة سد الباسل إلى التلوث الناتج عن النشاطات البشرية، حيث تصب فيها مخلفات الصرف الصحي للعديد من التجمعات السكنية الواقعة ضمن الحوض الساكب، وتضم هذه التجمعات السكانية أكثر من مائة وعشرون ألف نسمة وأكثر من خمسين معصرة زيتون وحوالي مائة مدجنة أو مبقرة بالإضافة إلى منشآت أخرى ومكبات النفايات العشوائية ومنها

ما يصرف إلى البحيرة مباشرة أو ينقل خلال السيول المتشكلة أثناء حدوث الهطول المطري (مديرية الموارد المائية في طرطوس).

تتضمن طريقة تطوير مؤشر جودة المياه الأجزاء الثلاثة الآتية: المواصفات القياسية لنوعية المياه من أجل الصحة العامة وحسب استخدامات المياه، واختيار العوامل (الملوثات) المناسبة، واختيار مواقع الاعتيان التي يتم القياس فيها بشكل مستمر وعلى أساس سنوي (Uddin et al., 2021,4).

تم تطوير مؤشر Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) WQI من موديل British Colombia WQI (BCWQI) في العام 2001 (CCME, 2001,5; Lumb et al., 2011,17). ويستخدم على نطاق واسع بسبب سهولة تطبيقه والمرونة التي يتمتع بها في اختيار عوامل نوعية المياه التي تستخدم ضمن الموديل، والتكيف مع الحدود المسموحة لمجالات استخدام المياه. ومن أهم سلبياته أنه يعطي نفس الأهمية لجميع العوامل الداخلة في حسابه، ويمكن توجيهه بسهولة إذ أن النتائج حساسة للعوامل الداخلة في حساب المؤشر (Paun et al., 2016,399) ويتطلب هذا النموذج استخدام أربعة عوامل لنوعية المياه دون تحديد أي منها كحد أدنى، على أن يتوفر لأي عامل مستخدم أربعة قياسات على الأقل في العام الواحد (CCME, 2001,12)، يتم اختيار العوامل عادة حسب توفر المعطيات ورأي الخبراء والأهمية البيئية للعوامل المختلفة.

الشكل (1) حوض نهر الأبرش وبحيرة سد الباسل (الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، 2018)

ومن أجل تحديد مؤشر جودة المياه لبحيرة سد االباسل استخدمت العوامل الآتية: درجة الحرارة °C، درجة الحموضة pH، الناقلية الكهربائية .Con، الأكسجين المنحل DO، القساوة الكلية TH، الأمونيوم NH_4^+، النتريت NO_2^-، النترات $NO-^3$، الفوسفات PO_4^{-3}، الكلوريد Cl^-، الكبريتات SO_4^{-2}، الطلب البيوكيميائي للأوكسجين BOD، بالإضافة إلى عصيات الكولي فورم Coliform Bacteria Fecal (FCB).

4. 2. معادلات مؤشر جودة المياه الكندي Canadian Water Quality Index (CWQI) Equations

يتم حساب CWQI باستخدام ثلاث معاملات كالآتي(CCME, 2001, 4):

$$WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732}\right) \qquad (1)$$

تمثل F1 المجال: نسبة البارامترات التي تتجاوز الحد المسموح به إلى العدد الكلي للبارامترات:

$$F_1 = \left(\frac{\#\ failed\ Parameters}{Total\ \#\ of\ Parameters}\right) * 100 \qquad (2)$$

و تمثل F2 التكرار: نسبة القياسات لكل بارامتر التي تزيد عن الحد المسموح:

$$F_2 = \left(\frac{\#\ failed\ Tests}{Total\ \#\ of\ Tests}\right) * 100 \quad (3)$$

$$excursion = \left(\frac{failed\ test\ value}{guidline\ value}\right) - 1 \quad (4)$$

وتمثل F3 المدى: المدى الذي تتجاوز فيه الاختبارات التي لا تحقق المعايير المسموحة الحد المسموح به. ويتم حسابها في ثلاث مراحل: أولاً الإنحراف ويحسب من العلاقة:

