مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد- مجلة علمية محكمة- العدد الثامن عشر (الجزء الثانى)

تطوير معامل للتقييم الجغرافي لجودة المياه السطحية في مصر بالتطبيق على مدينة أسوان: دراسة في جغرافية البيئة

د/ صفاء محمد مالك حمادي(*)

الملخص:

يهدف البحث لتطوير معامل للتقييم الجغرافي لجودة المياه السطحية Water Quality Index لأغراض الشرب في مصر، ثم تطبيق هذا المعامل على مدينة أسوان لتحديد درجة التلوث التي وصل إليها النهر في كل من الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، ثم تحديد المصادر المختلفة المؤدية إلى تلوث مياه النهر وصولاً لأنسب الحلول المقترحة للمشكلة.

يتناول البحث مفهوم تقييم جودة المياه وتطوره والطرق المختلفة لتقييمها، ثم تم تطوير مؤشر لتقييم جودة المياه السطحية في مصر من خلال منهجية علمية اشتلمت على كل من المنهج الوصفي التحليلي والمنهج المقارن والمنهج الأصولي وقد تضمنت: تحديد متغيرات قياس جودة المياه، وتحويل القيم الفعلية للمتغيرات إلى مقياس نسبي، ثم عمل أوزان نسبية للمتغيرات، وصولاً لكيفية حساب القيمة النهائية لمعامل جودة المياه.

ثم تم تطبيق معامل جودة المياه المقترح على مدينة أسوان، من خلال التعريف بمنطقة الدراسة وبالخصائص البشرية للمدينة، وتحليل خصائص مياه نهر النيل بها والتي شملت: الخصائص الفيزيائية، والكيميائية، والميكروبيولوجية، وهو ما نتج عنه تقييم مياه بحيرة ناصر ومياه مجرى نهر النيل قبالة المدينة حسب مستويات جودتها وفق المعامل المقترح.

ثم تناول البحث التحليل الجغرافي لمشكلة تلوث المياه السطحية بمدينة أسوان من خلال التعرف على مصادر هذا التلوث والتي شملت: مياه الصرف المعالجة من محطتي الصرف الصحي بالمدينة، ومياه الصرف الصحي (غير المعالج) التي تصرف مباشر دون معالجة من قبل السكان عبر مصرف السيل "مصرف كيما"، ومياه الصرف السياحي والتجمعات العمرانية بالجزر النيلية بمدينة أسوان، إضافة للمخلفات الصلبة المنزلية التي تلقى في خور السيل.

وفي النهاية خلصت الدراسة إلى أن المياه السطحية بالمدينة تراوحت ما بين المياه الجيدة (معامل جودة مياه بقيمة ٨١.٦٪) ببحيرة ناصر، والمياه متوسطة الجودة (معامل جودة مياه بقيمة ٥٦.٧٪) بموقع رقم (١) والمياه منخفضة الجودة (معامل جودة مياه بقيمة ٤٥.٢٪) بموقع رقم (٢)، وقد تم اقتراح العديد من التوصيات التي من شأنها إنهاء مشكلة تلوث المياه السطحية بمدينة أسوان وتطوير صور وتطبيقات أخرى لمعامل تقييم جودة المياه المقترح بالدراسة لتحقيق فوائد عدة.

الكلمات المفتاحية: تقييم جودة المياه، الخصائص الكيميائية، الخصائص الفيزيائية، الخصائص الميكروبيولوجية، مؤشر جودة المياه (WQI).

(*) مدرس الجغرافيا البيئية والجيوماتكس بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية بكلية الآداب بقنا – جامعة جنوب الوادي – مصر
safaa.hamadi@art.svu.edu.eg

Developing an Index for the geographic assessment of surface water quality in Egypt by application to the city of Aswan: a study in environmental geography

Summary:

This research discusses developing an index for the geographical assessment of surface water quality (Water Quality Index) for drinking purposes in Egypt, then apply this coefficient to the city of Aswan to determine the degree of pollution that the river has reached in terms of physical, chemical and biological properties, then identify the various sources leading to river water pollution to reach the most appropriate proposed solutions to the problem.

The research deals with the concept of water quality assessment, its development, and the various methods for evaluating it, then The study addressed the development of an index to evaluate the quality of surface water in Egypt through a scientific methodology that included the descriptive analytical approach, the comparative approach, and the fundamental approach. It included: determining the variables for measuring water quality, converting the actual values of the variables into a relative scale, then creating relative weights for the variables, arriving at how to calculate the final value of the water quality factor.

Then the proposed water quality factor was applied to the city of Aswan, by defining the study area and the human characteristics of the city and analysing the characteristics of the Nile River water in it, which included: physical, chemical, and microbiological characteristics, which resulted in an evaluation of the water of Lake Nasser and the water of the Nile River stream opposite the city. According to their quality levels according to the proposed factor.

The research then included a geographical analysis of the problem of surface water pollution in the city of Aswan by identifying the sources of this pollution, which included: treated wastewater from the city's two sewage plants, and (untreated) wastewater that is discharged directly without treatment by the population through the "Seal Drain" drain. Kima, tourist wastewater and urban communities on the Nile Islands in the city of Aswan, in addition to household solid waste thrown into Khor El-Sil.

Finally, the study concluded that the surface water in the city ranged between good water (water quality factor of 81.6%) in Lake Nasser, medium quality water (water quality factor of 56.7%) at site No. (1) and low quality water (water quality factor of 45.2%) at site No. (2). Many recommendations were proposed that would end the problem of surface water pollution in Aswan and develop other images and applications for the water quality assessment factor proposed in the study to achieve several benefits.

Keywords: water quality assessment, chemical properties, physical properties, microbiological properties, water quality index (WQI).

مقدمة:

تعتبر جودة نوعية المياه ومدى توافرها من المؤشرات المهمة للتنمية المستدامة بشكل عام وذلك انطلاقاً من الدور الكبير الذي تلعبه المياه في التنمية الاقتصادية والاجتماعية، حيث أصبح ينظر لها باعتبارها سلعة نادرة يجب المحافظة عليها وإدارتها بطريقة تأخذ الأبعاد البيئية والاجتماعية والاقتصادية بعين الاعتبار، كما تعتبر قضية تردي نوعيتها بمثابة القضية البيئية الرئيسية والتي يتم التركيز عليها دوماً كمسألة تتعلق بالأمن القومي والاجتماعي والاقتصادي حيث أصبحت المياه النقية حاجة ملحة وضرورية ليس فقط لمياه الشرب والاستخدامات المنزلية وإنما أصحبت ضرورة للتطور الحضاري والتقني لأي بلد.

وقد طورت الأمم المتحدة بناء على مبدأ الحق في الحصول على المياه مجموعة من المؤشرات تعتمد على ثلاثة عناصر رئيسة هي توفر الماء Availability، والإتاحة Accessibility أي القدرة على الوصول للمياه، ونوعية المياه Water Quality، وتعد الأخيرة هي محور موضوع البحث خاصة إذا علمنا أن نهر النيل واهب الحياة لمصر والذي يغطي تقريباً كل احتياجات السكان من الشرب والاستخدام السياحي والصناعي وغيرها يعاني من مشكلتين أساسيتين هما زيادة الإجهاد البيئي نتيجة للتلوث الناجم عن الأنشطة البشرية المختلفة وزيادة الطلب على المياه النظيفة نتيجة للزيادة السكانية، فكان من الضروري وضع مؤشر يقيس جودة نوعية المياه ومدى فاعليتها للاستخدامات المختلفة.

- مشكلة الدراسة:

تقع مشكلة الدراسة في إطار مشاكل التلوث البيئي التي تتعرض إليها مياه نهر النيل في مصر في ظل الظروف الحالية التي يعيشها المواطن من نقص المعروض منها وانخفاض متوسط نصيب الفرد من المياه العذبة الصالحة لكافة للاستخدامات المختلفة.

- أهمية الدراسة:

تنبع أهمية الدراسة من حاجة المواطن إلى مياه صافية ونقية، وكذلك أهمية المياه في المنتجات الغذائية من جهة ومساهمتها في رفع وتيرة النشاط الاقتصادي من جهة أخرى، وبما أن السكان في تزايد مستمر وأن المصدر الرئيس لمياه الشرب والأنشطة المختلفة فيها هو نهر النيل فكان من الأهمية أن نضع مؤشرات يمكن من خلال تحدد إلى أي درجة بلغ تلوث في مياه النهر وبيان مصادر التلوث وعزل مسبباته ولا سيما تلك التي ترتبط ارتباطاً مباشرة بالتجمعات السكانية والأنشطة البشرية المختلفة.

- أهداف الدراسة:

تسعي الدراسة إلى تحقيق الآتي:

١- تحديد درجة التلوث التي وصل إليها النهر من خلال المخرج النهائي للمؤشر وذلك بدراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، وتقدير مدى تلوث الجسم المائي وذلك من خلال مقارنة نوعية المياه بين أجزاء الجسم المائي الواحد بما يساعد على تحديد النقاط البيئية الساخنة ومصادر التلوث وتوجيه أولويات معالجتها.

٢- تطوير معامل متخصص يقيس جودة نوعية المياه Water Quality Index لأغراض الشرب بالتطبيق على مدينة أسوان.

٣- تقييم جودة نوعية المياه السطحية بنهر النيل من خلال ذلك المعامل والذي يشتمل على كافة العناصر التي لها دور كبير في تلويث مياهه.

٤- تحديد المصادر المختلفة المؤدية إلى تلوث مياه النهر وذلك من خلال دراسة السلوك البشري العام والأنشطة الاقتصادية المختلفة المقام حول النهر أو بداخلة ودورها في تلوث المياه السطحية له.

٥- السعي لنشر الوعي وتوليد القناعة لدى المواطنين والجهات المسئولة بالآثار السلبية لتلوث مياه النهر والحد من الممارسات البشرية التي تساهم في تلويث مياهه، وذلك لأهمية المياه في مختلف الأنشطة البشرية.

- مناهج وأساليب الدراسة:

اعتمدت الدراسة على عدد من المناهج والأساليب المختلفة لخدمة موضوع الدراسة، حيث اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي في تحليل مؤشرات جودة نوعية المياه بمدينة أسوان، كما اعتمدت الدراسة على المنهج المقارن من خلال مقارنة نوعية المياه السطحية في المدينة بالحدود القياسية المسموح بها بالمواصفات القياسية المصرية لمياه الشرب، كما اعتمدت على المنهج الأصولي عند تناول العوامل المؤثرة في نوعية المياه السطحية، كما تم الاعتماد على أسلوب الدراسة الميدانية وذلك من خلال عمل مجموعة من الزيارات الميدانية تم خلالها جمع عينات المياه والتقاط العديد من الصور الفوتوغرافية لمصادر التلوث التي تعاني منها منطقة الدراسة، كما تم عمل مقابلات شخصية مع السكان بمنطقة الدراسة للوقوف على الأوضاع البيئية بالمنطقة، واخيراً تم استخدام برنامج Arc GIS في رسم الخرائط، كما تم استخدام برنامج الأكسل Excel في رسم الأشكال البيانية.

- الدراسات السابقة:

- دراسات تناولت موضوع الدراسة:

- دراسة عبد العزيز يونس الصفاوي وآخرون (٢٠١٨) تقييم خصائص نوعية المياه وحساب معامل (WQI) لبعض مصادر المياه في قرية أبو ماريا قضاء تلعفر محافظة نينوى، وقد تناولت الدراسة تحديد مدى ملائمة بعض مصادر المياه للاستخدامات البشرية، من خلال استخدام معامل نوعية المياه.

- دراسة ساندرا وزملائها:

- Sandra Chidiac et.al (2023) A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives.

وقد تناولت الدراسة حصر للأدبيات العلمية التي تناولت موضوع تقييم جودة نوعية المياه، وكيفية صياغة المعاملات المختلفة الخاصة بها، ومقارنة نتائج تطبيق كل منها على مناطق متفرقة بالعالم.

- دراسات تناولت منطقة الدراسة:

- دراسة عمر محمد عمر (٢٠٠١) مدينة أسوان "دراسة في جغرافية المدن"، رسالة دكتوراه غير منشورة والتي تناولت المحددات العمرانية لمدينة أسوان ومراحل نموها العمراني وتوزيع العمران العشوائي على رقعة المدينة.

- دراسة مسعد سلامة مندور (٢٠٠٤) الأخطار الطبيعية في مدينة أسوان وارتكزت على أهم الاخطار الجيولوجية والجيومورفولوجية والجيومناخية والمناخية خاصة العواصف الترابية.

- دراسة أشرف أحمد عبد الكريم (٢٠١٤)، تيسير الوصول إلى الخدمات العامة في مدينة أسوان "بتطبيق نظم المعلومات الجغرافية"، الجمعية الجغرافية المصرية، سلسلة بحوث جغرافية، العدد الثالث والسبعون، وقد تناولت الدراسة التقييم الجغرافي لسهولة الوصول لكل نوع من أنواع الخدمات العامة بمدينة أسوان.

- دراسة دنيا محمد السيد محمود (٢٠١٥) المشكلات البيئية الطبيعية بمنطقة أسوان، رسالة ماجستير غير منشورة، وركزت الدراسة على المشكلات الجيومورفولوجية الخاصة بعمليات النحت والإرساب بمجرى نهر النيل بمنطقة أسوان.

- دراسة محمد الحسين محمد حسن (يوليو ٢٠٢١)، الجيومورفولوجيا الحضرية وأثرها في تغيير استخدامات الأرض بمدينة أسوان باستخدام تقنية نظم المعلومات والاستشعار عن بعد، وقد تناول البحث دراسة الخصائص الجيولوجية والتضاريسية لمركز ومدينة أسوان وأثرها على استخدامات الأرض.

أولاً: مفهوم تقييم جودة المياه وتطوره:

يقصد بتقييم جودة المياه هو عملية تحديد وتحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمياه بهدف معرفة مدى صلاحيتها للاستخدامات المختلفة وتحديد مدى ملاءمتها مع المعايير الصحية والبيئية المحددة. حيث يتضمن هذا التقييم جمع عينات من المياه وفحصها باستخدام تقنيات مختبرية لتحليل مكوناتها وخصائصها. فمن خلال هذه العملية يمكن اكتشاف وجود أي ملوثات أو شوائب قد تؤثر سلبًا على صحة الإنسان أو البيئة، حيث يعطي مؤشر جودة المياه (WQI) دليلاً يعكس تأثير مختلف المعايير المدروسة للمياه على نوعيتها، وهو من الأدوات المهمة في تحديد جودة المياه، وقد مر هذا المؤشر بالعديد من المحاولات المختلفة من قبل العديد من العلماء المهتمين بتقييم جودة نوعية المياه والتي يمكن إجمالها فيما يلي:

– يعد هورتون (Horton, 1965) من أوائل من قاموا بتطوير نظام لتصنيف جودة المياه من خلال معامل لجودة المياه، في عام (١٩٦٥) مقدمًا أداة للحد من تلوث المياه، نظرًا لأن مصطلحي "جودة المياه" و"التلوث" مرتبطان ببعضهما البعض. وتمثلت الخطوات التي اتبعها في وضع المؤشر في اختيار قائمة من ١٠ متغيرات لبناء المؤشر، وهي: معالجة مياه الصرف الصحي، الأكسجين المذاب (DO)، الرقم الهيدروجيني (PH)، القولونيات (FC)، الموصلية الكهربائية (EC)، مستخلص كلوروفورم الكربون (CCE)، القلوية، والكلوريد ودرجة الحرارة والتلوث الواضح. أما الخطوة التالية فشملت تعيين قيمة مقياس يتراوح بين صفر و١٠٠ لكل متغير حسب الجودة أو التركيز. أما الخطوة الأخيرة فكانت تخصيص عامل وزن (ترجيح) نسبي لكل متغير لبيان أهميته وتأثيره على مؤشر جودة المياه (كلما زاد الوزن المخصص، زاد تأثيره على مؤشر جودة المياه، وبالتالي أصبح أكثر أهمية).

وفي وقت لاحق، قام براون وآخرون (Brown et al., 1970) بإنشاء مؤشرًا جديدًا لجودة المياه (WQI) بتسعة متغيرات، هي: الأكسجين الذائب (DO)، والقولونيات، والرقم الهيدروجيني، ودرجة الحرارة، والطلب على الأكسجين الحيوي (BOD)، والفوسفات الكلي، والنترات، والعكارة، والمواد الصلبة بناءً على وزن حسابي أساسي باستخدام المتوسط الحسابي لحساب تصنيف كل متغير. ويتم بعد ذلك تحويل هذه المعدلات إلى أوزان غير مؤقتة. وأخيرًا، يتم قسمة كل وزن مؤقت على مجموع جميع الأوزان المؤقتة للحصول على الوزن النهائي لكل متغير (Kachroud et al. 2019a ; Shah and Joshi, 2017). في عام ١٩٧٣، اعتبر براون وآخرون أن التجميع الهندسي (طريقة لتجميع المتغيرات، ويكون أكثر حساسية عندما يتجاوز المتغير القاعدة) أفضل

من التجميع الحسابي. وقد دعمت المؤسسة الوطنية للصرف الصحي (NSF) هذا الجهد (Kachroud et al., 2019a ; Shah and Joshi, 2017).

