

## Assessment of Surface Water Quality by Using Multivariate Statistical Techniques

Dr. Raed JAFAR\*

(Received 24 / 5 / 2022. Accepted 14 / 8 / 2022)

### □ ABSTRACT □

This study included evaluation and interpretation of multiple measurements data for surface water quality parameters and pollution sources in the Sourani dam lake - Tartous-Syria, which allowing us to obtain advanced information about water quality, evaluation and design of monitoring network. Nowadays, assessment and forecasting techniques have spread, in order to conserve and sustainably water resources management.

In this study, multivariate statistical techniques, including multivariate analysis of variance (MANOVA), hierarchical cluster analysis (CA), principal components analysis (PCA) and Factor analysis (FA) were applied to assess the water quality of the lake. The study focused on the analysis of 21 physical, chemical and bacteriological parameters in water samples collected monthly over a period of three years (2018-2020) from 7 different sampling sites located around and within the lake. Exploratory analysis of laboratory data included the use of (PCA and CA) as an attempt to distinguish between different sources of variance in samples. The hierarchical cluster analysis (CA) classified the approved sampling sites for identical water quality into two clusters. The first cluster (Cluster 1) included two groups consisting of five monitoring stations from the northern side of the lake, the first group is (S1, S2, S3) and the second group is (S4, S6), this cluster is basically qualified according to the comprehensive quality index (CPI) which calculated in the seven monitoring stations for all measurements during January 2018 and December 2020, as the source of this pollution results from villages sewage water, industrial and tourist facilities adjacent to the lake. While the second cluster (Cluster 2) included one group consisting of two monitoring stations (S5, S7). This cluster can also be classified as qualified and relatively less polluted than the first cluster, as its pollution results from some villages sewage and agricultural located near the lake, which generally indicates that the water quality in the lake is qualified to basically qualified. Factor analysis (FA) was used to reduce the lake pollution variables and include them in six basic components, which indicates up to 69% of the total temporal and spatial changes.

These technologies help and provide water management authorities with knowledge related to the use, modification or determination of a water quality index, and contribute to the future planning studies of drinking water.

**Keywords:** water quality, multivariate analysis of variance, factor analysis, cluster analysis, Sourani-dam lake, comprehensive pollution index (CPI).

---

\* Associate Professor –Department of Environmental Engineering - Faculty of Civil Engineering - Tishreen University – Lattakia- Syria. [r-jafar@tishreen.edu.sy](mailto:r-jafar@tishreen.edu.sy)

## تقييم جودة المياه السطحية باستخدام الطرق الإحصائية متعددة المتغيرات

د. راند جعفر\*

(تاريخ الإيداع 24 / 5 / 2022. قُبِلَ للنشر في 14 / 8 / 2022)

### □ ملخص □

تضمنت هذه الدراسة تقييم وتفسير قيم القياسات المتعددة لبارامترات جودة المياه السطحية ومصادر التلوث في بحيرة سد الصوراني - طرطوس - سوريا. التي تسمح لنا بالحصول على معلومات متقدمة حول جودة المياه، تقييم وتصميم شبكة محطات المراقبة في منطقة الدراسة. لقد انتشرت تقنيات التقييم والتنبؤ الإحصائية كثيراً في الوقت الحاضر، وذلك من أجل الحفاظ على موارد المياه وإدارتها بشكل مستدام.

في هذه الدراسة، تم تطبيق تقنيات إحصائية متعددة المتغيرات، بما في ذلك تحليل التباين متعدد المتغيرات (MANOVA)، التحليل الهرمي العنقودي (CA)، تحليل المكونات الرئيسية (PCA) والتحليل العاملي (FA) لتقييم جودة المياه في البحيرة. ركزت الدراسة على تحليل 21 بارامتر فيزيائية وكيميائية وجرثومية، في عينات المياه التي تم جمعها شهرياً على مدار ثلاثة أعوام (2018-2020) من 7 مواقع اعتيان مختلفة تقع حول وداخل البحيرة. تضمن التحليل الاستكشافي للبيانات المخبرية استخدام PCA و CA في محاولة للتمييز بين مصادر التباين المختلفة في العينات. صنّف التحليل العنقودي الهرمي CA مواقع أخذ العينات المعتمدة لجودة المياه المتماثلة إلى عنقودين، شمل العنقود الأول (Cluster 1) مجموعتين مكونه من خمس محطات رصد من الجهة الشمالية للبحيرة، المجموعة الأولى (S1, S2, S3) والمجموعة الثانية (S4, S6)، وهذا العنقود مقبول بشكل أساسي وفق مؤشر التلوث الشامل (CPI)، الذي تم حسابه في محطات المراقبة السبعة المعتمدة لجميع القياسات في الفترة الزمنية بين كانون الثاني 2018 وكانون الأول 2020، حيث ينجم هذا التلوث عن وصول مياه الصرف الصحي لتجمعات القرى وعن المنشآت الصناعية والسياحية المجاورة للبحيرة. بينما شمل العنقود الثاني (Cluster 2) على مجموعة واحدة مكونه من محطتي الرصد (S5, S7) ويمكن تصنيف هذا العنقود بأنه مقبول وأقل تلوثاً بشكل نسبي من العنقود الأول، حيث ينجم تلوثه عن وصول مياه الصرف الصحي والزراعي عن بعض القرى المجاورة للبحيرة، مما يشير بشكل عام إلى أن جودة المياه في البحيرة مقبولة إلى مقبولة بشكل أساسي. تم استخدام التحليل العاملي الأساسي (FA) لتخفيض متغيرات تلوث البحيرة وتضمينها في ستة مكونات أساسية، تدل على 69% من اجمالي التغيرات الزمانية والمكانية. تساعد هذه التقنيات في تزويد سلطات إدارة المياه بالمعرفة المتعلقة باستخدام أو تعديل أو تحديد مؤشر جودة المياه، والمساهمة في التخطيط المستقبلي لدراسات المياه لأغراض الشرب.

**الكلمات المفتاحية:** جودة المياه، تحليل التباين متعدد المتغيرات، التحليل العاملي الأساسي، التحليل العنقودي، بحيرة سد الصوراني، مؤشر التلوث الشامل (CPI).

\* أستاذ مساعد - قسم الهندسة البنينة - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. [r-jafar@tishreen.edu.sy](mailto:r-jafar@tishreen.edu.sy)

**مقدمة:**

ترتبط جودة المياه ارتباطاً جوهرياً بصحة الإنسان، وإنتاج الغذاء، والحد من الفقر، وسبل عيش النظام البيئي، والتنمية الاقتصادية، والنمو الاجتماعي في مجتمعاتنا. كما أنها إحدى المشكلات الرئيسية في تخطيط الموارد المائية وإدارتها. بالإضافة إلى ذلك، أثرت الزيادة في التحضر، والبناء، والأنشطة الزراعية، والتطبيقات الصناعية إلى جانب زيادة استغلال موارد المياه سلباً على جودة المياه السطحية والجوفية، وبالتالي انعكاساتها المختلفة على صحة الإنسان في جميع أنحاء العالم [1]. لذلك من الضروري الحد من تلوث المياه والسيطرة عليه وتنفيذ برامج المراقبة المنتظمة. تُصنف جودة المياه عادةً بالاعتماد على معايير بيولوجية وفيزيائية وكيميائية، وهناك عدة عوامل لكل فئة [2]. يوفر تقييم هذه الفئات الثلاث، من خلال المراقبة الميدانية لأخذ عينات المياه بشكل دوري، معلومات أساسية لتحديد منحنى الجودة، مما يؤمن المعرفة العلمية الكافية لسلطات الموارد المائية من أجل التخطيط المستقبلي لهذه الموارد [3]. يرتبط تحليل جودة المياه عادةً بنوعية المياه الطبيعية واستخداماتها المحتملة (الشرب، الأغراض المنزلية، الري، والصناعات). في الواقع، من المكلف والشاق مراقبة بارامترات مصادر التلوث المتعددة التي تدخل إلى المسطحات المائية وأنظمة المياه الجوفية. واجه العديد من الباحثين والعلماء صعوبات في وصف المياه ومعالجتها بطريقة موحدة وبسيطة [4]. تحدث هذه الصعوبات عادةً بسبب تعقيد معايير نوعية المياه المستخدمة في توصيف حالة جودة الموارد المائية.

تحتوي دلائل جودة المياه التقليدية على فئات جودة تعتمد على مجموعات تصنيفية، مع وجود حدود بين الفئات المختلفة التي لديها عدم دقة كافية. يكون للبارامتر القريب من الحد أو بعيداً عنه أهمية متساوية في تقييم تركيز البارامتر. بالإضافة إلى ذلك، من الممكن ألا يتم تضمين جميع بارامترات جودة المياه في فئة واحدة. قد يؤدي وجود فئات جودة مختلفة في مكان واحد لأخذ العينات إلى حدوث اضطراب في تعريف جودة موقع أخذ العينات [5]. في السنوات الأخيرة، ساعد تطبيق تقنيات إحصائية مختلفة متعددة المتغيرات مثل التحليل العنقودي (CA)، وتحليل المكونات الرئيسية (PCA)، وتحليل العوامل (FA) على تحديد المصادر المحتملة التي تؤثر على أنظمة المياه، وقدمت أداة قيمة في الإدارة الموثوقة لموارد المياه [6]. تم استخدام هذه التقنيات بشكل فعال لتصنيف بيانات جودة المياه واكتشاف أوجه التشابه بين العينات أو المتغيرات في العديد من الدراسات البحثية [7].