في حال pH حيث تعطى حدود أعظمية وأصغرية، تكون معادلة الانحراف كما هي أعلاه أو تكون معكوسة كالآتي:

$$excursion = \left(\frac{guidline\ value}{failed\ test\ value}\right) - 1 \quad (5)$$

ثم تحسب مجموعة الانحرافات على الشكل الآتي:

$$nse = \left(\frac{\sum excursion}{Total\ \#\ of\ Tests}\right) \quad (6)$$

تحسب بعد ذلك F3 بالعلاقة التي تجعل nse في المجال بين 1 و100:

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01\ nse + 0.01}\right) \quad (7)$$

تعطي معادلة المؤشر رقماً بين 1 و100 وتكون 1 هي الأقل جودة وتشير 100 إلى أفضل نوعية للمياه، وضمن هذا المجال، تم تصنيف نوعية المياه كما وضعت من قبل CCMEإلى ممتازة وجيدة ومقبولة وحرجة وسيئة كما يوضح الجدول (1) مواصفات كل تصنيف (CCME, 2001,5). بالإضافة إلى تحديد مؤشر نوعية المياه يمكن أيضاً اقتراح طرق التنقية لكل تصنيف من أجل الحصول على نوعية المياه المرغوبة للاستخدامات المختلفة، ففي حال استخدام المياه السطحية للشرب لا بد من معالجتها بشكل خاص للتخلص من العوامل الممرضة والعكارة.

سيتم اعتماد المواصفات القياسية السورية رقم (45) للعام2007 لمياه الشرب من أجل العوامل المدروسة وهي موضحة في الجدول (2).

تم تحديد مؤشر الجودة من أجل موقع وسط البحيرة للفترة من العام 1999 إلى العام 2005 ومن العام 2011 إلى العام 2018، مع الإخذ بالاعتبار البيانات المتوفرة في مديرية الموارد المائية في طرطوس ويبين الجدول (3) العوامل التي أخذت بالاعتبار عند حساب مؤشر جودة المياه الكندي لبحيرة سد الباسل، حيث يشير اللون الأحمر إلى الحالات التي لا تحقق فيها بعض القياسات المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب، ويشير اللون الأزرق إلى أن القياسات لم تدخل في حساب المؤشر لعدم تحقيقها أربع قياسات في العام، بينما يشير اللون الأخضر إلى أن العوامل تحقق المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب.

ومن أجل تحديد أي العوامل (F1, F2, F3) تؤثر بشكل أكبر على مؤشر الجودة النهائي تم رسم كل عامل مقابل القيمة النهائية للمؤشر. حيث تعبر F1 عن تأثير نسبة العوامل التي تتجاوز الحدود المسموحة إلى العدد الكلي للعوامل التي تدخل في حساب المؤشر، وتعبر F2 عن نسبة القياسات التي تتجاوز الحدود المسموحة لجميع العوامل إلى العدد الكلي للقياسات، بينما تأخذ F3 بالاعتبار المدى الذي تتجاوز فيه القياسات الحدود المسموحة. وتم تقييم تأثير كل عامل حسب معامل الارتباط مع قيمة درجة جودة المياه.

ومن أجل تحديد تأثير كل عامل من العوامل التي تدخل في الحساب على قيمة مؤشر جودة المياه الكلي تم إجراء تحليل الحساسية (sensitivity analysis)، ويعرف تحليل الحساسية بأنه استجابة العوامل الخارجة (مؤشر جودة المياه) للتغيرات في العوامل الداخلة (درجة الحرارة، الأس الهيروجيني، الناقلية الكهربائية، الأوكسجين المنحل، القساوة الكلية، الأمونيوم، النتريت، النترات، الفوسفات، الكلورايد، الطلب البيوكيميائي للأوكسجين وعصيات الكولي فورم)، بحيث تم استبعاد كل عامل من عملية حساب المؤشر ومقارنة قيمة المؤشر بعد الحذف مع قيمته السابقة قبل الحذف (Namugize and Jewitt, 2018, 519). ومن ثم تم تقييم العوامل التي يجب أخذها بالاعتبار عند وضع برامج الاعتيان، والقياسات، والتحاليل المخبرية للملوثات التي تصل

إلى البحيرة، ومن أجل مراقبة نوعية مياه البحيرة والتنبؤ بالحالة المستقبلية، وإجراءات حماية البحيرة من التلوث.