ثم تم تطوير معامل جودة المياه الخاص بالمؤسسة الوطنية للصرف الصحي (NSFWQI) في عام ١٩٧٠ من قبل المؤسسة الوطنية للصرف الصحي (NSF) في الولايات المتحدة (Hamlat et al., 2017; Samadi et al., 2015). وتم اختبار مؤشر جودة المياه هذا ميدانيًا على نطاق واسع ويستخدم لحساب وتقييم مؤشر جودة المياه للعديد من المسطحات المائية. (Hamlat et al., 2017)، وقد تم تطبيق معامل جودة المياه الخاص بالمؤسسة الوطنية للصرف الصحي (NSFWQI) على نطاق واسع وتم قبوله في البلدان الآسيوية والأفريقية والأوروبية. (Singh et al., 2013)

وفي عام ١٩٨٢م طور شتاينهارت وزملائه (Steinhart et al., 1982) مؤشرًا جديدًا للجودة البيئية (EQI) للنظام البيئي للبحيرات العظمى في أمريكا الشمالية. تم خلاله اختيار تسع متغيرات لهذا المؤشر: ضمت الخصائص البيولوجية والفيزيائية والكيميائية والسامة للمياه. وكانت هذه المتغيرات هي: التوصيل النوعي أو الموصلية الكهربائية، والكلوريد، والفوسفور الكلي، والقولونيات البرازية، والكلوروفيل أ، والمواد الصلبة العالقة، والتلوث الواضح (الحالة الظاهرية)، والملوثات غير العضوية السامة، والملوثات العضوية السامة. ثم تم تحويل البيانات الخام إلى مؤشر فرعي وتم ضرب كل مؤشر فرعي بعامل ترجيح (قيمة ٠.١ للعوامل الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية و٠.١٥ للمواد السامة). وقد تراوحت النتيجة النهائية بين (صفر) جودة منخفضة و(١٠٠) جودة عالية (Lumb et al., 2011&Tirkey et al., 2015).

ثم قام دينيوس (Dinius, 1987) بتطوير مؤشر جودة للمياه استنادًا إلى التجميع المضاعف (Multiplicative aggregation) بمقياس معبر عنه بقيم كنسبة مئوية، حيث يعبر عن القيمة ١٠٠٪ بوصفها جودة المياه المثالية (Shah and Joshi, 2017).

وفي منتصف التسعينيات، تم تقديم مؤشر جودة مياه جديد إلى كندا من قبل مقاطعة كولومبيا البريطانية، وتم استخدامه كمؤشر متزايد لتقييم جودة المياه (Lumb et al., 2011 ; Shah and Joshi, 2017). وبعد فترة من الوقت، قامت مجموعة العمل المعنية بالمبادئ التوجيهية لجودة المياه التابعة لمجلس وزراء البيئة الكنديين (CCME) بتعديل مؤشر جودة المياه الأصلي في كولومبيا البريطانية (BCWQI) ووافقت عليه باعتباره مؤشر جودة المياه CCME WQI في عام ٢٠٠١ (Bharti and Katyal, 2011; Lumb et al., 2011).

وفي عام ١٩٩٦، تم إنشاء برنامج تحسين مستجمعات المياه (The Watershed Enhancement Program "WEPWQI") في دايتون بأوهايو، بما في ذلك متغيرات جودة المياه وقياسات التدفق وشفافية المياه أو تعكرها. مع الأخذ في الاعتبار التلوث بالمبيدات الحشرية والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات ("Polycyclic Aromatic Hydrocarbon "PAH)، فإن هذا هو ما يميز هذا المؤشر عن مؤشر (NSFWQI). (Kachroud et al., 2019a, b)

وفي عام ٢٠٠٣م أنشأ ليو وزملائه (Liou et al., 2004) معامل جودة المياه في نهر كيا بتايوان. وقد استخدم المؤشر ثلاثة عشر متغيرًا هي: القولونيات البرازية، والأكسجين الذائب DO، ونيتروجين الأمونيا، والأكسجين الحيوي BOD، والمواد الصلبة العالقة، والعكارة، ودرجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني، والسمية، والكادميوم (Cd)، والرصاص (Pb)، والنحاس (Cu) والزنك (Zn). وقد تم تقليص عدد هذه المتغيرات إلى تسعة على أساس الأهمية البيئية والصحية لتشمل: القولونيات البرازية، والأكسجين الذائب DO، ونيتروجين الأمونيا، والأكسجين الحيوي BOD، والمواد الصلبة العالقة، والعكارة، ودرجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني، والسمية. ثم تم تحويل كل متغير إلى قيمة فعلية تتراوح على مقياس من ٠ (الأقل جودة) إلى ١٠٠ (الأعلى جودة). يعتمد هذا المؤشر على المتوسطات الهندسية للقيم الموحدة (وهي وظيفة تجميع يمكن أن تزيل الغموض الناتج عن الأوزان الصغيرة). (Akhtar et al., 2021 &Liou et al., 2004; Uddin et al., 2021)

وفي عام ٢٠٠٤م طبق سعيد وزملاه (Said et al., 2004) مؤشر نوعية مياه (WQI) جديد باستخدام التجميع اللوغاريتمي على المسطحات المائية في فلوريدا (الولايات المتحدة الأمريكية)، بناءً على ٥ متغيرات فقط هي: الأكسجين الذائب، والفوسفات الكلي، والعكارة، والقولونيات البرازية، والموصلية الكهربائية. وكانت الفكرة الرئيسية هي تقليل عدد المتغيرات وتغيير طريقة التجميع باستخدام التجميع اللوغاريتمي (لا تتطلب هذه الوظيفة أي مؤشرات فرعية وأي توحيد للمتغيرات). وتراوحت قيم هذا المؤشر من ٠ إلى ٣، والأخير هو القيمة المثالية. (Akhtar et al., 2021; Kachroud et al., 2019a, b; Said et al., 2004; Uddin et al. 2021)

وفي عام ٢٠٠٧ تم إعداد مؤشر جودة المياه الماليزي (The Malaysian WQI "MWQI")، وكان يضم المؤشر عدد ست متغيرات هي: الأكسجين الذائب (DO) والأكسجين الحيوي (BOD)، والطلب على الأكسجين الكيميائي (COD)، ونيتروجين الأمونيا (NH3)، والمواد الصلبة العالقة (TDS)، ودرجة الحموضة. وقد تم إنشاء منحنى لتحويل القيمة الفعلية لكل متغير إلى قيمة معيار فرعي مفتوحة (A non-dimensional sub-index value)، ثم كانت

الخطوة التالية هي تحديد وزن المتغيرات من خلال النظر في آراء لجنة الخبراء. وتم تحديد النتيجة النهائية باستخدام صيغة التجميع المضافة (حيث يتم جمع قيم المؤشرات الفرعية وأوزانها المختلفة)، ويعطي المؤشر مقياس متدرج يمتد من صفر إلى ١٠٠. (Uddin et al., 2021)

وفي عامي ٢٠١٠م و٢٠١٢م تم إنشاء مؤشري هانه (Water Quality Index – WQI by Hanh) ، وألميدا (Almeida's Water Quality Index) على التوالي حيث تم تطبيق الأول عام ٢٠١٠على المياه السطحية في فيتنام، في حين تم تطبيق الثاني عام ٢٠١٢م على بوتريرو دي لوس فونيس في الأرجنتين، وقد اعتمد المؤشر الأول على ثمانية متغيرات هي: اللون، والمواد الصلبة العالقة (TDS)، والأكسجين الذائب (DO)، والأكسجين الحيوي (BOD)، والأكسجين الكيميائي (COD)، والكلوريد، والقولونيات الكلية (Total Coliform) والأرثوفوسفات (PO_4)، في حين اعتمد المؤشر الثاني على عشر متغيرات هي: اللون، والرقم الهيدروجيني (PH)، والأكسجين الكيميائي (COD)، والقولونيات البرازية، والقولونيات الكلية، والفوسفات الكلي (PO_4)، والنترات، والمنظفات، والمكورات المعوية والإشريكية القولونية، وقد اعتمد كلا المؤشرين على نظام الفهرسة الإجمالية القائم على منحنى التصنيف (Rating curve– based sum–indexing system). (Uddin et al., 2021)

وفي ٢٠١٧ تم تنفيذ أحدث نموذج لمؤشر جودة المياه WQI تم تطويره في الأدبيات العلمية. وقد حاول هذا المؤشر تقليل عدم اليقين الموجود في مؤشرات جودة المياه الأخرى. وقد كان مؤشر جودة المياه في جاوة الغربية (WJWQI) المطبق في بحر جاوة في إندونيسيا يعتمد على ثلاثة عشر متغيرًا حاسمًا لجودة المياه هي: درجة الحرارة، والمواد الصلبة العالقة، والأكسجين الكيميائي، والأكسجين الذائب، والنتريت، والفوسفات الكلي، والمنظفات، والفينول، والكلوريد، والزنك، والرصاص، والزئبق، والقولونيات البرازية. باستخدام خطوتين للفحص (استنادًا إلى التقييم الإحصائي)، تم تحديد تكرار المعلمة (المتغير) إلى ٩ فقط: درجة الحرارة، والمواد الصلبة العالقة، والأكسجين الكيميائي، والأكسجين الذائب، والنتريت، وإجمالي الفوسفات، والمنظفات، والفينول، والكلوريد. وبناء على ذلك تم الحصول على مؤشرات فرعية لتلك المتغيرات التسعة وتم تحديد الأوزان النسبية بناءً على آراء الخبراء، باستخدام نفس التجميع المضاعف (Multiplicative aggregation) المطبق في NSFWQI. وقد اقترح مؤشر جودة المياه في جاوة الغربية (WJWQI) خمس فئات لجودة المياه تتراوح من الضعيف (٥-٢٥) إلى الممتاز (٩٠-١٠٠). (Uddin et al., 2021)

ثانياً: الطرق المختلفة لتقييم جودة نوعية المياه:

يوجد العديد من الطرق التي يمكن اتباعها في تقييم جودة نوعية المياه وتعتمد جميعها على قياس أهم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية وكذلك الفحوصات الإشعاعية للمياه وذلك بما يتناسب مع طبيعة الغرض من الاستخدام والتي يمكن ايجازها في الآتي:

١- مؤشر التلوث (Pollution Index- PI):

هو مقياس يستخدم لقياس درجة التلوث في المياه حيث يُستخدم المؤشر لتقديم تقدير سريع لجودة البيئة في منطقة ما، وللمؤشر قيمة رقمية تتراوح من صفر إلى ١٠٠٪ لتدل على مستوى التلوث بناءً على الحدود المحددة، حيث يعتبر الرقم أعلى من ٥٠٪ علامة على تلوث شديد، بينما يُعتبر الرقم أقل من ٥٠٪ علامة على تلوث أقل، ويُستخدم مؤشر التلوث على نطاق واسع في العلوم البيئية والصحة العامة وقد استخدمه (Backman, B., et al.,1998) لقيس التلوث النسبي للمعادن المختلفة في الحالة المنفصلة والمدمجة. جدول (١)

جدول (١) فئات مؤشر تلوث المياه

م	القيمة	حالة المياه
١	٠.٠-٠.٥-	آمنة
٢	٩.٠ -٠.٠	محفوفة بالمخاطر
٣	أكثر من ٩.٠	ملوثة

المصدر: إعداد الباحثة اعتماداً على: Backman, B., et al.,1998.

٢- مؤشر التلوث بالمعادن الثقيلة (Heavy Metal Pollution Index- HP):

هو مقياس فعال لتقييم جودة المياه فيما يتعلق بالمعادن الثقيلة ، وتشمل المعادن الثقيلة الملوثة الشائعة الرصاص والزئبق والكادميوم والنيكل والزرنيخ والكروم، والتي يمكن أن تكون مدمرة للبيئة وتشكل خطراً على الصحة العامة عندما تتراكم بكميات كبيرة، حيث يتم حساب مؤشر التلوث بالمعادن الثقيلة عادةً بناءً على تحليل العينات المأخوذة من الموقع المراد دراسته وقياس مستويات المعادن الثقيلة فيها، ثم يتم استخدام قيم هذه المعادن لحساب قيمة المؤشر والتي تتراوح عادةً من صفر إلى ١، حيث تشير القيم الأعلى إلى تلوث أكبر، ويعد مؤشر التلوث بالمعادن الثقيلة من المؤشرات الهامة في العلوم البيئية لتقدير مدى تأثير المعادن الثقيلة على البيئة والصحة العامة، ويساعد في تحديد المناطق التي قد تحتاج إلى تدابير إصلاح وتنقية بيئية للحد من التلوث والحفاظ على الصحة البيئية والبشرية. (Zakhem, B.A. and Hafez, R., 2015)

٣- مؤشر السمية المائية (Aquatic Toxicity Index – ATI):

تم تطوير مؤشر السمية المائية بواسطة (Wepener, V. et al., 1992) لتقدير صحة النظم البيئية المائية بناء على تأثيرات بارامترات المياه على صحة الأسماك، وهو مقياس يُستخدم

لتقدير مدى تأثير الملوثات على الكائنات الحية المائية في البيئات المائية، مثل الأنهار والبحيرات والمحيطات. ويهدف هذا المؤشر إلى تقدير مستوى السمية للمركبات الكيميائية الموجودة في المياه والتي يمكن أن تؤثر على الحياة النباتية والحيوانية المائية. ويعتمد مؤشر السمية المائية على بيانات التحليل السمي للمواد الكيميائية المختلفة، ويستخدم نماذج حسابية لتحديد تأثير هذه المواد على الكائنات الحية في البيئة المائية. يتم غالباً تقدير السمية باستخدام اختبارات السمية التي تجرى في المختبرات على الكائنات الحية المائية، مثل الأسماك والحيوانات الغمرية والأحياء الدقيقة.

٤- مؤشرات جودة المياه WQIs:

يقدم هذا الجزء مراجعة عامة للمؤشرات المتاحة والمستخدمة في جميع أنحاء العالم لتقييم جودة نوعية المياه للأغراض المختلفة، حيث استخدمت العديد من الهيئات المشاركة في إدارة المياه خلال العقد الأخير من القرن العشرين مؤشرات جودة المياه (WQIs) لتقييم جودة المياه (Paun et al. 2016). وفي ستينيات القرن العشرين، تم إدخال مؤشرات جودة المياه لتقييم جودة المياه في الأنهار (Hamlat et al., 2017). وعليه يمكن سرد لأهم مؤشرات جودة المياه وهي كالآتي:

(أ) مؤشر جودة المياه التابع لمؤسسة الصرف الصحي الوطنية الأمريكية (NSFWQI):

هذا المؤشر هو أداة تستخدم لتقييم جودة المياه بشكل شامل، تم تطويره في عام ١٩٧٠ من قبل المؤسسة الوطنية للصرف الصحي (NSF) في الولايات المتحدة (Hamlat et al., 2017; Samadi et al., 2015)، حيث يعتمد في حساب هذا المؤشر على تسع متغيرات أو معلمات، هي الأكسجين الحيويBOD، والأكسجين الذائبDO، والنترات (NO3)، وإجمالي الفوسفات (PO_4)، ودرجة الحرارة، والعكارة، وإجمالي المواد الصلبة (TS)، ودرجة الحموضة، والقولونيات البرازية (FC). تعكس الحالة العامة للمياه وذلك من خلال تجميع هذه المعايير في قيمة واحدة تعبر عن جودة المياه.

ويتم تطبيق هذا المؤشر في مناطق مختلفة، بناءً على العديد من المعايير مقارنة بمعايير محلية محددة. علاوة على ذلك، يتم استخدامه لتوضيح الدورات السنوية لجودة المياه وتغيراتها المكانية والزمانية واتجاهاتها (Paun et al., 2016). وهذا يعني أن هذه المؤشرات تعكس مستوى جودة المياه في البحيرات والجداول والأنهار والخزانات (Kizar, 2018).

أما عن طريقة حساب المؤشر فتتمثل في جمع البيانات حيث يتم جمع عينات المياه وتحليلها لتحديد القيم الفعلية لكل معيار، ثم تحويل القيم الفعلية لكل معيار إلى درجات (بين صفر و١٠٠) باستخدام منحنيات التطبيع المحددة من قبل المؤسسة، ثم تحديد الأوزان حيث يتم إعطاء كل معيار وزنًا يعكس أهميته النسبية لجودة المياه، وفي النهاية يتم حساب المؤشر النهائي باستخدام معادلة تجمع الدرجات والأوزان لكل معيار كما يلي:

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^{n} QiWi$$

حيث أن:

- Wi يشير إلى وزن المعيار.
- Qi يشير الدرجة المطابقة للقيمة الفعلية للمعيار.

والقيم الناتجة تترجم إلى فئات تشير إلى جودة المياه وهي تتراوح من (صفر- ٢٥) للمياه السيئة غير الملائمة و (٩٠-١٠٠) للمياه الممتازة. (Roozbahani MM, Boldaji MN, 2013, pp:628–632)

(ب) مؤشر جودة المياه التابع لمجلس وزراء البيئة الكندي (CCMEWQI):

هو أداة تقييم تُستخدم لتحديد جودة المياه السطحية والبحيرات والأنهار في كندا. حيث يعتمد هذا المؤشر على مقاربة تجميعية تأخذ في الاعتبار مجموعة من المعايير البيئية المحددة. (Tyagi et al., 2013)، مثل المتغيرات المتعلقة بالصحة البشرية وصحة الكائنات المائية والأغراض الترفيهية، وتركيزات المواد الكيميائية (مثل المعادن الثقيلة، والمبيدات، والنترات، والفوسفات) والمؤشرات البيولوجية (مثل البكتيريا القولونية)، وأخيراً الخصائص الفيزيائية مثل درجة الحرارة والأكسجين الذائب، ويتم ذلك من خلال تطبيق المعادلة التالية:

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right)$$

حيث أن:

- المدى (F1) نسبة المعايير التي تتجاوز القيم المسموح بها.
- التكرار (F2) نسبة العينات التي تتجاوز المعايير.
- الانحراف (F3) مقدار الانحراف عن القيم المسموح بها.

والقيم الناتجة عن المعامل تترجم إلى نطاقات تشير إلى جودة المياه وهي قيم تتراوح من (صفر- ٤٤) للمياه السيئة غير الملائمة و (٩٥-١٠٠) للمياه الممتازة. (Kizar, 2018)

(ج) مؤشر جودة المياه في ولاية أوريغون (OWQI):

وهو أداة تستخدم لتقييم جودة المياه في الأنهار والجداول والبحيرات ضمن الولاية. ويعتمد مؤشر OWQI على مجموعة من المعايير الفيزيائية والكيميائية التي تعكس الحالة العامة للمياه وتساعد على تحديد مدى صلاحيتها للاستخدامات المختلفة والممثلة في الأكسجين المذاب (DO)، ودرجة الحموضة (pH)، والعكارة، والأوكسجين الحيوي (BOD)، والمواد الصلبة المعلقة (TSS)، والنتروجين الكلي (Total Nitrogen)، والفوسفات الكلي (Total Phosphates)، ودرجة الحرارة، وأخيراً البكتيريا القولونية: مؤشر على التلوث البكتيري.