بغض النظر عن هذا التطور، من الصعب تحديد تقييم بسيط لنوعية المياه الجوفية والسطحية. إن التأثير المشترك للعديد من العوامل المختلفة التي تميز جودة المياه وتحديات تصنيف البارامترات المهمة المستخدمة لقياس حالة الموارد المائية من الناحية الكمية أمر معقد للغاية. لذلك، يعتبر مؤشر جودة المياه (WQI) أداة رياضية تقلل بشكل كبير من مجموعات بيانات جودة المياه المعقدة وتوفر قيمة تصنيف واحدة تصف حالة جودة المياه للمسطحات المائية أو درجة تلوثها. يكون (WQI) رقماً واحداً يعطي نظرة عامة على حالة جودة المياه الإجمالية بطريقة بسيطة من خلال تجميع قياسات البارامترات المحددة مثل: الأس الهيدروجيني (pH)، النترات ( $NO_3$ )، الأكسجين المنحل (DO)، الطلب الحيوي للأكسجين ( $BOD_5$ )، الطلب الكيميائي للأكسجين (COD)، والمعادن الثقيلة [8]. تم تقديم هذه الطريقة من خلال المعادلات الرياضية لتحديد حالة جودة المياه في المصدر المائي بواسطة Horton [9]. بعد ذلك، تم تطوير عدة طرق لحساب مؤشرات جودة المياه لأغراض مختلفة من قبل العديد من الهيئات والمنظمات في جميع أنحاء العالم، مثل مؤشر جودة المياه لمؤسسة الصرف الصحي الوطنية [9] (NSFWQI)، مؤشر حالة النهر (RSI) [10]، مؤشر جودة المياه لمجلس الوزراء الكندي البيئي [11] (CCMEWQI)، مؤشر جودة المياه في كولومبيا البريطانية [12]

(BCWQI)، المؤشر العام للتلوث [13] (OIP)، مؤشر جودة المياه في ولاية أوريغون (OWQI) [14]، مؤشر جودة المياه في ماليزيا [15] (MWQI)، مؤشر جودة المياه الشامل (CPI) [16]. تشير المراجع السابقة إلى أن جميع المؤشرات لها قيودها ونقاط القوة والضعف، لذلك فإن العديد من المنظمات والوكالات لا تعتمد هذه المنهجية لتطوير WQI في جميع أنحاء العالم [17]. ونظراً لأن تلوث المياه الخطير يمثل تهديداً لصحة الإنسان، فإن برامج الرصد والتقييم الدورية لنوعية المياه السطحية في بحيرة سد الصوراني (حالة الدراسة) أمر ضروري. إحدى المشكلات المحددة في مراقبة جودة المياه هي التعقيد المرتبط بتحليل عدد كبير من المتغيرات، كل منها يحتوي على معلومات غنية عن خصائص موارد المياه، يمكن التعامل معها بشكل أكثر سهولة ودقة من خلال تطبيق الأساليب متعددة المتغيرات وتحليل البيانات الاستكشافية [18].

### أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في تقييم جودة مصادر المياه السطحية والحد من تلوثها، من خلال دراسة العديد من بارامترات التلوث المختلفة الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية باستخدام التقنيات الرياضية الإحصائية متعددة المتغيرات مثل تحليل التباين متعدد المتغيرات (MANOVA)، التحليل العنقودي Cluster Analysis (CA)، التحليل العاملي (FA) Factor Analysis. تساهم هذه التقنيات في عملية تفسير مجموعات البيانات، تقييم جودة المياه السطحية، تحديد مصادر التلوث المختلفة، كما تساعد في تصميم شبكة المراقبة وتخفيض عدد مواقع الرصد بالإضافة إلى تقليص عدد التجارب المخبرية المختلفة وتواترها، بما يساهم في تخفيض الكلفة والوقت. تهدف هذه الدراسة من خلال استخدام هذه التقنيات إلى تقييم نتائج التحاليل المخبرية لبارامترات تلوث بحيرة سد الصوراني في محطات الرصد المعتمدة، واستخلاص أوجه التشابه والاختلاف الموجودة بين معايير جودة المياه المختلفة والمتعددة للمصدر المائي، وكذلك تحديد المتغيرات الخاصة بدراسة الاختلاف المكاني والزمني في البحيرة. كما تهدف أيضاً إلى التأكد من تأثير مصادر التلوث الزراعية والصناعية والسكنية المحيطة بالبحيرة على معايير جودة المياه، وذلك بحساب مؤشر جودة المياه الشامل للبحيرة (Comprehensive Pollution Index (CPI)).

### طرائق البحث ومواده:

#### 1. منطقة دراسة

تقع منطقة الدراسة، بحيرة سد الصوراني، في منطقة الجبال الساحلية في سورية، التي تمتاز بميول شديدة وانحدارات قاسية، على مسافة 50 km شمال شرق مدينة طرطوس، ويتوضع في أعالي نهر مرقية على وادي السعنونية غرب قرية برماننة المشايخ إلى الشمال الشرقي من بلدة الشيخ بدر بمسافة 9 km. يمتد الموقع بين خطي الطول  $36^{\circ}07'30''E$  و  $36^{\circ}06'54''E$  شرقاً ودائرتي العرض  $35^{\circ}01'76''N$  و  $35^{\circ}01'84''N$  شمالاً، وتبلغ مساحة الحوض الصباب  $76.65 \text{ km}^2$ ، هذا وتوضح الصورة الجوية (الشكل 1) موقع بحيرة سد الصوراني (حالة الدراسة). يعد السد من النوع الركامي بشاشة اسفلتية على الوجه الأمامي، وهو مخصص لأغراض الشرب وفق الدراسة الأولية والفنية للمشروع، حيث يجمع مياه الينابيع المنتشرة بكثرة في المنطقة.

يبلغ طول البحيرة 2.8 km، والعرض الوسطي للبحيرة 119.9 m، والعمق الوسطي يصل حتى 13.4 m، أما مساحة سطح البحيرة فتبلغ  $335720 \text{ m}^2$ ، وحجم التخزين الطبيعي  $4.5 \text{ million m}^3$ . يحيط بالسد مجموعة من القرى والتجمعات السكنية الواقعة ضمن الحوض الساكن للنهر، ويقدر عدد سكانها بحوالي 12000 نسمة (وهي قرى: الصوراني، بغيدات، المجيدل، الوادي الأخضر وبرمانة المشايخ).

تصل المخلفات غير المعالجة لغالبية التجمعات السكنية إلى بحيرة السد. كما يضم الحوض مجموعة من الينابيع والروافد الدائمة الجريان التي تغذي البحيرة مثل رافد عين زعرور والوادي الأخضر، إضافة إلى روافد مؤقتة تجف صيفاً، ويعتمد السكان على هذه الروافد في ري المزروعات.

إن التركيب الجيولوجي لحوض نهر الصوراني هو عبارة عن مجموعة من التشكيلات الصخرية المختلفة، أهمها الصخور الكلسية الدولوميتية والصخور المارلية.

يتشكل الوادي الرئيسي للسد من التقاء رافدي نهرين أساسيين، الأول: هو رافد السعنونية، الذي يتشكل بدوره من التقاء رافدي الصوراني وأبو الحمام، أما الرافد الثاني: فهو الوادي الأخضر.

يبلغ طول نهر الصوراني 8 km، وأبو الحمام 10 km وذلك عند نقطة التقائهما، يسيران معاً مسافة 5 km حيث يشكلان نهر السعنونية، الذي يلتقي مع الوادي الأخضر عند محور السد، ويبلغ طول الوادي الأخضر 5.5 km. أما مياه المفيض فتصب في نهر مرقية الذي بدوره يصب في البحر الأبيض المتوسط شمال مدينة طرطوس بحوالي 15 km، وقد بلغ متوسط الجريان السنوي الوارد إلى سد الصوراني في عام 2017 ( $25.72 \text{ million m}^3$ ).

تخضع منطقة الصوراني للمناخ المتوسطي الجبلي الذي يكون بارداً رطباً في الشتاء، وحاراً جافاً في الصيف. ولتوصيف الموقع مناخياً تم الاعتماد على المعطيات المناخية لمحطة الصوراني، والتي تقع على خط الطول  $36^{\circ}06'48,46''\text{E}$  شرقاً، ودائرة العرض  $35^{\circ}01'26,21''\text{N}$  شمالاً.