الجدول (1) تصنيف جودة المياه حسب CCME (CCME, 2001,5).

التصنيف		قيمة المؤشر	التوصيف
ممتازة	excellent	95-100	تقع قيم جميع القياسات ضمن الحدود المسموحة في جميع الأوقات
جيدة	good	80-94	نادرا ما تختلف قيم القياسات عن الحدود الطبيعة أو الحدود المرغوب بها.
مقبولة	fair	65-79	تختلف قيم القياسات في بعض الأحيان عن الحدود الطبيعية أو الحدود المرغوب بها.
حرجة	marginal	45-64	تختلف قيم القياسات غالبا عن الحدود الطبيعية أو الحدود المرغوب بها.
سيئة	poor	0-44	تختلف قيم القياسات في معظم الأحيان عن الحدود الطبيعية أو الحدود المرغوب بها.

الجدول (2) الحدود المسموحة حسب المواصفة القياسية السورية رقم 45 للعام2007 لمياه الشرب

المكون	الرمز	الواحدة	الحد المسموح به	الحد الأقصى المسموح به
درجة الحرارة	T	C°		يجب أن تكون مقبولة
الرقم الهيدروجيني	pH	-	6.5-9	عند التعقيم بالكلور يفضل أن تكون أقل من 8
القساوة الكلية	T.H	mg/L	500	700
الناقلية	Cond.	micromhos/cm	1500	2000
العكارة	Tur.	NTU	1	5
الأكسجين المنحل	DO	mg/L	≥ 5*	≥ 5*
الأمونيوم	NH_4^+	mg/L	0.5	0.5
النتريت	NO_2^-	mg/L	0.2	0.2
النترات	NO_3^-	mg/L	50	50
الفوسفات	PO_4^{-3}	mg/L	0.5	1
الكلورايد	Cl^-	mg/L	250	500
الكبريتات	SO_4^{-2}	mg/L	250	500
الطلب البيوكيميائي للأوكسجين	BOD	mg/L	2**	2**
عصيات الكولي فورم	CFB	No./100mL	0/100mL	0/100mL

***لا تتضمن المواصفة القياسية السورية تركيز الأوكسجين المنحل والذي يجب أن لا يقل عن 5 mg/L، (Schnoor, 1996, 221).**

****لا تتضمن المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب كذلك الحد المسموح به للطلب الحيوي على الأوكسجين الذي يجب أن لا يزيد عن 2 mg/L، (Vasistha and Ganguly, 2020, 547)**

الجدول (3) عوامل حساب CCME-WQI

العام	C°	pH	Con	Tur.	DO	TH	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{-3}	Cl^-	SO_4^{-2}	BOD	FCB
1999	*	*	*	-	*	*	-	*	*	*	*	*	+	+
2000	*	*	*	-	*	*	-	*	*	+	*	-	+	+
2001	*	*	*	-	*	*	-	*	*	+	*	*	+	+
2002	*	*	*	-	*	*	-	*	*	+	*	*	-	+
2003	-	-	*	+	*	*	-	*	*	+	*	*	-	+
2004	-	*	*	+	+	*	-	*	*	+	*	*	-	+
2005	-	*	*	+	+	*	-	*	*	+	*	*	+	+
2011	-	*	*	+	-	*	*	-	*	*	*	*	+	+
2012	-	*	*	+	-	*	*	*	*	*	*	*	+	+
2013	-	*	*	+	-	*	-	*	*	*	*	*	+	+
2014	-	*	*	+	-	*	*	*	*	*	*	*	+	+
2015	-	*	*	+	-	*	*	*	*	*	*	*	+	+
2016	-	*	*	+	-	*	*	*	*	*	*	*	+	+
2017	-	*	*	+	*	-	*	*	*	*	-	*	-	+
2018	-	*	*	+	*	-	*	*	*	*	*	*	*	+

+ تشير إلى العوامل التي لاتحقق بعض القياسات فيها المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب.

– تشير إلى العوامل التي توجد لها أقل من أربع قياسات.