وتكمن الفكرة الرئيسية في المعامل في جمع البيانات وتحليلها لتحديد القيم الفعلية لكل معيار، ثم حساب مؤشر OWQI حيث يتم تحويل القيم الفعلية لكل معيار إلى درجات مئوية باستخدام منحنيات تطبيع محددة، ثم يتم تجميع الدرجات باستخدام معادلة لتوليد قيمة مؤشر موحدة، وعادةً ما تكون الصيغة الأساسية للمؤشر على الشكل التالي:

$$OWQI = \frac{n}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{SI^2}}}$$

حيث أن:

-n تشير إلى عدد المتغيرات الداخلة في حساب المعامل وتساوي ٨.

-SI تشير إلى قيمة كل متغير.

والقيم الناتجة عن المعامل تصنف إلى نطاقات تشير إلى جودة المياه وهي قيم تتراوح من (١٠-٥٩) للمياه السيئة غير الملائمة و (٩٠-١٠٠) للمياه الممتازة الصالحة لكافة الاستخدامات. (Darvishi et al., 2016.)

(د) مؤشر الوزن الحسابي لجودة المياه (WAWQI):

يستخدم هذا المؤشر في حساب مؤشر جودة المياه المعالجة، بمعنى آخر، تقوم هذه الطريقة بتصنيف جودة المياه حسب درجة النقاء باستخدام متغيرات جودة المياه الأكثر قياسًا (Kizar, 2018; Paun et al., 2016)، وتشمل العكارة، والموصلية الكهربائي، والأس الهيدروجيني، والمواد الصلبة الذائبة، والنيترات، والأمونيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم، والحديد، وتتمثل خطوات إجراء هذا المؤشر في ثلاث خطوات ضرورية لحساب WAWQI وهي: حساب تصنيف الجودة الإضافي أو المؤشر الفرعي باستخدام المعادلة الآتية:

$$Qn = 100 \times \frac{[Vn - Vo]}{[Sn - Vo]}$$

حيث أن:

- Vn تشير إلى القيمة المرصودة للمعلمة n في محطة أخذ العينات المحددة.
- Vo تشير إلى القيمة المثالية للمعلمة n في الماء النقي.
- Sn تشير إلى القيمة القياسية المسموح بها للمعلمة n.

تصنيف الجودة أو المؤشر الفرعي المقابل للمعلمة n هو رقم يعكس القيمة النسبية لهذه المعلمة في المياه الملوثة فيما يتعلق بقيمتها القياسية المسموح بها

ثم حساب وزن الوحدة بقيمة تتناسب عكسيا مع القيم القياسية الموصى بها (Sn) للمعلمات المقابلة (Jena et al., 2013) من خلال المعادلة الأتية:

$$Wn = \frac{K}{Sn}$$

حيث أن:

- Wn يشير إلى وزن الوحدة للمعلمة n.
- K يشير إلى ثابت التناسب.
- Sn يشير إلى القيمة القياسية للمعلمة n.

ثم تأتي الخطوة الأخيرة متمثلة تجميع تصنيف الجودة (Qn) ووحدة الوزن (Wn) خطيًا (Jena et al., 2013)، وذلك من خلال المعادلة الآتية:

$$WQI = \frac{\sum Qn\ Wn}{\sum Wn}$$

حيث أن:

- Qn يشير إلى قيمة تصنيف الجودة للمتغير n.
- Wn يشير إلى وزن الوحدة للمتغير n.

والقيم الناتجة عن المعامل تصنف إلى مقياس يشير إلى جودة المياه وهي قيم تتراوح من (صفر-٢٥) للمياه السيئة غير الملائمة للاستخدامات وأكبر من ١٠٠ للمياه الممتازة، ويوضح جدول (٢) الاستخدامات المختلفة لكل منها والمعايير المستخدمة في حساب كلاً منها:

جدول (٢) أهم معاملات تقييم جودة المياه واستخداماتها المختلفة

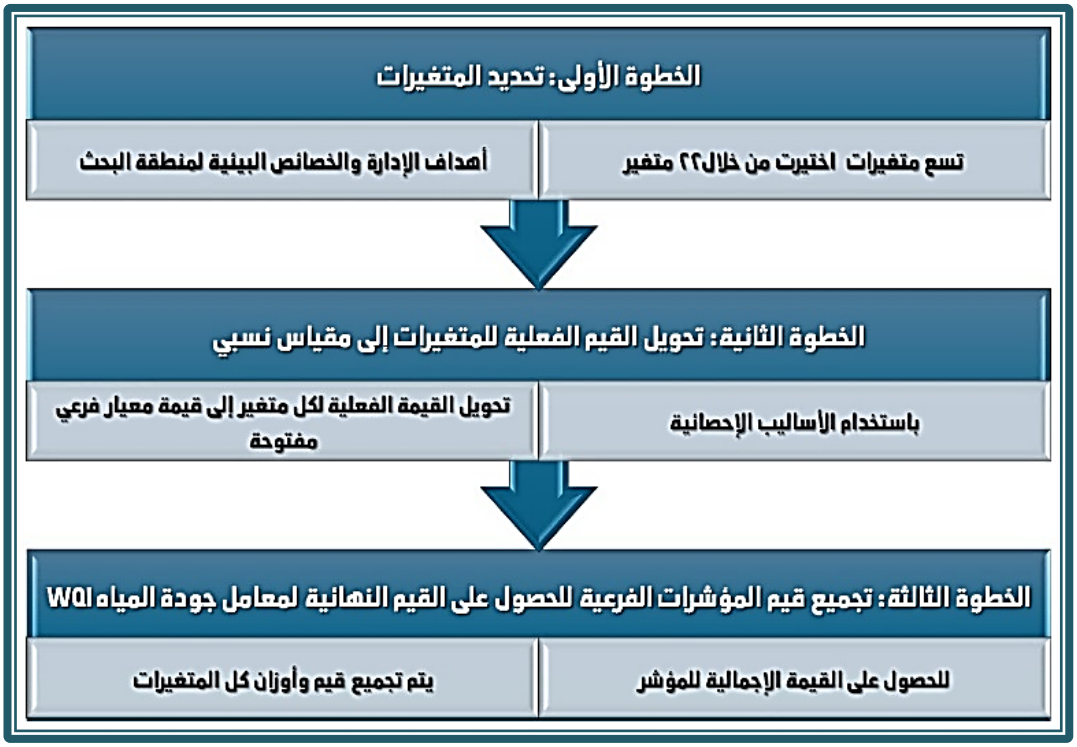
م	اسم المعامل	الاستخدام	عدد المتغيرات	المصدر
١	مؤشر جودة المياه التابع لمؤسسة الصرف الصحي الوطنية الأمريكية (NSFWQI)	يستخدم لقياس جودة المياه لاستخدامات الشرب والاستخدامات المنزلية وأغراض الري.	٩	Oliveira et al., 2019
٢	ومؤشر جودة المياه التابع لمجلس وزراء البيئة الكندي (CCMEWQI)	يستخدم لقياس مدى ملائمة المسطحات المائية لدعم الحياة المائية.	٧	Kizar, 2018
٣	مؤشر جودة المياه في ولاية أوريغون (OWQI)	يستخدم لقياس جودة المياه للسباحة والصيد وإدارة المجاري المائية	٩	Darvishi et al., 2016
٤	مؤشر الوزن الحسابي لجودة المياه (WAWQI)	يستخدم لقياس درجة نقاء المياه المعالجة	٩	Jena et al., 2013

المصدر: إعداد الباحثة.

ثالثاً: منهجية تطوير مؤشر تقييم جودة المياه السطحية في مصر:

بعد الاطلاع على كافة المحاولات السابقة لإيجاد طريقة يمكن من خلالها تقييم جودة نوعية المياه كما هو موضح بالجدول (٢)، وبعد الوقوف على كافة أنوع مؤشرات تقييم جودة المياه والأغراض المستخدمة فيها تلك المحاولات وكذلك المزايا والعيوب الخاصة بكل مؤشر فقد قام الباحثة باختيار مؤشر جودة المياه (WQI) الخاص بهيئة المياه والصرف الصحي الأمريكية والعمل على تطويره ليتناسب مع المعايير والضوابط المصرية لتقييم جودة مياه الشرب وذلك لكونه أقرب المؤشرات التي تضم متغيرات يجب الاعتماد عليها في تقييم جودة نوعية المياه وهي الأكسجين الحيويBOD، والأكسجين الذائبDO، والنترات (NO3)، وإجمالي الفوسفات (PO_4)، ودرجة الحرارة، والعكارة، وإجمالي المواد الصلبة (TDS)، ودرجة الحموضة، والقولونيات البرازية (FC).

ويمكن شرح الخطوات المتبعة في تطوير معامل للتقييم الجغرافي لجودة المياه السطحية (مياه نهار النيل) في مصر، حيث قام الباحثة بالعديد الخطوات التي تحولت فيما بعد إلى مراحل يمكن الاعتماد عليها في تطوير مؤشر تقييم جودة المياه بشكل أساسي كما هو موضح بالشكل (١):



المصدر: إعداد الباحثة.

شكل (١) خطوات إعداد مؤشر جودة مياه الشرب (WQI)

١- تحديد متغيرات قياس جودة المياه:

فقد تم اختيار المتغيرات المستخدمة في قياس جودة المياه بناءً على أهداف الإدارة والخصائص البيئية لمنطقة الدراسة، حيث تم استخدام ٢٣ متغير نظرًا لأن لها تأثيرًا كبيرًا على جودة المياه وهي مقسمة إلى:

أ- خواص طبيعية (فيزيائية) تؤثر بشكل مباشر على جودة نوعية المياه وتضم كل من: درجة الحرارة واللون والطعم والرائحة والعكارة (وحدة NTU) والرقم الهيدروجيني (PH).

ب- العناصر الكيميائية العضوية مثل: الأكسجين الذائب (DO) ملجم/لتر، والأكسجين الحيوي (BOD5) ملجم/لتر، الأكسجين الكيميائي (COD) ملجم/لتر.

ج- العناصر الكيميائية غير عضوية والتي لها تأثير على الاستساغة والاستخدامات المنزلية مثل: الأملاح الذائبة (TDS) ملجم/لتر، والأمونيا (NH3) ملجم/لتر، والنترات (NO3) ملجم/لتر والنيتريت (NO2) ملجم/لتر.

د- العناصر الكيميائية "العناصر الثقيلة" ذات التأثير على الصحة العامة وتضم كل من: والنحاس (Cu) ملجم/لتر، الرصاص (Pb) ملجم/لتر، والكاديوم (Cd) ملجم/لتر، والنيكل (Ni) ملجم/لتر.

هـ- العناصر العضوية ذات التأثير على الصحة العامة وتسبب الأمراض "الملوثات الميكروبيولوجية" وتضم: بكتيريا القولون الكلية (خلية/ ١٠٠مل) Total Coliform، البكتريا القولونية البرازية (خلية/ ١٠٠مل)، البكتريا السبحية البرازية (خلية/ ١٠٠مل) Fecal streptococci Fecal Coliform، السالمونيلا Salmonella Sp (خلية/ ١٠٠مل)، الشيجيلاShigella Sp (خلية/ ١٠٠مل)، الإشريكية القولونية E- coli (خلية/ ١٠٠مل).

٢- تحويل القيم الفعلية للمتغيرات إلى مقياس نسبي:

وفي هذه المرحلة تم تحويل القيم الخام لجميع المتغيرات من صورتها الأولية (بيانات خام) إلى مقياس مشترك مقسم إلى خمس لجودة المياه هي: المياه الممتازة وهي المياه التي يبلغ مستوى جودتها ٩١- ١٠٠٪، والمياه الجيدة وهي المياه التي يبلغ مستوى جودتها ٧١- ٩٠٪، والمياه متوسطة الجودة وهي المياه التي يبلغ مستوى جودتها٥١- ٧٠٪، والمياه الصالحة إلى حد ما وهي المياه التي يبلغ مستوى جودتها ٢٦- ٥٠٪، والمياه غير الصالحة وهي المياه التي يبلغ مستوى جودتها صفر-٢٥٪، ثم تم وضع حدود دنيا وقصوى لقيم كل متغير في كل فئة بهذا المقياس (جدول ٣).

جدول (٣) مؤشرات معامل تحديد جودة مياه الشرب المقترح وأوزانها النسبية

نوعية التحليل	المؤشر		الحدود المسموح بها(***)	الوزن النسبي %	المقياس النسبي لقيم المتغيرات وفئات جودة المياه الخاصة بها				
					مياه ممتازة ٩١- ١٠٠٪	مياه جيدة ٧١- ٩٠٪	مياه متوسطة الجودة ٥١- ٧٠٪	مياه صالحة إلى حد ما ٢٦- ٥٠٪	مياه غير صالحة ٠-٢٥
الخواص الفيزيائية	١- درجة الحرارة		صفر-٤٠	٥	٢٠-٢٥	٢٥-٣٠	٣٠-٤٠	أقل من ٢٠	أعلى من ٤٠
	٢- اللون		معدوم	٢	معدوم	معدوم	معدوم	معدوم	لها لون غير مقبول
	٣- الطعم		مقبول	٢	بلا طعم تماماً	بلا طعم تماماً	بلا طعم تماماً	مقبول	لها طعم غير مقبول
	٤- الرائحة		معدومة	٢	معدومة	معدومة	معدومة	معدومة	لها رائحة غير مقبولة
	٥- العكارة		١ وحده (NTU)	٤	صفر	٠,٢٥	٠,٥ وحدة	١ وحدة	أعلى من ١ وحدة NTU
	٦- الرقم الهيدروجيني (PH) بالوحدة		٦,٥-٨,٥ وحدة	٤	٧	٦,٥-٧ ٧- ٧,٥	٧,٥-٨	٨- ٨,٥	أقل من ٦,٥ أو أكثر من ٨,٨
الخصائص الميكروبيولوجية	١- بكتيريا القولون الكلية (خلية/ ١٠٠مل)		أقل من أو يساوي٢	٥	خالية تماماً	١-٠	١,٥ -١	٢-١,٥	أكثر من ٢
	٢- البكتريا القولونية البرازية (خلية/ ١٠٠مل)		خالية تماماً	٥	خالية تماماً	خالية تماماً	خالية تماماً	خالية تماماً	من ١ فأكثر
	٣- البكتريا السبحية البرازية (خلية/ ١٠٠مل)		خالية تماماً	٥	خالية تماماً	خالية تماماً	خالية تماماً	خالية تماماً	من ١ فأكثر
	٤- السالمونيلا Salmonella sp (خلية/ ١٠٠مل)		خالية تماماً	٧	خالية تماماً	خالية تماماً	خالية تماماً	خالية تماماً	من ١ فأكثر
	٥- الشيجيلا Shigella sp (خلية/ ١٠٠مل)		خالية تماماً	٨	خالية تماماً	خالية تماماً	خالية تماماً	خالية تماماً	من ١ فأكثر
	٦- الإشريكية القولونية E coli		خالية تماماً	٨	خالية تماماً	خالية تماماً	خالية تماماً	خالية تماماً	من ١ فأكثر
الخصائص الكيميائية	١- المواد الصلبة الذائبة (TDS) ملجم/لتر		٣٠٠-١٥٠٠	١٠	٣٠٠- ٦٠٠	٦٠٠-٩٠٠	٩٠٠-١٢٠٠	١٢٠٠- ١٥٠٠	أعلى من ١٥٠٠
	٢- الأكسجين الذائب (DO) ملجم/لتر		لا يقل عن ٥	٥	٨	٧ – أقل من ٨	٦- أقل من ٧	٥- أقل من ٦	أقل من ٥
	٣- الأكسجين الحيوي (BOD_5) ملجم/لتر		لا يزيد على ٦	٥	صفر- أقل من ١,٥	١,٥- أقل من ٣	٣- أقل من ٤,٥	٤,٥- ٦	أعلى من ٦
	٤- الأكسجين الكيميائي (COD) ملجم/لتر		لا يزيد على ١٠	٥	صفر – أقل من ٢,٥	٢,٥- أقل من ٥	٥- أقل من ٧,٥	٧,٥- ١٠	أعلى من ١٠
	٥- النيتريت (NO_2) ملجم/لتر		لا يزيد عن ٠,٢	٥	صفر- أقل من ٠,٠٥	٠,٠٥- أقل من ٠,١	٠,١ – أقل من ٠,١٥	٠,١٥-٠,٢	أعلى من ٠,٢
	٦- النترات (NO_3) ملجم/لتر		لا يزيد عن ٤٥	٣	صفر- أقل من ١٠	١٠- أقل من ٢٠	٢٠- أقل من ٣٠	٣٠ – أقل من ٤٥	أعلى من ٤٥
	٧- الأمونيا (NH_3) ملجم/لتر		لا يزيد عن ٠,٥	٢	صفر- أقل من ٠,١	٠,١- أقل من ٠,٢	٠,٢- أقل من ٠,٣	٠,٣-٠,٥	أعلى من ٠,٥
	٨- النحاس (ملجم/ لتر)	العناصر الثقيلة	لا يزيد عن ٢	٢	خالية تماماً	٠- أقل من ٠,٥	٠,٥- أقل من ١	١- أقل من ١,٥	٢-١,٥
	٩- النيكل (ملجم/ لتر)		لا يزيد عن ٠,٠٢	٢	صفر- أقل من ٠,٠٠٥	صفر- أقل من ٠,٠٠٥	٠,٠٠٥- أقل من ٠,٠١	٠,٠١ – أقل من ٠,٠١٥	٠,٠٢-٠,٠١٥
	١٠- الرصاص (ملجم/ لتر)		لا يزيد عن ٠,٠١	٢	صفر- أقل من ٠,٠٢٥	صفر- أقل من ٠,٠٠٢٥	٠,٠٠٢٥- أقل من ٠,٠٠٥	٠,٠٠٥ – أقل من ٠,٠٠٧٥	٠,٠١-٠,٠٠٧٥
	١١- الكادميوم (ملجم/ لتر)		لا يزيد عن ٠,٠٠٣	٢	صفر- أقل من ٠,٠٠٠٧٥	٠- أقل من ٠,٥	٠,٥- أقل من ١	١- أقل من ١,٥	٢-١,٥
الإجمالي				١٠٠					

المصدر: إعداد الباحثة.