تتنوع أشكال الهطول المطري في منطقة الدراسة بين هطولات مطرية وتلجية وأحياناً تهطل زخات من البرد. وقد بلغ المتوسط السنوي للهطل المطري 1000 mm خلال الفترة (2008–2020).

يعد شهر كانون الثاني أكثر شهور السنة هطولاً بمتوسط 241 mm، يليه شهر كانون الأول 231 mm، ثم شهر شباط 164 mm. بينما تكون الهطولات قليلة أو نادرة خلال الصيف.

يتأرجح متوسط درجات الحرارة الشهرية تبعاً لفصول وأشهر السنة، حيث يتراوح ما بين  $12.5 \text{ C}^{\circ}$  في كانون الثاني و  $33.5 \text{ C}^{\circ}$  في شهر تموز.

في الوقت ذاته تتأثر مياه البحيرة بدرجة حرارة الهواء المحيط وقد سُجّلت أعلى درجة حرارة ( $33 \text{ C}^{\circ}$ ) صيفاً و ( $12.5 \text{ C}^{\circ}$ ) شتاءً. فيما يتعلق بالرطوبة النسبية فقد بلغ متوسط الرطوبة النسبية في موقع الدراسة 66.3% بانحراف معياري قدره 4.8%. لقد بينت القيم المسجلة ارتفاع الرطوبة النسبية شتاءً، في حين أنها تتناقص تدريجياً في الربيع والخريف والصيف، حيث سُجّلت أعلى قيمة في شهر كانون الثاني وكانت مساوية 79%، تلاه شهر كانون الأول بقيمة مساوية 75% ثم شباط 74%، أما أقل قيمة فكانت في شهر تشرين الأول بنسبة 60%.

إن الاتجاه السائد للرياح في المنطقة هو الاتجاه الغربي، وذلك في أشهر الربيع والصيف وبداية الخريف، بينما تكون شرقية إلى شمالية شرقية بين تشرين الثاني وشباط. وقد بلغ المعدل السنوي لسرعة الرياح 4 m/sec، ومعدل سرعة الرياح العظمى خلال الشتاء 21 m/sec. وقد سُجّلت أعلى قيمة لسرعة الرياح خلال فترة المراقبة (2008–2020) في شهر آذار وهي 31 m/sec.



الشكل (1) موقع بحيرة سد الصوراني، توزع نقاط مصادر التلوث ومواقع أخذ العينات.

## 2. جمع العينات وتحليلها

تتعدد مصادر التلوث التي تهدد مياه بحيرة السد في منطقة الدراسة، أبرزها مياه الصرف الصحي القادمة من التجمعات السكنية لقرية برماننة المشايخ، ومخلفات المنشآت والأنشطة الزراعية (الأسمدة - المبيدات الزراعية)، وكذلك مخلفات بعض المنشآت الصناعية (معاصر الزيتون - المقالع)، والمنشآت السياحية المحلية المجاورة لبحيرة السد. من هنا تتبع أهمية التحقق من مساهمة هذه المصادر في تلوث مياه البحيرة وروافدها التي تصب فيها. لذلك تم اختيار شبكة اعتيان لقطف العينات، حيث تم تحديد مواقع أخذ العينات المائية من سطح بحيرة السد المدروسة في سبعة نقاط مختلفة على طول البحيرة (S1 قرب جسم السد، S2 على بعد 200 m من جسم السد، S3 رافد عين زعرور، S4 وسط البحيرة، S5 الوارد إلى البحيرة، S6 مدخل البحيرة، S7 وسط جنوب البحيرة) وفق الشكل (1)، وإحداثياتها مبينة في الجدول (1).

الجدول (1) موقع وإحداثيات نقاط الاعتيان المعتمدة على البحيرة المدروسة

نقطة الاعتيان	الموقع Site	x (longitude)	y (latitude)
S1	قرب جسم السد	36.11377	35.02749
S2	من جسم السد 200 m على بعد	36.11544	35.02875
S3	رافد عين زعرور	36.11791	35.02861
S4	وسط البحيرة	36.12086	35.02775
S5	الوارد إلى البحيرة	36.13683	35.02497
S6	مدخل البحيرة	36.12727	35.02772
S7	رافد الوادي الأخضر	36.11875	35.02553

تم قطف العينات (Sampling) لإجراء التحاليل الفيزيائية والكيميائية والجرثومية عليها بمعدل مرة واحدة في الشهر ولفترة امتدت لثلاث دورات هيدرولوجية كاملة ابتداءً من شهر كانون الثاني 2018 ولغاية شهر كانون الأول 2020، حيث تم قطف العينات بالتعاون مع الكادر الفني لمديرية الموارد المائية في محافظة طرطوس.

جُمعت العينات في عبوات بلاستيكية نظيفة ومغسولة، أما عينات التحليل الجرثومي، فتم جمعها في عبوات زجاجية نظيفة ومغسولة بالماء المقطر ومعقمة بالحرارة في فرن درجة حرارته (160 درجة مئوية) لمدة ساعتين ونصف، وقد أخذت العينات على عمق (10-15 cm) تحت سطح الماء، حيث تم اتباع كافة الارشادات اللازمة والضرورية للقيام بقطف العينات. هناك بعض البارامترات التي تم قياسها في الحقل وهي: الأوكسجين المنحل Dissolved Oxygen (DO)، وتغيرات درجة الحرارة (Temperature Changes (TC).

بينما تضمن العمل المخبري إجراء عدد من التحاليل على العينات المأخوذة من نقاط الاعتيان، وشملت تحديد قيم العديد من المؤشرات الدالة على نوعية المياه والتي تمثلت بما يلي: درجة الحرارة (Temperature)، العكارة (Turbidity)، الرقم الهيدروجيني (pH-Value)، الناقلية الكهربائية (EC Electrical Conductivity)، الأملاح المنحلة (TDS Total Dissolved Solid)، الأوكسجين المنحل (Dissolved Oxygen DO)، تركيز المواد الصلبة المعلقة الكلية (TSS Total Suspended Solid)، الطلب الحيوي للأوكسجين (BOD<sub>5</sub> Biochemical Oxygen Demand)، الطلب الكيميائي للأوكسجين (Chemical Oxygen Demand COD)، القساوة الكلية (TH Total Hardness)، القلوية الكلية (TA Total Alkalinity)، شاردة النتريت (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)، شاردة النتريت (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)، شاردة الكالسيوم (Ca<sup>2+</sup>)، شاردة المغنيزيوم (Mg<sup>2+</sup>)، شاردة الصوديوم (Na<sup>+</sup>)، شاردة البوتاسيوم (K<sup>+</sup>)، التحاليل الجرثومية (تعداد العصيات الجرثومية الغائبية) (FC Fecal Coliform). نوضح بعض المؤشرات التحليلية الإحصائية الوصفية للبيانات المقاسة في الجدول (2).

الجدول (2) المؤشرات التحليلية الإحصائية الوصفية

Descriptive Statistics					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Temperature (C°)	252	12,30	35,20	22,14	6,42
Turbidity (NTU)	252	1,04	15,50	4,30	2,44
pH	252	7,10	9,22	8,30	0,40
TDS (mg/l)	252	150,00	375,50	254,75	42,20
DO (mg/l)	252	6,77	12,90	9,43	1,50
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	252	0,00	20,00	3,68	3,90
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	252	0,00	0,45	0,04	0,05
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	252	0,50	28,30	6,36	4,10
FC (CFU/100 mL)	252	4,00	320,00	68,16	53,66
TSS (mg/l)	252	0,20	25,30	5,87	3,54
COD (mg/l)	252	0,70	51,20	9,16	5,84
Ca (mg/l)	252	12,00	100,00	44,18	15,15
Mg (mg/l)	252	2,40	78,00	25,69	11,92
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	252	0,00	0,35	0,04	0,05
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	252	7,90	329,50	31,50	19,86
K (mg/l)	252	0,40	8,80	2,61	1,64

Na (mg/l)	252	2,20	40,80	11,07	5,59
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	252	0,00	0,30	0,04	0,03
EC (µs/cm)	252	240,00	592,00	407,17	65,89
Total Hardness (mg/l)	252	120,00	368,00	210,14	45,32
General Alkaline (mg/l)	252	100,00	320,00	182,92	39,34

## النتائج والمناقشة:

### 1. مؤشر التلوث الشامل (CPI)

يعرف مؤشر جودة المياه على أنه طريقة رياضية لحساب قيمة واحدة من نتائج اختبارات متعددة إذ تمثل نتيجة هذا المؤشر مستوى جودة المياه في المصدر المدروس، يعد هذا المؤشر هاماً لمراقبي جودة المياه على فترات من الزمن من أجل رصد التغيرات في النظام المائي والبيئي. بناءً على تقييم مؤشر العامل الفردي وبالنظر إلى التأثير المشترك لجميع العوامل من خلال عملية تقييمها، تم حساب مؤشر التلوث الشامل باستخدام نماذج رياضية مختلفة وتحديد درجات التلوث بالطريقة الملائمة (المعادلات 1 و 2) [16] [19].