*** العوامل التي تحقق المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب.**

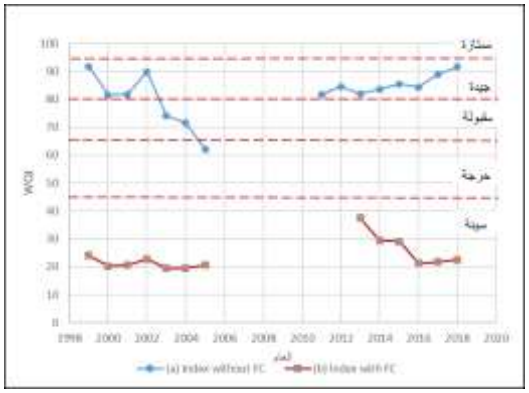
5. النتائج والمناقشة

تم حساب مؤشر جودة المياه حسب المعادلات من (1) حتى (7) لمؤشر الجودة الكندي باعتماد نقطة الرصد وسط البحيرة والعوامل التي ذكرت سابقاً، من أجل حالتين: تم في الحالة الأولى حساب مؤشر الجودة دون الأخذ بالاعتبار التلوث الجرثومي الممثل بقيمة عصيات الكولي فورم، وفي الحالة الثانية تم أخذ قيمة التلوث الجرثومي بالاعتبار، ويوضح الجدول (4) والشكل (2) أن قيمة مؤشر جودة المياه للفترة الزمنية من العام 1999 إلى العام 2005 في الحالة الأولى تتدهور بشكل ملحوظ من القيمة 91.75 في العام 1999 إلى القيمة 62.12 في العام 2005 وانتقلت نوعية المياه من جيدة إلى حرجة. كما يظهر الشكل (2) التأثير الكبير للتلوث الجرثومي حيث كانت قيمة مؤشر جودة المياه 24.05 في العام 1999 وانخفضت إلى 20.65 في العام 2005 وأصبح تصنيفها سيئة وتختلف قيم القياسات في معظم الأحيان عن الحدود الطبيعية أو الحدود المرغوب بها. أما في الفترة الزمنية الثانية من العام 2011 إلى العام 2018 عندما لم يؤخذ التلوث الجرثومي بالاعتبار يلاحظ أن جودة المياه بقيت في المجال جيدة الجودة مع تحسن طفيف مع الزمن، وهنا ايضاً يلاحظ التأثير الكبير للتلوث الجرثومي ففي حال أخذه بالاعتبار تصبح جودة المياه في المجال سيئة مع التدهور مع الزمن من القيمة 37.54 في العام 2011 إلى أقل من 23 بين الأعوام من 2016–2018 كما هو موضح في الشكل (2).

تمت دراسة تأثير العوامل F1 وF2 وF3 على قيمة مؤشر جودة المياه مع الأخذ بالاعتبار التلوث الجرثومي بعصيات الكولي فورم، حيث يبين الشكل (3) أن تأثير نسبة العوامل التي تتجاوز الحدود المسموحة إلى العدد الكلي للعوامل التي تدخل في حساب المؤشر F1 لا ترتبط بمؤشر جودة المياه، و كذلك نسبة القياسات التي تتجاوز الحدود المسموحة لجميع العوامل إلى العدد الكلي للقياسات F2 ترتبط بضعف بمؤشر جودة المياه كما يوضح الشكل (4)، بينما يرتبط المدى الذي تتجاوز فيه القياسات الحدود المسموحة F3 بقوة مع قيمة مؤشر جودة المياه وبمعامل ارتباط حوالي 0.93 كما هو مبين في الشكل (5)، مما يبين التأثير الكبير للمدى الذي تتجاوز فيه عصيات الكولي فورم الحدود المسموحة إذ تجاوزت قيمها في حالات كثيرة 1000 FC/100 mL.