(***) وفقاً لقرار وزير الصحة والسكان رقم (٤٥٨) لسنة ٢٠٠٧م، بشأن المعايير والمواصفات الواجب توافرها فى المياه الصالحة للشرب والإستخدام المنزلى.

٣- عمل أوزان نسبية للمتغيرات:

تم تقدير الأوزان النسبية (المرجحة) لكل متغير وفقًا لأهميته وتأثيره على جودة المياه، وتم الاعتماد في اعطاء الأوزان بناءً على أهمية المتغير ومدى تأثيره على جودة المياه، وعلى الحدود المسموح بها ضمن المعايير والمواصفات الواجب توافرها في المياه الصالحة للشرب والاستخدام المنزلي من قبل وزارة الصحة والسكان المصرية عام ٢٠٠٧م، ويوضح جدول (٣) الأوزان النسبية للمتغيرات.

٤- حساب القيمة النهائية لمعامل جودة المياه WQI:

لحساب القيمة النهائية لمعامل جودة المياه يتم جمع الدرجة المخصصة لكل المتغيرات، ويتم الحصول على الدرجة الخاصة بكل متغير من خلال:

- تحويل القيمة الخام للمتغير إلى نسبة مئوية باستخدام المقياس النسبي لقيم المتغيرات.
- يتم ضرب القيمة الناتجة من الخطوة السابقة في الوزن النسبي للمتغير للحصول على قيمة المتغير النهائية بالمعامل.
- يتم جمع القيم النهائية لكل المتغيرات ثم قسمة الإجمالي على ١٠٠ للحصول على القيمة النهائية للمعامل.
- ثم تم تحديد فئة جودة المياه من خلال القيمة النهائية للمعامل كما هو موضح بالجدول (٤) الآتي:

جدول (٤) حدود وفئات معامل جودة المياه

اللون	القيمة الرقمية للمعامل	التعريف
أحمر	٠- ٢٥	سيئة جداً
برتقالي	٢٦- ٥٠	سيئة
أصفر	٥١- ٧٠	متوسطة
أخضر	٧١- ٩٠	جيدة
أزرق	٩١- ١٠٠	ممتازة

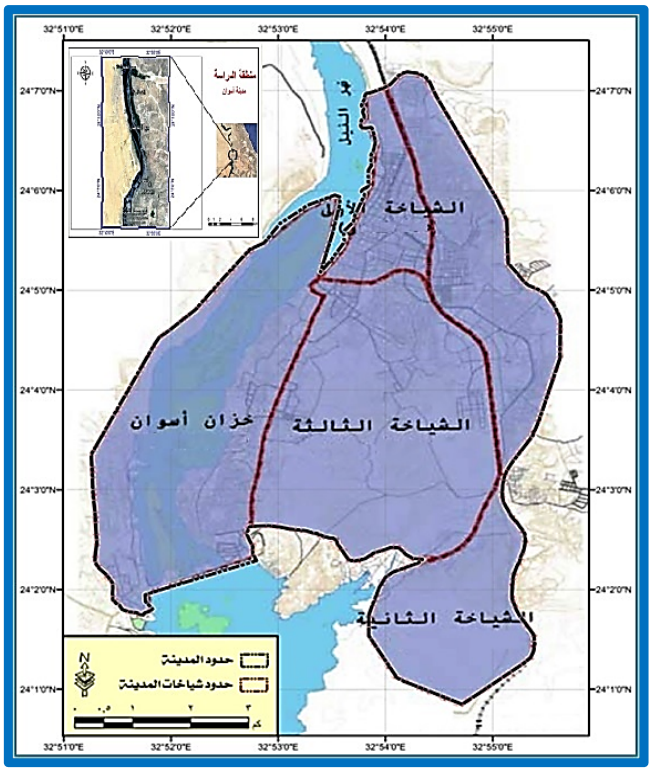
المصدر: إعداد الباحثة، عن: (Roozbahani MM, Boldaji MN., 2013, P.P. 628–632) بتصرف.

رابعاً: تطبيق معامل جودة المياه على مدينة أسوان:

١- التعريف بمنطقة الدراسة:

مدينة أسوان هي عاصمة محافظة أسوان إحدى محافظات إقليم جنوب الصعيد بمصر، وتقع على الضفة الشرقية لنهر النيل بين دائرة عرض ٠١" ٥٨ ' ٢٣° كأقصى امتداد للمدينة من ناحية الجنوب وبالتحديد عند منطقة السد العالي ومطار أسوان، ودائرة عرض ٠٨" ٢٠ ' ٢٤° شمالاً وهي تعد أقصى نقطة لامتداد المدينة من ناحية الشمال بالتحديد إلى الجنوب من مدينة أسوان الجديدة والتي تبعد عنها مسافة ١٢كم، كما تمتد المدينة بين خطي طول ٢٢" ٥٠ ' ٣٢°، و٠٧" ٥٥ ' ٣٢° شرقاً، وتبعد عن مدينة القاهرة بحوالي ٩٠٠ كم.

يحد المدينة من الجنوب بحيرة ناصر ومدينة أبو سمبل ومن الشمال قرية أبو الريش قبلي، ومن الشرق الهوامش الصحراوية حتى حدود محافظة البحر الأحمر ومن الغرب الهوامش الصحراوية حتى الحدود مع محافظة الوادي الجديد، كما تنحدر المدينة انحدار شديد من الغرب إلى الشرق حيث يختفي السهل الفيضي ويظهر في شريط ضيق للغاية عند الحدود الجنوبية للمدينة، وقد نتج عن هذا الضيق الشديد للسهل الفيضي وتضرس الموضع أن جعل العمران داخل المدينة منفصل غير متصل حتى أنه ظهر متسلقاً للحافة حتى وصل إلى منسوب ١٥٠ متر شرق المدينة، وتبلغ المساحة الإجمالية للمدينة نحو ٦١.٥٩كم٢ أي ما يمثل نحو ٠.١٠٤٪ من إجمالي المساحة الكلية لمركز أسوان والبالغة ٥٩٤٩٩ كم٢و ٠.٠٩٨٪ من إجمالي مساحة المحافظة البالغة ٦٢٧٢٦ كم٢ عام ٢٠٢٠م (محافظة أسوان "الدليل الإحصائي"، ٢٠٢٠، ص١٥).



المصدر: إعداد الباحثة، باستخدام برنامج Arc Gis بالاعتماد على الدليل الإحصائي لمحافظة أسوان، مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار، إدارة الإحصاء- ٢٠١٥، ص١٥.

شكل (٢) موقع مدينة أسوان وتقسيمها الإداري

وتتكون المدينة إدارياً من قسم واحد يحتوي على أربع شياخات جدول (٥) وشكل (٢)؛ الشياخة الأولى ويحدها شارع كورنيش النيل من المحكمة حتى طريق مصر أسوان الزراعي بمساحة ١١٧٢ فدان وبنسبة بلغت ٨٪ من إجمالي المدينة، والشياخة الثانية تقع شرق ترعة كيما (مصرف السيل) من بداية الحديد والصلب حتي مصنع كيما بمساحة ٥١٩٨ فدان وبنسبة بلغت ٣٥.٤٪ من إجمالي المدينة، والشياخة الثالثة وتمتد من منطقة كسر الحجر حتى مصنع كيما

بمساحة ٢٧٥٨ فدان وبنسبة بلغت ١٨.٨٪ من إجمالي المدينة، وأخيراً الشياخة الرابعة (شياخة خزان أسوان) وتضم المناطق الواقعة على النيل مباشرة شرقاً وغرباً وتبلغ مساحتها ٥٥٣٧ فدان وبنسبة بلغت ٣٧.٨٪ من إجمالي المدينة.

جدول (٥) التقسيم الإداري لمدينة أسوان عام ٢٠١٥م

الشياخة	المساحة الكلية (فدان)	المساحة الكلية (كم٢)	% من إجمالي المدينة
الشياخة الأولي	١١٧٢	٤.٧٤	٨.٠
الشياخة الثانية	٥١٩٨	٢١.٠٤	٣٥.٤
الشياخة الثالثة	٢٧٥٨	١١.١٦	١٨.٨
الشياخة الرابعة	٥٥٣٧	٢٢.٤١	٣٧.٨
الإجمالي	١٤٦٦٥	٦١.٥٩	١٠٠.٠٠

المصدر: إعداد الباحثة باستخدام برنامج ARC MAP 10.4.1.

٢- الخصائص البشرية لمدينة أسوان خلال الفترة (١٩٧٦-٢٠٢٣م):

تمثل مدينة أسوان حاضرة محافظة أسوان، وهي تضم أكبر تجمع بشري بها بعدد سكان يبلغ ٤١٣٩٧٩ نسمة عام ٢٠٢٣م، أي نحو ٥٥.٨٦٪ من جملة عدد سكان حضر المحافظة والبالغ ٧٤١١٠٧ نسمة، كما يمثل سكانها نحو ٢٥.٤٣٪ من جملة سكان المحافظة البالغ عددهم ١٦٢٨٠٨٥ نسمة (الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، ٢٠١٧، ص٣٣)، وبدراسة التغيير في الحجم السكاني للمدينة خلال الفترات الست الأخيرة (١٩٧٦- ٢٠٢٣م) والتي يوضحها الجدول (٦) والشكل (٣) اتضح أن سكان مدينة أسوان في تزايد مستمر وأن معدلات نموهم تتسم بالآتي:

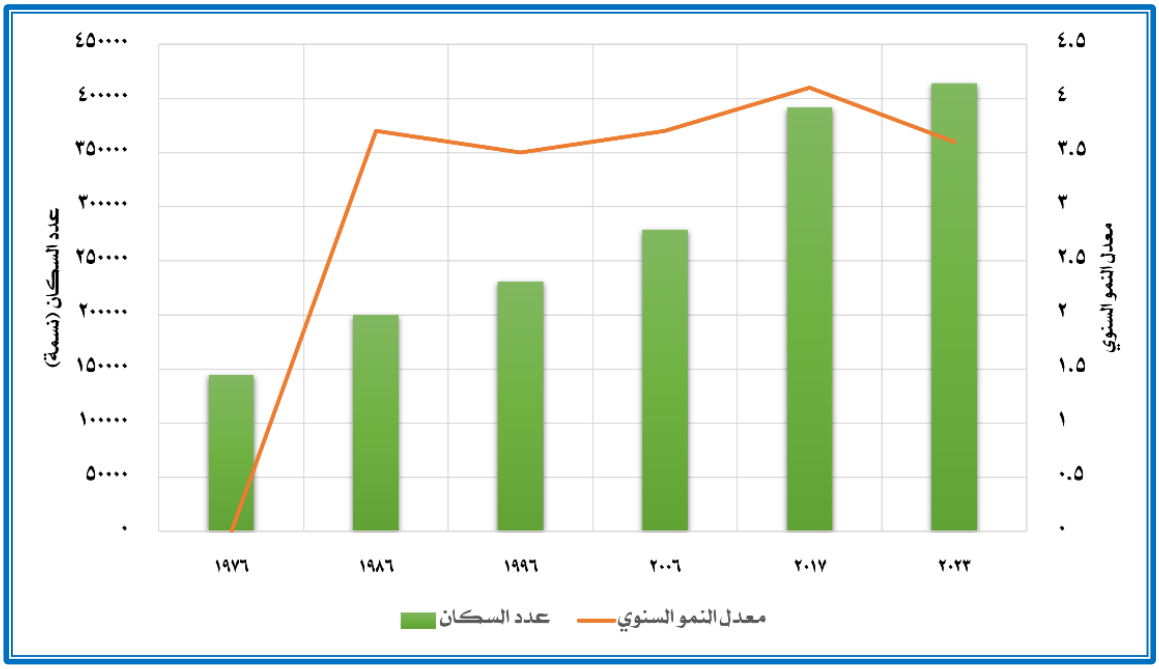
- تراوح معدل النمو السنوي لسكان مدينة أسوان خلال الفترة من ١٩٧٦- ٢٠٢٣م ما بين ٣.٥- ٤.١٪ وهي زيادة كبيرة تفوق مثيلتها على مستوى الجمهورية ويرجع السبب في تلك الزيادة إلى الزيادة غير الطبيعية خاصة الهجرة الداخلية والخارجية منها وذلك بهدف العمل بالمشروعات القومية الضخمة التي شهدتها المدينة خلال فترة الستينيات وما أعقبها من الانتهاء من بناء السد العالي في ٢١ يوليو ١٩٧٠م.

- في حين بلغ معدل النمو السنوي للمدينة خلال الفترة من ٢٠٠٦- ٢٠١٧م نحو٣.٧٪، وهي أعلى زيادة حققتها المدينة خلال مراحل نموها السكاني ويعود السبب في ذلك إلى استكمال الأنشطة التنموية بالمدينة خاصة الخدمي منها والذي ارتبط بإنشاء جامعة أسوان واستقطاب الطلاب وأعضاء هيئة التدريس واستكمال مشروعات البنية التحية من تطوير ومد لشبكات الطرق ومشروعات الإسكان وغيرها من الطفرات التي شكلت عنصر جذب سكاني بالمدينة.

جدول (٦) تطور أعداد ومعدلات نمو سكان مدينة أسوان خلال المدة (١٩٧٦- ٢٠٢٣م)

السنة	١٩٧٦	١٩٨٦	١٩٩٦	٢٠٠٦	٢٠١٧	٢٠٢٣
عدد السكان	١٤٤٦٥٤	١٩٩٨٩٦	٢٣١١١٣	٢٧٨٩٥٥	٣٩١٤٤٠	٤١٣٩٧٩
مقدار الزيادة	–	٥٥٢٤٢	٣١٢١٧	٤٧٨٤٢	١١٢٤٨٥	٢٢٥٣٩
معدل الزيادة/ سنة	–	٥٥٢٤.٢	٣١٢١.٧	٤٧٨٤.٢	١١٢٤٨.٥	٣٧٥٦.٥
معدل النمو السنوي	–	٣.٧	٣.٥	٣.٧	٤.١	٣.٦

المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على بيانات الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء تعدادات ١٩٧٦- ٢٠١٧م، صفحات متنوعة، والجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، تقدير عدد السكان المصريين في الأقسام والمراكز، في ١/١/ ٢٠٢٣م، ص ٩٥.



المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على بيانات جدول (٦).

شكل (٣) تطور أعداد ومعدلات النمو السنوي لسكان مدينة أسوان خلال المدة (١٩٧٦-٢٠٢٣م)

٣- خصائص مياه نهر النيل بمدينة أسوان:

تعتبر بحيرة ناصر مصدر المياه السطحية التي ترد لمدينة أسوان عبر نهر النيل بعد خروجه من السد العالي وخزان أسوان، إذ يتلقى نهر النيل ٢٠٠ مليون م٣/ يوم من المياه العذبة من بحيرة السد العالي (Soltan, 1995, P.459) ومن الملاحظ أن نوعية المياه في بحيرة ناصر جيدة وأن النسب بصفة عامة تتوافق مع معايير جودة المياه السطحية المنصوص عليها في القانون رقم ٤٨/ ١٩٨٢م، وبتطبيق معامل جودة المياه المقترح على المياه السطحية بمدينة أسوان جدول (٧) اتضح الآتي:

– جاءت نوعية المياه بمدينة أسوان ضمن الفئتين المتوسطة بالموقع الأول حيث بلغت قيمة معامل جودة نوعية المياه بها (٥٦.٧)، وهي مياه متوسطة يمكن الاعتماد عليها في العديد من الأغراض كالري والاستخدامات المنزلية، ولكنها تحتاج إلى عمليات معالجة وتعقيم مستمرة، وفئة المياه السيئة حيث بلغت قيمة معامل جودة نوعية المياه بها (٤٥.٢)، ويرجع السبب في تدهور نوعية المياه بالموقع الثاني إلى وجود مصب خور السيل (مصرف السيل) أحد أبرز البؤر المشتعلة بالمدينة بعد مصرفي الجناين وبربا بمركز كوم أمبو، التي تهدد الأنظمة البيئية بالمدينة وعلى رأسها نهر النيل هذا بالإضافة إلى ما تتعرض له مياه النهر من مصادر التلوث المختلفة والتي تخفض كثيراً من جودة نوعيتها، ولعل أهم هذه المصادر بعد خور السيل الاستخدامات المختلفة بجزر النيل بمدينة أسوان، في حين جاءت مياه نهر النيل بمنطقة بحيرة ناصر ضمن الفئة الجيدة حيث بلغت قيمة معامل جودة نوعية المياه بها (٨١.٤) وهي نسبة مرتفعة ويرجع السبب في ذلك إلى انخفاض أعداد السكان والكثافة السكانية بمنطقة البحيرة، كما أنها تعد من المناطق الواعدة في عمليات التنمية الشاملة.