$$CPI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PI \quad (\text{Eq.1})$$

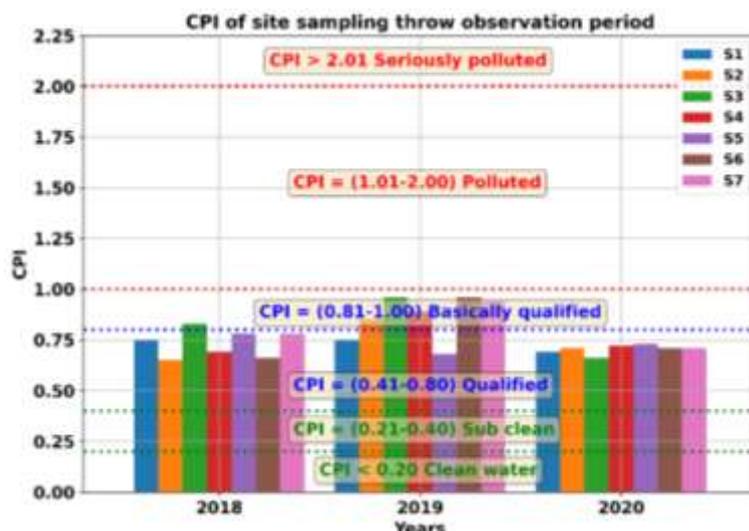
$$PI = \frac{\text{measured value of individual parameter}}{\text{standard permissible value of parameter}} \quad (\text{Eq.2})$$

يتم حساب قيم مؤشر التلوث الشامل لكل عينة ويتم تصنيفها باستخدام الحدود الموضحة في الجدول (3).

الجدول (3) حدود مؤشر التلوث الشامل لنوعية المياه

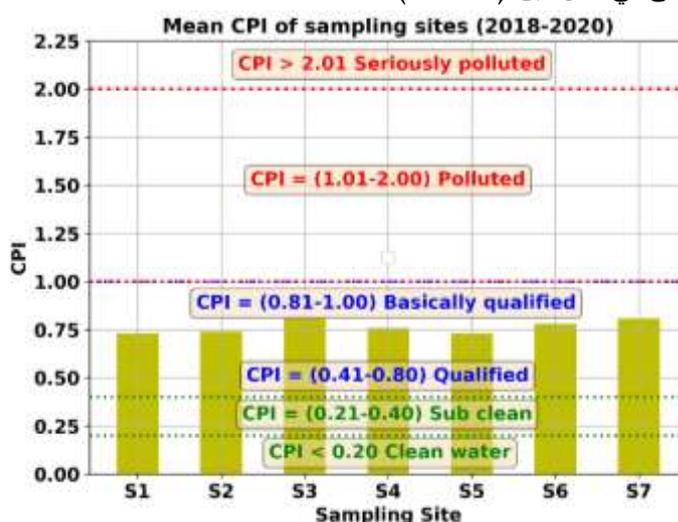
مؤشر التلوث الشامل (CPI)	التصنيف (الحالة)	جودة المياه واستخداماتها
0.00 – 0.20	نظيفة (Clean)	جيدة جداً وتستخدم للشرب والري والأغراض الصناعية.
0.21 – 0.40	نظيفة جزئياً (Sub clean)	جيدة واستخداماتها للأغراض المنزلية والري والصناعية.
0.41 – 0.80	مقبولة (Qualified)	تم الكشف عن بعض الملوثات ولكن تراكيزها تتوافق مع المعايير، أي الجودة مقبولة وتستخدم لأغراض الري والصناعة.
0.81 – 1.00	مقبولة بشكل أساسي (Basically qualified)	تجاوزت تراكيز بعض الملوثات المعايير، أي الجودة رديئة واستخداماتها فقط لأغراض للري.
1.01 – 2.00	ملوثة (Polluted)	تتجاوز تراكيز جزء كبير من الملوثات المعايير، أي نوعية رديئة للغاية (ملوثة) والاستخدام المقيد للري.
> 2.01	ملوثة بشكل خطير (Seriously polluted)	تتجاوز تراكيز جزء كبير من الملوثات المعايير عدة مرات، أي جودة المياه ملوثة للغاية ومعالجة مناسبة مطلوبة قبل الاستخدام.

يبين الشكل (2) نتائج تطبيق مؤشر التلوث الشامل CPI على كافة مواقع أخذ العينات للفترة الزمنية (2018-2020) بشكل سنوي، حيث تدل هذه النتائج على أن جودة مياه البحيرة مقبولة في العامين (2018,2020) إلى مقبولة بشكل أساسي في العام (2019).



الشكل (2) مؤشر التلوث الشامل CPI في كافة مواقع الاعتيان.

يوضح الشكل (3) نتائج حساب مؤشر التلوث الشامل CPI في كافة مواقع أخذ العينات بشكل وسطي للفترة الزمنية المدروسة الكلية (2018-2020)، تدل هذه النتائج على أن نوعية مياه البحيرة مقبولة إلى مقبولة بشكل أساسي، حيث نجد قيم مؤشر التلوث الأعلى في الموقعين (S3, S7).



الشكل رقم (3) متوسط مؤشر التلوث الشامل CPI في البحيرة خلال فترة الدراسة (2018-2020)

## 2. التقنيات الإحصائية

إن التقنيات الإحصائية هي أدوات شائعة للتقليل من التحيز الذاتية في اختيار البارامترات، وقد استخدمت على نطاق واسع لعدة عقود نظراً لدقة النتائج. تمثل هذه الأساليب الأدوات الأكثر فعالية لفهم التباين بين العديد من المتغيرات وتحويلها إلى مجموعات أصغر من المتغيرات المستقلة من خلال التعرف على الأنماط [20، 21]. ترتبط هذه المنهجية بالسمات الإحصائية، مثل القيم المتوسطة وتراكيز البارامترات المختلفة المحسوبة على مدى فترة طويلة. تم تطبيق هذه التقنية أيضاً بشكل فعال لتقييم جودة المياه من قبل العديد من مطوري مؤشر جودة المياه. لذلك، تُستخدم الطرق الشائعة في التقنيات متعددة المتغيرات، مثل التحليل العاملي Factor Analysis والتحليل العنقودي Cluster Analysis، لاختيار وتجميع بارامترات التلوث المختلفة [22].

**2.1. تحليل التباين المتعدد (MANOVA)**

يمثل تحليل التباين علاقة خطية بين متغير أو أكثر من المتحولات التابعة، ومتغير أو أكثر من المتحولات المستقلة، يتم تحديد نوع تحليل التباين حسب عدد كل من المتغيرات التابعة والمتغيرات المستقلة في النموذج.

يكون لدينا في تحليل التباين المتعدد أكثر من متغير تابع، ومتغير أو أكثر من المتغيرات المستقلة، وبالاعتماد على عدد المتغيرات المستقلة يتحدد هل هو في اتجاه واحد أو في اتجاهين أو في (N) اتجاه. حيث نميز حالتين رئيسيتين:

- الحالة الأولى: حالة تجاهل التأثير المتبادل بين المتغيرات المستقلة على المتغير التابع.

- الحالة الثانية: حالة الأخذ بعين الاعتبار التأثير المتبادل بين المتغيرات المستقلة على المتغير التابع.

من أجل دراسة تأثير التغيرات الزمانية والمكانية على المؤشرات تم تطبيق تحليل التباين المتعدد (MANOVA) باعتبار لدينا أكثر من متغير مستقل (محطة الرصد والفصل) والعديد من المتغيرات التابعة (المؤشرات) باستخدام برنامج SPSS وذلك في الحالتين، حالة عدم وجود تأثير متبادل بين محطة الرصد والفصل، وحالة الأخذ بالاعتبار وجود تأثير متبادل بينهما.

1- دراسة تأثير محطة الرصد المتغير المستقل على المتغيرات التابعة بدون وجود تأثير متبادل بين المتغيرات المستقلة: يبين الجدول (4) نتائج هذا التحليل متعدد المتغيرات.