الجدول (4) قيم مؤشر جودة المياه مع وبدون أخذ التلوث الجرثومي بالاعتبار

العام	With FCB				Without FCB			
	F1	F2	F3	WQI	F1	F2	F3	WQI
1999	97.58	14.1	16.16	24.05	9.09	5.63	1.86	91.75
2000	99.06	21.62	27.27	20.22	20	13.43	2.91	81.56
2001	98.64	20.93	27.27	20.63	20	12.82	3.57	81.75
2002	98.29	17.98	18.18	22.83	10	8.75	1.67	89.82
2003	98.68	24.62	30	19.43	22.22	16.95	19.35	74.17
2004	97.72	23.53	33.33	19.54	30	17.72	13.79	71.53
2005	98.08	31.76	16.67	20.65	36.36	25.64	22.48	62.12
2011	75.85	16.13	27.27	37.54	18.18	10.75	11.5	81.72
2012	88.52	12.38	25	29.48	18.18	7.14	5.57	84.56
2013	89.36	10.57	25	29.04	20	10.71	7.41	81.86
2014	99.22	15.66	25	21.35	18.18	7.07	9.01	83.66
2015	99.44	17.5	20	21.79	18.18	5.17	2.91	85.46
2016	99.6	11.11	18.18	22.61	18.18	7.89	5.75	84.32
2017	97.58	14.1	16.16	24.05	11.11	8.33	4.4	88.92
2018	99.06	21.62	27.27	20.22	10	3.3	3.47	91.57

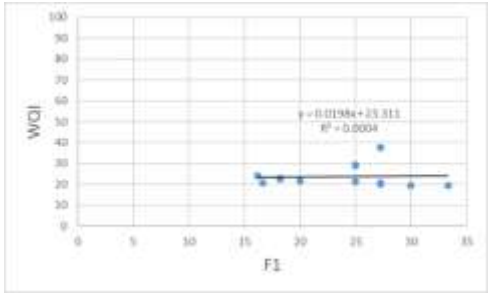


الشكل (2) قيمة مؤشر جودة المياه (a) دون أخذ عصيات الكولي فورم بالاعتبار، (b) مع أخذ عصيات الكولي فورم بالاعتبار.

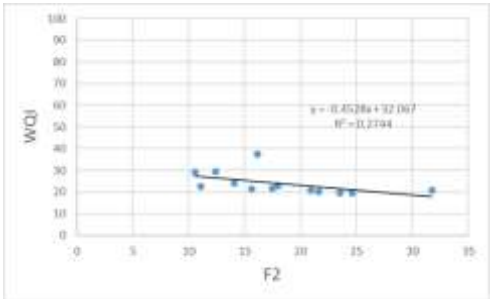
نظراً للتأثير الكبير لعصيات الكولي فورم على حساب مؤشر جودة المياه تم استبعاده من الحساب لتقييم مدى تأثير العوامل الأخرى المدروسة، فتبين أن تأثير عدد العوامل التي تتجاوز الحدود المسموحة إلى العدد الكلي للعوامل ترتبط بقوة بمؤشر جودة المياه وبمعامل ارتباط 0.95 كما يوضح الشكل (6)، بينما كان معامل ارتباط نسبة القياسات التي تتجاوز الحدود المسموحة لجميع العوامل إلى العدد الكلي للقياسات F2 يبلغ 0.89 كما يبين الشكل (7)، أما بالنسبة للمدى الذي تتجاوز فيه القياسات الحدود المسموحة F3 كان معامل الارتباط لها 0.79 كما يوضح الشكل (8). مما يوضح أن قيمة المؤشر النهائي في هذه الحالة ترتبط بقوة بـ F1 و F2 و F3 على التوالي.

يستخدم تحليل الحساسية لإيجاد كيف تختلف نتائج الموديل عندما تتغير عوامل هذا الموديل، ويستخدم كذلك من أجل تحديد العوامل الأكثر تأثيراً في تحديد دقة نتائج الموديل، وإذا أدى التغير في أي عامل إلى تغير نتائج الموديل بشكل كبير يمكن اعتبار أن الموديل حساس لهذا البارامتر. كم تشير نتائج الحساسية إلى مدى مشاركة كل عامل في تغير نتائج الموديل (Ji, 2008,471).