وفيما يأتي عرض لنتائج تحليل خصائص مياه نهر النيل قبل دخولها المدينة (مياه بحيرة ناصر) ومياه نهر النيل بالمدينة في الموقعين (١) و(٢) والتي تم تحديدهم قبل وبعد نقطة مصب خور السيل مباشرة أولهما قبل المصب بـ ١٤١م (موقع ١)، وثانيهما بعد المصب بـ ٢٤٥م (موقع ٢)، وهي كالآتي:

– بتحليل بيانات جدول (٧) اتضحت الزيادة الكبيرة في كل من العدد الكلي لبكتريا القولون وبكتريا القولون البرازية – والتي تعد أكثر المؤشرات على التلوث الميكروبيولوجي للمياه– في مياه مدينة أسوان عنها في مياه البحيرة وخاصة في الموقع الثاني بعد منطقة مصب مخر السيل.

– كما لوحظ الانخفاض الشديد في قيمة الأكسجين الذائب في مياه مدينة أسوان عنها في مياه البحيرة وخاصة في الموقع الثاني مما يدل على تلوث مياه مدينة أسوان بالمواد العضوية، كذلك زيادة تركيزات كل من الأمونيا والنحاس – وهي مواد غير عضوية لها تأثير واضح على الاستساغة والصحة العامة للإنسان، وذلك في مياه مدينة أسوان عنها في مياه البحيرة وخاصة في الموقع الثاني.

ولتقييم جودة نوعية المياه بالمدينة تم مقارنة جميع الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية بالمعايير والمواصفات الواجب توافرها في المياه الصالحة للشرب والاستخدام المنزلي المنصوص عليها في قرار وزير الصحة والسكان رقم (٤٥٨) لسنة ٢٠٠٧م، والمواصفات القياسية العالمية لمياه الشرب (WHO, 2015)، وقد جاءت النتائج كالآتي:

جدول (٧) نتائج تطبيق مؤشرات معامل تحديد جودة مياه الشرب المقترح بمدينة أسوان

نوعية التحليل	المؤشر		الوزن النسبي %	القيم الخام للمتغيرات			الوزن النسبى لقيم المتغيرات			القيمة النهائية للمتغير بالمعامل		
				موقع ١ ميدنة أسوان	موقع ٢ ميدنة أسوان	موقع ٣ بحيرة ناصر	موقع ١ ميدنة أسوان	موقع ٢ ميدنة أسوان	موقع ٣ بحيرة ناصر	موقع ١ ميدنة أسوان	موقع ٢ ميدنة أسوان	موقع ٣ بحيرة ناصر
الخواص الفيزيائية	١- درجة الحرارة		٥	٣٢	٣٦	٣٠	٦٨	٦٠	٧٠	٣,٤	٣	٣,٥
	٢- اللون		٢	معدوم	لها لون غير مقبول	معدوم	٩٠	٨٠	٩٥	٤,٥	٤	٤,٧٥
	٣- الطعم		٢	بلا طعم تماماً	لها طعم غير مقبول	بلا طعم تماماً	٨٠	٢٥	٩٠	٤	١,٢٥	٤,٥
	٤- الرائحة		٢	معدومة	لها رائحة غير مقبولة	معدومة	٨٥	١٥	٩٥	٤,٢٥	٠,٧٥	٤,٧٥
	٥- العكارة		٤	١	٢	٠,٥	٩٠	٢٢	٩٥	٤,٥	١,١	٤,٧٥
	٦- الرقم الهيدروجيني (PH) بالوحدة		٤	٨,٠١	٧,٨٢	٨,٥٤	٥٠	٧٠	٢٥	٢,٥	٣,٥	١,٢٥
الخصائص الميكروبيولوجية	١- بكتيريا القولون الكلية (خلية/ ١٠٠مل)		٥	٣٥٠	١٦٠٠	١٥٠	٧	١	١٥	٠,٣٥	٠,٠٥	٠,٧٥
	٢- البكتريا القولونية البرازية (خلية/ ١٠٠مل)		٥	٥٠	٢٧٥	٨٥	١٠	٢	١٥	٠,٥	٠,١	٠,٧٥
	٣- البكتريا السبحية البرازية (خلية/ ١٠٠مل)		٥	٧٢	١١٠	صفر	٥	٢	٩٥	٠,٢٥	٠,١	٤,٧٥
	٤- السالمونيلا Salmonella sp (خلية/ ١٠٠مل)		٧	٦٥	٤٣	صفر	٢٠	١٧	٩٧	١	٠,٨٥	٤,٨٥
	٥- الشيجيلا Shigella sp (خلية/ ١٠٠مل)		٨	٤٤	٩٨	صفر	١٠	٤	٩٨	٠,٥	٠,٢	٤,٩
	٦- الإشريكية القولونية E coli		٨	٧٨	١١٥	صفر	١٣	٢	٩٨	٠,٦٥	٠,١	٤,٩
الخصائص الكيميائية	١- المواد الصلبة الذائبة (TDS) ملجم/لتر		١٠	١٦٢,٢	١٦٥,٧	١٨٥,٤٣	١٧	١٥	٢٠	٠,٨٥	٠,٧٥	١
	٢- الأكسجين الذائب (DO) ملجم/لتر		٥	٢,٠٤	١,٩٢	٤,٥٦	١٨	١٤	٢٢	٠,٩	٠,٧	١,١
	٣- الأكسجين الحيوي (BOD_5) ملجم/لتر		٥	٠,٨٣	١,٠٦	٠,٥	٩٣	٩١	٩٨	٤,٦٥	٤,٥٥	٤,٩
	٤- الأكسجين الكيميائي (COD) ملجم/لتر		٥	١,٢	٢,٤	٠,٥	٩٦	٩٣	٩٨	٤,٨	٤,٦٥	٤,٩
	٥- النيتريت (NO_2) ملجم/لتر		٥	٠,٠١٢	٠,٠٠٩	٠,٠١٠٨	٩٣	٩٦	٩٢	٤,٦٥	٤,٨	٤,٦
	٦- النترات (NO_3) ملجم/لتر		٣	٠,١٢٨	٠,٠٩٧	١,١٨٥	٩٣	٩٥	٩٢	٤,٦٥	٤,٧٥	٤,٦
	٧- الأمونيا (NH_3) ملجم/لتر		٢	٠,٠٩١	٠,٠٤٣	٠,٠٠٦٥	٩٢	٩٦	٩٩	٤,٦	٤,٨	٤,٩٥
	٨- النحاس (ملجم/ لتر)	العناصر الثقيلة	٢	٠,٢٦	٠,٤١	٠,١٢٣	٩٥	٩٣	٩٨	٤,٦٥	٤,٩	٤,٩
	٩- النيكل (ملجم/ لتر)		٢	١,٨١	١,٩	٠,٠٠٤	٣	٢	٩٣	٠,١	٤,٦٥	٤,٦٥
	١٠- الرصاص (ملجم/ لتر)		٢	٢,٦٣	٢,٥٩	٠,٠٢١	٣	٤	١٠	٠,٢	٠,٥	٠,٥
	١١- الكادميوم (ملجم/ لتر)		٢	١,٠٤	٠,١٣	٠,٠٠٧	٢	٤	٢١	٠,٢	١,٠٥	١,٠٥
الإجمالي			١٠٠			قيمة المعامل				٥٦,٧	٤٥,٢	٨١,٦

المصدر: إعداد الباحثة، من خلال نتائج تحليل العينات التي تم جمعها أثناء الدراسة الميدانية عام ٢٠٢٢م.

(أ) الخصائص الفيزيائية:

أسفرت نتائج التحليلات الفيزيائية لعينات المياه السطحية بمدينة أسوان عن الآتي:

- تعد درجة الحرارة واحدة من اهم العوامل المؤثرة الفيزيائية المؤثرة على نشاطات وفعاليات الانزيمات الميكروبية وانقسامها وبقاء الكائنات الدقيقة اذ ان انخفاض درجة الحرارة يسبب انخفاض نمو الخلايا والنشاط الانزيمي كما يتوقف النشاط الايضي عند درجة الانجماد، اما عند ارتفاع الحرارة عن الحدود المثلى سيزداد معدل تحطيم الانزيمات وتتغير طبيعة البروتينات ومن الممكن ان تتعرض الى المسخ (Al-Naiemy, R. W.Y., 2013)، تتميز المياه السطحية بقلة مدى التغيير في درجات حرارتها وهذا ما تم ملاحظته في المياه المدروسة اذ تراوحت درجات الحرارة ما بين ٣٠- ٣٦م° وهي بذلك تعتبر من ضمن المياه الدافئة Thermal water لتجاوز درجة حرارة المياه ١٨ م°. وهذا الارتفاع النسبي بدرجات الحرارة سيؤدي الى زيادة نشاط الكائنات الدقيقة

الموجودة في المياه للقيام بنشاطات وحدوث العديد من التفاعلات الكيميائية للمياه وبقائها لفترة اطول.

– كما تميزت المياه المدروسة بصفائها بشكل عام فهي معدومة اللون والطعم والرائحة تمام في كل من الموقع رقم (١) ومياه بحيرة ناصر، بينما ظهر لها لون غير مقبول وطعم ورائحة غير مقبولين بالموقع رقم (٢) وهذا ما أكده نتائج تحليل مؤشر العكارة والذي جاء أعلي من الحدود المسموح بها وهي واحد وحده (UNT)، في حين تراوحت قيم الأس الهيدروجيني (PH) بمياه نهر النيل بين ٧.٨٢ – ٨.٥٤ وهو مؤشر له دور مهم في تحديد مدى حموضة وقاعدية وسط التفاعل للمياه وعند مقارنة نتائج الدراسة مع نتائج مواصفات منظمة الصحة العالمية والمواصفات القياسية المصرية، وجد أن المياه تميل إلى القلوية وهي صالحة كمياه شرب ومناسبة لدعم المنظومة البيئية المائية.

(ب) الخصائص الكيميائية:

– كما أسفرت نتائج التحليلات الكيميائية عن تأثر مياه نهر النيل بمدينة أسوان بالمصادر المختلفة لمياه الصرف الصحي، وأوضحت النتائج أن التخلص من مياه الصرف الصحي يؤثر على الخصائص الكيميائية للمياه، حيث سجلت زيادات في الطلب على الأكسجين الحيوي (BOD)، بينما سجلت انخفاضات في الخصائص الأخرى مثل الأكسجين المذاب (DO)، خاصة في الموقع الثاني بالقرب من مصب مصرف السيل، كما ارتفعت قيم الأمونيا (NH_3) والنتريت (NO_2)، وفيما يلي شرح لكل مؤشر كالآتي.

– جاءت قيم كل من الأكسجين الكيمائي (COD) والأكسجين الحيوي الممتص (BOD_5) أعلى وبوضوح في الموقع الثاني (٢,٤ ملجم/ لتر، و١,٠٦ملجم/ لتر) عنها في الموقعين الأول ومياه بحيرة ناصر (١.٢ ملجم/ لتر، ٠.٨٣ ملجم/ لتر) على التوالي للموقع الأول (٠.٥ ملجم/ لتر) لمياه بحيرة ناصر لكل منهما، في حين لوحظ انخفاض في قيمة الأكسجين الذائب (DO) بالموقع الثاني (١.٩٢ ملجم/ لتر) عن ما هو عليه بالموقعين الأول ومياه بحيرة ناصر (٢.٤–٤.٥٦) على الترتيب، وهذا دليل واضح على تلوث مياه الموقع الثاني بمخلفات مياه الصرف الصحي لمخر السيل والتي تصرف مباشرة إلى نهر النيل مما يتسبب في انخفاض المحتوي الكلي من الأكسجين الذائب (DO) بمياه النهر في الموقع الثاني مقارنة بالموقع الأول حيث تستهلك البكتريا كميات كبيرة من الأكسجين للتخلص من الحمولة العالية من الملوثات العضوية مما يؤدي إلى رفع قيم الأكسجين الحيوي الممتص (BOD_5) بواسطة تلك الكائنات.

-كما لوحظ وجود تناقص واضح في العناصر الكيميائية غير العضوية وهي النيتريت (NO_2)، والنترات (NO_3)، والأمونيا الأمونيا (NH_3) وهي الصورة السائلة للنيتروجين، فقد بلغت قيمته ٠.٠١٢ ملجم/لتر في الموقع الأول و٠.٠٠٩ ملجم/لتر بالموقع الثاني، بينما ارتفعت بمياه بحيرة ناصر لتبلغ ٠.٠١٠٨ ملجم/لتر وأن كانت جميعها تقع ضمن الحدود المسموح بها.

- في حين بلغت قيمة النترات نحو (٠.١٢٨ ملجم/ لتر) بمياه الموقع الأول، و(٠.٠٩٧ ملجم/ لتر) بمياه الموقع الثاني وارتفعت إلى (١.١٨٥ ملجم/ لتر) بمياه بحيرة ناصر ، أما عنصر الأمونيا (NH_3) فقد بلغت قيمه ٠.٠٩١ ملجم/لتر للموقع الأول و٠.٠٤٣ ملجم/لتر للموقع الثاني، و٠.٠٠٦٥ ملجم/لتر للمياه بحيرة ناصر وهي جميعاً ضمن الحدود المسموح بها ٠.٥ ملجم/لتر، كما يمكن إرجاع السبب وراء انخفاض النيتروجين الذائب في مياه الموقع الثاني بأشكاله الثلاثة (النتريت NO_2- والنترات NO_3- والأمونيا NH_3) مقارنة بالموقع الأول إلى الانخفاض في الأنشطة البيولوجية للكائنات الحية المائية وحدوث النترته في عمود الماء بسبب وجود التلوث، كما يعزى السبب وراء ارتفاع النيتروجين الذائب (النتريت NO_2- والنترات NO_3- والأمونيا NH_3) في مياه بحيرة ناصر إلى طبيعة النشاط الاقتصادي داخل منطقة البحيرة والتي تعتمد في الأساس على الزراعات الشاطئية على شواطئ البحيرة وحول أخوارها.

- في حين تعكس المواد الصلبة الذائبة (TDS) بعض الخصائص النوعية للمياه كالملوحة، حيث تراوحت قيم تركيز المواد الصلبة الذائبة (TDS) بين (١٦٢.٢ ملجم/ لتر) بالموقع الأول، و(١٦٥.٧ ملجم/ لتر) بالموقع الثاني، و(١٨٥.٤٣ ملجم/ لتر) ببحيرة ناصر وبذلك لم تتجاوز تلك التركيزات الحدود المسموح بها لمياه الشرب حسب مواصفات منظمة الصحة العالمية والمواصفات القياسية المصرية لا تتجاوز ٣٠٠-١٥٠٠ ملجم/ لتر.

- وفيما يخص تحليل العناصر الثقيلة فقد وجد أن هناك زيادة بشكل عام في العناصر الثقيلة التي تم قياسها في مياه مدينة أسوان، فقد سجل الموقع الثاني قيم منخفضة لتركيز الكادميوم Cd (٠.١٣ملجم/ لتر) وتركيزات عالية للنحاس Cu (٠.٤١ملجم/ لتر) مقارنة بالموقع الأول (١.٠٤ملجم/ لتر- ٠.٢٦ ملجم/ لتر)، أما النيكل Ni والرصاص Pb فقد أظهرا تركيزات متقاربة في كل من الموقعين بوجة عام (١.٨١ ملجم/ لتر- ١.٩ ملجم/ لتر) و(٢.٦٣ ملجم/ لتر- ٢.٥٩ ملجم/ لتر) على الترتيب، كما جاءت تركيزات النيكل والرصاص والكادميوم في مياه كل من الموقعين أعلى من الحدود المسموح بها (٠.٠٢- ٠.٠٠١- ٠.٠٠٣ ملجم/ لتر)، ويعزى السبب في ارتفاع العناصر الثقيلة بمياه نهر النيل وخاصة الرصاص إلى ترسيب الجازولين من مراكب الصيد ومن البواخر السياحية التي تبحر بين أسوان والسودان جنوباً وبين أسوان الأقصر شمالاً،

فضلاً عن تدني القدرة النوعية لمحطات المعالجة بمدينة أسوان (كيما١، كيما٢) على تنقية مياه الصرف الصناعي – مياه صرف مصنع كيما– من مكوناتها الثقيلة والتخلص منها بشكل نهائي.

– في حين جاءت مياه بحيرة ناصر بنوعية جيدة حيث انخفضت بها قيم العناصر الثقيلة بكافة أشكالها النحاس بقيمة بلغت (٠.١٢٣ ملجم/لتر)، والنيكل بقيمة بلغت (٠.٠٠٤ ملجم/لتر)، والرصاص بقيمة بلغت (٠.٠٢١ ملجم/لتر)، والكاديوم بقيمة بلغت (٠.٠٠٧ملجم/لتر) والنسب بصفة عامة تتوافق مع معايير جودة المياه السطحية المنصوص عليها في القانون رقم ٤٨/ ١٩٨٢م.