الجدول (4) نتائج التحليل متعدد المتغيرات لتأثير محطة الرصد

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable (Sample Site)	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Temperature	26,73	6	4,46	0,64	0,696
Turbidity	130,19	6	21,70	4,27	0,000
pH	1,06	6	0,18	1,18	0,316
TDS	111685,34	6	18614,22	19,19	0,000
DO	30,42	6	5,07	4,25	0,000
NO3	183,99	6	30,67	2,86	0,010
PO <sub>4</sub>	0,03	6	0,01	2,80	0,012
BOD <sub>5</sub>	151,49	6	25,25	1,75	0,111
FC	142698,27	6	23783,05	13,19	0,000
TSS	240,48	6	40,08	3,87	0,001
COD	118,21	6	19,70	0,66	0,681
Ca	3011,62	6	501,94	3,23	0,004
Mg	5556,33	6	926,06	7,63	0,000
NO <sub>2</sub>	0,04	6	0,01	2,86	0,010
SO <sub>4</sub>	4075,15	6	679,19	1,79	0,102
K	14,90	6	2,48	1,10	0,365
Na	34,99	6	5,83	0,19	0,979
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,02	6	0,00	3,59	0,002
EC	265138,18	6	44189,70	17,35	0,000
Total_Hardness	98163,32	6	16360,55	10,80	0,000
Alkaline_General	72542,25	6	12090,38	12,09	0,000

نلاحظ من الجدول أن قيمة الدلالة المعنوية (Sig.) أقل من 5% لأغلب البارامترات المدروسة أي أن هناك تأثير معنوي واضح لتغير موقع محطة الرصد على هذه المتغيرات، باستثناء درجة الحرارة، pH، COD، BOD<sub>5</sub>، SO<sub>4</sub>، K و Na. 2- دراسة تأثير الفصل المتغير المستقل على المتغيرات التابعة بدون وجود تأثير متبادل بين المتغيرات المستقلة: يبين الجدول (5) نتائج هذا التحليل متعدد المتغيرات.

الجدول (5) نتائج التحليل متعدد المتغيرات لتأثير الفصل

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable (Seasons)	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Temperature	8643,07	3	2881,02	415,25	0,000
Turbidity	134,00	3	44,67	8,78	0,000
pH	1,96	3	0,65	4,36	0,005
TDS	100491,83	3	33497,28	34,53	0,000
DO	242,95	3	80,98	67,95	0,000
NO3	1043,94	3	347,98	32,44	0,000
PO4	0,05	3	0,02	9,57	0,000
BOD <sub>5</sub>	570,77	3	190,26	13,15	0,000
FC	143667,23	3	47889,08	26,56	0,000
TSS	391,63	3	130,54	12,59	0,000
COD	1230,76	3	410,25	13,76	0,000
Ca	17058,91	3	5686,30	36,62	0,000
Mg	729,04	3	243,01	2,00	0,114
NO2	0,05	3	0,02	7,42	0,000
SO4	3055,18	3	1018,40	2,68	0,047
K	115,57	3	38,52	17,02	0,000
Na	414,02	3	138,01	4,52	0,004
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,01	3	0,00	3,95	0,009
EC	208370,72	3	69456,91	27,27	0,000
Total_Hardness	50573,47	3	16857,82	11,12	0,000
Alkaline_General	73988,89	3	24662,96	24,67	0,000

نلاحظ من الجدول (5) أن قيمة الدلالة المعنوية (Sig.) أقل من 5% لكافة البارامترات المدروسة أي أن هناك تأثير معنوي واضح لتغير الفصل على هذه المتغيرات، باستثناء المغنيزيوم (Mg). 3- دراسة تأثير تغير موقع محطة الرصد والفصل المتغيران المستقلان على المتغيرات التابعة مع اعتبار وجود تأثير متبادل بين المتغيرات المستقلة:

يبيّن الجدول (6) نتائج هذا التحليل متعدد المتغيرات ويعطي قيم Wilks' Lambda لكل متغير مستقل (محطة الرصد والفصل) ويتضمن نتائج اختبار المعنوية الكلية للنموذج بالنسبة لكل متغير من المتغيرات المستقلة، حيث نجد من هذه النتائج أن قيمة الدلالة المعنوية (Sig.) لكل من المتغيرات المستقلة (موقع محطة الرصد والفصل) أقل من مستوى المعنوية 5% ، بالتالي يتوقع أن يكون لكل من هذين المتغيرين تأثير معنوي على متغير واحد أو أكثر من المتغيرات

التابعة (بارامترات التلوث)، بالإضافة إلى أن التأثير المتبادل له قيمة (Sig.) أقل من 5% أي أنه يوجد تأثير متبادل للمتغيرات المستقلة على البارامترات.

الجدول رقم (6) نتائج التحليل متعدد المتغيرات لتأثير محطة الرصد والفصل

Multivariate Tests						
Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Intercept	Wilks' Lambda	0,001	11776,850	21,00	204,00	0,000
Site Sample	Wilks' Lambda	0,127	4,029	126,00	1190,56	0,000
Season	Wilks' Lambda	0,030	21,585	63,00	609,78	0,000
Site Sample * Season	Wilks' Lambda	0,113	1,304	378,00	2855,91	0,000

يوضح الجدول (7) نتائج دراسة المعنوية الجزئية لكل متغير مستقل، أي يبين مدى تأثير المتغيرات المستقلة على المتغيرات التابعة (بارامترات التلوث) وذلك مع الأخذ بعين الاعتبار التأثير المتبادل بين المتغيرين المستقلين (موقع محطة الرصد والفصل).

الجدول (7) نتائج التحليل متعدد المتغيرات والمعنوية لتأثير محطة الرصد والفصل

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable (Sample Site * Seasons)	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Temperature	32,32	18	1,80	0,24	0,999
Turbidity	201,11	18	11,17	2,43	0,001
pH	3,03	18	0,17	1,14	0,319
TDS	17171,14	18	953,95	0,98	0,481
DO	26,04	18	1,45	1,24	0,235
NO3	192,85	18	10,71	1,00	0,462
PO <sub>4</sub>	0,03	18	0,00	0,88	0,604
BOD <sub>5</sub>	155,30	18	8,63	0,58	0,914
FC	33495,89	18	1860,88	1,04	0,422
TSS	248,60	18	13,81	1,37	0,149
COD	479,50	18	26,64	0,89	0,596
Ca	2482,98	18	137,94	0,88	0,603
Mg	1585,98	18	88,11	0,71	0,799
NO <sub>2</sub>	0,10	18	0,01	2,92	0,000
SO <sub>4</sub>	5795,64	18	321,98	0,84	0,655
K	24,88	18	1,38	0,59	0,903
Na	283,88	18	15,77	0,50	0,958
Ammonia	0,02	18	0,00	1,28	0,203
EC	63309,71	18	3517,21	1,43	0,121
Total_Hardness	34432,55	18	1912,92	1,29	0,196
Alkaline_General	23664,47	18	1314,69	1,35	0,159

نلاحظ من الجدول Tests of Between-Subjects Effects في حالة وجود تأثير متبادل بين المتغيرين المستقلين أثر على متغيرين تابعين فقط وهما العكارة وثاني أكسيد النتروجين باعتبار قيمة الدلالة المعنوية (Sig.) لكل منهما أقل من 5%.

#### 4.2.2. التحليل العنقودي (CA)

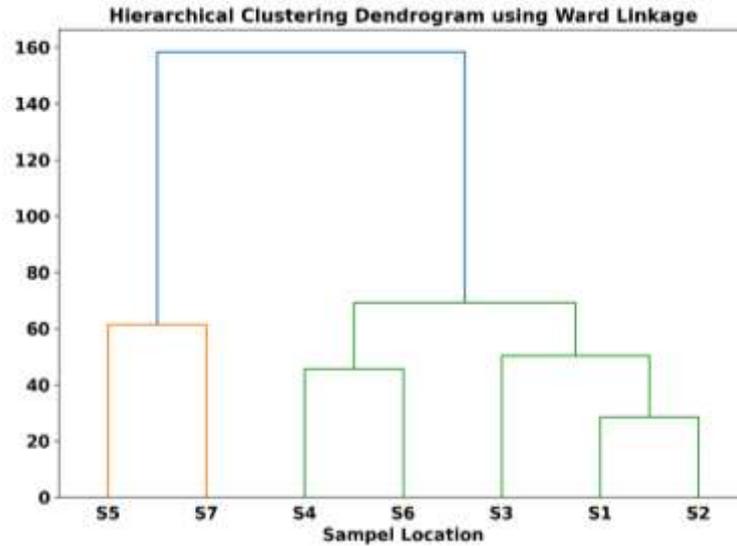
يستخدم التحليل العنقودي لتحديد مجموعات البيانات الفعلية وفقاً لأوجه التشابه فيما بينها. يتم تحديد المتغيرات الإجمالية أيضاً حتى تخضع للتحليل العنقودي الذي يتم تقييسه بواسطة وضع ما يسمى Z-Score. الغرض الأساسي من التحليل العنقودي هو العثور على المجموعات الفرعية ضمن المجموعة الكبيرة وإنشاء محتوى لمزيد من المعلومات حول تحليل البيانات المتعلقة بالخصائص الفيزيائية والكيميائية [1]. يتم التحليل العنقودي بعدة طرق منها طريقة التحليل العنقودي الهرمي (HCA) المستخدم لتحديد عدد العناقيد باستخدام ربط Ward أو Centroid، وإجراءات المسافة الإقليدية. يشير التحويل اللوغارتمي Log transformation إلى أن النتائج قريبة من التوزيع الطبيعي لكل عنصر. يضمن التصنيف Z الترتيب المتساوي لجميع بارامترات التحليل العنقودي الهرمي HCA المطبقة. قام Daughney [23] بتوضيح هذه الطريقة باستخدام المعادلة (3) على النحو التالي:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_{ij}}{s_j} \quad (\text{Eq.3})$$