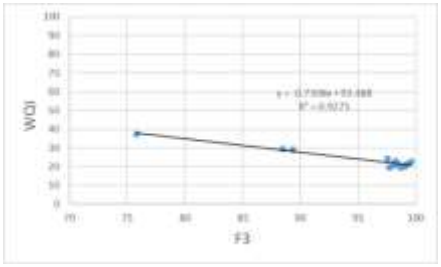
تم اختيار العام 2005 من الفترة الزمنية الأولى والعام 2016 من الفترة الزمنية الثانية من أجل تحديد العوامل الأكثر تأثيراً على جودة المياه ولتوفر قياسات دورية لمعظم العوامل المدروسة. من أجل العام 2005 كانت قيمة مؤشر جودة المياه 62.12 وتصنيف نوعية المياه حرجة، تم حساب مؤشر الجودة مع استبعاد عامل واحد من العوامل التي تدخل في حسابه بالترتيب التالي: العكارة، الأوكسجين المنحل، الفوسفات، الطلب الحيوي للأوكسجين، الأس الهيدروجيني، الناقلية، القساوة الكلية، النتريت، الكلوريد، الكبريتات، والنترات كما يوضح الشكل (9)، وفيها تجاوزت بعض القياسات للعكارة والأوكسجين المنحل والطلب الحيوي للأوكسجين، والفوسفات الحدود المسموحة، فيلاحظ التأثير المباشر لغياب أي من هذه



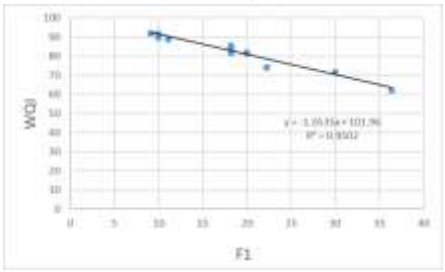
الشكل (3) قيمة F1 مقابل مؤشر جودة المياه مع أخذ التلوث الجرثومي بالاعتبار



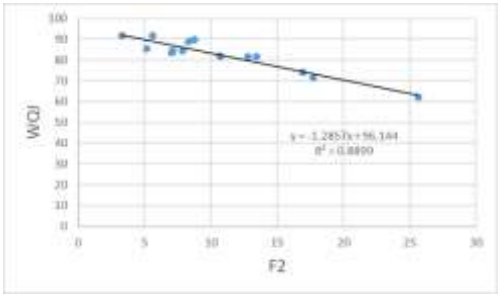
الشكل (4) قيمة F2 مقابل مؤشر جودة المياه مع أخذ التلوث الجرثومي بالاعتبار



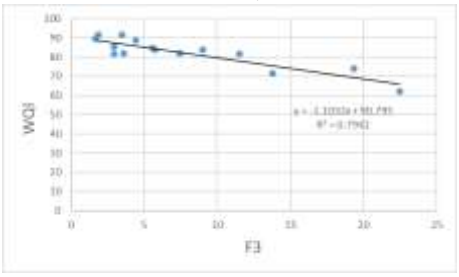
الشكل (5) قيمة F3 مقابل مؤشر جودة المياه مع أخذ التلوث الجرثومي بالاعتبار



الشكل (6) قيمة F1 مقابل مؤشر جودة المياه دون أخذ التلوث الجرثومي بالاعتبار



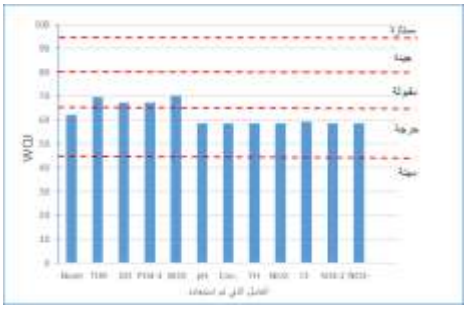
الشكل (7) قيمة F2 مقابل مؤشر جودة المياه دون أخذ التلوث الجرثومي بالاعتبار



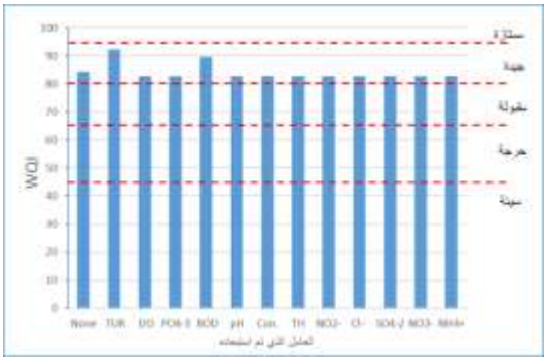
الشكل (8) قيمة F3 مقابل مؤشر جودة المياه دون أخذ التلوث الجرثومي بالاعتبار