(ج) الخصائص الميكروبيولوجية:

جاءت نتائج تحليلات الخصائص الميكروبولوجية لعينات المياه بمنطقة الدراسة وفق ملحق (١) والشكل (٤) كالآتي:

– تباينت نتائج بكتيريا القولون الكلية Total Coliform على مستوى المواقع المدروسة ما بين الزيادة والنقصان إلا أنهم جميعاً جاءت في الحدود غير المسموح بها على المستوين المحلي والعالمي، وبمقارنة نتائج الدراسة مع نتائج مواصفات منظمة الصحة العالمية والمواصفات القياسية المصرية وجد زيادة كبيرة في أعداد بكتيريا القولون الكلية Total Coliform، حيث جاءت أعدادها في الموقع الأول بنحو (٣٥٠ خلية/ ١٠٠مل) بينما بلغت أعدادها في الموقع الثاني نحو (١٦٠٠ خلية/ ١٠٠مل)، وهي زيادة كبيرة جداً تقدر بأربعة أضعاف الموقع الأول ونحو عشرة أضعاف بمياه بحيرة ناصر (١٥٠ خلية/ ١٠٠لتر)، ويمكن إرجاع السبب في هذه الزيادة من أعداد البكتيريا القولونية بمياه النهر في هذه النقطة إلى الكميات الهائلة من مياه الصرف الصحي المنزلي غير المعالج التي تصرف إلي النهر من قبل مخر السيل في هذا المكان والتي تقدر بحوالي ٥٦٠٠٠ متر^{٣}/ يوم. (Abd–el–Kader T. Ahmed ,2015, p.146)

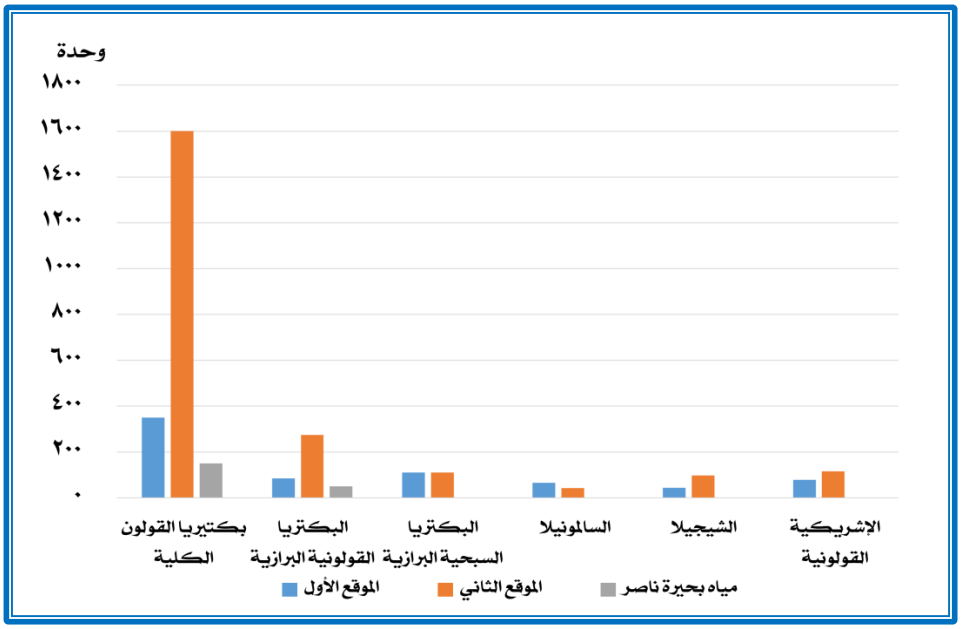
– كما تزايدت بكتريا القولون البرازية Fecal Coliform، حيث بلغت أعدادها في الموقع الثاني نحو (٢٧٥خلية/ لتر) أي حوالي خمسة أضعاف الموقع الأول والذي بلغت أعداده (٨٥ خلية/ ١٠٠مل)، بينما بلغت قيمة بكتريا القولون البرازية بمياه بحيرة ناصر نحو (٥٠ خلية/ ١٠٠مل) وهي أقل بكثر من أعداد الموقع الثاني نظراً لأنخفاض الكثافة السكانية بمنطقة البحيرة واتصال مرافقها بخدمات الصرف الصحي، حيث تعد بكتريا القولون البرازية جزاءاً لا يتجزاء من العدد الإجمالي للبكتريا القولونية كما أنها ترتبط ارتباط وثيق ومباشر بالتلوث البرازي الناتج عن الحيوانات ذوات الدم الحار وما يؤكد هذه النتائج هو إلقاء كميات كبيرة من مياه الصرف الصحي مباشرة دون أدني معالجة، وعلى الجانب الأخر فلا يوجد اختلاف واضح في أعداد البكتريا السبحية

البرازية Fecal Streptococcus (١١٠ خلية/ ١٠٠مل) في كل من الموقعين الأول والثاني على الترتيب، وهي نسب أعلى من الحدود المسموح بها في مواصفات منظمة الصحة العالمية والمواصفات القياسية المصرية (خالية تمام).

– كما أسفرت نتائج التحليلات البيولوجية عن وجود الميكروبات المسببة للأمراض بأنواعها بكتيريا الشيجيلا Shigella Sp وبكتيريا السالمونيلا Salmonella، وبكتيريا الإشريكية القولونية E-coli، وهي بكتيريا تتواجد داخل المياه بسب الطرح المباشر لبراز البشر والحيوانات المصابة بالأمراض، وقد لوحظ في عينات مياه منطقة الدراسة ارتفاع أعدادها في الموقعين الأول والثاني مع اختفاءها تمام من مياه بحيرة ناصر، حيث بلغت أعداد بكتيريا السالمونيلا (٦٥خلية/ ١٠٠مل) وبكتيريا الشيجيلا (٤٤ خلية/ ١٠٠ مل) وبكتيريا الإشريكية القولونية (٧٨ خلية/ ١٠٠ميل) للموقع الأول وهي جميعها أعلى من الحدود المسموح بها خلية تمام نتيجة للصرف المباشر لمياه الصرف المنزلي لقاطني الجزر النيلية.

–أما الموقع الثاني فقد أظهر قيم مرتفعه بمثل هذه البكتيريا وهي جميعاً أعلى من الحدود المسموح بها خالية تمام، حيث بلغت أعداد بكتيريا السالمونيلا (٤٣خلية/ ١٠٠مل) وبكتيريا الشيجيلا (٩٨ خلية/ ١٠٠ مل) وبكتيريا الإشريكية القولونية (١١٥ خلية/ ١٠٠ميل) وهي جميعها أعلى من الحدود المسموح بها خلية تمام، ويعزي السبب في ارتفاع هذه الميكروبات الممرضة بالموقعين الأول والثاني إلى تأثير مياه الصرف الصحي غير المعالج التي تصرف مباشر للنهر.

– وأخيراً يمكن القول بأن ارتفاع اعداد بكتيريا الإشريكية القولونية Escherichia coliform عن الحدود المسموح تعد دليل واضح على تلوث مياه النهر بمخلفات الصرف الصحي غير المعالج حيث تعد من أهم أفراد العائلة المعوية التي تعيش بصورة طبيعية في الأمعاء الغليظة للإنسان وفي أمعاء الثدييات وتعرف أيضا باسم جرثومة الأمعاء الغليظة، حيث أنها تنمو كنبيت طبيعي في الجهاز الهضمي للإنسان والحيوان، كما أنها تعد من البكتيريا الانتهازية الممرضة إذ تسبب الاسهال فضلاً عن العديد من الأمراض خارج مواطنها كتسمم الدم (زهراء حميد علوان السعدي،٢٠١٩م، ص٤). ويشير وجود هذه الجرثومة في الوسط المحيط إلى التلوث بالبراز، لذا غالباً ما تستخدم كمؤشر للدلالة على تلوث الماء، والحكم عليه فيما إذا كان صالحا للشرب أم غير صالح للشرب.



المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على بيانات ملحق (١).

شكل (٤) أعداد أنواع البكتيريا المختلفة الملوثة لمياه نهر النيل بالمواقع المختلفة عام (٢٠٢٢م)

خامساً: التحليل الجغرافي لمشكلة تلوث المياه السطحية بمدينة أسوان:

(١) مصادر تلوث المياه السطحية بمدينة أسوان:

تشير نتائج العمل الميداني والدراسة الميدانية إلى تعدد المصادر الملوثة لمياه نهر النيل في ذلك الجزء من النهر، حيث تمثلت مصادر تلوث المياه السطحية (مياه نهر النيل) بمدينة أسوان في مصدرين أساسيين هما:

– مياه الصرف الصحي حيث يتم صرف إجمالي مياه الصرف الصحي المعالج وغير المعالج الخاص بمدينة أسوان لكافة الاستخدامات السكنية والسياحية والصناعية بالنهر.

– المخلفات الصلبة المنزلية التي يتم إلقاؤها مباشرة بمصرف (خور) السيل ومنها إلى نهر النيل الذي يصب فيه مباشرة بالقرب من منطقة الجزيرة بمدينة أسوان، وفيما يلي مدى تأثير كل منها على تلويث المياه السطحية بالمدينة.

أ- مياه الصرف الصحي:

تبين من الدراسة الميدانية أن تلوث مياه نهر النيل بمياه الصرف الصحي المعالجة جزئياً من قبل محطتي الصرف الصحي كيما (٢،١) ومياه الصرف الصحي غير المعالجة والتي تلقى مباشرة إلى النهر عبر مخر السيل هما السبب الرئيس لتدني نوعية المياه السطحية بمدينة أسوان وتشتمل صور تلوث مياه النهر بمياه الصرف الصحي على ثلاث صور هي:

- مياه الصرف المعالجة من محطتي الصرف الصحي بالمدينة:

حيث تعاني مدينة أسوان من سوء شديد في شبكة ومحطات الصرف الصحي بها إذ لا يوجد بالمدينة سوى محطتين لمعالجة مياه الصرف الصحي هما كيما (٢،١) وهما محطتان تقليديتان تعملان بنظام الحمأة المنشطة، ويبلغ إجمالي الطاقة الاستيعابية لهما معاً ٥٦٠٠٠ م٣/ يوم (٥٦ مليون لتر).

ومع زيادة متوسط التصريف اليومي للفرد بمدينة أسوان من ٢٠٢ لتر/ فرد/ يوم عام م٢٠٠٢ إلى ٢١٨ لتر/ فرد/ يوم عام ٢٠٠٧م (هيئة التخطيط العمراني، ٢٠١٠، ص ٨)، وبفرض ثبات هذا المعدل حتى عام ٢٠٢٣م فإن معدل التصريف اليومي للسكان البالغين ٤١٣٩٧٩ نسمة سيصل إلى ٩٠٢٤٧٤٢٢ لتر/ يوم أي حوالي ٩٠٢٤٧.٤م٣/يوم، وهو ما يفوق القدرات الاستيعابية لهاتين المحطتين بكثير.

يضاف إلى ذلك أنه حالياً تم الانتهاء من محطة صرف محطة "كيما ٣ العلاقي يتم تجميع مياه الصرف الصحي المنزلي المعالجة (الخاص بمدينة أسوان) ومياه الصرف الصناعي المعالجة (الخاصة بمصنع كيما) من محطتي صرف كيما (٢،١)، وضخها إلى محطة العلاقي حيث يتم تجميع هذه المياه في أحواض بقدرة استيعابية (١٠,٠٠٠م^{٣}/ اليوم) لاستخدامها في زراعة نبات الكايا (الغابة الشجرية)، إلا أن القدرة الاستيعابية المحدودة لأحواض محطة العلاقي تحول دون استمرار ضخ هذه المياه إليها طوال الوقت، مما ينتج عنه توقف عملية ضخ مياه الصرف إليها وإلقائها مباشرة في مخر السيل مباشرة عبر مواسير ومنه لنهر النيل بمنطقة الجزيرة شمالي مدينة أسوان، وتقدر كمية مياه الصرف المعالجة التي تلقي في مصرف السيل من هاتين المحطتين حوالي (٥٠,٠٠٠م^{٣}) من مياه الصرف المعالج جزئياً (معالجة ثنائية)، وقد تم أثناء الدراسة الميدانية الوقوف على أماكن هذه المواسير والتي توضحها الصور أرقام (١و٢).

يضاف إلى تدني القدرة الاستيعابية لمحطتي المعالجة كيما (٢،١) تدني القدرة النوعية على تنقية الأنواع المختلفة من مياه الصرف بالمدينة والتخلص من الأحمال العضوية بها، الأمر الذي يزيد من سوء نوعية المياه المعالجة المنصرفة إلى النهر من هاتين المحطتين؛ حيث لا تستطيع المحطتين معالجة سوى ٧٢.٧٪ من الحمل العضوي المنصرف إليها والذي تم تقديره عام ٢٠٠٢م بـ ١١٠٢٨ كجم كما بالجدول (٨).

جدول (٨) تقدير الأحمال العضوية المنصرفة بمحطات معالجة مياه الصرف الصحي بمدينة أسوان (كجم احتياج أكسجين حيوي/ يوم)

عدد السكان	معدل صرف المياه لتر/ فرد/ يوم	الحمل العضوي المنصرف	الطاقة التصميمية للمحطة	الحمل العضوي المزال	طريقة التخلص النهائي
٢٤٨٦٤٨	٢٠٢	١١٠٢٨	٥٦٠٠٠	٨٠٢٠	يتم صرف المياه المعالجة مؤقتاً إلى مخر السيل

المصدر: محافظة أسوان، مكتب شئون البيئة، تقرير التوصيف البيئي لمحافظة أسوان، ٢٠٠٣، ص ٤٣.

المصدر: الباحثة من الدراسة الميدانية لمدينة أسوان، السهم يشير إلى ماسورة مياه الصرف.

صورة (١) ماسورة مياه الصرف الصحي القادمة من محطتي المعالجة بالمدينة

المصدر: الباحثة من الدراسة الميدانية لمدينة أسوان، السهم يشير إلى مسورة مياه الصرف.

صورة (٢) ماسورة صرف محطتي معالجة مياه الصرف الصحي بمدينة أسوان

- مياه الصرف الصحي (غير المعالج) التي تصرف مباشر دون معالجة من قبل السكان عبر مصرف السيل "مصرف كيما":

مصرف السيل (مصرف كيما) واحد من المصارف الرئيسية على نهر النيل تم إنشاؤه في ستينيات القرن الماضي لحماية مدينة أسوان من مخاطر السيول التي تسقط على المدينة من الجهة الشرقية في اتجاه النيل، حيث تقع مدينة أسوان في الجانب الجنوبي الغربي من صحراء مصر الشرقية والتي تتبع في معظمها نظام تصريف الصحراء الشرقية، إذ يخترق المدينة خمس أودية جافة بإجمالي مساحة بلغت (١٤٧٥كم٢) مثلت ما نسبته ٤.٠٩٪ من اجمالي مساحة أودية النطاق الجنوبي شرق النيل بمحافظة أسوان والبالغة ٦٩٤٤٤.٨ كم٢، وهي كالآتي:

- وادي ام بويرات بمساحة (١١٥كم٢) ويصب عند منطقة الشلال.
- وادي الكيماب بمساحة (٧٠ كم٢) الذي يصب شرق مصنع كيما في حي الرحاب.
- وادي الحيطة بمساحة (٦٥ كم٢) الذي يصب باتجاه المساكن الشعبية وخور عواضة.
- وادي ابو عجاج بمساحة (٥٥٥كم٢) الذي يصب في منطقة الجزيرة جنوب أبو الريش.
- وادي ابو صبيرة شمال اسوان بمساحة (٦٧٠ كم٢) الذي يصب شمال قرية الخطارة.

وتشتهر أودية شرق الصحراء الشرقية بشقيها الشمالي والجنوبي بالتعقد التضاريسي وشدة الانحدار نظراً لأنها ترتكز غالبيتها على صخور نارية ومتحولة شديدة الانحدار، لذا فهي تشكل خطورة بالغة في حالة حدوث سيول على المناطق التي تنتهي إليها. (محمد الحسيني محمد، ٢٠٢٢م، ص١٠٠٤)

لذا استوجبت الحاجة لإقامة مخر للسيول القادمة من جبال البحر الأحمر عبر تلك الأودية، فتتم حفر ترعة صرف طولها ٩كم تبدأ في الجنوب قرب مصنع كيما جنوب شرق مدينة أسوان مروراً بالمدينة وصولاً إلى منطقة الجزيرة شمالي مدينة أسوان ليصب بنهر النيل مباشرة بالقرب من منطقة مصنع المياه الغازية التابع لشركة الكوكاكولا.

وعلى طول هذه المسافة انتشر نوع من العمران المتدهور والإسكان اللارسمي[١] حول منطقة مصرف السيل (مخر السيل) حتى أن مناطق أصبحت تحمل نفس المسمى السيل والسيل الجديد، لتضم بهذا الامتداد نحو ٢١ منطقة تعد من أكثر مناطق المحافظة كثافة سكانية وهي "الجزيرة والشيخ عيسى والحكروب والناصرية والخطارة وخور عواضة ومنشية النوبة والسيل والسيل الجديد وعزبة التحرير والنهضة ومساكن كيما وعزبة السنية ومساكن السد وعزبة الفرن وعزبة الصداقة

[١] تتكون مدينة أسوان من ١٥ منطقة عمرانية متجانسة تم تحديدها من قبل وزارة الإسكان والمرافق والتنمية العمرانية بالتعاون مع المركز التخطيطي لإقليم جنوب الصعيد التابع للهيئة العامة للتخطيط العمراني ومقره مدينة أسوان. حيث تم تصنيف هذه المناطق من حيث كونها رسمية أو لا رسمية (١٠ مناطق رسمية، ٥ مناطق لا رسمية) بناءًا على مدى وجود تراخيص المباني وعدم كفاءة شبكات الحركة والاتصال مثل الشوارع الضيقة (أقل من ٥ م) مما يصعب معه وصول سيارات الطوارئ إلى المنطقة، ونقص الخدمات العامة والتعليمية والصحية والترفيهية والاجتماعية، وعدم الاتصال بشبكة عامة للمرافق، ثم تم تقسيم هذه المناطق إلى ثلاثة مستويات للإسكان هي: مستوى الإسكان المرتفع والمتوسط والمنخفض. وزارة الإسكان والمرافق والتنمية العمرانية، ٢٠١٠، ص ٩.

وعزبة الحدود بالشلال وعزبة الجبل وعزبة المرشح وعزبة السوق"، بمساحة تبلغ ١٠١٢.٢ فدان وبنسبة ٦.٩٪ من إجمالي مساحة المدينة، وبحجم سكاني بلغ ١٧٣٤٨٧.٠ نسمة عام ٢٠٢٣م وهو ما يمثل نحو ٤٢٪ من جملة سكان المدينة عام ٢٠٢٣م. جدول (٩)

جدول (٩) أعداد السكان وأنماط العمران بالمناطق المحيطة بخور السيل عام ٢٠٢٣م

المنطقة	نوع الإسكان	مستوى الإسكان	المساحة بالفدان	عدد السكان ٢٠٠٦ (نسمة)	تقدير عدد السكان ٢٠٢٣ (نسمة)	نسبة السكان من إجمالي المدينة%
كيما والسيل	رسمي	متوسط	٤٦٨.٧	٥٢١١٠	٧٧٣٣١.٢	١٨.٧
جنوب كيما والسيل	غير رسمي	منخفض	١٢٧.٣	١٠٠٨٥	١٤٩٦٦.١	٣.٦
الناصرية			٤١٦.٢	٥٤٧١٠	٨١١٨٩.٦	١٩.٧
إجمالي المناطق			١٠١٢.٢	١١٦٩٠٥	١٧٣٤٨٧.٠	٤٢

المصدر: إعداد الباحثة اعتماداً على الدراسة الميدانية لمدينة أسوان، ٢٠٢٢م. ووزارة الإسكان والمرافق والتنمية العمرانية، ٢٠١٠، ص ٩.