حيث يشير Z إلى درجة Z (z-Score) لمتغير Z في المواقع i،  $s_j$  هو الانحراف المعياري و  $\bar{x}_{ij}$  متوسط المتغير jth لكل موقع من مواقع الرصد (أخذ العينات)، ويشير  $x_{ij}$  إلى أن متوسط المتغير Z في الموقع i في المعادلة (3). تشير المسافة الإقليدية المحدودة إلى التشابه القوي بين المتغيرات المحسوبة، ويتم استخدامها في الغالب كطريقة مماثلة للقياس في التحليل العنقودي الهرمي HCA، كما هو موضح في المعادلة (4):

$$E_{ij}^2 = \sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_{kj})^2 \quad (\text{Eq.4})$$

حيث E هي مربع المسافة الإقليدية، يشير  $Z_{ij}$  و  $Z_{kj}$  إلى درجة Z (z-Score) عند i و k للمتغير j، ويتم تنفيذ الوصف، متضمناً جميع المتغيرات n المستخدمة داخل HCA. تُستخدم طريقة ربط Ward لاحقاً لتحديد مجموعات المواقع غير المتبقية، وتستند إلى تحليل التباين، مولدةً مجموعات أصغر (مختلفة) استناداً إلى مبادئ الربط، مما يعني أن كل موقع أكثر تشابهاً في العنقود مع أماكن أخرى في نفس العنقود من أي موقع آخر من العنقود الأخر المختلف [24]. تم إجراء التحليل العنقودي الهرمي على مجموعة بيانات جميع محطات الرصد السبعة الخاصة بالبحيرة (بحيرة سد الصوراني) للأعوام (2018-2019-2020)، وذلك من أجل تجميع محطات الرصد المتماثلة في خصائصها بشكل عناقيد بالاعتماد على مربع المسافة الإقليدية كقياس للتماثل بين العناقيد (تصغير مجموع الفروق المربعة بين عنقودين) لدراسة إمكانية اختصار عدد مواقع الرصد. تم الحصول على عنقودين (Cluster 1) و (Cluster 2) حيث يضم كل عنقود مجموعة من مواقع الرصد المتشابهة في خصائصها وفق المخطط الشجري (Dendrogram) الشكل (4)، والذي يبين توزيع محطات الرصد تبعاً للبارامترات المدروسة.



الشكل (4) المخطط الشجري للتحليل العنقودي

يضم العنقود الأول (Cluster 1) مجموعتين مكونه من خمس محطات رصد من الجهة الشمالية للبحيرة وهي المجموعة الأولى (S1 قرب جسم السد، S2 على بعد 200 m من جسم السد، S3 رافد عين زعرور) والمجموعة الثانية (S4 وسط البحيرة، S6 مدخل البحيرة) وهذا العنقود مقبول بشكل أساسي (basically qualified) وفق مؤشر التلوث الشامل (CPI)، حيث ينجم هذا التلوث عن وصول مياه الصرف الصحي لتجمعات القرى وعن المنشآت الصناعية والسياحية المجاورة للبحيرة.

بينما شمل العنقود الثاني (Cluster 2) على مجموعة واحدة مكونة من محطتي الرصد (S5 الوارد إلى البحيرة، S7 رافد الوادي الأخضر) ويكن تصنيف هذا العنقود بأنه مقبول (qualified) وأقل تلوثاً من العنقود الأول بشكل نسبي، حيث ينجم تلوثه عن وصول مياه الصرف الصحي عن بعض القرى المجاورة للبحيرة.

نلاحظ من النتائج أهمية التحليل العنقودي في تصنيف أماكن الاعتيان على كامل البحيرة والذي يساعد في تخفيض عدد المواقع المخصصة للرصد حسب تشابه مواصفاتها، وبالتالي التخفيف من تكاليف عملية الرصد وأخذ العينات بالإضافة إلى تخفيف الجهد والوقت اللازم.

### 2.3. التحليل العامل (FA)

يهدف التحليل العامل إلى تخفيض عدد المتغيرات (بارامترات التلوث) وتلخيصها في عدد أقل من العوامل الرئيسية التي يمكنها تفسير الظاهرة. حيث يوضح العلاقة بين المتغيرات وينتج عنها عدد من المتغيرات الجديدة والتي تسمى عوامل، يستخدم هذا التحليل العامل لاستخلاص العوامل الأكثر تأثيراً من خلال تحليل معاملات الارتباط بين المتغيرات وصولاً إلى إيجاد مجموعة من العوامل المسؤولة عن توليد الاختلافات.

السمة الخاصة لهذه الطريقة هي تحليل المكون الرئيسي (PCA) Principal Component Analysis أو استخراج العوامل التي تشكل مجموعات خطية لجميع المتغيرات، والتي قد تصف التباين الكلي لمجموعة البيانات. تشرح بقية العوامل الحد الأقصى للتغير المتبقي. قام Gulgundi and Shetty [25] بتطبيق PCA لتقييم ارتباط معاملات الترجيح، كما هو موضح في المعادلة (5).

$$Z_{ij} = a_{i1}X_{j1} + a_{i2}X_{j2} + a_{i3}X_{j3} \dots + a_{im}m_{jm} \quad (\text{Eq.5})$$

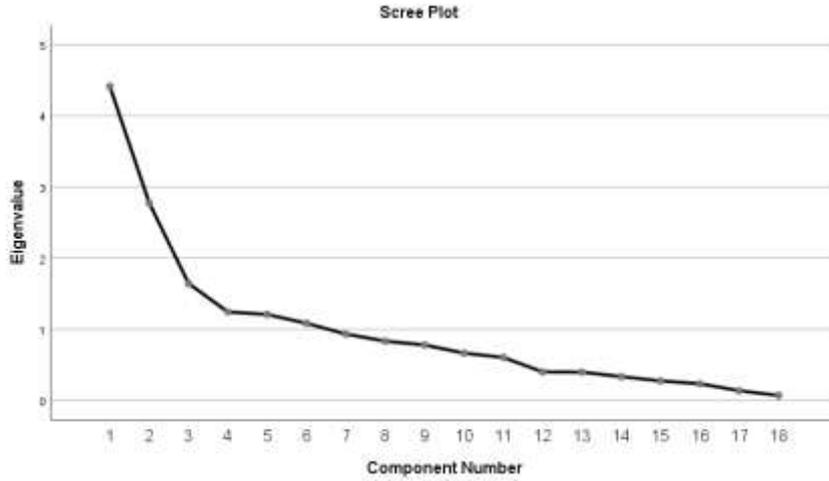
حيث تشير Z إلى درجة المكون، تشير X إلى القيمة المتغيرة المُقدَّرة، i هو رقم المكون، j هو رقم العينة، a هو حمولة المكون، و m هو العدد الإجمالي للمتغيرات.

تم تطبيق التحليل العاملي على مصفوفة البيانات الكلية لبارامترات تلوث البحيرة وأظهرت النتائج وفق اختبار KMO and Bartlett's جودة قياس بدرجة  $KMO = 0.703 > 60\%$  وتعتبر جيدة كما موضح بالجدول (8) التالي:

الجدول (8) اختبار KMO and Bartlett's

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,703
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	2034,080
	df	153
	Sig.	,000

يبين الشكل (5) الرسم البياني (Scree plot) نتائج التحليل العاملي على مجموعة قياسات البحيرة حيث تم اختزال وتخفيض عدد المتغيرات إلى ستة عوامل يملك كل منها قيمة معامل ذاتي (جذر كامن) eigenvalue أكبر من الواحد.



الشكل (5) منحنى المنحدر للتحليل العاملي

أظهرت نتائج التحليل العاملي للبحيرة ككل الجدول (9) عن وجود ستة عوامل أساسية كل عامل يضم مجموعة من المتغيرات الأساسية التي تؤثر به بالإضافة إلى نسبة التباين لكل عامل. نجد من جدول التشبعات (10) مصفوفة العوامل الرئيسية بعد التدوير وحمولة المتغيرات المتضمنة للعوامل الستة، والقاعدة أن أي عامل لديه قيمة أكبر من (0.3) مع متغيرين أو أكثر يمكن اعتباره مكون جديد للأخذ به وفي حالات تجاوز الحمولات (over load) نأخذ القيمة الأكبر. حيث نلاحظ أن العامل الأول تضمّن المتغيرات الفيزيائية والكيميائية التالية: (EC, TDS, Total Hardness, General Alkaline, Ca) وله علاقة قوية معها، كما أنه يشكل 24.507% من التباين الكلي للعوامل الأساسية. بينما يشكل العامل الثاني 15.4% من التباين الكلي للعوامل الأساسية وله علاقة قوية مع المتغيرات الفيزيائية والكيميائية والجرثومية التالية: (K, FC, NO<sub>3</sub>, Temperature). يضم العامل الثالث المتغيرات الفيزيائية التالية: (Turbidity, TSS, DO) ويشكل 9.12% من التباين الكلي للعوامل الأساسية. يشمل العامل الرابع المتغيرات العضوية التالية: (BOD<sub>5</sub>, COD) ويشكل حوالي 7% من التباين الكلي. أما العامل الخامس فتضمن المتغيرين الكيميائيين (SO<sub>4</sub>, pH) وشكل 6.7% من التباين الكلي. والعامل الأخير يشمل المتغيرين الكيميائيين (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub>) وشكل 6% من التباين الكلي للعوامل الأساسية.