العوامل من حساب مؤشر الجودة إذ يؤدي إلى انتقال نوعية المياه من الحالة الحرجة إلى المقبولة، بينما لا يؤثر استبعاد العوامل التي تحقق الحدود المسموحة وهي الأس الهيدروجيني، الناقلية، القساوة الكلية، النتريت، الكلوريد، الكبريتات، والنترات، على تصنيف نوعية المياه وتبقى ضمن الحدود الحرجة. مما يؤكد أهمية التحكم بالملوثات الناتجة عن النشاط البشري والصرف الصحي من أجل حماية البحيرة وتحسين نوعية مياهها.

وقد تم الحصول على نتائج مشابهة من أجل العام 2016 حيث لم تتجاوز القياسات لجميع العوامل الحدود المسموحة ما عدا العكارة والطلب الحيوي للأكسجين كما يوضح الشكل (10) وعلى الرغم من أن قيمة مؤشر جودة المياه بقي ضمن حدود التصنيف جيد إلا أن استبعاد العكارة أو الطلب الحيوي للأوكسجين يزيد من قيمة هذا المؤشر، بينما لا يؤدي غياب أي من العوامل التي لا تتجاوز الحدود المسموحة لتغيير هام في قيمة المؤشر، مما يؤكد العلاقة الهامة بين مؤشر جودة المياه والعوامل التي تتجاوز القياسات لها الحدود المسموحة، وبالتالي أهمية حماية المصادر المائية من الملوثات التي يسببها النشاط البشري في الأحواض الساكبة لهذه المصادر التي تصل إليها بشكل مباشر أو مع مياه الأمطار، وأهمية وضع استراتيجيات مناسبة لمنع وصول الملوثات مثل إنشاء محطات معالجة لمياه الصرف الصحي والصناعي، والتحكم بالصرف الزراعي بإنشاء نطاق حماية مناسب حول المصاد المائي. واتباع الطرق المناسبة عند تنقية المياه لأغراض الشرب مثل إزالة العكارة باستخدام المخثرات، وتطهير المياه للتخلص من العوامل الممرضة.



الشكل (9) قيمة مؤشر جودة المياه حسب العوامل التي تم استبعادها للعام 2005



الشكل (10) قيمة مؤشر جودة المياه حسب العوامل التي تم استبعادها للعام 2016

6. الاستنتاجات والتوصيات

تتعرض بحيرة سد الباسل إلى تراكم الملوثات الناتجة عن النشاط البشري والصرف الصحي في الحوض الساكب لنهر الأبرش المغذي للبحيرة مما يجعل مؤشر جودة المياه لها ضمن التصنيف سيئ حسب مؤشر الجودة الكندي.

يشكل التلوث الجرثومي العامل الأكثر تأثيراً على تصنيف جودة المياه، وهذا يتوافق مع دراسات أخرى في مناطق أخرى في العالم (Namugize and Jewitt, 2018, 525; Rickwood and Carr, 2007, 27)، ففي حال استبعاده يتغير مؤشر جودة المياه من سيئ إلى مقبول أو جيد.

يرتبط مؤشر الجودة بالمدى الذي تتجاوز فيه القياسات الحدود المسموحة بسبب التأثير الكبير للتلوث الجرثومي لمياه البحيرة لمعظم القياسات، وفي حال تم استبعاده من الحساب فإن مؤشر الجودة يرتبط بقوة بـ F1 و F2 و F3 بمعامل ارتباط 0.95 من أجل F1 و 0.89 من أجل F2 و 0.79 من أجل F3.

تلعب العوامل التي تتجاوز بعض القياسات لها الحدود المسموحة دوراً هاماً في تحديد مؤشر جودة المياه وفي حالة الدراسة تشكل العكارة والأوكسجين المنحل والطلب الحيوي للأوكسجين، والفوسفات العوامل التي يجب أخذها بالاعتبار عند وضع الحلول الهندسية لحماية بحيرة سد الباسل من التلوث.