ومع مرور الوقت وارتفاع أعداد السكان تحولت المنطقة التي يجري بها المخر إلى أكبر مناطق المدينة عشوائية، حيث تفتقر هذه المناطق الإحدى والعشرون إلى كافة الخدمات الصحية والبيئية، الأمر الذي ترتب عليه ظهور نظام آخر للتخلص من مياه الصرف الصحي المنزلي تعرف باسم الطريقة المحكومة والتي تعتمد على تجميع مياه الصرف في بيارات القاع وبيارات مجمعة والتي تلقي ما فيها من مياه ملوثة مباشرة في خور السيل –دونما أية معالجة تذكر– ومنه إلى النيل، مما يترتب عليه من تلوث شديد وانتشار الكائنات المسببة للأمراض. صورة (٣)

المصدر: الباحثة من الدراسة الميدانية لمدينة أسوان.

صورة (٣) كسر بإحدى غرف الصرف العشوائي بمدينة أسوان

وللوقوف على مدى التلوث الذي يسببه مخر السيل بمياه نهر النيل بمدينة أسوان كان لابد من إجراء مقارنة بين نوعية المياه المنصرفة إلى خور السيل بالمعايير التي يجب أن تتوافر في مياه المصارف قبل رفعها إلى مسطحات المياه العذبة وفقاً للائحة التنفيذية للقانون رقم (٤٨) لسنة ١٩٨٢م، بشأن حماية نهر النيل من التلوث، وبدراسة بيانات جدول (١٠) يتضح الآتي:

- جاءت كل المؤشرات الدالة على نوعية المياه المنصرفة إلى مصرف السيل بمدينة أسوان خارج الحدود المسموح بها والتي ينص عليها القانون ٤٨ لسنة ١٩٨٢م، حيث بلغت نسبة الأكسجين الذائب (DO) في مياه المصرف نحو (١.٩١ملجم/ لتر) وهي أقل من الحدود المسموح بها، في حين جاءت قيم الاحتياج من الأكسجين الحيوي (BOD_5) بقيمة تزيد عن ثلاثة أضعاف القيمة المسموح بها (٣٢.٨ ملجم/ لتر) وهو الأكسجين التي تحتاج إليه الكائنات الهوائية الدقيقة في عملية تحلل المواد العضوية في الماء من خلال عملية الأكسدة البيوكيميائية، وهو ما يدل على التلوث الواضح لمياه المصرف.

أما عن الاحتياج من الأكسجين الكيميائي (COD) وإجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) فجاءت قيمها على النحو التالي (١٠٢ ملجم/ لتر) و(١١٩٠ ملجم/ لتر) على الترتيب وهي قيم تفوق النسب المسموح بصرفها إلى مسطحات المجارية المائية والتي لا يزيد على ١٥ ملجم/لتر للأكسحين الكيميائي، و٥٠٠ ملجم/لتر للماد الصلبة الذائبة.

- كما جاء العدد الاحتمالي لبكتريا القولون بقيمة (٣٢٥٠٠ / ١٠٠مل)، مما يدل على تدني نوعية مياه مصرف خور السيل بأسوان ومخالفتها بتلك القيم جميع قيم المعايير المنصوص عليها في قانون ٤٨ لسنة ١٩٨٢م، وهذا ما يعكس حجم التلوث الذي يضيفه مصرف خور السيل إلى مياه نهر النيل، وما يحدثه من انخفاض في نوعية مياه نهر النيل بما لا يتناسب مع احتياجات السكان بالمدينة للماء النظيف لاستخدامه في كافة الأغراض ومتطلبات الحياة.

جدول (١٠) نوعية المياه بمصرف السيل بمدينة أسوان

المؤشر	الأكسجين الذائب DO ملجم/لتر	الأكسجين الحيوي BOD5 ملجم/لتر	الأكسجين الكيميائي COD ملجم/لتر	المواد الصلبة الذائبة TDS ملجم/لتر	العدد الاحتمالي لبكتريا القولون لكل ١٠٠ مليمتر
الحدود المسموح بها*	لا يقل عن ٥ ملجم/لتر	لا يزيد على ١٠ ملجم/لتر	لا يزيد على ١٥ ملجم/لتر	لا يزيد على ٥٠٠ ملجم/لتر	لا يزيد على ٥٠٠٠
مياه خور السيل	١.٩١	٣٢.٨	١٠٢	١١٩٠	٣٢٥٠٠

المصدر: محافظة أسوان، مكتب شئون البيئة، تقرير التوصيف البيئي لمحافظة أسوان، سبتمبر ٢٠٠٣م، ص ٤٣.

(*) المعايير التي يجب أن تتوافر في مياه المصارف قبل رفعها إلى مسطحات المياه العذبة وفقاً للائحة التنفيذية للقانون رقم (٤٨) لسنة ١٩٨٢م، ص٥٤.

- مياه الصرف السياحي والتجمعات العمرانية بالجزر النيلية بمدينة أسوان:

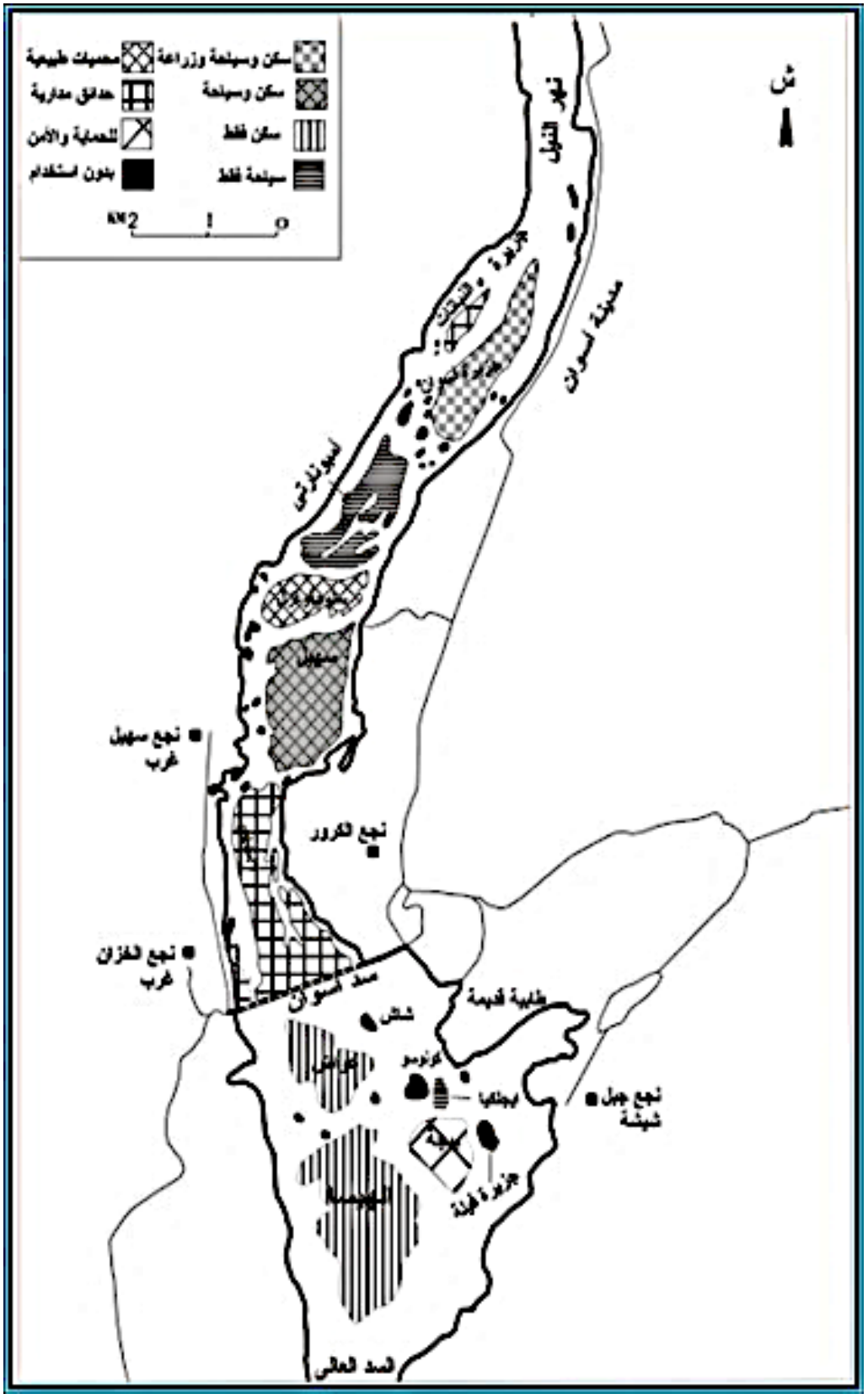
يمكن إجمال أثر النشاط السياحي بمدينة أسوان في شقين أساسيين، الأول؛ ارتبط بحركة الفنادق العائمة والتي يقدر عددها بنحو ٣٠٠ باخرة سياحية تبحر بين الأقصر وأسوان وست بواخر سياحية بين مدينة أسوان ومدينة أبو سمبل التي تقع إلى الجنوب منها، إذ تقوم هذه الفنادق بصرف مخلفاتها مباشرة داخل مياه نهر النيل (وزارة الأسكان والتنمية العمرانية- الهيئة العامة للتخطيط العمراني، ٢٠٠٩، ص٩٩).

أما الشق الثاني فتمثل فيما يضاف إلى نهر النيل من مخلفات للصرف الصحي والزراعي حيث توجد جزر بالكامل إنشاءات للأغراض السياحية كما في جزيرة أمبونارتي، حيث تفتقر هذه الجزر إلى توصيل خدمة الصرف الصحي فتقوم بإلقاء مياه الصرف الخاصة بها في النيل، هذا بالإضافة إلى التخلص المباشر لمياه الصرف الصحي (المنزلي) والزراعي الخاصة بالتجمعات العمرانية المقامة على جزر كل من أسوان وغرب سهيل (شكل ٥)، وفيما يلي دراسة توضيحيه لاستخدامات الأرض بجزر نهر النيل بمدينة أسوان:

- جزر تقع إلى الجنوب من خزان أسوان ويضم النهر بهذا الجزء سبع جزر صخرية بالكامل هي الهيسا والبيجة وفيله وايجلكيا وكونوسو وعواض وشاش، ويمكن تقسيم هذه الجرز إلى جزر مأهولة بالسكان كما هو الحال في جزيرتي الهيسا وعواض وهي تستخدم لأغراض السكن فقط ولا يوجد بهما أي استخدامات أرض أخرى، وجزيرتان بهم استخدم سياحي كما هو الحال في جزيرة ايجليكا وفيله والتي تضم معبد فيله بأسوان، أما باقي الجرز فهي بدون استخدام.

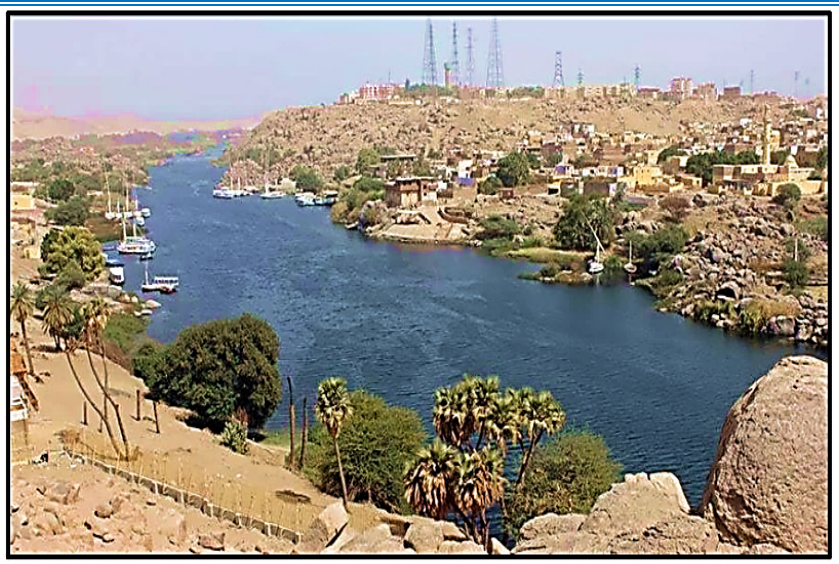
- جزر تقع إلى الشمال من خزان أسوان ويضم المجرى النهري نحو خمسة عشر جزيرة منها ست جزر صخرية متعددة الاستخدامات ما بين السكن والنشاط السياحي والزراعي، أبرزها جزيرة سهيل حيث تتمثل استخدامات الأرض داخلها في السكن والسياحة، وجزيرة أمبونارتي وتتعدد استخدامات الأرض بها بين النشاط السياحي ويعد المظهر الاقتصادي المسيطر على الجزيرة بالإضافة إلى مساحات من الأراضي الزراعية وفي أغلبها عبارة عن أشجار نخيل وبعض المحاصيل الأخرى. صورة (٤)

- أما جزيرة أسوان فتأتي إلى الشمال من جزيرة أمبونارتي وهي جزيرة يغلب عليها الطابع السكني كما يوجد بها استخدام سياحي وزراعي وكل هذه الجزر تفتقر إلى نظام صرف صحي وذلك لعدم اتصالها بشبكة الصرف الصحي.



المصدر: عبد اللطيف محمد أحمد حسين، ٢٠٠٦، ص١٤.

شكل (٥) استخدامات الأرض بجزر منطقة الدراسة



جزيرة سهيل

جزيرة أمبونارتي

جزيرة أسوان

المصدر: إعداد الباحثة باستخدام برنامج Google Earth Pro، عام ٢٠٢٣م.

صورة (٤) استخدامات الأرض بجزر منطقة الدراسة

(٢) المخلفات الصلبة المنزلية:

تعتبر المخلفات الصلبة المنزلية ومخلفات الهدم والبناء المختلطة مع مياه الصرف الصحي بمصرف السيل وتلك التي تلقى مباشرة في النيل المصدر الثاني لتلوث مياه النهر بمدينة أسوان؛ إذ يقدر معدل تولد المخلفات الصلبة من السكان بمدينة أسوان بنحو ٠.٧٢ كجم/ فرد/ يوم (محافظة أسوان، مكتب شئون البيئة،٢٠٠٣، ص٤١)، وبعدد سكان يبلغ ٤١٣٩٧٩ نسمة في عام ٢٠٢٣م فقد بلغ إجمالي المخلفات الصلبة المنزلية من السكان فقط حوالي ٢٩٨٠٦٤.٨٨ كجم يومياً (٢٩٨.١ طن/ يومياً)، تسهم مناطق الإسكان اللارسمي بنحو ٤١.٩٪ من إجمالي تلك المخلفات (١٢٤٩١٠.٧ كجم يومياً). جدول (١١)

أما عن الطريقة المتبعة في جمع المخلفات الصلبة المنزلية بالمدينة في تتم عن طريق سيارات تتبع شركة خاصة متعاقدة مع المحافظة على جمع المخلفات الصلبة ونقلها إلى المقالب العمومية، بالإضافة إلى المدفن الصحي الرئيسي الكائن على طريق العلاقي وتنطبق هذه المنظومة في جمع المخلفات على مناطق الإسكان الرسمي بالمدينة.

أما بالنسبة لمناطق الإسكان اللارسمي والإسكان المتدهور (المناطق المطلة على خور السيل) والتي بلغ عدد سكانها ١٧٣٤٨٧.٠عام ٢٠٢٣م فلا يوجد نظام ثابت لجمع المخلفات الصلبة (هيئة التخطيط العمراني، ٢٠١٠، ص٨)، حيث يقوم السكان بإلقاء مخلفاتهم في الأماكن المفتوحة وبمياه خور السيل ومنها إلى النهر مباشرة شكل (٦) وصورة (٥)، حتى مع الإجراءات التي اتخذها الدولة للحد من هذه الظاهرة من خلال تغطية خور السيل إلا أن المشكلة مازالت موجودة وذلك بسب عدم استكمال التغطية الكاملة لهذا الخور.