الجدول (9) التحليل العائلي الذي يوضح القيم الذاتية للعوامل الأساسية

Component العامل	Initial Eigenvalues حمولة العوامل الذاتية		
	Total العامل الذاتي الكلي	% of Variance نسبة التباين %	Cumulative % التباين التراكمي %
1	4,411	24,507	24,507
2	2,773	15,404	39,911
3	1,642	9,122	49,033
4	1,242	6,900	55,933
5	1,207	6,705	62,638
6	1,082	6,012	68,650

الجدول (10) العوامل الرئيسية وحمولة المتغيرات

	Rotated Component Matrix					
	Component العامل					
	1 (24.51%)	2 (15.4%)	3 (9.12%)	4 (6.90%)	5 (6.71%)	6 (6.01%)
EC	0,882					
TDS	0,865					
Total_Hardness	0,822					
Alkaline_General	0,670					
Ca	0,600					
K		0,738				
FC		0,699				
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		0,665				
Temperature		-0,526				
Turbidity			0,825			
TSS			0,782			
DO			0,524			
BOD <sub>5</sub>				0,908		
COD				0,900		
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>					-0,790	
pH					0,702	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>						0,872
NO <sub>2</sub>						0,572

Extraction Method: Principal Component Analysis.  
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

#### دراسة الأنماط التركيبية وفق العناقيد

لدراسة الأنماط التركيبية تم تطبيق التحليل العائلي على مجموعة المتغيرات المجمعة وفق نتائج التحليل العنقودي السابق في عنقودين الأول شمال البحيرة (Cluster 1) والعنقود الثاني جنوب البحيرة (Cluster 2)، وذلك لمقارنة النمط التركيبي بين العينات المدروسة وتحديد العوامل الأكثر تأثيراً على جودة مياه البحيرة. ولحساب درجة

الارتباط واتجاه العلاقة بين المتغيرات تم استخدام معامل بيرسون Pearson في حساب مصفوفة الارتباط بين المتغيرات المدروسة وفق ما يلي:

العنقود الأول: قمنا بتطبيق التحليل العاملي على العنقود الأول شمال البحيرة والذي يضم خمسة مواقع رصد، يبين الجدول (11) التالي مصفوفة معاملات الارتباط لمتغيرات هذا العنقود.

الجدول (11) مصفوفة الارتباط لمتغيرات العنقود الأول شمال البحيرة

Correlation	Temperature	Turbidity	pH	TDS	DO	NO3	BOD <sub>5</sub>	FC	TSS	COD	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>	K	EC	T_Hardness	Alkaline_Gen.
Temperature	1,000																
Turbidity	-0,081	1,000															
pH	0,096	0,174	1,000														
TDS	-0,621	-0,060	-0,237	1,000													
DO	-0,350	0,225	0,214	0,120	1,000												
NO <sub>3</sub>	-0,543	0,158	-0,032	0,473	0,108	1,000											
BOD <sub>5</sub>	0,031	0,253	0,123	-0,189	0,320	-0,053	1,000										
FC	-0,294	-0,020	-0,046	0,291	-0,113	0,191	-0,058	1,000									
TSS	-0,150	0,642	0,153	0,045	0,368	0,172	0,407	0,024	1,000								
COD	0,052	0,287	0,153	-0,230	0,310	-0,037	0,851	-0,143	0,384	1,000							
Ca	-0,515	-0,074	-0,229	0,524	0,127	0,609	-0,262	0,271	0,012	-0,273	1,000						
Mg	-0,160	-0,085	0,226	0,138	-0,090	-0,051	0,084	-0,075	-0,001	0,070	-0,209	1,000					
SO <sub>4</sub>	0,043	-0,002	-0,224	0,051	-0,057	-0,015	0,027	0,062	0,127	0,000	0,065	-0,047	1,000				
K	-0,247	-0,116	0,025	0,261	-0,232	0,611	-0,295	0,215	-0,131	-0,246	0,484	-0,031	-0,121	1,000			
EC	-0,592	-0,052	-0,213	0,908	0,146	0,481	-0,169	0,258	0,058	-0,211	0,507	0,125	0,063	0,254	1,000		
Total Hardness	-0,498	-0,146	-0,002	0,479	0,009	0,384	-0,194	0,164	-0,061	-0,206	0,618	0,498	0,002	0,313	0,520	1,000	
Alkaline General	-0,475	0,273	0,103	0,326	0,301	0,345	-0,059	0,116	0,181	-0,081	0,289	0,167	0,021	0,042	0,319	0,337	1,000

تبيّن مصفوفة الارتباط مدى قوة العلاقة بين جميع المتغيرات، حيث كانت العلاقة فيما بينها ضعيفة إلى متوسطة بشكل عام، مع وجود علاقة قوية بين BOD<sub>5</sub> و COD من جهة والناقلية الكهربائية EC مع ال TDS، وكانت العلاقة جيدة بين القساوة الكلية من جهة وكل من الاملاح الصلبة المنحلة TDS ودرجة الحرارة والناقلية الكهربائية.

حيث أظهرت نتائج التحليل العاملي للعنقود الأول وجود ستة عوامل أساسية يضم كل عامل مجموعة من المتغيرات الأساسية التي تؤثر به بالإضافة إلى نسبة التباين لكل عامل وفق ما يلي:

العامل الأول: يشكل (26.94%) من التباين الكلي للعوامل الأساسية، ولديه علاقة قوية مع ستة متغيرات من أصل 21 متغير وهي (TDS, EC, Temperature, Ca, Total Hardness, DO).

العامل الثاني: يشكل (17.09%) من التباين الكلي للعوامل الأساسية، ولديه علاقة قوية مع متغيرين من أصل 21 متغير وهما (COD, BOD<sub>5</sub>).

العامل الثالث: يشكل (9.28%) من التباين الكلي للعوامل الأساسية، ولديه علاقة قوية مع ثلاثة متغيرات من أصل 21 متغير وهي (Turbidity, TSS, Alkaline General).

العامل الرابع: يشكل (8.09%) من التباين الكلي للعوامل الأساسية، ولديه علاقة قوية مع ثلاثة متغيرات من أصل 21 متغير وهي (K, NO<sub>3</sub>, FC).

العامل الخامس: يشكل (6.82%) من التباين الكلي للعوامل الأساسية، ولديه علاقة قوية مع متغير وحيد من أصل 21 متغير وهو (Mg).

العامل السادس: يشكل (6.19%) من التباين الكلي للعوامل الأساسية، ولديه علاقة قوية مع متغيرين من أصل 21 متغير وهما (SO<sub>4</sub>, pH).

نبيّن في الجدول (12) نسبة التباين المفسرة لكل عامل من مجموع التباين الكلي.

الجدول (12) التحليل العائلي الذي يوضح القيم الذاتية للعوامل الأساسية

Component العامل	Initial Eigenvalues حمولة العوامل الذاتية		
	Total العامل الذاتي الكلي	% of Variance نسبة التباين %	Cumulative % التباين التراكمي %
1	4,579	26,936	26,936
2	2,905	17,087	44,023
3	1,577	9,279	53,302
4	1,375	8,091	61,393
5	1,159	6,818	68,210
6	1,052	6,190	74,401

من خلال النتائج نجد أنه لدينا 6 عوامل أساسية يملك العامل الذاتي لها قيمة أكبر من 1 فهي تتحكم في الظاهرة المدروسة أي تم اختزال العلاقة بين المتغيرات البالغ عددها 21 إلى 6 عوامل، كل عامل يمثل نسبة معينة من معلومات المتغيرات كما أوردنا سابقاً، حيث بلغ مجموع المتغيرات التي تفسر أعلى نسبة تباين وهي 26.94% من التباين الكلي 74.40%، وتضم ستة متغيرات كما يوضح الجدول (13) التالي:

جدول (13) العوامل الرئيسية وحمولة المتغيرات في مواقع العنقود الأول شمال البحيرة

Rotated Component Matrix						
المتغيرات	Component العامل					
	1 (26,94%)	2 (17,09%)	3 (9,28%)	4 (8,09%)	5 (6,82%)	6 (6,19%)
TDS	0,843					
EC	0,843					
Temperature	-0,813					
Ca	0,666					
Total_Hardness	0,611					
DO	0,448					
BOD <sub>5</sub>		0,923				
COD		0,917				
Turbidity			0,854			
TSS			0,754			
Alkaline_General			0,520			
K				0,852		
NO <sub>3</sub>				0,651		
FC				0,437		
Mg					0,939	
SO <sub>4</sub>						0,794
pH						-0,571

Extraction Method: Principal Component Analysis.  
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

كما قمنا بتطبيق نفس الخطوات السابقة على العنقود الثاني (Cluster2) والذي يضم الموقعين (S5, S7)، حيث أظهرت نتائج التحليل العاملي للعنقود الثاني وجود أيضاً ستة عوامل أساسية يضم كل عامل مجموعة من المتغيرات الأساسية التي تؤثر به بالإضافة إلى نسبة التباين لكل عامل.