يوصى بأن يتم قياس بعض الملوثات الهامة مثل المعادن الثقيلة والمواد العضوية السامة والفينولات والمنظفات والمبيدات وأخذها بالاعتبار في حساب مؤشر جودة المياه للبحيرة لمعرفة مدى تأثيرها.

كما يوصى بوضع برامج إدارة جودة الموارد المائية السطحية لحمايتها من التلوث تتضمن الوقاية والرصد والتحكم، واستخدام مؤشرات أخرى لتقييم جودتها.

يسمح استخدام برمجيات جودة المياه بالتنبؤ بنتائج تطبيق سيناريوهات التحكم المختلفة من إجل إدارة جودة المياه السطحية.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

المراجع References

1. المواصفة القياسية السورية رقم 45 لمياه الشرب، (2007): هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية (المراجعة الثانية)، دمشق – سورية.
2. وثائق مديرية الموارد المائية في طرطوس.
3. وثائق الهيئة العامة للاستشعار عن بعد 2018
4. Awad, A., Jnad, H., and Majbour, A. (2011) Assessment of Water Quality Index of Ballouran Lake for Drinking Purposes. Tishreen University

Journal, for Research and Scientific studies, Engineering Sciences Series, Vol. 33, No. 5, 167-183.
5. CCME, (2001) Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index.
6. Gamvroula DE, Alexakis DE. Evaluating the Performance of Water Quality Indices: Application in Surface Water of Lake Union, Washington State-USA. Hydrology. 2022; 9(7):116. https://doi.org/10.3390/hydrology9070116
7. Jafar, R. (2016) Application of the Water Quality Index (NSFWQI) on the Al-Sain Lake. Tishreen University Journal, for Research and Scientific studies, Engineering Sciences Series. 38(4), 43-63.
8. Ji, Z.G. (2008) Hydrodynamics and water quality: modeling rivers, lakes, and estuaries. John Wiley & Sons. USA, 676.
9. Jnad, H., Harba, K. and Mannaa, R. (2013) Studying Water Quality of 16-October Dam Lake. Tishreen University Journal, for Research and Scientific studies, Engineering Sciences Series, 35(9), 167-182.
10. Lumb A, Sharma TC, and Bibeault JF. (2011) A review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions. Water Quality, Exposure and Health. 3(1):11-24
11. Namugize, J.N. and Jewitt, G.P.W. (2018) Sensitivity analysis for water quality monitoring frequency in the application of a water quality index for the uMngeni River and its tributaries, KwaZulu-Natal, South Africa. Water Sa, 44(4), pp.516-527.
12. Paun, I., Cruceru, L., Chiriac, F.L., Niculescu, M., Vasile, G. and Marin, N.M. (2016) Water Quality Indices-methods for evaluating the quality of drinking water. 395-
13. Rickwood, C. and Carr, G.M. (2007). Global drinking water quality index development and sensitivity analysis report. United Nations Environment Programme (UNEP) & Global Environment Monitoring System (GEMS)/Water Programme, 1203, pp.1196-1204.
14. Sabbouh, H. (2020) Evaluation of the Water Quality of Lakes of some Small Surface Dams in the Area of Latakia and Determine its Suitability to Drink (Case Study- Dam Lakes: Al Qanjara – Karsana – Khirbet Al Jouzieh. Tishreen University Journal, for Research and Scientific studies, Engineering Sciences Series, 42(2), 11-31.
15. Salman, H., Jnad, H., Kabbas, R. (2017) Using Quality Index (NSFWQI) to Determine the Quality of Water for (AL-BASEL Dam Lake) in Tartous.

Tishreen University Journal, for Research and Scientific studies, Engineering Sciences Series, Vol. 39, No. 6, 323-338.

16. Schnoor, J. (1996) Environmental Modeling: fat and transport of pollutants in water, air, and soil. Wiley Interscience. USA, 684
17. Tyagi S, Sharma B, Singh P, Dobhal R. (2013) Water quality assessment in terms of water quality index. American Journal of water resources.;1(3):34-38.
18. Uddin MG, Nash S, Olbert AI. (2021) A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. Ecological Indicators. Mar 1; 122:107218.
19. Vasistha, P. and Ganguly, R. (2020) Water quality assessment of natural lakes and its importance: an overview. Materials Today: Proceedings, 32, pp.544-552.