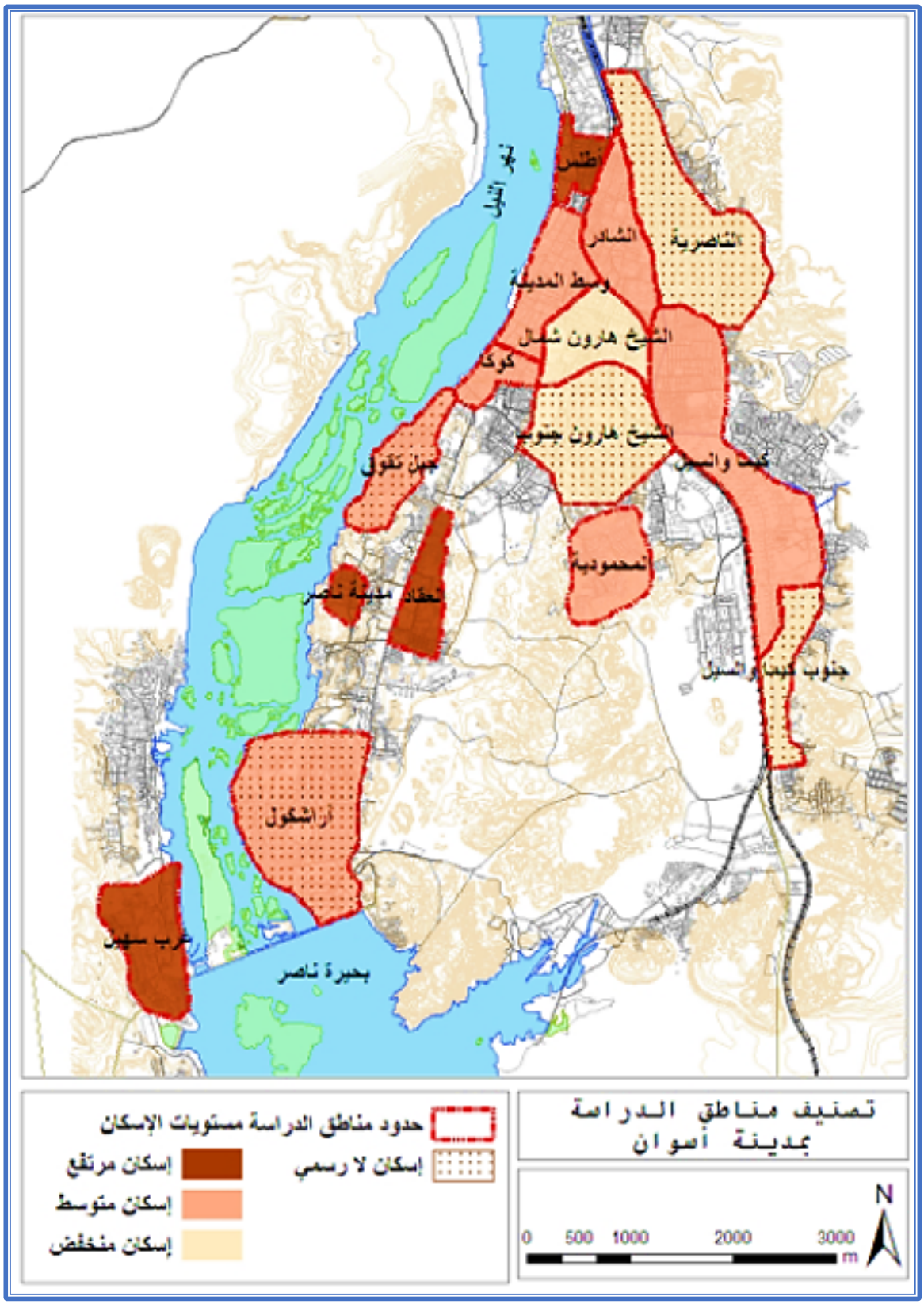
جدول (١١) كمية المخلفات الصلبة المنزلية المتولدة
عن المناطق العمرانية المحيطة بخور السيل عام ٢٠٢٣م

المنطقة	نوع الإسكان	مستوى الإسكان	تقدير عدد السكان ٢٠٢٣ (نسمة)	كمية المخلفات الصلبة المنزلية (كجم/ يوم)
كيما والسيل	رسمي	متوسط	٧٧٣٣١.٢	٥٥٦٧٨.٥
جنوب كيما والسيل	غير رسمي	منخفض	١٤٩٦٦.١	١٠٧٧٥.٦
الناصرية			٨١١٨٩.٦	٥٨٤٥٦.٥
إجمالي المناطق			١٧٣٤٨٧.٠	١٢٤٩١٠.٧

المصدر: إعداد الباحثة.

المصدر: العمل الميداني، ٢٠٢٢م.

صورة (٥) إلقاء المخلفات الصلبة المنزلية داخل مياه خور السيل وعلى كلا جانبيه



المصدر: هيئة التخطيط العمراني، ٢٠١٠، ص٩.

شكل (٦) التوزيع الجغرافي لمناطق الإسكان المتدهور واللارسمي بمدينة أسوان

*** النتائج والتوصيات:**

تناول البحث موضوع أصولي في تخصص الجغرافية البيئية، للوصول إلى معامل للتقييم الجغرافي لجودة المياه السطحية في مصر بالتطبيق على مدينة أسوان، وقد توصلت الدراسة إلى أن جودة نوعية مياه نهر النيل في الجزء الجنوبي من مصر والممثله في بحيرة ناصر بطول (٣٥٠كم) مياه ذات نوعية جيدة، أما مياه نهر النيل في مدينة أسوان فتعتبر أقل جودة (تتراوح ما بين المياه متوسطة الجودة- منخفضة الجودة) لما يدخل عليها من ملوثات وخاصة من المناطق العمرانية والسياحية التي تصرف مباشرة داخل مجرى النهر أو في مخر السيل الذي يصب فيه.

كذلك توصلت الدراسة لضعف دور عمليات معالجة مياه الصرف الصحي بالمدينة، وإلى التأثير الكبير للمخلفات الصلبة بمناطق الإسكان اللارسمي بالمدينة على تلويث مياه نهر النيل بها.

كما توصلت الدراسة لصياغة معامل للتقييم الجغرافي لجودة المياه السطحية وتقييم مدى صلاحيتها للشرب والأغراض المنزلية، وتم بناء منهجية وخطوات واضحة لتطبيق هذا المعامل وتطبيقه على مدينة أسوان، وقد أوضح تطبيقه أن المياه السطحية بالمدينة تراوحت ما بين المياه الجيدة (معامل جودة مياه بقيمة ٨١.٦٪) ببحيرة ناصر، والمياه متوسطة الجودة (معامل جودة مياه بقيمة ٥٦.٧٪) بموقع رقم (١) والمياه منخفضة الجودة (معامل جودة مياه بقيمة ٤٥.٢٪) بموقع رقم (٢)

وتوصي الدراسة بضرورة حشد الجهود والتعاون الكبير بين هيئات ومؤسسات الدولة المختلفة الأكاديمية منها والتنفيذية لحماية مياه نهر النيل من التلوث وخفض الضغوط البيئية الواقعة عليه في منطقة مدينة أسوان وهو ما يمكن تحقيقه عن طريق:

- الاهتمام بالتنقية الدقيقة لمياه نهر النيل (مآخذ مياه الشرب) قبل طرحها في شبكات مياه الشرب للسكان، إضافة للمعالجة الثلاثية لمياه الصرف الصحي وعدم صرفها في مجرى النهر، واستخدامها في عمليات التشجير وزراعة الأخشاب، وسرعة الانتهاء من تحديث طاقات محطات الصرف الصحي بالمدينة لاستيعاب كافة مياه الصرف ومعالجتها بما يتوافق مع المعايير التي يجب أن تتوافر في مياه الصرف المعالجة.
- توصيل مناطق الإسكان اللارسمي بالمدينة بشبكات الصرف الصحي، وتوفير آلية لجمع القمامة والمخلفات الصلبة منها وتدوير تلك النفاية للاستفادة منها.
- اتخاذ تدابير وإجراءات الحماية البيئية المناسبة لتخفيف الأثر البيئي للمناطق العمرانية والسياحية الواقعة بالجزر النيلية الصخرية بمدينة أسوان وتحويلها إلى منتجعات سياحية صديقة للبيئة، وتوصيل التجمعات العمرانية الموجودة بالجزر بشبكات الصرف الصحي وتفعيل القرارات البيئية بشأن حظر إلقاء أية مياه صرف صحي بالنهر.

- والوصول لحل جذري لأهم بؤر التلوث بمدينة أسوان والتي تتمثل في مخر سيل أسوان، والعمل على استكمال تغطية مخر السيل للحد من التعديات التي تمارس عليه من قبل السكان مباشرة، واستغلالها في الأغراض الاستثمارية المختلفة.

- رفع الوعي البيئي لدى المواطنين بأهمية الحفاظ على مياه نهر النيل وعدم تلويثها والأضرار الصحية والمادية الناجمة عن ذلك، وترسيخ المفاهيم البيئية لديهم، من خلال تبنى سياسات استخدام كافة وسائل الإعلام المتاحة لإقناع المواطنين بالمفاهيم البيئية وعمل حملات إعلامية مخططة.

- تطوير الخدمات الأساسية المرتبطة بحماية البيئة كإمدادات مياه الشرب والصرف الصحي والتخلص من المخلفات الصلبة والإسكان العشوائي الذي يمثل بيئة غير صحية.

- تطوير أكثر من صيغة لمعامل تقييم جودة المياه السطحية في مصر لملائمة الأغراض المختلفة (الشرب- الاستخدامات المنزلية- الزراعة- تقييم تلوث المياه- تقييم جودة مياه الصرف المعالجة) وفقاً للشروط والضوابط المصرية في هذا الصدد، وتوفير منصة إليكترونية لجمع ونشر البيانات الخاصة بكل منها.

المصادر والمراجع:

أولا: المصادر :

١- الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء (٢٠١٥) تقدير أعداد السكان طبقاً للنوع بالمحافظات وتوزيعهم النسبي، إدارة الإحصاء- الدليل الإحصائي.

٢- الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء (٢٠١٧) النتائج النهائية للتعداد العام للسكان والإسكان والمنشآت.

٣- محافظة أسوان، الإدارة العامة لمركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار، إدارة الإحصاء (٢٠١٥) الدليل الإحصائي.

٤- محافظة أسوان، الإدارة العامة لمركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار، إدارة الإحصاء (٢٠٢٠) الدليل الإحصائي.

٥- محافظة أسوان، مكتب شئون البيئة (٢٠٠٣) تقرير التوصيف البيئي لمحافظة أسوان.

ثانياً: المراجع العربية:

١- أشرف أحمد عبد الكريم، تيسير الوصول إلى الخدمات العامة في مدينة أسوان "بتطبيق نظم المعلومات الجغرافية"، الجمعية الجغرافية المصرية، سلسلة بحوث جغرافية، العدد الثالث والسبعون، ٢٠١٤م.

٢- دنيا محمد السيد محمود (٢٠١٥) المشكلات البيئية الطبيعية بمنطقة أسوان، رسالة ماجستير غير منشورة، وركزت الدراسة على المشكلات الجيومورفولوجية الخاصة بعمليات النحت والإرساب بمجرى نهر النيل بمنطقة أسوان.

٣- زهراء حميد علوان السعدي، الكشف المظهري والجزيئي لأنظمة الدفق efflux pumps في بكتريا Escherichia coliform المعزولة من إصابات المسالك البولية، رسالة ماجستير غير منشوره قسم علوم الحياة، كلية التربية للعلوم الصرف، جامعة بغداد،٢٠١٩م.

٤- عبد العزيز يونس الصفاوي وريم عدنان عبد الرازق الشنونة ونور ميسر (٢٠١٨) تقييم خصائص نوعية المياه وحساب معامل (WQI) لبعض مصادر المياه في قرية أبو ماريا قضاء تلعفر محافظة نينوى، مجلة التربية والعلوم، المجلد ٢٧، العدد ٣، من ٨١- ٩٨.

٥- عبد اللطيف محمد أحمد حسين (٢٠٠٦م)، العزلة الجغرافية وأثرها على بعض السمات الحضارية لسكان الجزر الصخرية بإقليم أسوان، المؤتمر الدولي لقسم الجغرافيا بجامعة الإسكندرية.

٦- عمر محمد عمر (٢٠٠١) مدينة أسوان "دراسة في جغرافية المدن"، رسالة دكتوراه غير منشورة والتي تناولت المحددات العمرانية لمدينة أسوان ومراحل نموها العمراني وتوزيع العمران العشوائي على رقعة المدينة.

٧- محمد الحسيني محمد، السيول ودرء أخطارها على محافظة أسوان، مجلة الدراسات الإنسانية والأدبية، كلية الآداب، جامعة كفر الشيخ، العدد ٢٦، يناير ٢٠٢٢م، من ٩٣٧- ١٠٧٦.

٨- مسعد سلامة مندور (٢٠٠٤) الأخطار الطبيعية في مدينة أسوان وارتكزت على أهم الاخطار الجيولوجية والجيومورفولوجية والجيومناخية والمناخية خاصة العواصف الترابية.

٩- هيئة التخطيط العمراني (يناير ٢٠١٠)، تقرير إعداد نظرة شاملة عن قضايا الإسكان ورصد التغيرات التي تطرأ على سوق الإسكان بمدينة أسوان، وزارة الإسكان والمرافق والتنمية العمرانية، أسوان.

ثالثاً: المراجعة غير العربية:

1- Abd-el-Kader T. Ahmed, (2015), Environmental Impacts of Industrial Wastewater Effluents on Water Quality of Nile River, International Journal of Water Resources and Arid Environments 4(2): 146-153 .

2- Akhtar N, Ishak MIS, Ahmad MI, Umar K, Md Yusuff MS, Anees MT, Qadir A, Ali Almanasir YK (2021) Modification of the Water Quality Index (WQI) process for simple calculation using the Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Method: a review. Water 13:905. https:// doi.org/ 10. 3390/ w1307 0905.

3- Al-Naiemy, R. W.Y.(2013). Studying of ideal condition for growing bacteria formed the biofilms with pollution in some water stations. MSC Thesis, Educat. Coll./ Tikrit Univ.

4- Backman, B.; Bodiš, D.; Lahermo, P.; Rapant, S. and Tarvainen, T. (1998). Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. Environmental Geology 36(1-2): 55-64.

5- Bharti N, Katyal D. Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. Int J Environ Sci. 2011;2:154–173 .

6- Brown RM, McClelland NI, Deininger RA, Tozer RG (1970 (A water quality index-do we dare. Water Sew Work 117:339–343.

7- Darvishi G, Kootenaei FG, Ramezani M, Lotfi E, Asgharnia H. Comparative investigation of river water quality by OWQI, NSFWQI and Wilcox indexes (Case study: The Talar River – IRAN) Arch Environ Prot. 2016;42:41–48.

8- Dinius SH (1987) Design of an index of water quality. Water Resour Bull 23:833–843.
9- Hamlat A, Guidoum A, Koulala I. Status and trends of water quality in the Tafna catchment: a comparative study using water quality indices. J Water Reuse Desal. 2017;7:228–245.
10- Horton RK (1965) An index-number system for rating water quality. J Water Pollut Con F 37:292–315.
11- Jena V, Dixit S, Gupta S. Assessment of water quality index of industrial area surface water samples. Int J Chemtech Res. 2013;5:278–283.
12- Kachroud M, Trolard F, Kefi M, Jebari S, Bourrié G (2019a) Water quality indices: challenges and application limits in the literature. Water 11:361. https:// doi. org/ 10. 3390/w1102 0361.
13- Kizar FM. A comparison between weighted arithmetic and Canadian methods for a drinking water quality index at selected locations in shatt al-kufa. IOP Conf Ser: Mater Sci Eng. 2018;433:012026.
14- Liou SM, Lo SL, Wang SH (2004) A generalized water quality index for Taiwan. Environ Monit Assess 96:35–52. https:// doi. org/ 10. 1023/B: EMAS. 00000 31715. 83752. a1.
15- Lumb LA, Sharma TC, Bibeault JF (2011) A review of genesis and evolution of Water Quality Index (WQI) and some future directions. Water Qual Expos Hea 3:11–24. https:// doi. org/ 10. 1007/ s12403- 011- 0040-0.
16- Paun I, Cruceru L, Chiriac FL, Niculescu M, Vasile GG, Marin NM (2016) Water quality indices—methods for evaluating the quality of drinking water. In: Proceedings of the 19th INCD ECOIND International Symposium—SIMI 2016, “The Environment and the Industry”, Bucharest, Romania, 13–14 October 2016: 395–402.
17- Roozbahani MM, Boldaji MN. Water quality assessment of Karoun river using WQI. Int Res J Appl Basic Sci. 2013;5:628–632.
18- Samadi MT, Sadeghi S, Rahmani A, Saghi MH. Survey of water quality in Moradbeik river basis on WQI index by GIS. Environ Eng Manag J. 2015;2: 7–11.
19- Said A, Stevens DK, Sehlke G (2004) An innovative index for evaluating water quality in streams. Environ Manage 34:406–414. https:// doi. org/ 10. 1007/ s00267- 004- 0210-y.
20- Sandra Chidiac and Paula El Najjar and Naim Ouaini and Youssef El Rayess and Desiree El Azzi (2023) A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives, Rev Environ Sci Biotechnol, Springer, 22:349–395.

21- Shah KA, Joshi GS (2017) Evaluation of water quality index for River Sabarmati, Gujarat. India Appl Water Sci 7:1349–1358. https:// doi. org/10. 1007/s13201- 015- 0318-7.
22- Singh PK, Tiwari AK, Panigary BP, Mahato K. Water quality indices used for water resources vulnerability assessment using GIS technique: a review. Int J Earth Sci Eng. 2013;6:1594–1600.
23- Soltan .M.E. (1995), Effect of Kima drain wastewaters on Nile river waters, Environment International 21(4):459- 464, December1995.
24- Steinhart CE, Shcierow LJ, Sonzogni WC (1982) Environmental quality index for the great lakes. Water Resour Bull 18:1025–1031.
25- Tirkey P, Bhattacharya T, Chakraborty S (2015) Water quality indices-important tools for water quality assessment: a review. Int J Adv Chem 1:15–28.
26- Tyagi S, Sharma B, Singh P, Dobhal R. Water quality assessment in terms of water quality index. Am J Water Resour. 2013;1:34–38.
27- Uddin MG, Nash S, Olbert AI (2021) A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. Ecol Indic 122:107218. https:// doi. org/ 10. 1016/j.ecoli nd. 2020. 107218.
28- Wepener, V.; Euler, N.; Van Vuren, J.H.J.; Du Preez, H.H. and Kohler, A. (1992). The development of an aquatic toxicity index as a tool in the operational management of water quality in the Olifants River (Knsger National Park). Koedoe 35(2): 1-9.
29- WHO (2015). World Health Organization. Drinking Water Quality for the Period of October 2014 - September 2015.
30- Zakhem, B.A. and Hafez, R. (2015). Heavy metal pollution index for groundwater quality assessment in Damascus Oasis, Syria. Environmental earth sciences 73(10): 6591-6600.3.pp.237-249.