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

نستنتج من خلال حساب مؤشر التلوث الشامل CPI في كافة مواقع الاعتيان، وتطبيق التقنيات الإحصائية متعددة المتغيرات، بما في ذلك تحليل التباين متعدد المتغيرات (MANOVA)، التحليل الهرمي العنقودي (CA)، تحليل المكونات الرئيسية (PCA) والتحليل العاملي (FA) لتقييم جودة المياه في البحيرة ما يلي:

1- إن نوعية مياه البحيرة بشكل وسطي لفترة الدراسة (2018-2020) مقبولة إلى مقبولة بشكل أساسي، حيث كان الموقعين (S3, S7) الأكثر تلوثاً وفق قيم مؤشر الشامل، ينجم هذا التلوث عن وصول مياه الصرف الصحي والزراعي من بعض القرى المجاورة.

2- نجد من خلال تطبيق تحليل التباين متعدد المتغيرات أن تأثير تغير محطة الرصد (المتغير المستقل) على كافة المتغيرات التابعة في حالة عدم وجود تأثير متبادل بين المتغيرات المستقلة (محطة الرصد والفصل) معنوياً وبشكل واضح باستثناء درجة الحرارة، pH، COD، BOD<sub>5</sub>، SO<sub>4</sub><sup>-</sup>، K و Na.

3- كان تأثير تغير الفصل (المتغير المستقل) على المتغيرات التابعة بدون وجود تأثير متبادل بين كافة المتغيرات المستقلة (محطة الرصد والفصل) معنوياً وبشكل واضح باستثناء المغنيزيوم (Mg).

4- تم ملاحظة في حالة وجود تأثير متبادل بين المتغيرين المستقلين (محطة الرصد والفصل) أن هناك أثر على متغيرين تابعين فقط وهما العكارة وثاني أكسيد النروجين باعتبار قيمة الدلالة المعنوية (Sig.) لكل منهما أقل من 5%.

5- من خلال تطبيق التحليل الهرمي العنقودي تم الحصول على عنقودين (Cluster 1) و (Cluster 2) شمال وجنوب البحيرة، حيث شمل كل عنقود مجموعة من مواقع الرصد المتشابهة في خصائصها وفق المخطط الشجري. وهذا يساعد في تصنيف أماكن الاعتيان على كامل البحيرة ويؤدي إلى تقليل عدد المواقع المخصصة للرصد حسب تشابه مواصفاتها، وبالتالي يساهم في تخفيض تكاليف عملية الرصد وأخذ العينات بالإضافة إلى تخفيف الجهد والوقت اللازم.

6- نتج عن التحليل العاملي للبحيرة ستة عوامل أساسية، قيمة العامل الذاتي لها أكبر من الواحد الصحيح، يضم كل عامل مجموعة من المتغيرات الأساسية التي تؤثر به بالإضافة إلى نسبة التباين لكل عامل. حيث أظهر التحليل أن هذه العوامل الستة الأساسية مسؤولة عن 69% من التباين في نوعية المياه.

### التوصيات:

1- نوصي بالعمل على حماية مصادر المياه السطحية والحفاظ عليها من التلوث وذلك بإقامة محطة معالجة لمياه الصرف الصحي للقرى المجاورة.

2- متابعة برامج الرصد وتحليل العينات بشكل دوري، تخزين نتائج التحاليل ضمن قواعد بيانات يمكن الاستفادة منها لاحقاً في الأبحاث المستقبلية.

3- كما نوصي بمتابعة البحث من خلال تطبيقات رياضية إحصائية أخرى مثل التحليل التمييزي وتطبيقات الانحدار الخطي التي تساعد المعنيين وأصحاب القرار في تقييم جودة مصادر المياه أيضاً ووضع الخطط المستقبلية في الإدارة والاستثمار الأمثل لهذه الموارد.

## References:

- .1 Akhtar, N., et al., Multivariate investigation of heavy metals in the groundwater for irrigation and drinking in Garautha Tehsil, Jhansi District, India. *Analytical Letters*, 2020. 53(5): p. 774-794.
- .2 Akhtar, N., et al., Characteristics and Assessment of Groundwater. *Groundwater Management and Resources*, 2021: p. 3.
- .3 Sutadian, A.D., et al., Development of river water quality indices—a review. *Environmental monitoring and assessment*, 2016. 188(1): p. 1-29.
- .4 Lumb, A., T. Sharma, and J.-F. Bibeault, A review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions. *Water Quality, Exposure and Health*, 2011. 3(1): p. 11-24.
- .5 Icaga, Y., Fuzzy evaluation of water quality classification. *Ecological Indicators*, 2007. 7(3): p. 710-718.
- .6 Reghunath, R., T.S. Murthy, and B. Raghavan, The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India. *Water research*, 2002. 36(10): p. 2437-2442.
- .7 Kotti, M.E., et al., Assessment of river water quality in Northwestern Greece. *Water Resources Management*, 2005. 19(1): p. 77-94.
- .8 Abbasi, T. and S.A. Abbasi, *Water quality indices*. 2012: Elsevier.
- .9 Uddin, M.G., S. Nash, and A.I. Olbert, A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, 2021. 122: p. 107218.
- .10 Liou, S.-M., S.-L. Lo, and S.-H. Wang, A generalized water quality index for Taiwan. *Environmental monitoring and assessment*, 2004. 96(1): p. 35-52.
- .11 (CCME), Canadian Water Quality Index 1.0 Technical Report and User's Manual; Canadian Environmental Quality Guidelines Water Quality Index Technical Subcommittee. 2001: Gatineau, QC, Canada.
- .12 Zandbergen, P.A. and K.J. Hall, Analysis of the British Columbia water quality index for watershed managers: a case study of two small watersheds. *Water Quality Research Journal*, 1998. 33(4): p. 519-550.
- .13 Sargaonkar, A. and V. Deshpande, Development of an overall index of pollution for surface water based on a general classification scheme in Indian context. *Environmental monitoring and assessment*, 2003. 89(1): p. 43-67.
- .14 Cude, C.G., Oregon water quality index a tool for evaluating water quality management effectiveness 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 2001. 37(1): p. 125-137.
- .15 Shuhaimi-Othman, M., E.C. Lim, and I. Mushrifah, Water quality changes in Chini lake, Pahang, west Malaysia. *Environmental monitoring and assessment*, 2007. 131(1): p. 279-292.
- .16 Vasanthi, S.S. and A.S. Kumar, Application of artificial neural network techniques for predicting the water quality index in the Parakai Lake, Tamil Nadu, India. *Applied ecology and environmental research*, 2019. 17(2): p. 1947-1958.

- .17 Sarkar, K. and M. Majumder, Application of AHP-based water quality index for quality monitoring of peri-urban watershed. *Environment, Development and Sustainability*, 2021. 23(2): p. 1780-1798.
- .18 Zhao, Y., et al., Assessment of water quality in Baiyangdian Lake using multivariate statistical techniques. *Procedia Environmental Sciences*, 2012. 13: p. 1213-1226.
- .19 Pramanik, A.K., D. Majumdar, and A. Chatterjee, Factors affecting lean, wet-season water quality of Tilaiya reservoir in Koderma District, India during 2013–2017. *Water Science*, 2020. 34(1): p. 85-97.
- .20 Ghesquière, O., et al., Scenarios of groundwater chemical evolution in a region of the Canadian Shield based on multivariate statistical analysis. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2015. 4: p. 246-266.
- .21 Busico, G., et al., A novel hybrid method of specific vulnerability to anthropogenic pollution using multivariate statistical and regression analyses. *Water Research*, 2020. 171: p. 115386.
- .22 Hamil, S., et al., Assessment of surface water quality using multivariate statistical analysis techniques: a case study from Ghrib dam, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 2018. 11(23): p. 1-14.
- .23 Daughney, C.J., et al., Use of hierarchical cluster analysis to assess the representativeness of a baseline groundwater quality monitoring network: comparison of New Zealand's national and regional groundwater monitoring programs. *Hydrogeology journal*, 2012. 20(1): p. 185-200.
- .24 Trabelsi, R. and K. Zouari, Coupled geochemical modeling and multivariate statistical analysis approach for the assessment of groundwater quality in irrigated areas: A study from North Eastern of Tunisia. *Groundwater for Sustainable Development*, 2019. 8: p. 413-427.
- .25 Gulgundi, M.S. and A. Shetty, Groundwater quality assessment of urban Bengaluru using multivariate statistical techniques. *Applied water science*, 2018. 8(1): p. 1-15.